

Die bayerische Wirtschaft

Studie

vbw

Constructing Our Future. Planen. Bauen. Leben. Arbeiten.

Eine vbw Studie
mit Beiträgen von Prognos, Fraunhofer IAO und Leonhard Obermeyer Center

Stand Juli 2021

www.vbw-bayern.de

Constructing Our Future. Planen. Bauen. Leben. Arbeiten.

Eine vbw Studie
mit Beiträgen von Prognos, Fraunhofer IAO und Leonhard Obermeyer Center

Vorwort



Die gebaute Umwelt, Gebäude und Infrastrukturen verursachen heute 40 Prozent der Treibhausgasemissionen. Der Klimaschutz erfordert somit ganz klar entschlossenes Handeln. Weil wir auch in Zukunft Häuser, Verkehrswege und Anlagen brauchen werden, müssen wir dringend Lösungen finden klimafreundlicher zu bauen und Emissionen im Betrieb einzusparen.

Ein wichtiger Hebel ist in diesem Zusammenhang die emissionsärmere Herstellung von Baustoffen wie Stahl und Zement, die heute noch sehr CO₂-intensiv ist. Ein weiterer Ansatzpunkt ist die intensivere Nutzung der Kreislaufwirtschaft, also die nochmalige Verwendung von Materialien aus nicht mehr benötigten Gebäuden. Darüber hinaus müssen wir vor allem für die energetische Sanierung des Bestands schnell umsetzbare und bezahlbare Lösungen entwickeln.

Die Folgen des Klimawandels machen es außerdem erforderlich, sich damit zu befassen, die Resilienz bestehender Gebäude zu erhöhen und zahlreiche Prozesse im Bauwesen zu beleuchten. Entscheidend ist hier schon heute so zu planen und zu bauen, dass beispielsweise Gebäude künftig ausreichend kühl bleiben, etwa durch intelligente Beschattungen.

Der Klimawandel ist nicht die einzige Herausforderung für das Bauwesen. Weitere wichtige Faktoren gewinnen an Einfluss, wie die Digitalisierung der Arbeitswelt oder die demografische Entwicklung mit einer älter werdenden Gesellschaft und ein verstärktes Zuwandern der Bevölkerung in die Ballungsräume. Mit anderen Lebens- und Arbeitsroutinen verändern sich auch die Anforderungen an die Verkehrsinfrastruktur oder die Gestaltung von Gebäuden und Städten. Gleichzeitig stößt der Entwicklungsbedarf vielfach an Grenzen, beispielsweise wenn es um die Verfügbarkeit von Flächen, Rohstoffen und Fachkräften geht oder um die Bezahlbarkeit von Wohnraum.

Aus diesem Grund hat der Zukunftsrat beschlossen, sich 2021 dem Planen und Bauen für das Wohnen und Arbeiten der Zukunft zu widmen. Einerseits sind zentrale gesellschaftliche und wirtschaftliche Herausforderungen zu bewältigen, andererseits bieten für die bayerischen Unternehmen all diese Anforderungen gute Chancen, neue Export- und Wachstumsmöglichkeiten zu erschließen. Ganz besonders wichtig werden hier innovative Technologien und die Stärkung des Systemdenkens auf allen Ebenen, gestützt auf eine fortgeschrittene Digitalisierung. Diese Faktoren stehen im Mittelpunkt der vbw Studie *Constructing Our Future. Planen. Bauen. Leben. Arbeiten*. Sie können dafür sorgen, dass der Bau und Betrieb von Gebäuden und Infrastrukturen sowie die Lebens- Arbeits- und Mobilitätswelten digitaler, nachhaltiger und resilienter werden. Mit unseren auf der Studie basierenden Handlungsempfehlungen zeigen wir Wege auf, wie wir in Zukunft innovativer und bezahlbar planen und bauen können.

Wolfram Hatz
27. Juli 2021

Inhalte im Überblick

01	Einführung	7
02	Referenzrahmen für Bayern und Deutschland	11
02.1	Demografische Entwicklung in Deutschland und Bayern	15
02.1.1	Demografie in Deutschland	15
02.1.2	Demografie in Bayern	16
02.2	Wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland und Bayern	19
02.2.1	Wirtschaftsleistung	20
02.2.2	Arbeitsmarkt	23
02.2.3	Exkurs zum Bausektor	26
02.3	Gebäudestruktur und Wohnflächen in Deutschland und Bayern	34
02.3.1	Gebäudebestand und Altersstruktur	34
02.3.2	Wohnflächen	38
02.4	Struktur der Flächennutzung in Deutschland und Bayern	40
02.5	Bau- und Abbruchabfälle in Deutschland und Bayern	43
02.6	Klimatische Veränderungen in Deutschland und Bayern	45
02.6.1	Klimaveränderungen in Deutschland	46
02.6.2	Klimaveränderungen in Bayern	47
03	Klimaschutz und Klimawandel	53
03.1	Klimaschutz	54
03.1.1	Klimaschutzziele in Deutschland	54
03.1.2	Bau- und gebäuderelevante THG-Emissionen in Deutschland	56
03.1.3	Klimaschutz im Bau: Klimaschutztechnologien	59
03.1.4	Klimaschutz im Bau: Nachwachsende Baustoffe	64
03.1.5	Klimapolitisch induzierte Investitionsbedarfe in Deutschland	69
03.1.6	Zwischenfazit	73
03.2	Klimawandelfolgen	74
03.2.1	Auswirkungen des Klimawandels auf das Bauwesen	75
03.2.2	Anforderungen an das klimaangepasste Planen und Bauen von Gebäuden	80
03.2.3	Klimaanpassung durch Infrastruktur im Gebäudeumfeld	85
03.2.4	Zwischenfazit	88
04	Kreislaufwirtschaft	91
04.1	Ausgangslage	92
04.2	Kreislaufwirtschaft Bau	92
04.2.1	Kreislaufwirtschaft und Gebäudebestand	95
04.2.2	Kreislaufwirtschaft und Neubau	95
04.3	Potenziale für die Rückgewinnung von Materialien aus Bauwerken in Deutschland und Bayern	96
04.3.1	Materialverbrauch im Bausektor	98
04.3.2	Materiallager im Bauwerksbestand und Infrastrukturen des Freistaates Bayern	99
04.3.3	Recycling von Materialien aus Bauwerken und Infrastrukturen	102

04.4	Lebenszyklusanalyse / Life Cycle Assessment (LCA)	104
04.4.1	Lebenszyklus von Gebäuden	105
04.4.2	Ausblick: Kreislaufwirtschaft in Lebenszyklusanalysen	108
04.5	Zwischenfazit und Ausblick	109
05	Wohnungsmarkt und Bürokratie beim Planen und Bauen	111
05.1	Wohnungsmarkt	112
05.1.1	Entwicklung und Struktur der Wohnraumnachfrage in Bayern	112
05.1.2	Entwicklung und Struktur des Wohnraumangebots in Bayern	118
05.1.3	Exkurs: Regionale Wohnungsmarktspannungen und sozialer Wohnraum in Bayern	120
05.1.4	Zukünftige Entwicklung der Wohnungsnachfrage in Bayern sowie übergreifende Herausforderungen der Angebotserweiterung	122
05.2	Bürokratie und Regulierung	123
05.2.1	Verwaltungsstrukturen	125
05.2.2	Öffentlichkeits- und Bürgerbeteiligung	125
05.2.3	Genehmigungsverfahren	127
05.2.4	Digitale Antragsverfahren und Projektmanagement	128
05.2.5	Öffentliche Vergabeverfahren	129
05.2.6	Technische und energetische Standards	130
05.2.7	Rechtliche Hürden für verdichtetes Bauen	132
05.3	Zwischenfazit	133
06	Digitalisierung im Bauwesen – Bauen 4.0 und BIM als integrierende Schlüsseltechnologie	135
06.1	Stand der Digitalisierung im Bauwesen	137
06.2	Bauen 4.0 – Industrie 4.0 der Baubranche	139
06.2.1	BIM als Kernkomponente von Bauen 4.0	141
06.2.2	Automatisierte Baufortschrittsüberwachung	159
06.2.3	Robotik auf der Baustelle	162
06.2.4	Digitale Vorfertigung und 3D-Druck / additive Fertigung	168
06.2.5	Künstliche Intelligenz im Bauwesen	176
06.2.6	Internet of Things (IoT) in der Gebäudetechnik	181
06.3	Zwischenfazit	186
07	Neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten als Treiber des Planens und Bauens	189
07.1	Ausgangssituation – Planen und Bauen bis 2030 im Kontext von Mobilität, Arbeiten und Lebensraum	190
07.1.1	Einführung	190
07.1.2	Wohnen, Arbeiten und Mobilität als Gestaltungsrahmen für Lebensräume	193
07.2	Daseinsvorsorge, Stadt- und Regionalentwicklung	196
07.2.1	Daseinsvorsorge als Grundlage zur Transformation von Lebensräumen	196
07.2.2	Politische Handlungsfelder und -bedarfe aus Sicht der bayerischen Unternehmen und Haushalte	201
07.2.3	Zwischenfazit	204
07.3	Flächenbedarfe und -nutzungen	205
07.3.1	Impulse aus einer Meta-Analyse für eine integrierte Siedlungs- und Verkehrsplanung	205

6	Inhalte im Überblick	
07.3.2	Ergebnisse der Haushalts- und Unternehmensbefragung zu Flächenbedarfen für eine integrierte Siedlungs- und Verkehrsplanung	208
07.3.3	Zwischenfazit	216
07.4	Bedeutung einer klimaneutralen Wirtschaft und Gesellschaft aus Sicht der bayerischen Unternehmen und Haushalte	219
07.4.1	Impulse aus einer Meta-Analyse für eine klimaneutralere Wirtschaft und Gesellschaft	219
07.4.2	Ergebnisse der Haushalts- und Unternehmensbefragung hinsichtlich einer klimaneutralen Wirtschaft und Gesellschaft	222
07.4.3	Zwischenfazit	226
07.5	Infrastrukturelle Veränderungen durch den technologischen Wandel in der Mobilität	228
07.5.1	Impulse aus einer Meta-Analyse im Hinblick auf Mobilitätstrends und neue Infrastrukturbedarfe	228
07.5.2	Ergebnisse der Haushalts- und Unternehmensbefragung hinsichtlich infrastruktureller Anforderungen aufgrund sich ändernder Mobilität	234
07.5.3	Zwischenfazit	241
08	Gestaltungsfelder und Handlungsempfehlungen	243
08.1	Identifizierung und Priorisierung relevanter Gestaltungsfelder	244
08.1.1	Skizzierung der Vorgehensweise	244
08.1.2	Festhalten am Status quo: „Mit Tradition Bewährtes bewahren“	245
08.1.3	Entwicklungsperspektive „Durchgängig digitalisiert und vernetzt“	246
08.1.4	Entwicklungsperspektive „Klimagerechtes Bauen durchreguliert“	247
08.1.5	Priorisierung von Gestaltungsfeldern	248
08.2	Handlungsempfehlungen	254
09	Zusammenfassung und Fazit	261
09.1	Lage und Ausblick im Bausektor	262
09.2	Klimaschutz	263
09.3	Klimawandel	264
09.4	Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschutz	265
09.5	Wohnungsmarkt und Bürokratie beim Planen und Bauen	266
09.6	Digitalisierung im Bauwesen	267
09.7	Neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten als Treiber des Planens und Bauens	268
09.8	Zentrale Technologien und Konzepte für das Planen und Bauen der Zukunft	269
10	Anhang	277
10.1	Methodisches Vorgehen zur Untersuchung der Bedarfe im Kontext von Mobilität, Arbeiten und Lebensraum in Bayern in Kapitel 07	278
10.2	Wirkungsmatrix	280
11	Literaturverzeichnis	282
12	Abbildungsverzeichnis	306
13	Tabellenverzeichnis	310
14	Kastenverzeichnis	311
	Ansprechpartner / Impressum	313

01

Einführung

Einführung

Das Bauwesen schafft die physischen Voraussetzungen für das Zusammenleben und wirtschaftliche Aktivitäten. Daraus resultiert eine bedeutende Verantwortung für die Zukunftsthemen unserer Gesellschaft.

Verantwortung für die Zukunftsthemen

Das Bauwesen prägt, gestaltet und verändert unsere gebaute Umwelt. Was heute geplant und gebaut wird, ist für die nächsten Jahrzehnte gebaute Realität. Durch ihr Kerngeschäft schafft sie die physischen Voraussetzungen für das gesellschaftliche Zusammenleben und für weite Teile der wirtschaftlichen Aktivität in Bayern, Deutschland und weltweit. Zudem ist die Bauwirtschaft ein bedeutsamer Wirtschaftszweig der deutschen und bayerischen Volkswirtschaft. Sie ist aber auch einer der größten Verbraucher von Ressourcen und Energie und trägt in bedeutendem Ausmaß zu den Treibhausgasemissionen und dem Abfallaufkommen bei. Daraus resultiert eine bedeutende Verantwortung für die Zukunftsthemen unserer Gesellschaft.

Klimaschutzziele

In den kommenden Jahren ist die Bauwirtschaft in mehrfacher Hinsicht gefordert, einen Beitrag zur Bewältigung einiger der größten wirtschaftspolitischen und gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit und zur künftigen gesamtwirtschaftlichen Entwicklung zu leisten. Zur Erreichung der politischen Klimaschutzziele muss die Bauwirtschaft einen Wandel hin zu einer ressourcenschonen, klimafreundlichen Bau- und Immobilienwirtschaft durchlaufen. Zudem muss sie die erforderlichen Bauleistungen zur Transformation der gesamten Volkswirtschaft bereitstellen – von der energetischen Gebäudesanierung über bauliche und technische Anpassungen in Industrieprozessen bis hin zum Aus- und Aufbau von erneuerbaren Energien, Versorgungsnetzen und Infrastrukturen für die Digitalisierung und Elektromobilität. Zudem bedingt der fortschreitende Klimawandel vermehrt technische und bauliche Anpassungen und Vorkehrungen, um die Folgen des Klimawandels abzumildern.

Demografischer Wandel

Auch beim Umgang mit den gesellschaftlichen Folgen des demografischen Wandels spielt die Bauwirtschaft eine zentrale Rolle, indem sie altersgerechte Wohn- und Lebensräume ermöglicht sowie zukunftsfähige Stadt- und Wohnraumkonzepte plant und umsetzt. Darüber hinaus schafft sie die baulichen Voraussetzungen für die Digitalisierung und für neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten.

Digitale Nachzügler

Dabei steht die Bauwirtschaft selbst vor der Herausforderung, mit den sich verändernden klimatischen Bedingungen sowie dem Fachkräfteengpass umzugehen. Zudem

bringt die Digitalisierung im Bauwesen große Herausforderungen mit sich, die sich in einer vergleichsweise langsameren Anwendung innovativer Technologien widerspiegeln. Im Branchenvergleich gehört das Bauwesen zu den digitalen Nachzüglern. Während die industrielle Produktion überwiegend ortsgebunden erfolgt und durch festgelegte optimierte Prozessketten geprägt ist, sind die Abläufe im Bauwesen hingegen wesentlich komplexer und individueller. Dies umfasst das örtliche Umfeld und die sich während des Baugeschehens ergebenden Veränderungen auf der Baustelle sowie die Vielzahl der am Bau beteiligten Disziplinen.

Technologien von zentraler Bedeutung

In den nächsten Jahren ist jedoch ein technologischer Sprung bei der Digitalisierung im Bauwesen zu erwarten, der zu einem deutlichen Zuwachs an Produktivität und Effizienz führen wird, verknüpft mit einem Zugewinn an Qualität und Nachhaltigkeit sowie einer Erhöhung der Zeit- und Kostensicherheit. Damit einhergehende Kostenreduktionen verbessern zudem die Möglichkeiten zur Schaffung von (mehr) bezahlbarem Wohnraum. Auch zur Bewältigung der anderen Herausforderungen, wie Umwelt-, Ressourcen- und Klimaschutz, sind Technologien von zentraler Bedeutung, zumal sie neben dem Umgang mit den Herausforderungen oftmals erst gesellschaftliche Veränderungen ohne Einschränkung der individuellen Zufriedenheit und Lebensqualität ermöglichen.

Neue Export- und Wachstumsmöglichkeiten

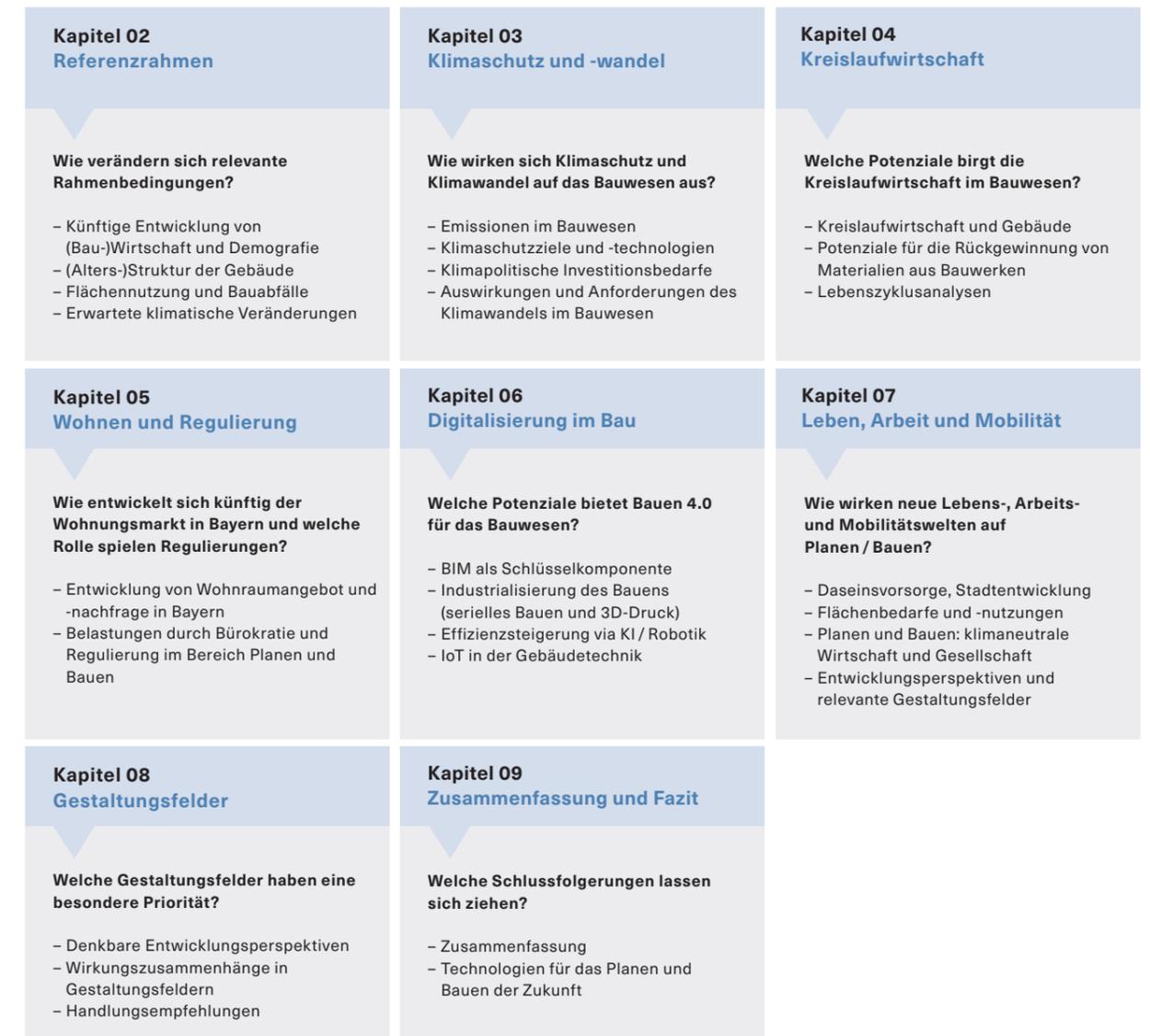
Die Veränderungen bieten Deutschland und Bayern Chancen, sich neue Export- und Wachstumsmöglichkeiten sowie neue Geschäftsfelder und -modelle im Bauwesen und darüber hinaus zu erschließen, indem relevante Technologiefelder und neue Schlüsselkompetenzen besetzt werden, die bei fortschreitendem Wandel von Klima und Demografie sowie von Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten weltweit an Bedeutung gewinnen. Eine Zukunft ohne Bauen ist derzeit nicht vorstellbar.

Ziel der Studie

Vor diesem Hintergrund ist das übergeordnete Ziel der Studie, ein breites und zugleich differenziertes Bild der Bedarfe, Entwicklungen und Trends, die das Bauwesen in den kommenden rund zehn Jahren prägen werden, sowie der erforderlichen Lösungsansätze und der sich daraus ergebenden Chancen und Herausforderungen für Bayern und Deutschland zu zeichnen. Dafür ist die Studie in neun Kapitel mit mehreren Unterkapiteln gegliedert (Abbildung 1).

Abbildung 1
Aufbau und Struktur der Studie

Nachhaltiges Bauen für das Wohnen und Arbeiten der Zukunft



Quelle: Eigene Darstellung Prognos, 2021

02

Referenzrahmen für Bayern und Deutschland

Das Planen und Bauen der Zukunft werden von vielen Entwicklungen und Trends beeinflusst, vor allem vom demografischen und klimatischen Wandel sowie von der Digitalisierung und den Anforderungen der Nachhaltigkeit.

Kapitel in der Übersicht

02.1	Demografische Entwicklung in Deutschland und Bayern	15
02.1.1	Demografie in Deutschland	15
02.1.2	Demografie in Bayern	16
02.2	Wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland und Bayern	19
02.2.1	Wirtschaftsleistung	20
02.2.2	Arbeitsmarkt	23
02.2.3	Exkurs zum Bausektor	26
02.3	Gebäudestruktur und Wohnflächen in Deutschland und Bayern	34
02.3.1	Gebäudebestand und Altersstruktur	34
02.3.2	Wohnflächen	38
02.4	Struktur der Flächennutzung in Deutschland und Bayern	40
02.5	Bau- und Abbruchabfälle in Deutschland und Bayern	43
02.6	Klimatische Veränderungen in Deutschland und Bayern	45
02.6.1	Klimaveränderungen in Deutschland	46
02.6.2	Klimaveränderungen in Bayern	47

Der Referenzrahmen dient als Grundlage und Ausgangspunkt für die Analysen in der Studie. Dazu zeigt er übergeordnete Entwicklungen und Trends in sechs ausgewählten Bereichen in Deutschland und Bayern auf, die die Themenfelder rund um das Planen und Bauen der Zukunft maßgeblich beeinflussen (Abbildung 2). Mögliche Veränderungen infolge der Corona-Pandemie, der damit verbundenen gesundheitspolitischen Eindämmungsmaßnahmen und gegebenenfalls Verhaltensänderungen werden zu Beginn jedes Kapitels diskutiert. Im Fokus steht dabei die Frage, ob dauerhafte oder nur temporäre Veränderungen zu erwarten sind. Ein Kasten am Ende jedes Kapitels fasst weltweite Entwicklungen kurz zusammen.

Abbildung 2
Zentrale Themen im Referenzrahmen für Deutschland



Reales Wirtschaftswachstum gegenüber 2019. Veränderung der Personen im erwerbsfähigen Alter zwischen 20 bis 67 Jahren gegenüber 2019.

Quelle: Eigene Darstellung Prognos 2021

02.1 Demografische Entwicklung in Deutschland und Bayern

Bedeutung für Planen und Bauen

Die demografische Entwicklung hat wesentlichen Einfluss auf die Bautätigkeit. Ein Bevölkerungsrückgang führt grundsätzlich zu einer sinkenden Baunachfrage. Dem können strukturelle Verschiebungen innerhalb der Bevölkerung entgegenwirken. So steigt z. B. die Wohnfläche pro Kopf bei einer Abnahme der Haushaltsgröße, was tendenziell eine höhere Baunachfrage bewirkt. Zudem erhöht sich in alternden Gesellschaften beispielsweise die Nachfrage nach altersgerechten (barrierereduzierten) Umbauten. Insgesamt wird sich der demografische Wandel in Deutschland aber mittel- bis langfristig eher dämpfend auf die Bautätigkeit auswirken.

Auswirkungen durch Corona

Die Corona-Pandemie dürfte vor allem temporäre Auswirkungen haben, mittel- bis langfristig sind hingegen keine nennenswerten Veränderungen der demografischen Dynamiken infolge der Corona-Krise zu erwarten. Damit behalten vorliegende Bevölkerungsprognosen grundsätzlich ihre Gültigkeit.

Übersterblichkeit, Migrationsbewegungen sowie Familienplanung

Die Pandemie hat zumindest kurzfristig zwar zu einer Übersterblichkeit geführt, vor allem bei älteren Personen.¹ Zugleich sind saisongebundene Krankheiten wie Grippe und schwere Erkältungen aufgrund der Abstands- und Hygieneregeln und verringerter Kontakte signifikant zurückgegangen. Zudem haben die gesundheitspolitischen Eindämmungsmaßnahmen die Migrationsbewegungen von und nach Deutschland temporär deutlich gedämpft. Der Wanderungssaldo im Jahr 2020 dürfte rund 25 bis 45 Prozent niedriger ausfallen als im Vorjahr.² Sobald die Eindämmungsmaßnahmen zurückgenommen werden, dürften die Wanderungsbewegungen wieder zunehmen. Effekte auf die Familienplanung sind in Deutschland bisher³ und wohl auch künftig eher vernachlässigbar, zumindest sofern die wirtschaftliche Erholung nicht ausbleibt.



02.1.1 Demografie in Deutschland

Die Entwicklung der Bevölkerung eines Landes wird im Wesentlichen durch die Geburtenrate, die Lebenserwartung sowie die Wanderungsbewegungen bestimmt. Wanderungsbewegungen sind besonders schwierig zu prognostizieren, da die Gründe für Migrationsentscheidungen vielfältig sind und sie von den politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und gegebenenfalls Umweltbedingungen sowohl im Heimat- als auch im Zielland abhängen (Kasten 1). Das Statistische Bundesamt rechnet mit Wanderungssalden zwischen 147.000 und 311.000 Personen pro Jahr. Damit liegt die erwartete Bevölkerungszahl in 2040 je nach Annahme zwischen 80,7 Mio. und 84,2 Mio. Personen.

Wir gehen von einem mittleren Wanderungssaldo von 221.000 Personen pro Jahr und einer mittleren Geburtenziffer von 1,55 Kindern je Frau bis 2040 aus. Damit geht die Bevölkerung Deutschlands von heute 83,4 auf 82,1 Mio. Personen 2040 zurück (Tabelle 1). Trotz des Rückgangs der Bevölkerung dürfte die Gesamtzahl der privaten Haushalte in Deutschland von 42,4 Mio. im Jahr 2020 auf 43,3 Mio. bis 2040 steigen. Dies ist im Wesentlichen auf die steigende Anzahl von Haushalten mit einer oder zwei Personen und die sinkende Anzahl größerer Haushalte zurückzuführen.

¹ Ragnitz, 2021; RKI, 2021; Statistisches Bundesamt, 2021a

² Statistisches Bundesamt, 2021c.

³ Statistisches Bundesamt, 2021b

Tabelle 1
Entwicklung von Bevölkerung und Haushalten

	2020	2030	2040
Bevölkerung	83,5 Mio.	82,9 Mio.	81,3 Mio.
Haushalte	42,4 Mio.	42,9 Mio.	43,3 Mio.
Anteil 1-Personenhaushalt	42 %	43 %	45 %
Anteil 2-Personenhaushalt	35 %	36 %	36 %
Anteil 3-Personenhaushalt	12 %	11 %	10 %
Anteil 4-Personenhaushalt	9 %	8 %	7 %
Anteil 5-Personenhaushalt	3 %	3 %	2 %
	37.890	100 %	100 %

Quelle: Prognos et al., 2011a (basierend auf Destatis, 2017), eigene Darstellung Prognos 2011

Kasten 1 Klima- und Umweltmigration

„Neben der erhöhten Vulnerabilität Deutschlands und Bayerns durch wirtschaftliche Verflechtungen mit stärker gefährdeten Regionen ist auch damit zu rechnen, dass weltweit gegenüber der heutigen Situation deutlich verstärkte Migrationsströme entstehen, da sowohl feuchte als auch trockene Regionen zwischen den Wendekreisen und gegebenenfalls darüber hinaus sowie Küstenregionen zunehmend schlechtere Lebensgrundlagen und -bedingungen bieten. Eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2 °C würde die Auswirkungen der Folgen des Klimawandels global sowie in Deutschland und Bayern erheblich verringern.“⁴

Die Prognose künftiger Wanderungsbewegungen infolge von Umwelt- und Klimaveränderungen ist aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren und der unzureichenden Datenlage äußerst schwierig. Ein Großteil der Klima- und Umweltmigration hat aber ohnehin keine direkten Auswirkungen auf die Bevölkerungszahl eines Landes, da sie innerhalb eines Landes stattfindet. Zudem sind die Migrationsbewegungen oftmals nur temporär.⁵ Schätzungen gehen davon aus, dass es Ende 2019 weltweit mindestens 51 Mio. Binnenvertriebene gab, davon rund 5 Mio. Personen aufgrund von Naturkatastrophen (die sich in 2019 oder früher ereigneten) und 46 Mio. Personen aufgrund von Konflikten und Gewalt.⁶

Die demografische Herausforderung besteht weniger im Rückgang als in der Alterung der Bevölkerung (Abbildung 3). In den kommenden Jahren erreichen die geburtenstarken Jahrgänge (Babyboomer) das Rentenalter und scheiden aus dem Arbeitsmarkt aus. Damit kommt es zum einen zu einem deutlichen Rückgang des Arbeitskräfteangebots und zum

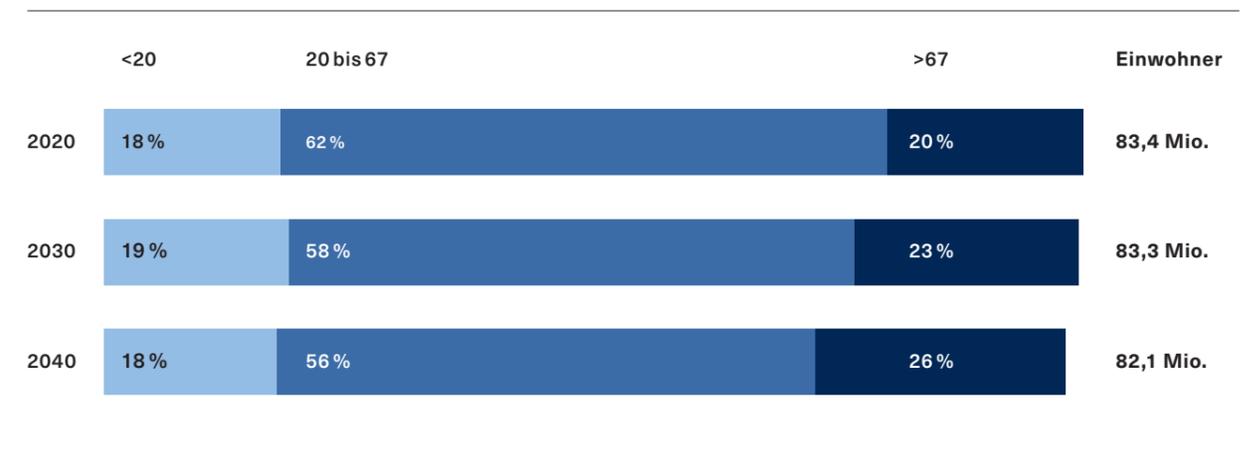
⁴ Prognos / vbw, 2020, S. 327

⁵ Datenportal Globale Migration, 2021

⁶ IDMC, 2020

anderen stehen immer weniger Erwerbspersonen immer mehr Rentner*innen gegenüber. Bis 2030 wird die Zahl der Personen im erwerbsfähigen Alter (20 bis 67 Jahre) um rund 3,2 Mio. gegenüber 2020 abnehmen, bis 2040 wird der Rückgang insgesamt über 6 Mio. betragen. Dann wird jede vierte Person 67 Jahre und älter sein. Damit kommen 2040 auf 100 Personen im Erwerbstätigenalter fast 47 Personen im Rentenalter (67 Jahre und älter). Dadurch wird sich der Fachkräfteengpass, der sich – auch getrieben durch weitere Entwicklungen wie die digitale und klimapolitische Transformation – in einigen Bereichen bereits heute zeigt, in Zukunft weiter verschärfen (Kapitel 02.2.2). Vor allem aber ändern sich dadurch die Anforderungen an die gebaute Umgebung. Das betrifft neben barriere reduziertem Bauen auch die Schaffung altersgerechter Wohn-, Arbeits- und Lebensumfelder.

Abbildung 3
Altersstruktur der Bevölkerung in Deutschland



Quelle: Statistisches Bundesamt (Bevölkerungsvorausberechnung, Variante G2L2W2), eigene Darstellung Prognos 2021

Die Bevölkerung in Deutschland schrumpft und altert nicht nur, sondern lebt auch zunehmend in städtischen Räumen. Nach Berechnungen der UN leben heute bereits rund 77 Prozent der deutschen Bevölkerung in städtischen Gebieten; im Jahr 2040 werden es 81 Prozent sein. In den letzten Jahren waren es vor allem junge, oftmals gut ausgebildete Menschen, die den Zuzug in die Städte prägten. Zwischen 2013 bis 2018 zogen nach Angaben des Statistischen Bundesamts im Saldo 1,2 Mio. Menschen zwischen 20 und 40 Jahren in die kreisfreien Großstädte, während im Saldo rund 120.000 Menschen ab 40 Jahren aus den Großstädten wegzogen. Damit ist die Alterung der Bevölkerung in ländlichen Regionen und in den neuen Bundesländern tendenziell stärker ausgeprägt als in den städtischen Gebieten und alten Bundesländern. Die Bevölkerung in den jüngsten Städten Deutschlands (z. B. München, Erlangen, Freiburg im Breisgau, Heidelberg, Mainz, Frankfurt am Main und Münster) wird auch 2040 durchschnittlich noch jünger als 42 Jahre alt und damit rund zehn Jahre jünger sein als die Bevölkerung in den ältesten Kreisen Deutschlands (z. B. Elbe-Elster, Spree-Neiße, Greiz und Altenburger Land).⁷

⁷ BBSR, 2021a

Neben den Großstädten verzeichnen zunehmend auch umliegende Klein- und Mittelstädte einen deutlichen Zuzug, vor allem von jungen Familien. Dieser „Überschwappereffekt“ auf das Umland ist unter anderem auf die Verfügbarkeit von (günstigeren) Immobilien und Bauland sowie die ruhigere und „grünere“ Umgebung zurückzuführen. Der Trend zur Suburbanisierung dürfte sich infolge der Digitalisierung noch verstärken. Zum einen ermöglicht sie zunehmend die Nutzung ortsunabhängiger Arbeitsformen, beispielsweise Homeoffice. Zum anderen bringt sie viele Angebote der Großstadt in den virtuellen Raum, beispiels-

weise durch Onlineshopping, virtuelle Besuche (z. B. Museen) und Streaming von Filmen und Veranstaltungen (z. B. Konzerte, Theater).

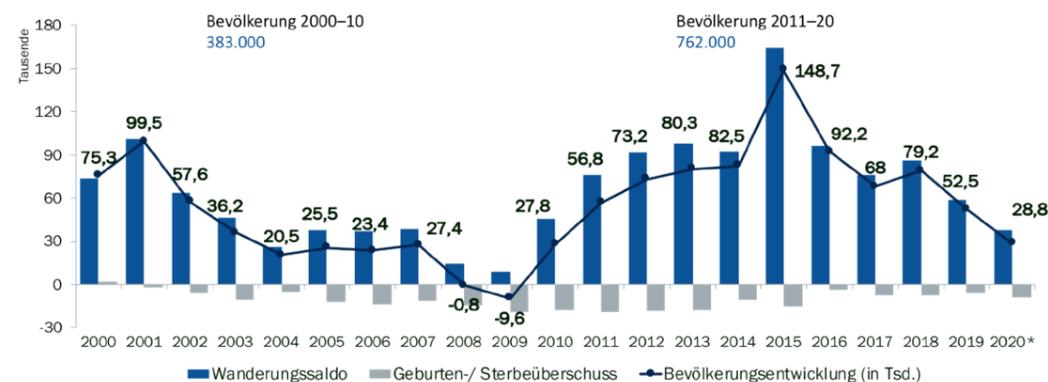
Um den Zuzug zu stemmen, werden unter anderem städtische Siedlungsflächen oftmals in den Außenbereichen erweitert. Damit führt die Urbanisierung zusammen mit dem allgemein steigenden Wohnflächenbedarf pro Kopf (Kapitel 02.3.2) trotz Bevölkerungsrückgang zu einer Zunahme der Wohnflächeninanspruchnahme in Deutschland (Kapitel 02.4).

02.1.2 Demografie in Bayern

Bisherige Entwicklungen und Status quo

Mit rund 13,14 Mio. Einwohner*innen entfallen 15,8 Prozent der bundesweiten Bevölkerung auf den Freistaat. Bayern ist damit das bevölkerungsreichste Bundesland nach Nordrhein-Westfalen. In den beiden vergangenen Dekaden hat sich die Bevölkerung in Bayern dabei unterschiedlich entwickelt. Im Zeitraum 2000 bis 2010 wuchs der Freistaat insgesamt um 383.000 Einwohner*innen. Aufgrund einer abgeschwächten Zuwanderung im Zuge der Wirtschaftskrise verzeichnete Bayern in den Jahren 2008 und 2009 geringfügig Bevölkerungsverluste. Seit 2011 verlief die Bevölkerungsentwicklung deutlich dynamischer als in der Dekade zuvor. Zwischen 2011 und 2020⁸ nahm die bayerische Bevölkerung um 762.000 Menschen zu (Abbildung 4). Durch die hohe Zuwanderung in der letzten Dekade⁹ verzeichnete der Freistaat im bundesweiten Vergleich neben Baden-Württemberg die dynamischste Bevölkerungsentwicklung unter den deutschen Flächenländern (2011–19: BY: 5,5 Prozent, BW: 5,6 Prozent, D: 3,5 Prozent). Bedingt durch die Corona-Pandemie sind für das Jahr 2020 bundesweit weniger Wanderungsbewegungen zu beobachten. Der Freistaat verzeichnet in diesem Jahr die geringste Zuwanderung seit dem Jahr 2010.

Abbildung 4 Bevölkerungsentwicklung, Wanderungssaldo sowie Geburten- / Sterbeüberschuss in Bayern 2000–2020



*2020 Daten von Januar bis November, vorläufige Zahlen
Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik; eigene Darstellung Prognos 2021

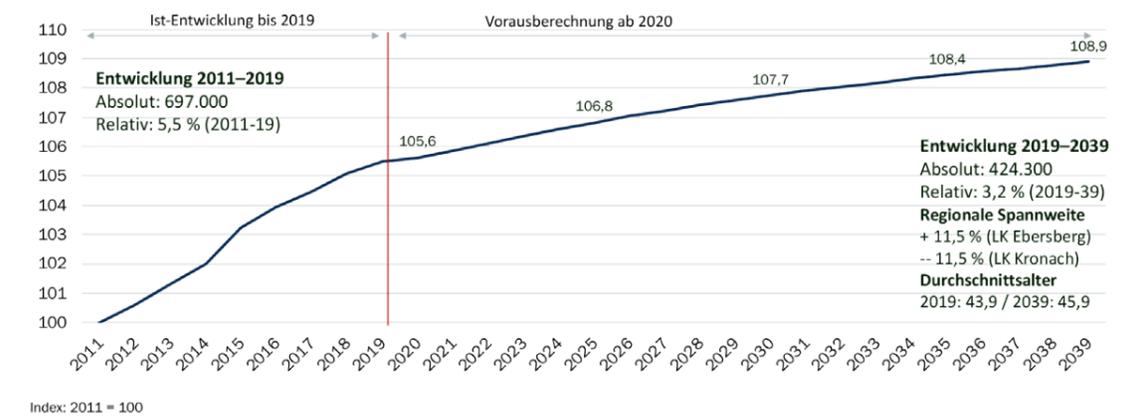
8 Zahlen für das Jahr 2020 von Januar bis November, vorläufige Zahlen des Bayerischen Landesamts für Statistik.
9 Zwischen 2011 und 2019 liegt die Zuwanderung im Freistaat Bayern im Saldo bei insgesamt 838.000 Menschen.

Der Umschwung in der demografischen Entwicklung in Bayern von einem gleichbleibend eher niedrigen Bevölkerungszuwachs hin zu einer deutlich verstärkten Bevölkerungszunahme in den vergangenen zehn Jahren zieht erhebliche Konsequenzen für die bayerischen Wohnungsmärkte im Kontext einer im Durchschnitt höheren Nachfrage nach sich. Regional unterscheiden sich dabei die Wanderungsintensitäten und Folgen für Wohnungsmärkte innerhalb des Freistaats deutlich (Kapitel 05.1).

Künftige Entwicklung

Für die Jahre bis 2039 geht das Bayerische Landesamt für Statistik von einer anhaltenden Bevölkerungszunahme im Freistaat aus, die im Vergleich zu den vergangenen zehn Jahren weniger dynamisch verlaufen wird. Wuchs der Freistaat zwischen 2011 und 2019 um 5,5 Prozent bzw. 697.000 Einwohner*innen, so wird sich das Wachstum bis 2039 auf 3,2 Prozent bzw. 424.000 Einwohner*innen abschwächen (Abbildung 5).¹⁰ Im Zuge der demografischen Alterung wird sich in diesem Zeitraum das Durchschnittsalter im Freistaat von 43,9 Jahren auf 45,9 Jahre erhöhen.

Abbildung 5 Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern bis zum Jahr 2039 (Index 2011 = 100)



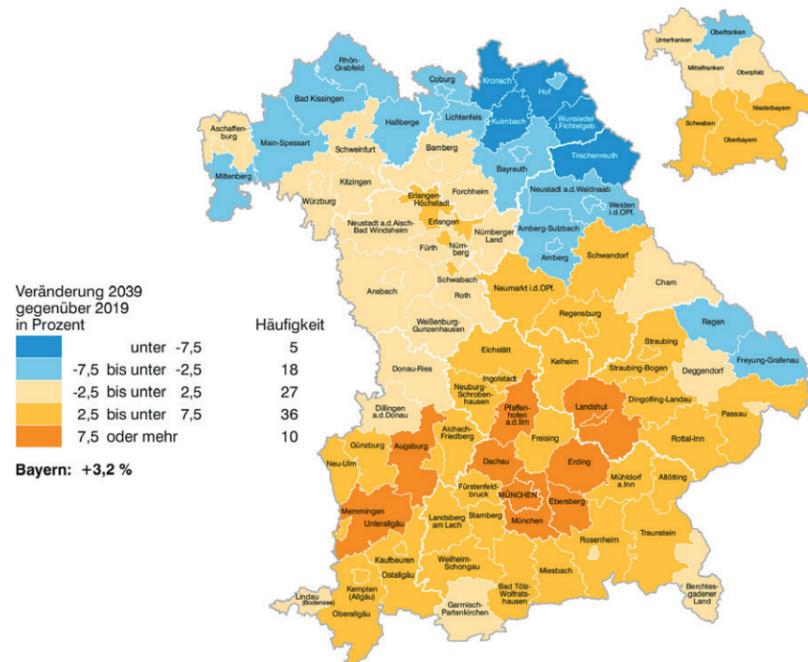
Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik (Regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern bis 2039), eigene Darstellung Prognos 2021

Dabei wird eine deutliche regionale Variation der Bevölkerungsentwicklung erwartet. Während die Regierungsbezirke Oberbayern (6,6 Prozent), Schwaben (4,8 Prozent) und Niederbayern (4,0 Prozent) noch überdurchschnittliche Bevölkerungszuwächse bis 2039 verzeichnen werden, wird die Bevölkerung in Unterfranken (-2,2 Prozent) und Oberfranken (-4,2 Prozent) sinken. Auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte liegt die Spannweite der Bevölkerungsentwicklung zwischen einer Zunahme um 11,5 Prozent (LK Ebersberg) und einer Abnahme um 11,5 Prozent (LK Kronach). Für die regionalen Wohnungsmärkte im Freistaat bedeutet die demografische Entwicklung somit Wachstum und steigende Nachfrage auf der einen Seite und Stagnation bzw. Schrumpfungprozesse auf der anderen Seite (Abbildung 6).

10 Es wird die Prognose des Bayerischen Landesamt für Statistik verwendet, da diese auch regionale Aussagen auf Kreisebene erlaubt. Die Prognosen des Statistischen Bundesamt für Bayern fallen aufgrund unterschiedlicher Annahmen (v.a. Migration) bis zum Jahr 2039 etwas niedriger aus.

Abbildung 6
Regionale Unterschiede der Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern bis zum Jahr 2039

Bevölkerungsentwicklung in den kreisfreien Städten und Landkreisen Bayerns
Veränderung 2039 gegenüber 2019 in Prozent



Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik, 2020b

Kasten 2
Weltweite demografische Entwicklungen

Infolge der rückläufigen Geburtenziffer verlangsamt sich das Wachstum der Weltbevölkerung zwar, die Weltbevölkerung wird aber dennoch von heute etwa 7,8 Mrd. auf rund 9,2 Mrd. Menschen im Jahr 2040 wachsen – also um durchschnittlich 70 Mio. Menschen pro Jahr. Über 90 Prozent des Bevölkerungswachstums sind auf Afrika und Asien zurückzuführen. Die Bevölkerung in Europa ist hingegen rückläufig.¹¹

Die Weltbevölkerung wird nicht nur immer zahlreicher, sondern auch älter und lebt urbaner. Das Durchschnittsalter der Weltbevölkerung wird bis 2040 von heute etwa 31 Jahren auf fast 35 Jahre zunehmen. Bereits heute lebt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten (56 Prozent), bis 2040 werden fast zwei Drittel der Menschen in urbanen Regionen leben.¹²

¹¹ UN Population Prospects 2019 (medium fertility variant)

¹² UN World Urbanization Prospects 2018

02.2 Wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland und Bayern

Bedeutung für Planen und Bauen

Wirtschaftliche Entwicklung und Bautätigkeit sind eng verbunden. Der Anteil der deutschen Bauinvestitionen am BIP schwankte in den vergangenen zwei Jahrzehnten zwischen zwölf und zehn Prozent. Damit ist die Bauwirtschaft von zentraler Bedeutung für die Volkswirtschaft und kann gesamtwirtschaftliche Störungen auslösen.

Grundsätzlich wird sowohl bei schlechter als auch bei guter wirtschaftlicher Lage gebaut, zumal sich Planung und Bau oftmals über mehrere Jahre erstrecken. Damit weisen Bauinvestitionen tendenziell geringere zyklische Schwankungen auf als Ausrüstungsinvestitionen und wirken somit konjunkturabschwächend.¹³ Allerdings weist der Wirtschaftsbau eine hohe Konjunkturabhängigkeit auf, da eine schlechtere wirtschaftliche Entwicklung insbesondere die Nachfrage nach gewerblichen bzw. industriellen Bauten dämpft. Damit ist die Nachfrage nach Bauleistungen in der Regel höher, je besser die wirtschaftliche Lage ist. Im Corona-Jahr 2020 hatten die deutschen Bauinvestitionen einen Anteil von rund 50 Prozent an den gesamten Anlageinvestitionen¹⁴ und einen Anteil von rund elf Prozent am BIP. Damit waren sie eine wichtige Stütze der Konjunktur.

Die Nachfrage nach qualitativ hochwertigen, anspruchsvollen Bauten ist hingegen weniger von der konjunkturellen Lage direkt getrieben. Vielmehr spielt eine Vielzahl anderer Faktoren eine Rolle, wie Baustandards und regulatorische Anforderungen. Zudem haben z. B. Bodenpreise sowie die beabsichtigte Nutzungsart (Eigennutzung, gewerbliche Vermietung, private Vermietung) einen Einfluss darauf, in welchem Ausmaß hochwertig und ästhetisch anspruchsvoll gebaut wird.

Auswirkungen durch Corona

Die Corona-Pandemie hatte und hat erhebliche Auswirkungen auf die globale, deutsche und bayerische Wirtschaft. Die Auswirkungen reichen von temporären Produktions- und Arbeitsausfällen über zeitweise Störungen in Zulieferketten bis hin zu Werks- und Ladenschließungen. Zudem verzögern sich teilweise Planungs- und Genehmigungsprozesse. Dies hat in Deutschland zum zweitstärksten wirtschaftlichen Einbruch der Nachkriegszeit geführt.

Die zukünftigen volkswirtschaftlichen Entwicklungen sind aufgrund der außergewöhnlichen Situation von hoher Unsicherheit geprägt und hängen insbesondere von der Dauer der Corona-Krise und dem Ausmaß des Infektionsgeschehens ab. Wir gehen in unserer aktuellen volkswirtschaftlichen Prognose (Prognos Economic Outlook, Frühjahr 2021) davon aus, dass es ab dem zweiten Quartal 2021 zu einer Stabilisierung der pandemischen Lage und im weiteren Verlauf zu einer dauerhaften Rücknahme der Einschränkungen kommt. Die Krise bewirkt zwar vermutlich in vielen Unternehmen einen Digitalisierungsschub und einschneidende Veränderungen. Gesamtwirtschaftlich sind infolge der Krise derzeit aber keine tiefgreifenden Strukturbrüche absehbar, die über den ohnehin bestehenden Strukturwandel hinausgehen.¹⁵ Allerdings wird bei Flugreisen ein Hysteresis-Effekt angenommen, dass also die Fluggastzahlen dauerhaft unter dem alten Niveau bleiben.¹⁶

¹³ BBSR, 2020b

¹⁴ In der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) werden die (Brutto-)Anlageinvestitionen in Bau-, Ausrüstungs- und Sonstige Investitionen unterteilt. Zusammen mit Vorratsveränderungen ergeben die Anlageinvestitionen die gesamten (Brutto-)Investitionen.

¹⁵ Auch bei Inflation und Zinsen gehen wir von keinen einschneidenden Veränderungen in den kommenden Jahren aus.

¹⁶ Die Annahme eines dauerhaften Rückgangs beruht vor allem auf den Folgen der zunehmenden Digitalisierung sowie auf einem insgesamt gestiegenen Umwelt- und Klimabewusstsein. Beispielsweise geht der Chefökonom der International Air Transport Association (ITA) davon aus, dass Videokonferenzen Geschäftsreisen langfristig beeinträchtigen werden (Süddeutsche Zeitung, 2021).



02.2.1 Wirtschaftsleistung

Bisherige Entwicklungen und Status quo

Das deutsche BIP ist 2020 nach Berechnungen des Statistischen Bundesamts um rund 5,0 Prozent zurückgegangen. Damit ist Deutschland in eine tiefe Rezession geraten, die nur von der Finanz- und Wirtschaftskrise 2009 mit damals –5,7 Prozent übertroffen wurde. Verantwortlich für den Wachstumsrückgang sind vor allem sinkende private Konsumausgaben, die mit 6,0 Prozent so stark sanken wie noch nie. Zudem sind die Ausstattungsinvestitionen um 12,5 Prozent gefallen. Beim Außenhandel sind sowohl die Exporte (–9,9 Prozent) als auch die Importe (–8,6 Prozent) massiv eingebrochen. Die staatlichen Konsumausgaben wirkten stabilisierend (+3,4 Prozent). Die milliarden schweren Hilfsmaßnahmen im Zuge der Corona-Krise konnten den Einbruch des BIP also abfedern. In Bayern, das für fast ein Fünftel der deutschen Wirtschaftsleistung verantwortlich ist, kam es im Corona-Jahr 2020 mit –5,5 Prozent zu einem etwas stärkeren Rückgang des BIP als auf Bundesebene.¹⁷

Der konjunkturelle Einbruch zeigt sich in nahezu allen Wirtschaftsbereichen. Im verarbeitendem Gewerbe, das gut ein Fünftel der Gesamtwirtschaft ausmacht, ging die preisbereinigte Wirtschaftsleistung gegenüber 2019 um 10,4 Prozent zurück. In den Dienstleistungsbranchen ist insgesamt ebenfalls ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen. Gleichwohl gab es hier auch gegenläufige Entwicklungen, vor allem im Bereich Onlinehandel. Das Bauhauptgewerbe konnte sich als einer der wenigen Wirtschaftsbereiche gegen den Einbruch behaupten. Die preisbereinigte Bruttowertschöpfung stieg 2020 um rund 1,4 Prozent und die Bauinvestitionen um 1,5 Prozent gegenüber dem Vorjahr.

Künftige Entwicklungen

Im laufenden Jahr wird sich die Wirtschaft wieder etwas erholen und das reale BIP nach unserer aktuellen volkswirtschaftlichen Prognose um 3,5 Prozent gegenüber 2020 wachsen (Prognos Economic Outlook, Frühjahr 2021). Das Vorkrisen-Niveau des vierten Quartals 2019 dürfte in der ersten Jahreshälfte 2022 wieder erreicht werden. Für den Zeitraum zwischen 2019 und 2030 wird ein Wachstum der realen Wirtschaftsleistung von durchschnittlich 1,2 Prozent erwartet. Wachstumsbeiträge liefern vor allem der zuvor stark eingebrochene private Konsum sowie die Investitionstätigkeit. Die Wirtschaft im Freistaat Bayern wird 2021 voraussichtlich real um 4,0 Prozent und zwischen 2019 und 2030 um durchschnittlich 1,3 Prozent pro Jahr wachsen. Damit wird Bayern weiterhin stärker wachsen als die anderen Bundesländer, von denen nur Baden-Württemberg, Hessen und die Stadtstaaten noch mithalten können.

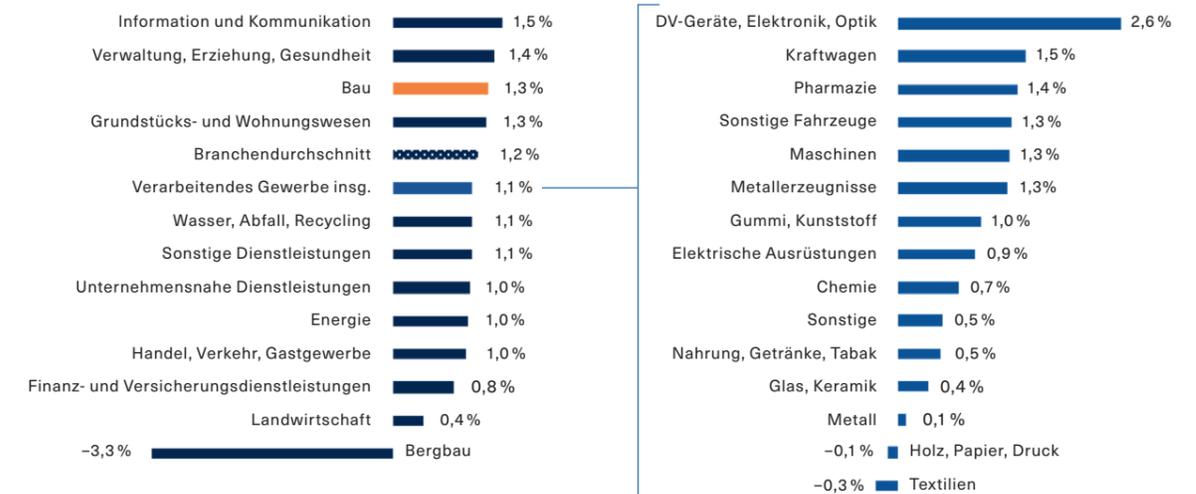
Trotz der positiven gesamtwirtschaftlichen Entwicklung führt in einigen wenigen Branchen ein Strukturwandel zu einem Rückgang der Bruttowertschöpfung, beispielsweise im Bergbau (–3,3 Prozent p. a. bis 2030). Das Baugewerbe, das im Wesentlichen das Bauhauptgewerbe und das Ausbaugewerbe umfasst, wird sich in den kommenden Jahren hingegen weiter positiv entwickeln und eine hohe Kapazitätsauslastung aufweisen. Die preisbereinigte Bruttowertschöpfung wird im deutschen Baugewerbe 2021 um 2,5 Prozent und zwischen 2019 und 2030 um durchschnittlich 1,3 Prozent pro Jahr wachsen – also mittelfristig etwa im Branchendurchschnitt (Abbildung 7). Für Bayern wird eine ähnliche Entwicklung prognostiziert. Hier wird ein Wachstum der preisbereinigten Bruttowertschöpfung im Baugewerbe von 2,7 Prozent im laufenden Jahr und durchschnittlich 1,5 Prozent pro Jahr zwischen 2019 und 2030 erwartet.

Die Auswirkungen der Transformation hin zur Klimaneutralität auf die Branchen ist nicht eindeutig. Sie hängen unter anderem von den angenommenen Umsetzungstechnologien und politischen Instrumenten sowie den weltweiten Klimaschutzambitionen ab. Aussagen hierzu können aber in energie- bzw. klimapolitischen Szenarien abgeleitet werden. Diese zeigen beispielsweise, dass diejenigen Betriebe der energieintensiven Grundstoffindustrien besonders herausgefordert sind, die auf vergleichsweise kostenintensive Produktionstechniken zurückgreifen müssen (die technisch derzeit teilweise noch nicht vollständig ausgereift sind), ein umfangreiches Investitionsvolumen bei gleichzeitig langen Investitionszyklen zu stemmen haben und im internationalen Wettbewerb stehen.¹⁸

17 Arbeitskreis „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder“, Berechnungsstand: August 2020/ Februar 2021.

18 Prognos et al., 2021a, 2021b; Prognos / vbw, 2020a

Abbildung 7
Reale Bruttowertschöpfung in ausgewählten Branchen in Deutschland, durchschnittliche jährliche Veränderung zwischen 2019 und 2030



Quelle: Prognos VIEW, eigene Darstellung Prognos 2021

Die Entwicklung der Bruttowertschöpfung im Baugewerbe ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen, die teils gegenläufig wirken:

- Ein wesentlicher Einflussfaktor ist der demografische Wandel, der die Baunachfrage insgesamt dämpft. Strukturelle Verschiebungen innerhalb der Bevölkerung und privaten Haushalte (mehr kleine Haushalte mit relativ mehr Fläche) sowie eine steigende Nachfrage nach altersgerechten (barrierereduzierten) Umbauten bestehender Gebäude (z. B. stufenlose Zugänge, bodenebene Duschen) wirken dem demografiebedingten Rückgang der Baunachfrage etwas entgegen, können den Effekt aber nicht vollständig kompensieren.
- Zudem ist bei gewerblichen Bauten aufgrund der erhöhten wirtschaftlichen Unsicherheit vorerst eine gedämpfte Entwicklung zu erwarten. Die öffentlichen Bauinvestitionen sollten infolge des Konjunkturpakets zwar temporär zunehmen, die künftige Konsolidierung der öffentlichen Haushalte dürfte die öffentliche Auftragsvergabe aber mittel- und langfristig bremsen.
- Der Wohnungsbau sollte sich weiter positiv entwickeln, da Wohnimmobilien infolge des anhaltenden Niedrigzinsumfelds weiterhin eine attraktive Anlageform bleiben (Kasten 3).
- Die politischen Klimaschutzziele erfordern beispielsweise die energetische Sanierung von Gebäuden, den Umbau von Produktionsanlagen sowie den Ausbau von erneuerbaren Energien, Stromnetzen (sowohl auf den Übertragungs- als auch auf den Verteilnetzebenen) und Ladesäulen. Sie wirken somit positiv auf die Bautätigkeit.
- Der Klimawandel bedingt vermehrt technische und bauliche Anpassungen und Vorkehrungen, um Folgen des Klimawandels abzumildern (z. B. Regenrückhaltebecken, Küstenschutz, Dachbegrünungen, Verschattungselemente). Damit wirkt der Klimawandel in den kommenden Jahren positiv auf die ausgeübte Nachfrage nach solchen Bauleistungen.
- Die Digitalisierung bedingt sowohl bauliche Änderungen an bestehenden Gebäuden und Infrastrukturen als auch den Auf- und Ausbau neuer Infrastrukturen (z. B. 5G-Antennen, Glasfaser, Breitbandausbau für Schulen, intelligente Verkehrsleitsysteme). Dies dürfte ebenfalls positive Nachfragewirkungen im Baugewerbe entfalten, aber hinter der Wirkung der anderen Faktoren zurückbleiben.

Allerdings schränkt der demografische Wandel das Angebot an Fachkräften im Bau und Handwerk zunehmend ein (Kapitel 02.2.2). Zudem bleiben unzureichende Planungs- und Verwaltungskapazitäten sowie langwierige Planungs- und Genehmigungsverfahren als Engpassfaktoren erhalten. Insgesamt dürfte es in der Bauwirtschaft noch Produktivitätsreserven geben, die erschlossen werden

können. So ist die Wachstumsrate der Arbeitsproduktivität im deutschen Baugewerbe zwischen 1998 und 2015 im Vergleich zur Gesamtwirtschaft eher unterdurchschnittlich. Gleichwohl war sie noch leicht positiv und damit höher als in Ländern wie Frankreich, Spanien, Italien und Schweden, die eine negative Entwicklung der Arbeitsproduktivität verzeichneten.¹⁹

Kasten 3

Auswirkungen des Niedrigzinsumfelds auf den Immobilienmarkt

Die seit bald einer Dekade anhaltende (ultra-)expansive Geldpolitik der Zentralbanken hat ein historisch nie da gewesenes Niedrigzinsumfeld geschaffen. Im Zuge der Corona-Krise hat die Europäische Zentralbank (EZB) beschlossen, die Zinsen weiter auf einem Rekordtief zu halten und ein zusätzliches Ankaufprogramm für Anleihen (Pandemic Emergency Purchase Programme, PEPP) im Gesamtumfang von zuletzt insgesamt 1.850 Mrd. Euro aufzulegen, das mindestens bis März 2022 laufen soll.

Für den Immobilienmarkt stehen vor allem zwei Auswirkungen des Niedrigzinsumfelds im Vordergrund:

– Attraktive Finanzierungsbedingungen

Immobilienkredite können zu sehr günstigen Konditionen aufgenommen werden, der Immobilienerwerb gewinnt damit an Attraktivität

– Vermögenspreisinflation

Infolge der günstigen Finanzierungsbedingungen und der niedrigen Renditen risikoarmer Anlagen (z. B. Bundesanleihen) gewinnen Investitionen in risikoreichere Vermögenswerte wie Aktien, aber auch Immobilien an Attraktivität. Als Folge steigen die Preise dieser Vermögenswerte.

Es ist anzunehmen, dass der breit angelegte Anstieg der Immobilienpreise in Deutschland die möglichen Ersparnisse durch günstigere Kreditkonditionen oftmals deutlich überkompensiert, zumal Immobilienkredite in der Regel nur einen Teil des Kaufpreises decken. In den deutschen Städten haben sich die Preise für Wohnimmobilien zwischen 2010 und 2020 fast verdoppelt. Mit etwas zeitlicher Verzögerung zogen auch die Preise in den ländlichen Kreisen deutlich an. Der Preisanstieg war größtenteils Ausdruck der Entwicklung von Wohnraumangebot und -nachfrage (und

regte zusätzliche Wohnbautätigkeit an, wodurch sich auch Bauleistungen kräftig verteuerten). In städtischen Gebieten liegen die Preise zwar zwischen 15 Prozent und 30 Prozent über dem Wert, der durch demografische und wirtschaftliche Fundamentalfaktoren gerechtfertigt erscheint. Es gibt aber kaum Hinweise darauf, dass diese Überbewertungen maßgeblich auf spekulativen Nachfragemotiven beruhen, die infolge selbstverstärkender Preisabweichungen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht destabilisierend wirken könnten.²⁰

Auswirkungen durch Corona

Während der Corona-Krise im Jahr 2020 hat sich der Preisauftrieb bei Wohnimmobilien in Deutschland weiter fortgesetzt – auch und gerade in Regionen außerhalb der Städte. Die gegenüber 2019 wieder gestiegene Preisdynamik dürfte im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückzuführen sein. Zum einen könnte sich der Stellenwert von Wohneigentum durch die gesundheitspolitischen Einschränkungen zur Eindämmung der Pandemie erhöht haben. Zum anderen bilden Wohnimmobilien im Niedrigzinsumfeld weiterhin eine attraktive Anlageform, zumal sich die Finanzierungsbedingungen nochmals etwas verbessert haben.²¹ Zudem dürften Investitionen in Gewerbeimmobilien (z. B. Gastronomie-, Handels-, Bürogebäude) gegenüber Wohnimmobilien infolge der Krise, der zunehmenden Verlagerung vom stationären Handel in den Onlinehandel und der vermutlich weiter zunehmenden Nutzung von Homeoffice risikoreicher erscheinen und damit an Attraktivität verloren haben.



¹⁹ BBSR, 2019a

²⁰ Bundesbank, 2021a, 2021b, 2020

²¹ Bundesbank, 2021a

02.2.2 Arbeitsmarkt

Bisherige Entwicklungen und Status quo

Der Arbeitsmarkt hat 2020 seinen stetigen Aufwärtstrend nach über 14 Jahren beendet. Die Zahl der Erwerbstätigen ist nach Berechnungen des Statistischen Bundesamts gegenüber 2019 um 477.000 Personen bzw. 1,1 Prozent auf 44,8 Mio. gesunken. Der Rückgang ist vor allem auf eine Abnahme der geringfügig Beschäftigten sowie Selbstständigen zurückzuführen. Die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten blieb weitgehend stabil. Das Baugewerbe, in dem rund sechs Prozent der Erwerbstätigen in Deutschland tätig sind, konnte nicht nur als nahezu einziger Wirtschaftsbereich eine Zunahme der Wirtschaftsleistung, sondern auch der Erwerbstätigen im Jahr 2020 verzeichnen (0,5 %). In anderen bau- und immobilienrelevanten Wirtschaftsbereichen wie dem Grundstücks- und Wohnungswesen (-0,1 Prozent) sowie Verkehr und Lagerei (-1,5 Prozent) nahm die Erwerbstätigenzahl hingegen ab.

In Bayern nahm die Zahl der Erwerbstätigen seit 2004 stetig zu. Im Corona-Jahr 2020 ist die Zahl der Erwerbstätigen um knapp 81.000 Personen bzw. 1,0 Prozent auf 7,6 Mio. gesunken. Dabei war 2020 auch in Bayern eine Zunahme der Erwerbstätigen im Baugewerbe zu verzeichnen (+1,1 Prozent).²²

Künftige Entwicklungen

Die Entwicklungen am Arbeitsmarkt werden in den kommenden Jahren in zunehmendem Maße vom demografischen Wandel geprägt (Kapitel 02.1). Die Zahl der Erwerbspersonen, die dem Arbeitsmarkt grundsätzlich zur Verfügung stehen (Erwerbstätige und Erwerbslose) geht nach unserer aktuellen volkswirtschaftlichen Prognose zwischen 2020 und 2030 um 1,7 Mio. auf 45,1 Mio. Personen zurück (-0,4 Prozent pro Jahr) (Prognos Economic Outlook, Frühjahr 2021).²³ Das sinkende Arbeitskräfteangebot wird teilweise durch eine höhere Erwerbsbeteiligung von Frauen und älteren Menschen sowie eine geringere Arbeitslosigkeit kompensiert, sodass die Erwerbstätigenzahl in der kommenden Dekade „nur“ um 1,1 Mio. auf rund 43,8 Mio. Menschen sinkt (-0,2 Prozent pro Jahr). Der Rückgang entfällt zu fast einem Drittel auf Nordrhein-Westfalen und zu etwa zwölf Prozent auf Niedersachsen. In Bayern geht die Erwerbstätigenzahl bis 2030 lediglich um rund 42.000 auf 7,7 Mio. Personen zurück.

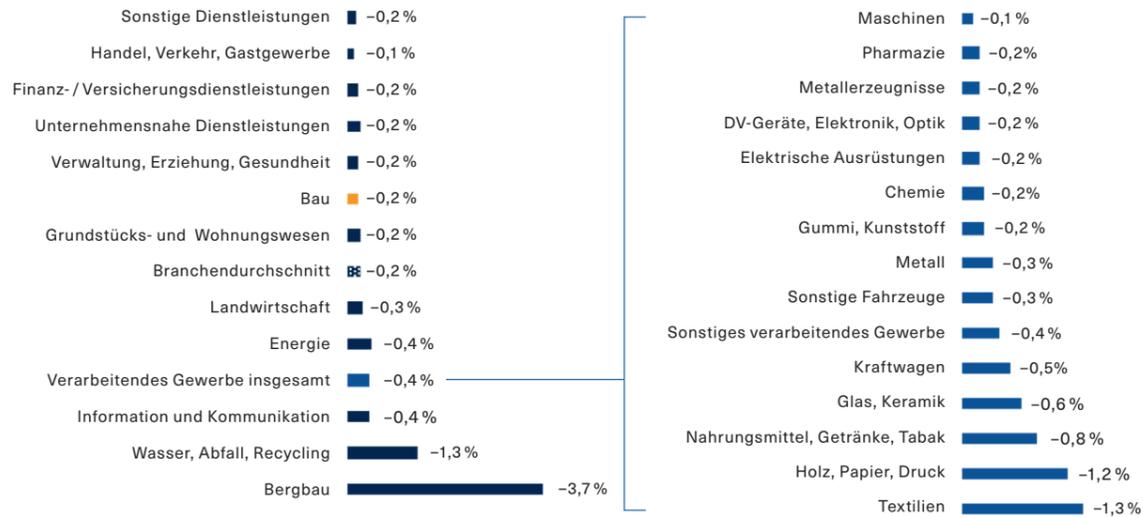
Der demografisch bedingte Rückgang des Arbeitskräfteangebots spiegelt sich in sinkenden Erwerbstätigenzahlen in nahezu allen Branchen wider (Abbildung 8). Im Bergbau bedingt der Strukturwandel ohnehin einen wirtschaftlichen Einbruch und relativ starken Abbau der Beschäftigten; absolut betrachtet ist der Beschäftigtenrückgang jedoch gering (-14.000 Personen bis 2030).

Im Baugewerbe wird die Erwerbstätigenzahl zwischen 2020 und 2030 um rund 0,2 Prozent p. a. zurückgehen. Der Rückgang entspricht ungefähr dem Branchendurchschnitt und ist vor allem demografiebedingt. Damit werden im deutschen Baugewerbe auch 2030 weiterhin rund sechs Prozent der Erwerbstätigen beschäftigt sein. In Bayern wächst die Bauwirtschaft etwas stärker als im Bundesdurchschnitt und die Zahl der dort Erwerbstätigen wird bis 2030 annähernd konstant bleiben.

²² Arbeitskreis „Erwerbstätigenrechnungen des Bundes und der Länder“, Berechnungsstand: Februar 2021.

²³ Die Erwerbspersonenvorausberechnung 2020 des Statistischen Bundesamts weist je nach Annahme zum Wanderungssaldo und zur Erwerbsquote einen Rückgang von 0,4 bis 3,6 Mio. Erwerbspersonen bis 2030 aus. Die oben ausgewiesen -1,7 Mio. liegen ungefähr in der Mitte dieser Bandbreite.

Abbildung 8
Erwerbstätige in ausgewählten Branchen in Deutschland, durchschnittliche Veränderung zwischen 2020 und 2030 pro Jahr



Quelle: Prognos VIEW, eigene Darstellung Prognos 2021

Fachkräfteengpässe

Ein Fachkräfteengpass beschreibt eine Situation, in der die Nachfrage nach bestimmten Qualifikationen das Angebot übersteigt. In Deutschland sinkt zwar die gesamtwirtschaftliche Nachfrage nach Arbeitskräften, der Fachkräfteengpass wird sich in einigen Branchen in Zukunft aber dennoch verschärfen. Das betrifft unter anderem Branchen, in denen menschliche Arbeit derzeit nur in einem beschränkten Ausmaß sinnvoll automatisiert werden kann, sowie Branchen, deren Leistungen künftig vermehrt nachgefragt werden, beispielsweise infolge der Digitalisierung, des demografischen Wandels und der ökologischen Transformation. Entwickelt sich in solchen Branchen das Angebot an Fachkräften weniger dynamisch als die Nachfrage, verschärfen sich die potenziellen Fachkräfteengpässe.

Aufgrund der weiterhin steigenden Zahl an Hochschulabsolventen und sinkenden Ausbildungszahlen ist insbesondere im Bereich der Absolventen beruflicher Bildung und Ausbildungsgänge mit größeren Engpässen zu rechnen. Hiervon betroffen ist unter anderem auch die Baubranche (inkl. Handwerk), die ohnehin bereits heute eine hohe Kapazitätsauslastung aufweist und oftmals Schwierigkeiten hat, qualifiziertes Personal zu finden. Nach unseren Szenario-rechnungen aus 2019 (also vor der Corona-Krise) wird sich die potenzielle Arbeitskräftelücke im Baugewerbe in

Deutschland bis 2030 auf rund 210.000 belaufen (Abbildung 9).²⁴ Die Arbeitskräftelücke im Baugewerbe 2030 entspricht fast neun Prozent der Erwerbstätigen im Baugewerbe 2030 in Deutschland. Sie ist damit etwas kleiner als im produzierenden Gewerbe, wo sie sich auf knapp 13 Prozent der dort Erwerbstätigen beläuft (im Dienstleistungssektor sind es rund 8 %). Die berechnete Arbeitskräftelücke wird als potenziell bezeichnet, da sie eine Situation darstellt, in der keine (politischen) Maßnahmen zu ihrer Vermeidung ergriffen werden (z.B. Erhöhung der Erwerbsbeteiligung und Arbeitszeit, Um- und Weiterbildung, Gestaltung der Zuwanderung).

Obwohl sie die Corona-Krise noch nicht berücksichtigen, dürften unsere Szenario-rechnungen zur Arbeitskräftelücke weiterhin geeignet sein, um für die mittlere und lange Frist Orientierung zu geben, denn zum einen waren die Auswirkungen der Krise auf das Baugewerbe bisher vergleichsweise gering. Zum anderen gehen wir davon aus, dass die direkten Auswirkungen der Corona-Krise auf den Arbeitsmarkt nur temporär sind. Einen Hinweis darauf kann beispielsweise die Entwicklung der Anzahl offener Stellen geben, die von 1,4 Mio. in Q4 2019 auf 0,9 Mio. in Q2 2020 gesunken und infolge der einsetzenden wirtschaftlichen Erholung bis Q4 2020 wieder auf 1,2 Mio. gestiegen ist.²⁵

24 Prognos / vbw, 2019a
 25 IAB, 2021 (Zahlen ab 2019 vorläufig)

Im Baugewerbe werden, neben Fachkräften in typischen Bauberufen, insbesondere auch Fachkräfte in (technischen) Berufen fehlen, die auch in anderen Branchen gebraucht werden (z. B. im Maschinenbau, in der Informations- und Kommunikationsbranche). In unseren Szenario-rechnungen ist die Arbeitskräftelücke in der Bauwirtschaft vor allem auf folgende Berufe zurückzuführen:

- Gebäude- u. versorgungstechnische Berufe
- Bauplanung, Architektur und Vermessungsberufe
- (Innen-)Ausbauberufe
- Unternehmensführungs- und -organisationsberufe
- Mechatronik-, Energie- u. Elektroberufe
- Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe
- Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionssteuerungsberufe

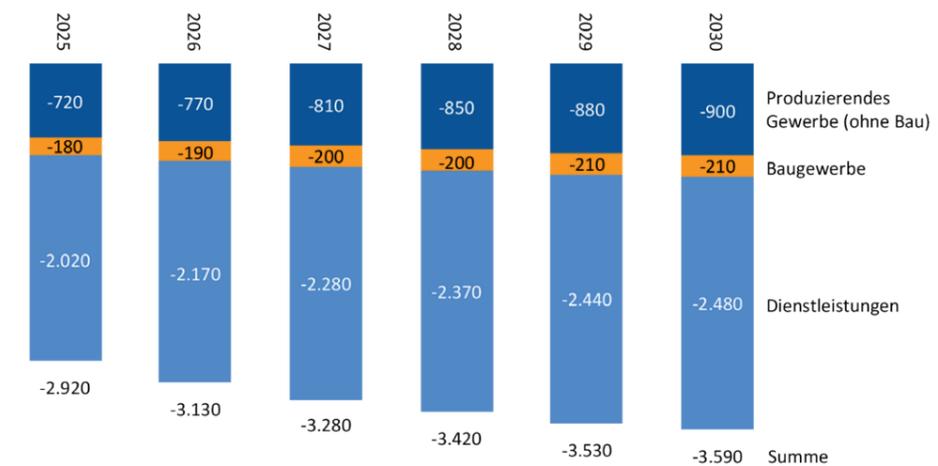
Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit der Bauwirtschaft

Ein Engpass in diesen Berufen dürfte sich entscheidend auf die Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit der Bauwirtschaft auswirken. Eine im Rahmen der vorliegenden Studie erhobene Umfrage zeigt, dass vor allem Unternehmen der Baubranche aufgrund eines Mangels an Fachkräften an ihrem derzeitigen Unternehmensstandort in Bayern kaum noch wachsen können (Kapitel 07.2.2). Gleichwohl können der Einsatz neuer Technologien, wie Digitalisierung und Automatisierung (Kapitel 6), sowie zukünftige Veränderungen bei der Berufswahl und Erwerbsbeteiligung dem Engpass entgegenwirken.²⁶

Neue Ansprüche

Zudem werden Fachkräfte im Bau- und Ausbaugewerbe künftig mit neuen Ansprüchen konfrontiert sein, die sich unter anderem aus der zunehmenden Digitalisierung im Bauwesen (Kapitel 6) und Ausstattung von Gebäuden mit Haus- und Versorgungstechnik ergeben. Diese Veränderungen gilt es bei der Ausgestaltung der Ausbildung zu berücksichtigen, um eine hohe Qualität und damit die Effektivität der Maßnahmen sicherzustellen.

Abbildung 9
Potenzielle Arbeitskräftelücke nach Sektoren, in tausend Personen



Quelle: Prognos / vbw, 2019a, eigene Darstellung Prognos 2021

26 siehe hierzu bspw. Prognos / vbw, 2019a

Kasten 4

Weltweite wirtschaftliche Entwicklungen

Die Weltbevölkerung wird immer wohlhabender – zumindest gemessen am BIP. Nach unserer aktuellen volkswirtschaftlichen Prognose (Prognos Economic Outlook, Frühjahr 2021) wird die globale Wirtschaftsleistung in den wichtigsten Industrie- und Schwellenländern zwischen 2020 und 2040 um knapp zwei Drittel zunehmen, wobei der größte Wachstumsbeitrag aus China kommt. Die Wirtschaftsleistung je Einwohner steigt bis 2040 in den Schwellen- und Entwicklungsländern schneller als in den Industrieländern. Gleichwohl bleibt der Abstand zwischen den beiden Ländergruppen weiterhin groß.

Zudem hat die Weltbevölkerung auch Aussicht auf ein zunehmend besseres Leben, was sich unter anderem in der Wohnungsnachfrage niederschlagen dürfte. Verbesserungen der Lebensumstände zeigen sich in den letzten Jahrzehnten beispielsweise in den folgenden Bereichen:²⁷

- Lebenserwartung (insgesamt steigend)
- Menschen in Armut (insgesamt und prozentual sinkend)
- Kindersterblichkeit (sinkend)
- Zugang zu Trinkwasser, Elektrizität und sanitären Anlagen (stetig steigend)
- Schulische Basisbildung und Alphabetisierung (steigend).

Ein hohes BIP pro Kopf ist im Allgemeinen mit leistungsfähiger Wirtschaft und einem entsprechenden höheren Konsum der Bevölkerung (z. B. Wohnraum, Fahrzeuge) verbunden. Daher besteht historisch betrachtet ein enger positiver Zusammenhang zwischen dem Wohlstand eines Landes und Umweltverbrauch bzw. -belastungen. Beispielsweise geht ein höheres BIP pro Kopf tendenziell mit höheren Treibhausgasemissionen und einem höheren Flächenverbrauch pro Kopf einher. Zumindest in den Industrienationen zeigt sich jedoch in vielen Bereichen eine sukzessive Entkopplung von Wohlstand und Umweltbelastung, etwa bei den Treibhausgasemissionen.²⁸

02.2.3 Exkurs zum Bausektor

02.2.3.1 Aktuelle Lage in der Bauwirtschaft

Die Auswirkungen der Corona-Krise auf die Baukonjunktur waren im letzten Jahr noch vergleichsweise gering, die Effekte können aber zeitlich versetzt auftreten. So konnte sich das Bauhauptgewerbe als einer der wenigen Wirtschaftsbereiche gegen den Einbruch 2020 behaupten. Im Dezember 2020 erreichte der Umsatz mit rund 11,1 Mrd. Euro erstmals den zweistelligen Milliardenbereich innerhalb eines Monats. Im Gesamtjahr 2020 ist der Umsatz um 6,6 Prozent auf 99,4 Mrd. Euro gestiegen. Damit erhöhte sich der Umsatz im Bauhauptgewerbe im zehnten Jahr in Folge und erreichte erneut einen neuen Höchststand (Abbildung 10).²⁹ Die hohen Umsatzzuwächse haben 2019 auch die Gewinne der Unternehmen steigen lassen. Die Umsatzrenditen (Profitabilität) von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) sind im Baugewerbe seit 2005 (damals 4,6 Prozent) fast stetig gestiegen und haben 2019 mit 9,6 Prozent einen neuen Höchststand erreicht.³⁰ Die Kapazitätsauslastung erreichte im Februar 2020 mit 85 Prozent ein historisch hohes Niveau und betrug Ende 2020 weiterhin fast 80 Prozent.³¹ Bis 2030 wird die Bruttowertschöpfung im Baugewerbe etwa im Branchendurchschnitt wachsen (Kapitel 02.2.1).

²⁷ Rosling, 2018 sowie Our World in Data

²⁸ Für den Zusammenhang zwischen Emissionen und BIP siehe Prognos / vbw (2020).

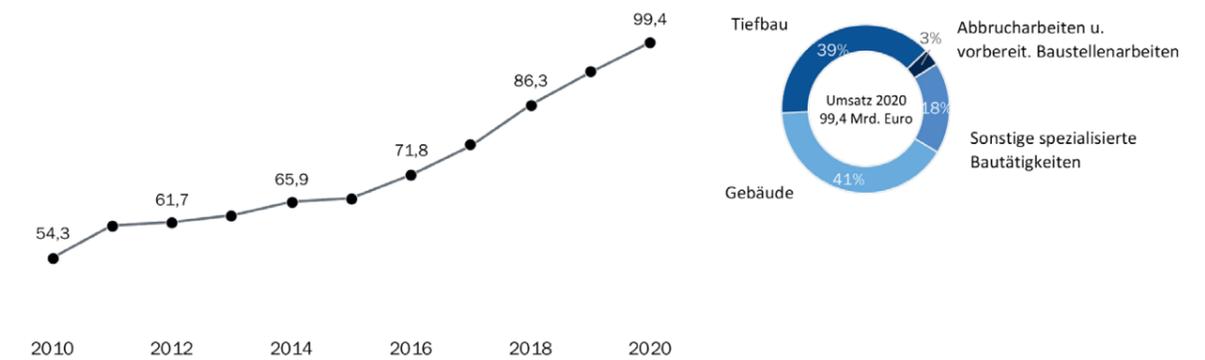
²⁹ Ergebnisse für Betriebe von Unternehmen mit 20 und mehr tätigen Personen. Daten zu allen Bauunternehmen, bei denen eine tätige Person und mehr beschäftigt waren, liegen nur bis 2019 und nur für wenige Indikatoren vor.

³⁰ KfW-Mittelstandspanel 2020 (KfW, 2020)

³¹ ifo Institut, 2020

Abbildung 10

Umsatz im Bauhauptgewerbe in Deutschland, Mrd. Euro



Ergebnisse für Betriebe von Unternehmen mit 20 und mehr tätigen Personen.

Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Darstellung Prognos 2021

Auftragseingänge

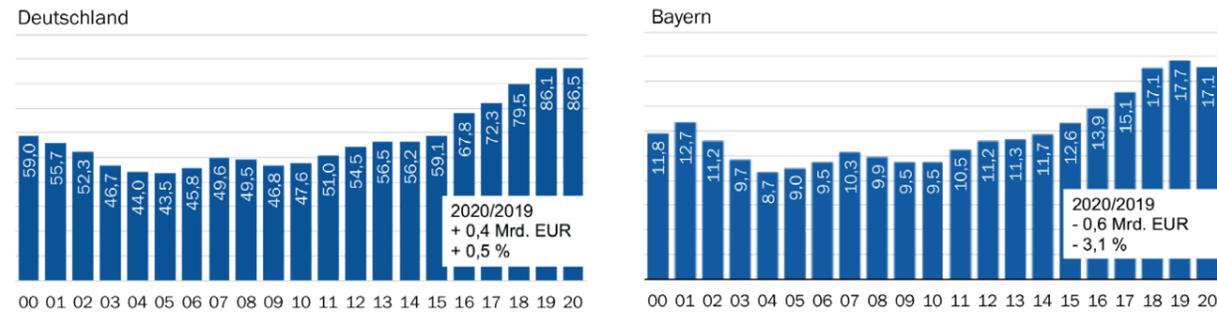
Das sehr hohe Volumen der Auftragseingänge im Bauhauptgewerbe von 2019 konnte 2020 nominal nochmals leicht gesteigert werden (+0,5 Prozent). Preisbereinigt nahm es aber um 2,6 Prozent auf 86,5 Mrd. Euro ab (Abbildung 11). Dabei zeigt der Auftragseingang in den einzelnen Sparten im Bauwesen unterschiedliche Tendenzen auf: Im Wohnungsbau ist eine Zunahme um 7,6 Prozent zu verzeichnen, im gewerblichen Bau wurde das Vorjahresergebnis mit einem Rückgang um 4,8 Prozent nicht erreicht.

Baugenehmigungen

In Bayern sind ähnliche Entwicklungen wie auf Bundesebene zu verzeichnen. Im Zeitraum von Januar bis Oktober 2020 stiegen die Baugenehmigungen um insgesamt 10,6 Prozent. Im öffentlichen Bau konnte ein Plus von 51,9 Prozent, im Wirtschaftsbau von 10,6 Prozent und im Wohnungsbau ein Zuwachs von 1,1 Prozent verzeichnet werden.³²

³² Schmid, 2021

Abbildung 11
Auftragseingänge in Mrd. Euro



Bauunternehmen mit 20 und mehr Beschäftigten

Quelle: Landesamt für Statistik, eigene Darstellung Prof. Dr.-Ing. Frank Petzold

Wirtschaftlicher Stabilitätsanker

Damit bleibt die Baubranche auch in Krisenzeiten ein wirtschaftlicher Stabilitätsanker, aber das Jahr 2021 ist auch für die Bauwirtschaft mit großen Unsicherheiten verbunden – Ausschreibungen bei öffentlichen Bauten sind zurückgegangen und Unsicherheit besteht auch wegen der notwendigen Corona-Investitionen von Bund, Ländern und Kommunen. Dies zeichnete sich im letzten Jahr bis Oktober bereits durch den Rückgang der Neuaufträge in Bayern um vier Prozent ab. Im Wohnungsbau ist noch ein Plus von drei Prozent zu verzeichnen. Rückläufig sind aber der öffentliche Bau (-6,2 Prozent), davon am stärksten betroffen ist der Straßenbau mit -13,9 Prozent. Die Geschäftserwartungen werden im bayerischen Bauhauptgewerbe pessimistischer beurteilt: 34 Prozent der Unternehmen erwarteten im Dezember 2020 eine Verschlechterung der Lage im Vergleich zu Ende 2019.³³

02.2.3.2 Volkswirtschaftliche Bedeutung des Bausektors

Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Bausektors wird je nach Abgrenzungskonzept unterschiedlich bewertet. In der amtlichen Statistik umfasst die Bauwirtschaft (Baugewerbe) in der Regel die Bereiche Bauhauptgewerbe sowie Ausbaugewerbe. Das Bauhauptgewerbe umfasst vor allem den Bau von Gebäuden und Infrastrukturen (z. B. Straßen und Bahnverkehrsstrecken, Leitungstiefbau und Kläranlagenbau) sowie Abbrucharbeiten und vorbereitende Baustellenarbeiten. Das Ausbaugewerbe befasst sich vor allem mit Bauinstallationen (z. B. Elektrik, Heizung und Lüftung, Sanitärarbeiten, Fensterbau, Bodenbelagsarbeiten, Malerarbeiten). Zusammen umfasst die so definierte Bauwirtschaft rund 1,8 Mio. sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in rund 383.000 Betrieben, die 2019 einen Umsatz von etwa 290 Mrd. Euro erwirtschafteten (Tabelle 2).

Tabelle 2
Volkswirtschaftliche Bedeutung der Bauwirtschaft 2019

	Unternehmen Tsd.	Umsatz Mrd. Euro	SV-Beschäftigte Tsd.	Erwerbstätige insg., Tsd.
D Bauhauptgewerbe	98	133	784	-
D Ausbaugewerbe	284	157	1.012	-
D Summe Bauwirtschaft	383	290	1.796	2.540
D Summe Deutschland	3.559	7.153	31.095	45.269
D Anteil Bauwirtschaft	11 %	4 %	6 %	6 %
BY Summe Baugewerbe	66	(40)*	317	446
BY Summe Bayern	630	-	5.411	7.758
BY Anteil Bauwirtschaft	11 %	-	6 %	6 %

Unternehmen (rechtliche Einheiten gem. EU-Einheitenverordnung), sozialversicherungspflichtig (SV-)Beschäftigte (Jahresdurchschnitt), Umsatz gem. Unternehmensregister und Erwerbstätige gemäß Prognos Basisprognose.

*Wert eingeschränkt vergleichbar aufgrund abweichender statistischer Grundlagen (Ergänzungserhebung im Bauhauptgewerbe, Erhebung im Ausbaugewerbe) und keiner Erfassung von Betrieben des Ausbaugewerbes mit weniger als zehn tätigen Personen.

Quelle: Statistisches Bundesamt, Bayerisches Landesamt für Statistik, eigene Darstellung und Berechnung Prognos 2021

Damit ist die Bauwirtschaft insgesamt ein bedeutsamer Wirtschaftszweig der deutschen Volkswirtschaft.

Auch in Bayern ist die Bauwirtschaft ein bedeutsamer Wirtschaftszweig. Das bayerische Baugewerbe umfasst rund 317.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in rund 66.000 Betrieben, die 2019 einen Umsatz von über 40 Mrd. Euro erwirtschafteten (hinzu kommt noch der Umsatz der vielen kleineren Betrieben des Ausbaugewerbes mit weniger als zehn tätigen Personen, die statistisch nicht erfasst sind).

Planen und Bauen ist ein stark arbeitsteiliger Prozess mit vielen Beteiligten: planende Berufe, Bauhauptgewerbe, Ausbaugewerbe, Zulieferer und Auftraggeber sowie Betreiber. Eine Besonderheit der deutschen Bauwirtschaft ist die starke Fragmentierung und die große Anzahl von kleineren und mittelständischen Unternehmen, sowohl in den planenden Berufen als auch bei den Bauunternehmen und den Zulieferern. Im Bereich Architektur und Stadtplanung haben die Unternehmen meist nur bis zu fünf Mitarbeiter. Im Bauhauptgewerbe sind rund 99 Prozent der Unternehmen kleine und mittlere Unternehmen – sehr oft Familienbetriebe:

- 77,5 Prozent haben 1–19 Beschäftigte
- 14,7 Prozent haben 20–49 Beschäftigte
- 6,9 Prozent haben 50–199 Beschäftigte
- 0,9 Prozent haben 200 und mehr Beschäftigte

Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Bausektors geht aber noch deutlich über die oben definierte Bauwirtschaft hinaus, da sie mit einer Vielzahl von vor- und nachgelegten Bereichen und Branchen eng verknüpft ist. Hierzu zählen beispielsweise Dienstleistungen aus den Bereichen Logistik, Finanzen, Grundstücks- und Wohnungswesen, bestimmte freie bzw. planende Dienstleistungen (z. B. Architekten, Statiker) sowie industrielle Vorleistungen und rohstoffnahe Branchen. Je nach Berechnungs- und Abgrenzungskonzept wird die gesamtwirtschaftliche Bedeutung des Wirtschaftsfaktors „Bauen“ unterschiedlich bewertet. Schätzungen für das Jahr 2004 zufolge erwirtschaftete die Wertschöpfungskette Bau jeden zehnten Euro Wertschöpfung in Deutschland und war für rund 12 Prozent der Gesamtbeschäftigung verantwortlich.³⁴

Der Bausektor ist nicht nur ein bedeutsamer Wirtschaftszweig der deutschen Volkswirtschaft und einer der größten Arbeitgeber. Er trägt auch in einem bedeutenden Ausmaß zum Verbrauch von Ressourcen und Energie bei. Das Bauwesen prägt, gestaltet und verändert unsere gebaute Umwelt. Was heute geplant und gebaut wird, ist für die nächsten Jahrzehnte gebaute Realität. Daraus resultiert eine beachtliche Verantwortung für die Zukunftsthemen unserer Gesellschaft. Zum einen ist der Bausektor von großen wirtschaftspolitischen und gesellschaftlichen Herausforderungen und Veränderungen direkt betroffen, beispielsweise

vom Klimawandel und Klimaschutz, Digitalisierung und demografischem Wandel. Zugleich kann er aber auch einen Beitrag zur Bewältigung der Herausforderungen und damit zur künftigen gesamtwirtschaftlichen Entwicklung leisten. Beispielsweise kann bzw. muss die Bauwirtschaft einen Beitrag zum Klimaschutz (Kapitel 03.1) und zur Kreislaufwirtschaft (Kapitel 04), zur Abfederung der Klimawandelfolgen (Kapitel 03.2) sowie zum Aus- bzw. Aufbau digitaler Infrastrukturen (Kapitel 07.2.1) und altersgerechtem Wohnen und Leben leisten.

02.2.3.3 Leitanbieter und Produkte der Bauwirtschaft Bayerns

In Bayern sind rund 66.000 Unternehmen im Baugewerbe tätig (Tabelle 2). Ergänzt wird die Anbieterstruktur von Unternehmen in vor- und nachgelagerten Branchen, die Bauleistungen mit ihren Produkten und Dienstleistungen ergänzen und unterstützen. Eine systematische Analyse und Eingrenzung von Schlüsselunternehmen der bayerischen Bauwirtschaft im weiteren Sinne lässt spezifische Produkte und (Teil-)Märkte erkennen, in denen der Freistaat eine führende Rolle einnimmt und national wie auch international wahrgenommen wird. Gerade Unternehmen in vor- und nachgelagerten Bereichen zur Bauwirtschaft besetzen mit ihren Produkten innovative Teilmärkte und weisen eine hohe Zukunftsorientierung auf.

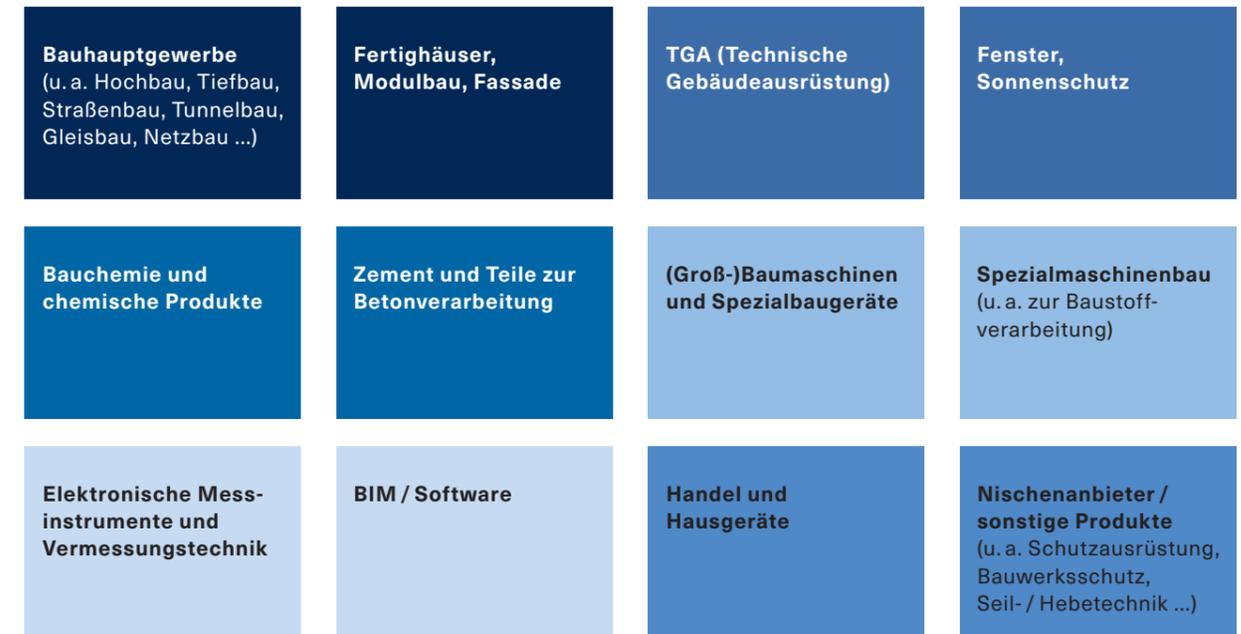
Zur Identifizierung und Eingrenzung der Leitanbieter und Exportprodukte der bayerischen Bauwirtschaft wurden verschiedene Quellen systematisch ausgewertet, darunter die Verzeichnisse der Münchner (Leit-)Messen für die Bauwirtschaft und für Baumaschinen (Bau 2021, Bauma 2019), die Mitgliederlisten des Bayerischen Bauindustrieverbandes und des Vereins Deutscher Zementwerke, die Unternehmensliste der Bayerischen Industrie- und Handelskammer (BIHK) sowie die Liste der 500 Weltmarktführer³⁵ in Deutschland. Um in die Liste der deutschen Weltmarktführer aufgenommen zu werden, muss ein Unternehmen

- in seinem Segment Marktführer sein (Nr. 1 oder 2 nach Umsatz und Marktanteilen weltweit, nicht in allen Geschäftsbereichen),
- einen Jahresumsatz von mindestens 50 Mio. Euro aufweisen, der zu mindestens 50 Prozent im Ausland und auf mindestens drei Kontinenten erzielt wurde, und
- der Unternehmenssitz muss (zumindest teilweise) in Deutschland liegen.

65 Leitunternehmen im Freistaat

Im Ergebnis konnten anhand der Identifizierung und Eingrenzung über die Weltmarktaktivität insgesamt 65 Leitunternehmen im Freistaat eingegrenzt werden, die durch ihre Größe, Unternehmensumsätze, innovativen Produkte und Dienstleistungen oder die Besetzung von Nischenmärkten durch spezielle Produkte (Hidden Champions aus dem Mittelstand) zur Profilierung der bayerischen Bauwirtschaft inklusive vor- und nachgelagerter Branchen beitragen. Abbildung 12 gibt einen Überblick über die Kompetenzbereiche und Profile der 65 identifizierten Unternehmen.

Abbildung 12
Profil und Produkte der bayerischen Bauwirtschaft



Quelle: Eigene Darstellung Prognos 2021

Die Kompetenzen der bayerischen Unternehmen der Bauwirtschaft liegen neben dem klassischen Bauhauptgewerbe mit einzelnen großen und spezialisierten Anbietern in den Bereichen Hoch- und Tiefbau sowie Infrastrukturbau (u. a. MaxBögl, PORR Deutschland), unter anderem auch im Bereich Fertighäuser, Modulbau und Fassadenelemente (u. a. Bau-Fritz, Lindner). Hinzu kommen spezifische Kompetenzen in der Bauchemie und bei chemischen Produkten wie beispielsweise Gipse, Kleber oder Silikone (u. a. Knauf, PCI, Wacker Chemie).

Neben der Zementherstellung stellt die Ausrüstung zur Betonverarbeitung ein wichtiges Exportprodukt der bayerischen Bauwirtschaft dar (u. a. PERI mit Schalungen zur Betonverarbeitung, Mooser mit Betonverdichtungsgeräten). Weitere zentrale Kompetenzen mit internationaler Bedeutung und hohen Potenzialen für bayerische Unternehmen liegen im Bereich Baumaschinen- und Spezialmaschinenbau wie beispielsweise Tunnelbau- oder Hochbauspezialmaschinen (u. a. Bauer, Wacker Neuson) sowie im Bereich elektronische Mess- und Vermessungstechnik mit Präzisionsmessinstrumenten und zugehöriger Verarbeitungssoftware und der Druck- und Temperaturmesstechnik (u. a. Wika, GMC-I-Instruments).

Der nationale, europäische sowie teilweise internationale Handel mit Baustoffen und Bauteilen (u. a. BayWa, Gienger) sowie die Produktion und der Vertrieb von Hausgeräten und technischer Gebäudeausrüstung (u. a. BSH Hausgeräte, Richter + Frenzel) ergänzen das umfassende Profil der Bauwirtschaft im Freistaat. Hinzu kommen bayerische Unternehmen mit Produkten für Sonnenschutz bzw. Fenstersysteme wie beispielsweise Rollläden, Raffstores, Textilscreens, Markisen und Jalousien mit den dazugehörigen Steuerungsmöglichkeiten (u. a. Roma, Warema).

Auch innovative bayerische Unternehmen in den Bereichen Building Information Modeling (Kapitel 06.2.1) und Software (u. a. Nemetschek, G&W Software) sind mit ihren Produkten und Dienstleistungen Weltmarktführer. Hinzu kommen zahlreiche Unternehmen mit hoher Exportorientierung, die mit hochspezialisierten Produkten Weltmarktführer sind und Nischenmärkte besetzen. Dazu zählen unter anderem Bauwerksschutzsysteme wie Lager und Dehnfugen für Bauwerke oder Erdbebenschutzsysteme (Maurer SE), Schutzausrüstung für die Bauwirtschaft und dessen Arbeitskräfte (UVEX), stationäre Energiespeichersysteme, unter anderem für erneuerbare Energien, sowie Produkte und Systeme der (Stahl-)Seil- und Hebeteknik, die auch für innovative Leichtbautechnik eingesetzt werden können (Pfeifer).³⁶

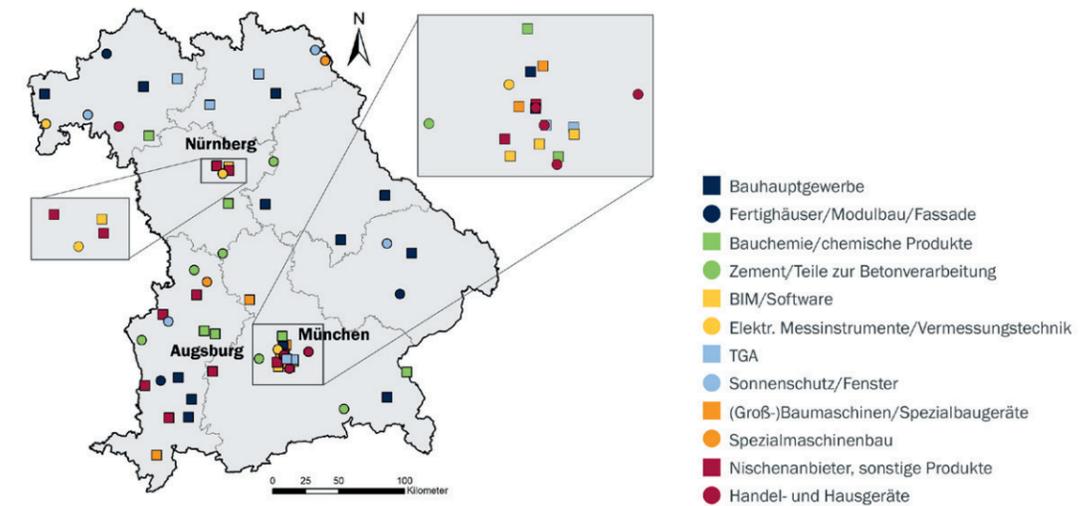
In dem stark regional und national ausgerichteten Markt der Bauwirtschaft, der im Bauhauptgewerbe vornehmlich von KMU sowie von ausführenden Handwerksbetrieben geprägt wird (Kapitel 02.2.3.2), tragen insbesondere die identifizierten führenden Leitanbieter Bayerns in den vor- und nachgelagerten Bereichen der Bauwirtschaft zu einer Spezialisierung und Kompetenzentwicklung durch innovative Produkte, Bauteile und spezifische Lösungen bei und unterstützen dadurch die Exportorientierung der bayerischen Bauwirtschaft. Dabei erschließen die führenden Leitanbieter aus Bayern im Rahmen der Marktentwicklung neben europäischen Ländern (MOE) zunehmend auch internationale Märkte in Asien mit wachsendem Bau- und Infrastrukturbedarf. Gerade auf Baustellen im Bereich des Neubaus sowie Umbaus von großen und komplexen Gebäuden (Werke / Produktionsanlagen, Hochhäuser, Krankenhäuser) und Infrastrukturprojekten kommen Produkte und Lösungen von führenden Leitanbietern (Bau-/Arbeitsmaschinen, Module zur Technischen Gebäudeaustattung (TGA)) aus Deutschland und Bayern verstärkt zum Einsatz, die Qualitäts- und Effizienzvorteile für Bauherren und Nutzer*innen während der Bau- und Bewirtschaftungsphase von Gebäuden und Infrastrukturanlagen über den gesamten Lebenszyklus bieten.

Die bayerische Bauwirtschaft zeigt daher gerade durch diese führenden Leitanbieter das Marktpotenzial und den Wechsel von der kleinteiligen manufakturartigen Produktion hin zu einer erfolgreichen Besetzung und einem Kapazitätsaufbau von industriellen Teilmärkten mit skalierungsfähigen Produkten und hoher Stückzahl. Durch die industrielle Vorfertigung von Bauteilen, Komponenten und Modulen können Planungsprozesse anhand vordefinierter Produkt- und Gebäudestandards (u. a. TGA-Planung, Gebäudetypologien) vereinfacht und Montagezeiten auf Baustellen durch die Anlieferung von vorgefertigten Modulen deutlich verkürzt werden. Gerade für seriellen Wohnungsneubau

ergeben sich durch die industrielle Vorfertigung von Modulen nach dem Baukastenprinzip, insbesondere in Verbindung mit der digitalen Planung (Kapitel 06.2.1), deutliche Effizienz- und Kostenvorteile in Form von kürzeren Planungs- und Montagezeiten.³⁷ Durch deutliche Investitionen der Leitunternehmen am Standort Bayern werden einerseits zukunftssichere Arbeitsplätze in diesen Segmenten geschaffen und andererseits durch die industrielle Fertigung spürbare Kapazitätserweiterungen zur Bedienung der nationalen und internationalen Nachfrage realisiert. Dadurch wird auch der internationale Bekanntheitsgrad und die Sichtbarkeit der Leitanbieter erhöht und trägt zur Profilbildung des Standorts Bayern im Bereich Planen und Bauen bei. Diese Unternehmen leisten mit ihren innovativen Produkten und Geschäftsmodellen einen hohen Beitrag zur aktiven Weiterentwicklung und Transformation der Bauwirtschaft in Bayern und Deutschland hin zum Lösungsanbieter für zukunftsorientiertes Bauen und die Gestaltung der Städte von morgen.

Die Standorte der Leitanbieter der Bauwirtschaft sind über den gesamten Freistaat verteilt (Abbildung 13). In jeder Region sind Unternehmen aus dem Bauhauptgewerbe vertreten, da klassische Bauleistungen insbesondere in lokalen bzw. regionalen Märkten erbracht und nachgefragt werden. Auch Anbieter der Bauchemie und Zementherstellung sind mit Ausnahme der Regierungsbezirke Oberpfalz und Niederbayern im gesamten Freistaat zu finden. Eine Häufung von Unternehmenssitzen verzeichnet insbesondere die Stadt München, wo verschiedene Kompetenzen der bayerischen Bauwirtschaft gebündelt vorliegen. 13 der 65 identifizierten Unternehmen befinden sich in der Landeshauptstadt, insgesamt 17 Unternehmen haben ihren Sitz im Großraum München. Neben spezialisierten Anbietern von Nischenprodukten haben auch Unternehmen aus dem Bereich Building Information Modeling und Software hier einen regionalen Schwerpunkt.

Abbildung 13
Regionale Verteilung der 65 Leitanbieter der bayerischen Bauwirtschaft



Quelle: Eigene Darstellung Prognos 2021

Die bayerischen Anbieter von Leit- und Exportprodukten im Bereich des Bauens und Planens tragen zu einer deutlichen Profilierung der Bauwirtschaft im Freistaat bei. Angesichts der industriellen Leit- und Schlüsselbranchen innerhalb Bayerns (insb. Automotive, Elektro) sowie bedeutenden Dienstleistungsbranchen (u. a. IT, unternehmensnahe Dienstleistungen) mit namhaften und international agierenden Top-Unternehmen steht die Bauwirtschaft vor der Herausforderung, ihre Bedeutung und ihren Beitrag zur Wirtschafts- und Exportleistung des Freistaats sichtbarer zu machen. Für die (Leit-)Anbieter der Bauwirtschaft kann ein stärker gebündelter Auftritt nach außen dazu beitragen, die Sichtbarkeit national und international zu erhöhen und damit Export- und Wachstumschancen zu eröffnen. Dabei kann gerade den identifizierten Hauptprodukten und Lösungen der führenden Leitanbieter der Bauwirtschaft Bayerns eine führende und herausgehobene Rolle zukommen (Abbildung 12).

³⁶ Weltmarktführer gemäß Universität St. Gallen / WirtschaftsWoche, 2020

³⁷ In diesem Bereich hat sich beispielsweise die Unternehmensgruppe Max Bögl aus Sengenthal (Landkreis Neumarkt in der Oberpfalz) zu einem führenden Leitanbieter in Deutschland im Bereich serielles Bauen entwickelt und ein eigenes System und eine eigene Unternehmenseinheit (maxmodul) konzipiert.

02.3 Gebäudestruktur und Wohnflächen in Deutschland und Bayern

Bedeutung für Planen und Bauen

Die Gebäudestruktur ist unter anderem von Bedeutung, wenn es um Fragen der energetischen oder ressourcenbezogenen Effizienz der Gebäude, Renovierungsbedürftigkeit und Materialzusammensetzung sowie um Fragen von Abriss und Neubau oder Sanierung geht. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass ältere Bauten sowie Wohngebäude einen höheren (energetischen) Sanierungsbedarf haben als neuere Gebäude und Nichtwohngebäude. Zudem ist die Entwicklung der Wohnflächen für die künftige Bautätigkeit relevant.

Auswirkungen durch Corona

Die Corona-Krise kann – unter anderem in Verbindung mit der Digitalisierung – in der mittleren bis langen Frist dauerhafte Veränderungen bei der Gebäudestruktur und den (Wohn-) Flächen hervorrufen. So hat sich in der Krise beispielsweise der Stellenwert von Wohneigentum teilweise erhöht und es kam zu einer vermehrten Nutzung von Homeoffice und einer Verlagerung vom stationären Handel in den Onlinehandel. Dies kann unter anderem zu einer Erhöhung der Wohnflächennachfrage sowie einer Umwidmung bestimmter Nichtwohngebäude (NWG) zu Wohngebäuden oder zu Logistikgebäuden führen. Schätzungen gehen davon aus, dass eine Fläche von fünf bis zehn m² (innerhalb einer Wohnung) für einen sinnvoll nutzbaren Homeoffice-Arbeitsplatz ausreichen kann. Damit dürfte die Einrichtung eines Homeoffice-Arbeitsplatzes in vielen Wohnungen im Rahmen des vorhandenen Raumangebots grundsätzlich möglich sein, kann aber gewisse Umgestaltungen der Räume bedeuten. Der Gesamtnutzflächenbedarf für einen Büroarbeitsplatz wird hingegen mit 23 bis 45 m² angegeben (inkl. WC-, Erschließungs-, Verkehrs-, Stellplatz- und Verwaltungsflächen etc.).³⁸ Hinzu kommen gegebenenfalls noch Flächen zur Wahrung eines größeren räumlichen Abstandes zwischen den Mitarbeitenden sowie zur Installation von Lüftungsanlagen und Trennwänden etc., um einer möglichen Ausbreitung von ansteckenden Infektionskrankheiten vorzubeugen.



02.3.1 Gebäudebestand und Altersstruktur

In Deutschland gibt es schätzungsweise rund 40 Mio. Gebäude, die sich etwa hälftig auf Wohngebäude und Nichtwohngebäude (NWG) verteilen. NWG sind definiert als Gebäude, deren Flächen mehrheitlich Nichtwohnzwecken dienen. Sie umfassen damit ein breites Spektrum an Gebäudetypen wie beispielsweise Büro-, Betriebs-, Schul-, Sport-, Beherbergungs- und Gastronomiegebäude, aber auch Gartenhütten, Garagen, Carports und Kirchen. Zwar liegen bisher keine amtlichen Daten zur Struktur des NWG-Bestands vor, eine aktuelle Stichprobenerhebung gibt aber erste Hinweise (Kasten 5).

Wohngebäudestruktur

Die Anzahl an Wohngebäuden und Wohnungen steigt in Bayern und Deutschland bereits seit Jahrzehnten. Im Jahr 2019 gab es etwa 19,2 Mio. Wohngebäude und 42,5 Mio. Wohnungen (davon knapp 2 Mio. in NWG) – mehr als jemals zuvor. Davon entfallen jeweils rund 15 Prozent auf Bayern. Die Wohnungen in Deutschland und Bayern verteilen sich ungefähr hälftig auf Eigentumswohnungen (v.a. Einfamilienhäuser) und Mietwohnungen (v.a. Mehrfamilienhäuser).

Laut Statistischem Bundesamt gehören die Wohnungen in Deutschland zu 60 Prozent Privatpersonen, zu 22 Prozent Eigentümergemeinschaften (zum Großteil wohl ebenfalls Privatpersonen), zu sechs Prozent der öffentlichen Hand,³⁹ zu sieben Prozent privatwirtschaftlichen Unternehmen und zu fünf Prozent Wohnungsgenossenschaften.

38 ARGE, 2020

39 Einschließlich Einrichtungen und Unternehmen, an denen die öffentliche Hand mit mehr als 50 Prozent beteiligt ist

Insgesamt ist Deutschland ein Land der Einfamilienhäuser, die einen Anteil von rund zwei Drittel am Wohngebäudebestand haben (bezogen auf die Zahl an Gebäuden, nicht an Wohnungen) (Tabelle 3). Die Kategorie Einfamilienhäuser umfasst sowohl Einzelgebäude als auch Reihenhäuser. Wohngebäude mit mehr als einer Wohnung haben bezogen auf die reine Anzahl der Gebäude einen geringeren Anteil, sie stellen aber einen Großteil des Wohnraums zur Verfügung: Über zwei Drittel des deutschen Wohnungsbestandes befinden sich in Gebäuden mit mehr als zwei Wohnungen. Dies ist insbesondere auf einen hohen Anteil von

Gebäuden mit vielen Wohnungen in den Städten, Stadtstaaten und ostdeutschen Flächenländern zurückzuführen.

Die Wohngebäude in Deutschland werden zu rund drei Vierteln überwiegend mit Gas und Heizöl beheizt. Über Klima-/ Lüftungsanlagen verfügen etwa 1 bis 2 Prozent der Wohnungen – Tendenz steigend. Bei Nichtwohngebäuden liegt der Anteil mit Klima-/ Lüftungsanlagen höher und dürfte infolge der Corona-Pandemie weiter zunehmen (Kasten 5).⁴⁰

Tabelle 3
Gebäudestruktur in Deutschland und Bayern 2019

	Deutschland	Bayern
Anzahl Wohngebäude	19,2 Mio.	3,1 Mio.
davon Anteil:		
mit einer Wohnung	67 %	68 %
mit zwei Wohnungen	16 %	18 %
mit mehr als zwei Wohnungen	17 %	14 %
Anzahl Wohnungen	42,5 Mio.	6,5 Mio.
davon Anteil nach Art der Nutzung: ¹⁾		
Eigentumswohnungen	46 %	51 %
Mietwohnungen	54 %	49 %
davon Anteil nach Gebäudeart:		
in Gebäuden mit einer Wohnung	31 %	33 %
in Gebäuden mit zwei Wohnungen	16 %	18 %
in Gebäuden mit mehr als zwei Wohnungen	53 %	48 %
davon Anteil nach Beheizungsart (überwiegend verwendete Energieart): ¹⁾		
Gas	52 %	39 %
Heizöl	23 %	36 %
Fernwärme	14 %	9 %
Holz, Holzpellets	4 %	9 %
Strom	4 %	3 %
Andere	3 %	4 %

¹⁾ Anteile beziehen sich auf bewohnte Wohnungen ohne Wohnheime 2018

Quelle: Statistisches Bundesamt 2020c, 2020d, Bayerisches Landesamt für Statistik 2020c, d, eigene Darstellung Prognos 2021

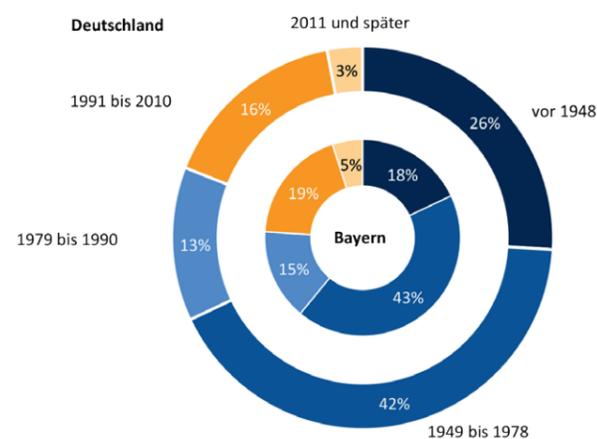
Altersstruktur der Wohngebäude

Die Baualtersklasse von Gebäuden ist unter anderem von Bedeutung, wenn es um Fragen der Gebäudeeffizienz, Renovierungsbedürftigkeit und Materialzusammensetzung sowie um Fragen von Abriss und Neubau oder Sanierung geht. Bei neuen Gebäuden wird grundsätzlich angenommen, dass sie aufgrund der sukzessive angepassten Gesetzgebung eine bessere Wärmedämmung der Außenhülle (inkl. Fenster), effizientere Heizungs- und Warmwassersysteme und gegebenenfalls – aufgrund der Marktentwicklung – effizientere Elektrogeräte aufweisen.

In Deutschland wurde über die Hälfte der heute bestehenden Wohngebäude zwischen 1949 und 1990 und 26 Prozent vor 1948 errichtet (Abbildung 14). Damit sind fast 80 Prozent der Wohngebäude in Deutschland 30 Jahre und älter. Allerdings variiert die Altersstruktur der Wohngebäude regional teilweise erheblich:⁴¹

- In den ostdeutschen Flächenländern sind die Gebäude deutlich älter. Hier sind über 40 Prozent vor 1948 gebaut worden und rund zwei Drittel aller heute bestehenden Wohngebäude über 40 Jahre alt (also vor 1979 errichtet worden). Bei neueren Gebäuden, die 2011 und später errichtet wurden, ist der Anteil hingegen etwas niedriger als im Bundesdurchschnitt.
- Anders sieht dies beispielsweise in Bayern aus; hier ist der Gebäudebestand deutlich jünger. Nur 18 Prozent der Wohngebäude stammen aus der Zeit vor 1948 – kein Bundesland hat einen niedrigeren Wert. Der Anteil der Gebäude, die seit 1991 errichtet wurden, ist in Bayern hingegen deutlich höher als im Bundesdurchschnitt; nur Brandenburg hat einen höheren Wert in dieser Altersgruppe als Bayern. Der Wohngebäudebestand Bayerns ist also einer der jüngsten in Deutschland.
- Aber auch innerhalb der Bundesländer gibt es teilweise deutliche Unterschiede in der Altersstruktur der Wohngebäude. So liegt beispielsweise in Bayern der Anteil an Wohngebäuden, die vor 1948 errichtet wurden, zwischen 13 Prozent in Oberbayern und fast 25 Prozent in Oberfranken.

Abbildung 14
Baualtersklasse der Wohngebäude in Deutschland und Bayern



Anteile beziehen sich auf bewohnte Wohnungen ohne Wohnheime 2018

Quelle: Statistisches Bundesamt, 2020d; eigene Berechnung Prognos 2021

41 Statistisches Bundesamt, 2020d

Kasten 5 Struktur Nichtwohngebäude

Mit der Veröffentlichung erster Forschungsergebnisse einer repräsentativen Stichprobenerhebung im Jahr 2021 wurde die Datenlage zur Struktur und zur energetischen Qualität des NWG-Bestands in Deutschland, zu der es bisher keine amtlichen Zahlen gibt, deutlich verbessert. Gleichwohl sind die Zahlen weiterhin mit Unsicherheiten und bei geringen Fallzahlen mit größeren statistischen Fehlern behaftet. Daher wird im Folgenden zusätzlich der Standardfehler in Klammern angegeben, der Auskunft über die Güte der geschätzten Parameter gibt (je kleiner die gemessene Streuung und damit der Standardfehler, desto genauer ist die Schätzung).⁴²

Von den insgesamt 21,1 Mio. NWG ($\pm 0,4$ Mio.) haben knapp 70 Prozent keinen oder einen vernachlässigbaren Bedarf an thermischer Konditionierung, also an Heizung oder Kühlung (z.B. Garagen, Gartenhütten). Sie sind aus energie- und klimapolitischer Sicht also weniger relevant. Rund neun Prozent bzw. zwei Mio. NWG ($\pm 0,2$ Mio.) fallen hingegen uneingeschränkt in den Anwendungsbereich des Gebäudeenergiegesetzes (§ 2 Abs. 1 GEG).⁴³ Sie sind zum Großteil vor 1979 errichtet worden (58 Prozent $\pm 3,3$ Prozent) und betreffen zu rund einem Drittel Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude (Abbildung 15). Die GEG-relevanten NWG haben insgesamt eine Bruttogrundfläche von 3.507 Mio. Quadratmeter ($\pm 0,4$ Mio. m²). In Bayern stehen 328.000 GEG-relevante NWG (± 62.000).⁴⁴ Zu

den bayerischen NWG zählen – anderen Quellen zufolge – beispielsweise rund 12.900 Bürogebäude, fast 45.000 Werkstattgebäude, mehr als 50.000 Lager- und Garagengebäude, über 6.000 Schulen⁴⁵, mehr als 1.000 Bahnhöfe⁴⁶, eine Vielzahl von Verbrauchermärkten, Industriegebäuden, aber auch Theatern und Museen, um nur einige unterschiedliche Kategorien zu nennen.

Die GWG-relevanten NWG werden zu rund 78 Prozent (± 3 %) durch Fensterlüftung mit frischer Außenluft versorgt, acht Prozent (± 2 Prozent) haben dezentrale Lüftungsanlagen (in die Fassade oder Fenster integrierte Geräte) und 14 Prozent (± 2 Prozent) verfügen über zentrale raumlufttechnische Anlagen (RLT) – diese belüften in der Regel nur einen geringen Teil der Nutzungsfläche und haben keine Luftbehandlungsfunktion (z. B. Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten). Rund 22 Prozent ($\pm 3,5$ Prozent) der RLT-Anlagen sind mit einer Lüftungsfunktion (Zuluft, Abluft, Umluft) ausgestattet, der im Zuge der Corona-Pandemie besondere Aufmerksamkeit zuteilwurde.⁴⁷ Die Ausstattung mit solchen Anlagen dürfte künftig weiter zunehmen, zumal sie wohl auch über die Überbrückungshilfe III finanziert werden können.⁴⁸ Über Kühl- oder Klimatisierungsvorrichtungen verfügen früheren Erhebungen zur Folge etwas weniger als die Hälfte der Büro- und Verwaltungsgebäude (10 Prozent vollklimatisiert und ein Drittel teilklimatisiert).⁴⁹

42 „Korrekt sind diese statistischen Angaben so zu lesen: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 68 % liegt die wahre, aber unbekannte Anzahl der Nichtwohngebäude in der jeweiligen Kategorie im Bereich des angegebenen Mittelwerts \pm einem Standardfehler, mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im Bereich von \pm zwei Standardfehlern“ (IWU, 2021a).

43 Die restlichen 21 Prozent entfallen vor allem auf NWG, denen zwar ein gewisser Bedarf an thermischer Konditionierung beigemessen wird, die aber hinsichtlich ihrer Gebäudefunktion von der vollen Anwendung des Gesetzes ausgenommen sind (z. B. Gebäude für religiöse Zwecke).

44 IWU, 2021a

45 vbw, 2012

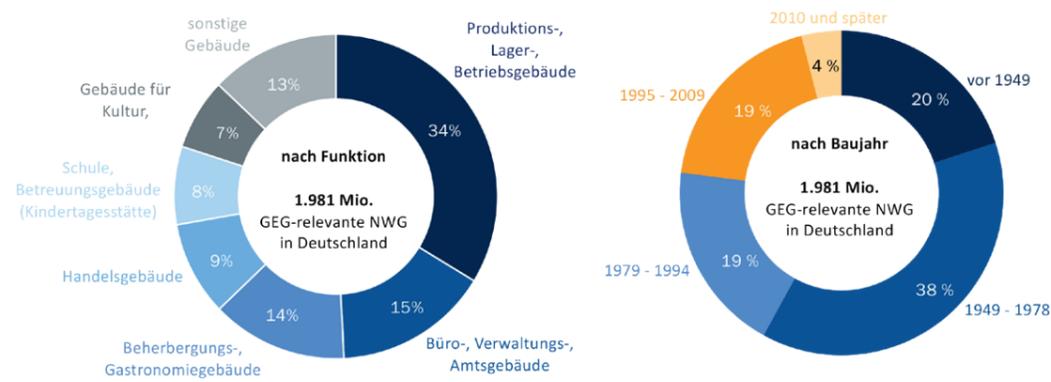
46 STMB, 2021b

47 IWU, 2021b

48 Das BMWi nennt in den FAQ zur „Corona-Überbrückungshilfe III“ (dort Abschnitt 02.4.14) Beispiele für förderfähige Kosten für bauliche Modernisierungs-, Renovierungs- oder Umbaumaßnahmen zur Umsetzung von Hygienekonzepten. Lüftungsanlagen werden hier nicht als Beispiel genannt, sie werden aber von inoffiziellen Positivlisten von Verbänden und Steuerberaterkammern umfasst (ECOVIS, 2021).

49 Statistisches Bundesamt, 2020d

Abbildung 15
Hochrechnungen zu Nichtwohngebäuden in Deutschland



Mittelwert der Hochrechnungen; Standardfehler sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht angegeben. Sonstige Gebäude: Gebäude für Forschung und Hochschullehre, Gesundheit und Pflege, Sport, Technik (Ver- und Entsorgung) und Verkehr

Quelle: IWU, 2021a, b, eigene Darstellung Prognos 2021

02.3.2 Wohnflächen

Mit der Zunahme der Anzahl an Wohngebäuden, insbesondere an Ein- und Zweifamilienhäusern, die tendenziell eine größere Wohnfläche pro Wohnung aufweisen, sind auch die Wohnflächen gestiegen. Im Jahr 2019 betrug die Wohnfläche der 42,5 Mio. Wohnungen in Deutschland insgesamt etwa 3.908 Mio. Quadratmeter – mehr als jemals zuvor (Tabelle 4). Davon entfielen rund 16 Prozent bzw. 633,2 Mio. Quadratmeter auf die 6,5 Mio. Wohnungen in Bayern. Die durchschnittliche Wohnungsgröße in Deutschland betrug im Jahr 2019 damit rund 92 Quadratmeter; im Jahr 2000 waren es noch 85 Quadratmeter. Der Anstieg der durchschnittlichen Fläche je Wohnung weist darauf hin, dass neu gebaute Wohnungen tendenziell größer werden. So beträgt die durchschnittliche Fläche von Wohnungen in Gebäuden, die zwischen 1949 und 1978 errichtet wurden, 87 Quadratmeter und in Gebäuden, die ab 2011 gebaut wurden, 116 Quadratmeter.

Tabelle 4
Wohnflächen in Deutschland und Bayern 2019

	Deutschland	Bayern
Wohnfläche gesamt	3.908 Mio. m ²	633 Mio. m ²
Wohnfläche je Person	47 m ²	48 m ²
Wohnfläche je Wohnung	92 m ²	98 m ²

Quelle: Statistisches Bundesamt, 2020c

Anders als der Vergleich zwischen Deutschland und Bayern vermuten lässt, gibt es teilweise deutliche regionale Unterschiede bei den Wohnflächen. So sind beispielsweise die Wohnungen in den neuen Bundesländern im Durchschnitt fast 17 Quadratmeter kleiner als in den alten Bundesländern. Auch in den Stadtstaaten ist die durchschnittliche Fläche je Wohnung geringer als im Bundesdurchschnitt.

Künftige Entwicklung der Wohnflächen

Auch bezogen auf die Bevölkerung erreichte die Wohnfläche 2019 mit 47 Quadratmetern pro Kopf einen Höchstwert. Anfang des Jahrtausends waren es nur 40 Quadratmeter pro Kopf. Der Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Bevölkerung in Bayern und Deutschland altert und zugleich die Umzugsbereitschaft aus einmal bezogenen Wohnungen mit steigendem Alter tendenziell abnimmt (Remanenzeffekt) – selbst, wenn sich der Wohnflächenbedarf vermindert, etwa nach Auszug der Kinder oder Tod des Partners. Hinzu kommt, dass gerade in Großstädten und Ballungsräumen die Mietpreise in den vergangenen Jahren so stark angestiegen sind, dass eine Verkleinerung der Wohnfläche (u. a. auch bei Auszug der Kinder) für Miethaushalte „unwirtschaftlich“ ist, da kleinere Wohnungen bei Neuvermietungen oftmals teurer sind als größere Wohnungen mit langjährig bestehenden Mietverträgen. Zudem ist ein steigender Anteil an Singlehaushalten und ein Rückgang bei Haushalten mit vier und mehr Personen zu beobachten. Unseren Prognosen zufolge werden sich die Alterung der Bevölkerung und die Verschiebungen in den Haushaltstrukturen fortsetzen. Damit dürfte auch die Wohnflächennachfrage in Deutschland künftig insgesamt weiter steigen (Tabelle 5), vor allem in urbanen Räumen (Kapitel 05.1.4).

Die geburtenstarken Jahrgänge werden ab ca. 2040 zunehmend ihre statistische Lebenserwartung erreichen. Damit stellt sich die Frage, ob und wie die spätestens dann vermehrt freiwerdenden Wohnungen weiter genutzt und belegt werden können. Da ältere Wohnungen in der Regel vergleichsweise kleine Flächen aufweisen, könnten sie für eine Belegung durch kleinere Haushalte, deren Anzahl perspektivisch zunimmt, grundsätzlich in Frage kommen. Allerdings dürfte bei älteren Wohnungen oftmals ohnehin eine Sanierung bzw. Modernisierung erforderlich sein, sodass notwendige und gewünschte Umgestaltungen zur besseren Nutzung des Wohnraums im Zuge dessen erfolgen können (z. B. Veränderung der Grundrisse hin zu helleren, offeneren und großzügigeren Wohnräumen).

Ob ein Abriss und anschließender Neubau oder eine Modernisierung die beste Lösung sind, lässt sich pauschal kaum beurteilen. Die Entscheidung hängt vom Einzelfall und einer Vielzahl von Faktoren ab. Mögliche Einfluss- und Kostenfaktoren sind unter anderem individuelle Bedarfe und Motive, regulatorische und städtebauliche Anforderungen sowie spezifische lokale Rahmenbedingungen (u. a. Umzugsmanagement).⁵⁰ Kommt es zum Abriss, spielt die Rückgewinnung der Rohstoffe (Urban Mining) eine zentrale Rolle beim Ressourcen- und Klimaschutz (Kapitel 4).

Tabelle 5
Künftige Entwicklung der Wohnflächen

		2025	2030	2035	2040
Mehrfamilienhäuser (MFH)	Mio. m ²	1.625	1.646	1.670	1.704
Einzelfamilienhäuser (EFH)	Mio. m ²	2.332	2.373	2.405	2.423
Gesamt	Mio. m ²	3.957	4.019	4.075	4.127

MFH inkl. Wohnungen in sonstigen Wohngebäuden (Gebäude mit gemischter Nutzung)

Quelle: Prognos, 2021a (basierend auf Daten des Statistischen Bundesamts, 2018), eigene Darstellung Prognos 2021

Kasten 6

Weltweite Entwicklungen von Gebäuden, Wohnflächen und Haushalten

Die globale Zunahme von Bevölkerung und wirtschaftlichem Wohlstand spiegelt sich in einem wachsenden Bestand an Gebäuden, Wohnflächen und Haushalten. Die Zahl der weltweiten Haushalte wird schätzungsweise von 1,9 Mrd. im Jahr 2010 auf 3,2 Mrd. in 2050 zunehmen.⁵¹ Zugleich dürfte die Haushaltsgröße abnehmen. Schätzungen gehen davon aus, dass die weltweite Gebäudefläche bis 2060 um 230 Mrd. Quadratmeter zunehmen wird, was eine Verdoppelung gegenüber dem Wert von 2018 darstellt. Das monatliche Wachstum entspricht ungefähr der Gebäudefläche New Yorks. Bis 2030 entfällt die Zunahme zu rund 50 Prozent auf Nordamerika, China und Indien; auf Afrika entfallen etwa zwölf Prozent.⁵²

02.4 Struktur der Flächennutzung in Deutschland und Bayern**Bedeutung für Planen und Bauen**

Bauten als Endprodukt der Bauwirtschaft sind in der Regel immobil und bestehen über einen langen Zeitraum. Damit prägt die Bauwirtschaft die Struktur der Flächennutzung und bietet Ansatzpunkte für eine nachhaltige, klimaangepasste Flächennutzung. Gleichwohl wird ein Großteil der Fläche Deutschlands landwirtschaftlich und nicht für Siedlung und Verkehr genutzt.

Auswirkungen durch Corona

Die Corona-Krise dürfte den Flächenverbrauch aufgrund von Verzögerungen bei Planungs- und Genehmigungsprozessen im Bau infolge der gesundheitspolitischen Eindämmungsmaßnahmen zwar temporär etwas hemmen. Der „Rückstand“ dürfte aber zeitnah wieder aufgeholt werden. Mittel- und langfristig sind insgesamt keine nennenswerten Veränderungen infolge der Corona-Krise zu erwarten.

Gleichwohl kann der durch die Krise ausgelöste bzw. verstärkte Digitalisierungsschub zu Verschiebungen bei der Flächennutzung führen; die Richtung ist aufgrund gegenläufiger Effekte allerdings unklar. Beispielsweise könnte die vermehrte Nutzung von Homeoffice die Nachfrage nach Wohnflächen erhöhen und nach Dienstleistungs- und Gewerbeflächen reduzieren. Zudem könnten neue Arbeitsformen wie Desk Sharing (Kapitel 07.3.2) zu Flächeneinsparungen führen. Allerdings dürfte bei Büros zugleich eine attraktive Raumgestaltung künftig eine größere Rolle spielen, etwa durch großzügigere Flächen sowie mehr Platz für Aufenthaltsräume, Kommunikationszonen und Freizeitgestaltungsmöglichkeiten. Insgesamt ist eher mit einem Rückgang als einer Zunahme der Büroflächen je Mitarbeiter zu rechnen. Der Onlinehandel dürfte zwar im Logistikbereich zu einer höheren Gewerbeflächennachfrage führen, ist aber insgesamt eher flächeneffizienter umzusetzen als der stationäre Einzelhandel, bei dem mit einem Flächenrückgang zu rechnen ist.

Eine Umfrage, die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführt wurde, zeigt, dass die grundsätzliche Verfügbarkeit von eigenen Gebäuden und Flächen für betriebliche Abläufe und die unternehmerische Leistungserbringung weiterhin sehr relevant bleibt, auch abseits des produzierenden Gewerbes (Kapitel 07.3.2).

**Siedlungs- und Verkehrsflächen**

Flächen stellen eine begrenzte natürliche Ressource dar, um die unterschiedliche Nutzungsarten konkurrieren. Deutschland und das flächenmäßig größte Bundesland Bayern zeigen eine ähnliche Struktur der Flächennutzung (zur Flächennutzung in Bayern siehe Kapitel 07.3.1). Nach Angaben des Statistischen Bundesamts wird die Fläche zu etwas mehr als die Hälfte landwirtschaftlich genutzt. Wald und Wasser haben zusammen einen Anteil von gut 30 Prozent. Siedlungs- und Verkehrsflächen sind mit neun Prozent und fünf Prozent an der Gesamtfläche die drittgrößte Nutzungsart. Die Verkehrsfläche betrifft vor allem Straßen und Wege. Die Siedlungsflächen verteilen sich vor allem auf

- Wohnfläche (42 Prozent),
- Industrie- und Gewerbefläche (18 Prozent),
- Fläche mit gemischter Nutzung (13 Prozent) sowie
- Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche (16 Prozent, davon 60 Prozent Grünfläche).

Flächenzunahme

Unter den drei Nutzungsarten (Landwirtschaft, Wald und Wasser, Siedlungs- und Verkehrsfläche) hat die Siedlungs- und Verkehrsfläche in den letzten Jahren am stärksten zugenommen. Sie ist seit 2004 um 13 Prozent und seit 1992 um 28 Prozent gestiegen. Die Flächenzunahme betrifft hier vor allem Siedlungsfläche und geht maßgeblich zu Lasten der landwirtschaftlich genutzten Fläche, die in den letzten Jahren abgenommen hat. Allerdings ist bei der Neuinanspruchnahme von Siedlungs- und Verkehrsfläche seit der Jahrtausendwende ein trendmäßiger Rückgang zu beobachten. In den Jahren 1997 bis 2000 wurden in Deutschland durchschnittlich 129 Hektar (ha) pro Tag verbraucht, also etwa 185 Fußballfelder. Bis heute (2015 bis 2018) hat sich der Verbrauch auf 56 Hektar pro Tag mehr als halbiert (Abbildung 16). Von den 56 Hektar entfallen knapp elf Hektar auf Bayern.⁵³

Bodenversiegelung

Der zunehmende Flächenverbrauch hat Auswirkungen auf die Umwelt, insbesondere wenn der Flächenverbrauch mit Bodenversiegelung einhergeht. Derzeit sind etwa 45 Prozent der Siedlungs- und Verkehrsflächen versiegelt, also bebaut oder mit Beton, Asphalt oder Pflastersteinen bedeckt oder anderweitig befestigt (in Bayern 51 Prozent).⁵⁴ Die Versiegelung von Flächen hat vielfältige Folgen, die teilweise durch weitere (bauliche) Maßnahmen wieder adressiert werden (Kapitel 03.2). Die Folgen sind beispielsweise

- Schädigung von Böden,
- Begünstigung von Hochwasser,
- verringerte Grundwasserbildung,
- Erhöhung der Lufttemperatur sowie
- Verlust an Lebensraum für Tiere und Pflanzen.

Deutschland hat sich die politischen Ziele gesetzt, den täglichen Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf 30 Hektar bis zum Jahr 2020 und auf unter 30 Hektar bis zum Jahr 2030 zu begrenzen. Dies spricht grundsätzlich für einen starken Ausbau von Leichtbau-Lösungen zur Aufstockung von bestehenden Gebäuden sowie auch der verstärkten Zulassung höherer Gebäude.

Zahlen für 2020 liegen zwar noch nicht vor, doch angesichts des Flächenverbrauchs in den Jahren zuvor ist aber nicht zu erwarten, dass das 2020er-Ziel im vergangenen Jahr erreicht wurde. Bis zum Jahr 2050 sehen der deutsche Klimaschutzplan und die Ressourcenstrategie der Europäischen Union eine Reduktion des Flächenverbrauchs auf Netto-Null im Sinne einer Flächenkreislaufwirtschaft vor. Damit soll unter anderem verhindert werden, dass nicht mehr genutzte Siedlungs- und Verkehrsflächen dauerhaft brachfallen und neue Freiflächen in Anspruch genommen werden. Auch Bayern hat sich im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie unter anderem die Ziele gesetzt, den Flächenverbrauch deutlich zu reduzieren und langfristig eine Flächenkreislaufwirtschaft ohne weiteren Flächenneuverbrauch anzustreben.

Differenzierte Betrachtung

Zur Einordnung der Flächeninanspruchnahme bedarf es allerdings einer differenzierteren Betrachtung. So sind unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten neben dem Ausmaß der Bodenversiegelung unter anderem auch die vorherige Nutzungsform und der Zweck der Flächennutzung von Bedeutung. Zum Beispiel bedingt die Energiewende zwar die Inanspruchnahme neuer Flächen (z. B. für Errichtung und Anschluss von Erneuerbare-Energien-Anlagen an Land), was aber zur Erreichung der Klimaschutzziele erforderlich ist. Gegenüber der Photovoltaik hat Windenergie den entscheidenden Vorteil eines deutlich niedrigeren Flächenverbrauchs. Beispielsweise beläuft sich der dauerhafte Flächenbedarf moderner Windenergieanlagen für die Sockelfläche auf rund 100 Quadratmeter. Hinzu kommen noch Flächen für das Fundament sowie für Anfahrtswege und Bau- und Wartungszwecke.⁵⁵ Allerdings hat die Photovoltaik den Vorteil, in großen Teilen auf Dächern eingesetzt werden zu können und somit weniger zusätzliche Flächen zu benötigen.

Perspektivisch sind vermehrt gemeinsame Flächennutzungen denkbar, um den Flächenverbrauch zu verringern. Beispielsweise ist eine gemeinsame Flächennutzung durch Erneuerbare-Energien-Anlagen und Landwirtschaft/Ernährung oder Logistik möglich. Beim Vertical Farming (Kasten 33), das als Form urbaner Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung gewinnt, werden vorhandene Flächen genutzt, um landwirtschaftliche Erzeugnisse in und an Gebäuden zu produzieren. Bei urbanen Manufakturen (Kasten 32) und urbaner Produktion (Kasten 34) verschwimmen die räumliche Trennung von Industrie, Wohnen, Handel und Kultur.

51 EnergyComment, 2014 (auf Basis IEA)

52 UN, 2017; CNCA, 2018

53 StMUV, 2021a; UBA, 2020a, b

54 StMUV, 2021a; UBA, 2018a

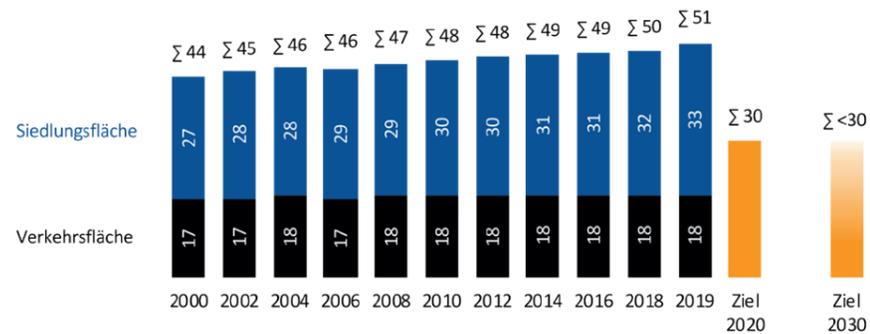
55 UM, 2020

Das Konzept der Schwammstadt umfasst verschiedene Technologien und Maßnahmen zur dezentralen Regenbewirtschaftung und soll vor allem den Folgen der Flächenversiegelung und des Klimawandels in Städten entgegenwirken (Kapitel 03.2.3). Darüber hinaus erlaubt es die Nutzung vorhandener Flächen zur Versickerung oder unterirdischen Speicherung. So können z. B. befestigte Flächen (Straßen, Wege und Plätze) mit wasserdurchlässigen Bodenbelägen ausgestattet und darunter Retentionsräume für Niederschlagswasser geschaffen werden.

Das Szenario „Klimaneutrales Deutschland 2045“ geht davon aus, dass die Flächeninanspruchnahme für Siedlungsflächen bis zum Jahr 2030 auf 30 Hektar pro Tag und bis zum Jahr 2050 auf 20 Hektar pro Tag reduziert werden kann.⁵⁶ Der Flächenverbrauch läge damit über den Zielen für 2050.

Abbildung 16

Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland, täglicher Zuwachs in Hektar



Quelle: UBA, eigene Darstellung Prognos 2021

Kasten 7

Weltweite Entwicklungen

Die Landoberfläche der Erde beträgt etwa 13,4 Mrd. Hektar, davon werden etwa 37 Prozent landwirtschaftlich genutzt (v. a. als Weideland und für Futtermittel) und knapp 30 Prozent von Wäldern bedeckt, die zumeist wirtschaftlich genutzt werden. Siedlungsflächen machen hingegen nur zwei bis drei Prozent aus. Das restliche Drittel der Landoberfläche umfasst vor allem Wüsten, Ödland, Steppen, Eisschilde und Gebirge. In den letzten beiden Dekaden haben die Siedlungs- und Ackerflächen deutlich zugenommen, während die weltweite Waldfläche rückläufig war.⁵⁷

Die bebaute undurchlässige Fläche wird weltweit auf rund 0,4 Prozent der Landoberfläche bzw. 58 Mio. Hektar geschätzt. Die größte Fläche davon liegt in China mit 8,7 Mio. Hektar. Pro Person beträgt die versiegelte Fläche in China aber nur 67 Quadratmeter, in den USA hingegen 297 Quadratmeter.⁵⁸

⁵⁶ Prognos et al., 2021c

⁵⁷ IPCC, 2019

⁵⁸ Elvidge et al., 2007

02.5 Bau- und Abbruchabfälle in Deutschland und Bayern

Bedeutung für Planen und Bauen

Bau- und Abbruchabfälle stellen die mengenmäßig wichtigste Abfallgruppe in Deutschland dar. Damit bietet die Bauwirtschaft ein großes Potenzial zur Vermeidung und Rückgewinnung von Abfällen sowie zum kreislaufgerechten Wirtschaften.

Auswirkungen durch Corona

Die Corona-Krise dürfte die Struktur des Abfallaufkommens in Deutschland temporär leicht verändern (v. a. mehr privater und weniger gewerblicher Abfall). Mittel- und langfristig sind aber keine nennenswerten Veränderungen zu erwarten.

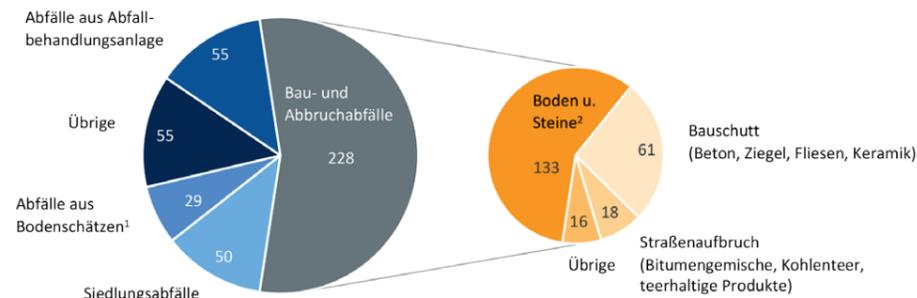


Das Volumen und die Struktur des Abfallaufkommens in Deutschland haben sich in den letzten beiden Dekaden nur wenig verändert. Die mengenmäßig wichtigste Abfallgruppe stellen die Bau- und Abbruchabfälle dar, die mit 228 Mio. Tonnen über die Hälfte des gesamten Abfallbruttoaufkommens 2018 (417 Mio. Tonnen) ausmachten (Abbildung 17). Ein Großteil davon entfällt auf Boden und Steine (inkl. Baggergut aus Gewässern), die zusammen mit Bauschutt einen Anteil von rund 85 Prozent an den bundesweiten Bau- und Abbruchabfällen haben. Die übrigen Baustellenabfälle umfassen unter anderem Eisen, Stahl, Aluminium, Kupfer, Zinn, Zink, Holz, Glas und Kunststoffe. Ihr Aufkommen ist zwar mengenmäßig gering, unter Nachhaltigkeitsaspekten ist das Recycling dieser Materialien aber bedeutsam. Der Anteil Bayerns an den bundesweiten Bau- und Abbruchabfällen beträgt etwas mehr als 20 Prozent.

Insgesamt wurden die deutschen Bau- und Abbruchabfälle zu 88 Prozent stofflich und zu einem Prozent energetisch verwertet sowie zu elf Prozent durch Ablagerung beseitigt. Damit weisen die Bauabfälle zwar insgesamt hohe Verwertungsquoten auf, allerdings variiert die Quote stark zwischen den Abfallarten (Kapitel 04.3.3). Zudem sind viele Verwertungsmaßnahmen eher niederwertig, wie die Nutzung für Verfüllungen von Gruben, Brüchen und Tagebauen usw. Gleichwohl können solche Verwendungen einen Beitrag zur Wiederherstellung der ursprünglichen Bodenfunktion leisten.

In Anbetracht des hohen Bauabfallaufkommens, der teilweise niederwertigen Verwertung sowie der zum Teil knapper werdenden Ressourcen und begrenzter Kapazitäten in Bauschuttdeponien kommen der Vermeidung von Bauabfällen (z. B. durch längere Nutzungsdauern) und der Rückgewinnung der Rohstoffe (Kapitel 04.3) eine zentrale Rolle beim Ressourcen- und Klimaschutz zu.

Abbildung 17
Abfallbruttoaufkommen in Deutschland 2018, in Mio. Tonnen



¹ Abfälle aus Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen

² Boden und Steine inkl. Baggergut

Quelle: Statistisches Bundesamt, 2020e, eigene Darstellung Prognos 2021

Kasten 8 Weltweite Entwicklungen

Auch auf globaler Ebene stellen Bau- und Abbruchabfälle eine bedeutende Abfallgruppe dar. Auf sie entfallen schätzungsweise 30 bis 40 Prozent des weltweiten Abfallaufkommens – Tendenz steigend. Zum Beispiel waren es allein in der EU im Jahr 2016 rund 924 Mio. Tonnen und in China 2018 2,36 Mrd. Tonnen.⁵⁹ Pro Kopf belaufen sich die weltweiten Bau- und Abbruchabfälle auf durchschnittlich etwa 1,7 Kilogramm pro Tag.⁶⁰

Zu den Entsorgungswegen der weltweiten Bau- und Abbruchabfälle liegen keine Daten vor. Hinweise können aber Schätzungen zu den Entsorgungswegen bei Siedlungsabfällen („Hausmüll“) geben: Von den weltweit rund jährlich 2,01 Mrd. Tonnen Siedlungsabfällen werden mindestens ein Drittel (wohl eher deutlich mehr) nicht umweltgerecht entsorgt. Gerade in weniger wohlhabenden Ländern wird ein Großteil der Siedlungsabfälle erst gar nicht eingesammelt (40 Prozent in der Gruppe der Länder mit niedrigen Einkommen). Ein Großteil der eingesammelten Abfälle dürfte ungenutzt deponiert bzw. abgelagert werden.⁶¹

59 Ginga et al., 2020

60 Kaza, 2018

61 Kaza, 2018

02.6 Klimatische Veränderungen in Deutschland und Bayern

Bedeutung für Planen und Bauen

Bauten als Endprodukt der Bauwirtschaft sind in der Regel immobil und bestehen über einen langen Zeitraum. Damit prägt die Bauwirtschaft die Struktur der Flächennutzung und bietet Ansatzpunkte für eine nachhaltige, klimaangepasste Flächennutzung. Gleichwohl wird ein Großteil der Fläche Deutschlands landwirtschaftlich und nicht für Siedlung und Verkehr genutzt.

Auswirkungen durch Corona

Im Rahmen der Corona-Hilfspakete, die unter anderem Nachhaltigkeitsaspekte in den Handlungsfeldern Ökologie, Ökonomie und Soziales in den Vordergrund stellen, wurde in den vergangenen Monaten eine milliardenschwere Summe bereitgestellt, die zu einem großen Teil auch auf die Klimaschutzbemühungen der Länder einzahlen wird. Diese können die Effekte der bereits emittierten Treibhausgase jedoch nicht rückgängig machen. Gleiches gilt für den (temporären) Rückgang der Treibhausgasemissionen 2020 infolge der Corona-Krise (u.a. durch verringerte Mobilität). Dieser betrug weltweit sowie auch in Deutschland schätzungsweise zwischen fünf und sieben Prozent.⁶² Damit wird die Pandemie auf die direkten kurz- bis mittelfristigen klimatischen Veränderungen keinen nennenswerten Einfluss haben.



Der Klimawandel schreitet immer schneller voran und ist eindeutig auf den Einfluss des Menschen zurückzuführen. Haupttreiber sind anthropogen verursachte Treibhausgase: allen voran CO₂, aber auch Methan, Lachgas sowie einige Fluor- und Chlorkohlenwasserstoffe. Der Klimawandel zeigt sich unter anderem in der Erwärmung der Atmosphäre und Ozeane, der Abnahme der Schnee- und Eismengen, dem Anstieg des globalen Meeresspiegels sowie der Zunahme einiger Wetter- und Klimaextreme. Viele der beobachteten Veränderungen sind in den zurückliegenden Jahrzehnten deutlich häufiger aufgetreten als in den letzten Jahrhunderten.⁶³ Die Risiken und Schäden sind in den letzten Jahren stark und nicht linear gewachsen und weisen inzwischen signifikante Größenordnungen auf.⁶⁴ Selbst bei Erreichung von Treibhausgasneutralität auf globaler Ebene, also von Netto-Null-Emissionen, werden die klimatischen Veränderungen aufgrund der Trägheit des Klimasystems noch über einen langen Zeitraum andauern.

62 Le Quéré et al., 2021; Agora Energiewende, 2021 sowie eigene Berechnungen Prognos

63 IPCC, 2014

64 Prognos / vbw, 2020

Kasten 9

Zusammenhang zwischen Klimawandel und Extremwetterereignissen

Es ist inzwischen eindeutig belegbar, dass die globale Erwärmung die Eintrittswahrscheinlichkeit für bestimmte Arten von Extremwetterereignissen erhöht. Darüber hinaus verstärkt der Klimawandel auch die Intensität der einzelnen Ereignisse. Insbesondere in den letzten Jahren wurden bei der Frage der Attribution, also der Untersuchung, ob und in welchem Maße ein Extremereignis auf den Klimawandel zurückzuführen ist, deutliche Fortschritte erzielt. Hierbei werden allerdings nur rückblickend Ereignisse auf ihre Zuordnung zum Klimawandel überprüft (beispielsweise über den Vergleich statistischer und realer Häufigkeiten der Ereignisse).⁶⁵ Für die zukünftige Abschätzung des Auftretens von Extremereignissen sind noch immer komplexe Klimamodellierungen nötig. Diese sind in Teilen zwar bereits vorhanden. Sie müssen jedoch auf Basis beobachteten Klimaverhaltens kontinuierlich fortgeschrieben werden, um zukünftig zusammen mit der erwarteten Erhöhung der Rechenleistung präzisere Simulationen zu erhalten.

Nach aktuellem Stand der Forschung sind insbesondere fundierte Aussagen darüber möglich, wie stark der menschengemachte Klimawandel Wahrscheinlichkeit und Intensität von Hitzewellen erhöht. Für Dürren, Starkregen und Fluten sind die Aussagen weniger verlässlich. Für viele Sturmarten ist nur belegt, dass die Windintensität zunehmen wird; Aussagen über die zunehmende Häufigkeit von Stürmen sind praktisch (noch) nicht möglich.

Der Grund für die Zunahme bestimmter Extremwetterereignisse liegt unter anderem darin, dass das Klimasystem wegen der höheren Temperaturen mehr Energie aufnehmen kann. Die Luft kann dadurch mehr Wasser aufnehmen und verdampfen. Dies kann Extremwetter wie Dürren und Gewitter begünstigen. Da die Niederschläge nicht zwangsläufig am Ort der Verdunstung erfolgen, können Gebiete mit viel Niederschlag noch feuchter und Gebiete mit wenig Niederschlag noch trockener werden. Infolge komplexer Wechselwirkungen des Klimasystems kann die globale Erwärmung allerdings auch dazu führen, dass Gebiete mit viel Niederschlag trockener und Gebiete mit wenig Niederschlag feuchter werden (z. B. Austrocknung des Amazonas-Regenwaldes bzw. des südamerikanischen Pantanal).⁶⁶

02.6.1 Klimaveränderungen in Deutschland

Die bodennahe Lufttemperatur, die als häufigster Indikator für den Nachweis des anthropogenen Klimawandels verwendet wird, ist sowohl global als auch in Deutschland und in Bayern seit Beginn der Temperaturlaufzeichnungen kontinuierlich angestiegen und wird künftig weiter zunehmen. Insbesondere seit den 1980er-Jahren ist der globale Temperaturanstieg deutlich sichtbar – jedes der letzten drei Jahrzehnte war das jeweils wärmste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen um ca. 1850.⁶⁷ Neun der zehn wärmsten je aufgezeichneten Jahre Deutschlands traten ab dem Jahr 2000 auf, wobei die Jahresdurchschnittstemperatur im Zeitraum 1990 bis 2019 bereits rund 1,2 °C höher als im langjährigen Durchschnitt der Jahre 1951 bis 1980 lag. Zu beobachten ist auch, dass die Temperaturzunahme sich nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt, sondern im Winter deutlich stärker ausgeprägt ist als in den Sommermonaten.

Mit Bezug auf die Klimasignale (die die verschiedenen Ausprägungen des Klimazustandes beschreiben) kann für Deutschland neben der Erhöhung der Jahresmitteltemperaturen eine Intensivierung der (Regen-)Niederschläge und die Verringerung der Schneefälle erwartet werden. Da diese Niederschläge jedoch häufiger als Extremereignisse auftreten, die nicht dezentral versickern, sondern durch ein schnelles oberflächliches Abfließen gekennzeichnet sind, hat dies nicht zwangsläufig positive Auswirkungen auf die Wasserbilanz. Insbesondere die Grundwasserneubildung geht derzeit so stark zurück, dass die sommerlichen Dürreperioden in den Wintermonaten nicht ausgeglichen werden. Dies führt über mehrere Jahre zu erheblichen Auswirkungen auf die grundwasserabhängigen Ökosysteme sowie die Land- und Forstwirtschaft. Wenn sich diese Dürreperioden unter den Vorzeichen des Klimawandels zukünftig weiter intensivieren, so werden Nutzungskonflikte über das vorhandene Wasser entstehen, von denen unter anderem das Bauwesen als wasserintensive Branche ebenfalls betroffen sein wird.⁶⁸

65 Otto et al., 2016

66 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, 2021

67 IPCC, 2018

68 ebd.

Aufgrund der unterschiedlichen Geografie Deutschlands variieren die erwarteten klimatischen Veränderungen zwischen den Regionen. Für Deutschland identifiziert das Umweltbundesamt (UBA) sechs Hauptregionen, die jeweils von unterschiedlichen klimatischen Veränderungen betroffen sein werden:

- Nordwesten Deutschlands: Zunahme von Flusshochwässern und Sturmfluten
- Ostdeutsche Bundesländer und Rheinland-Pfalz: starker Rückgang der Niederschläge
- Südliches Brandenburg, nördliches Sachsen sowie in den dicht besiedelten Gebieten entlang von Rhein und Ruhr: deutlich überdurchschnittliche Erwärmung
- Mittelgebirge von der Westeifel bis zum Fichtelgebirge: Erwärmung und Zunahme winterlicher (Regen-)Niederschläge
- Gebirgsvorland in Bayern und Baden-Württemberg: überdurchschnittliche Erwärmung
- Gebirgsregionen (Alpenraum, Schwarzwald und Bayerischer Wald): überdurchschnittliche Erwärmungen, verstärkte Ungleichverteilung von Niederschlägen über das Jahr.⁶⁹

Die klimatischen Veränderungen haben erhebliche Folgen für die (künftigen) Anforderungen an Bauten und Infrastrukturen sowie auf die Bautätigkeit selbst (Kapitel 03.2).

Zudem beeinflussen sie das Energiedargebot (v. a. Photovoltaik) und die Endenergienachfrage (z. B. Heiz-/Kühlbedarf).

02.6.2 Klimaveränderungen in Bayern

Für Bayern konnte im Zeitraum 1951 bis 2019 ein ganzjähriger Erwärmungstrend von +1,9 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau ausgemacht werden, in den Sommermonaten Juni bis August liegt dieser mit +2,4 °C noch höher.⁷⁰ Somit zeichnet sich hier im Vergleich zu Deutschland, in

dem sich die Erwärmung eher im Winter überdurchschnittlich vollzieht, ein gegenläufiger Trend ab. Dieser ist aufgrund der ohnehin schon hohen sommerlichen Temperaturbelastung mit gesteigerten Anforderungen an die Vorsorge bzw. den Schutz der Bevölkerung verbunden (Tabelle 6).

Tabelle 6

Temperaturkennwerte der bayerischen Regionen heute und in Zukunft

	Temperatur (Jahresmittel)	Anzahl Hitzetage (Tmax ≥ 30 °C)	Anzahl Tropennächte (Tmin ≥ 20 °C)	Anzahl Frosttage (Tmin < 0 °C)	Anzahl Eistage (Tmax < 0 °C)
Heutiger Zustand (Referenzzeitraum 1971–2000)					
Alpen	5,7 °C	0,5	0,00	154	41
Alpenvorland	7,3 °C	1,5	0,04	121	30
Südbayerisches Hügelland	8,2 °C	3,9	0,03	107	29
Donauregion	8,2 °C	5,1	0,02	106	30
Ostbayerisches Hügel- und Bergland	7,0 °C	2,5	0,01	123	37
Mainregion	8,5 °C	6,2	0,03	96	23
Spessart-Rhön	7,6 °C	2,5	0,04	103	30
Bayern insgesamt	7,9 °C	4,1	0,02	110	30
Erwartete Veränderungen bis 2050 in Bayern insgesamt (dreißigjähriges Mittel)					
Schwacher Klimawandel	+1,5 °C	+11	+1,2	–26	–12
Starker Klimawandel	+2,1 °C	+11	+1,4	–46	–18

Schwacher Klimawandel beschreibt das RCP2.6-Szenario, starker Klimawandel das RCP8.5-Szenario

Quelle: StMUV, 2021b, eigene Darstellung

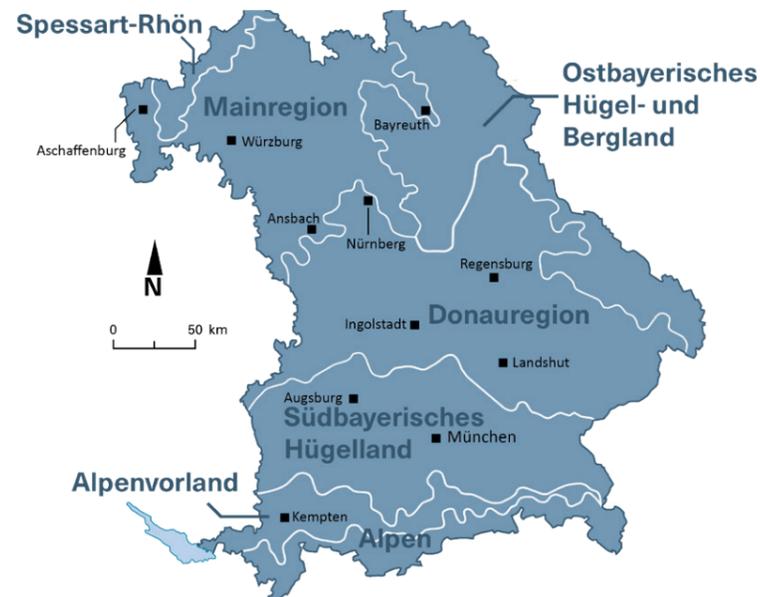
Starkregenereignisse

Laut den Klimaprojektionen bleibt die ganzjährige Niederschlagssumme für Bayern sowohl in naher als auch ferner Zukunft, unabhängig von der Ausprägung des Klimawandels, annähernd konstant. Hier ist jedoch zu beachten, dass sie sich über das Gesamtjahr anders verteilen wird: Im Winter werden die Niederschläge tendenziell eher zunehmen und sich dafür im Sommer verringern. Außerdem wird aufgrund der steigenden Durchschnittstemperaturen eine höhere Verdunstung stattfinden, die auch bei gleichbleibenden Niederschlagsmengen eine Entstehung von Dürre- oder Trockenphasen begünstigt. Dazu trägt auch bei, dass der Klimawandel die Intensität und Häufigkeit von (lokalen) Starkregenereignissen begünstigt. Ursache hierfür ist der physikalische Zusammenhang, dass ein wärmeres Luftsystem mehr Energie speichert und eine höhere Wasseraufnahmekapazität besitzt. Bei gleichbleibenden Niederschlagsmengen in den Prognosen bedeutet dies ein längeres Auftreten von Trockenphasen bei gleichzeitig vermehrten bzw. intensiveren Starkregenereignissen.⁷¹

Sturm- bzw. Hagelereignisse

Auch Sturm- bzw. Hagelereignisse können in Zukunft in Bayern häufiger und vor allem intensiver auftreten und mit erheblichen Auswirkungen auf den Gebäudebestand sowie die Bauwirtschaft verbunden sein.⁷² Aufgrund des Einzelfallcharakters dieser Ereignisse kann jedoch noch kein statistisch belastbarer Trend zur Veränderung der Anzahlen geliefert werden.

Abbildung 18
Klimaregionen Bayerns



Quelle: StMUV, 2021b, eigene Darstellung Prognos

71 ebd.

72 ebd.

Die beschriebenen klimatischen Veränderungen treten jedoch aufgrund der Geografie und Topografie innerhalb Bayerns nicht einheitlich auf, sondern sind regional unterschiedlich ausgeprägt (Abbildung 18). Der Klima-Report Bayern teilt den Freistaat in sieben Klimaregionen ein:

Alpen und das Alpenvorland

Die Alpen und das Alpenvorland werden von einem ganzjährigen Temperaturanstieg oberhalb des deutschlandweiten Durchschnitts betroffen sein. Somit wird die Schneefallgrenze steigen und die Schneeschmelze früher einsetzen. Zusätzlich wird es zu einer Ungleichverteilung des Niederschlags über den Jahresverlauf kommen – prinzipiell ist mit einer Zunahme winterlicher Niederschläge in Form von Regen bzw. stark vernässtem Schnee anstelle von Trockenschnee, bei gleichzeitiger Abnahme der Sommerniederschläge zu rechnen. Dies hat gravierende Folgen für die fragilen Gebirgs-Ökosysteme und die Biodiversität.⁷³

Südbayerisches Hügelland

Das Südbayerische Hügelland sowie die Donauregion sind ebenfalls noch von einer im Bundesvergleich überdurchschnittlichen Anzahl an Tagen mit Starkniederschlägen, aber auch Tagen mit Frostvorkommen gekennzeichnet. Zukünftig wird hier insbesondere im Sommer die derzeit bereits hohe Anzahl an Hitzetagen ($T_{max} \geq 30^\circ\text{C}$) bzw. Tropennächten ($T_{min} \geq 20^\circ\text{C}$) weiter zunehmen. Dies hat aufgrund der relativ dichten Bebauung und des Flächenwachstums im Südbayerischen Hügelland besonders starke Auswirkungen: In den Siedlungsbereichen ist mit besonders häufigen bzw. stärker werdenden Überschwemmungen durch Starkregen sowie mit der Entstehung besonders ausgeprägter urbaner Hitzeinseln zu rechnen. So kann die Temperaturdifferenz zwischen Innenstadt und Umland bis zu 8°C betragen,⁷⁴ was in den verdichteten Gebieten eine nochmals deutliche Erhöhung von Hitzetagen und Tropennächten nach sich zieht.⁷⁵

Mainregion und Spessart-Rhön

Die Mainregion verfügt bereits heute über ein im Bundesvergleich überdurchschnittlich warmes Klima. Dieses wird sich ebenfalls im Sommer durch einen besonders starken Anstieg von Hitzetagen und Tropennächten noch stärker erwärmen. Hiermit verbunden sind mögliche langanhaltende Hitzewellen sowie bei Ausbleiben von Regenereignissen auch intensive Dürrephasen. Die Region Spessart-Rhön als Mittelgebirgsraum fungiert als Regenscheide der Mainregion und ist daher durch erhöhte Niederschlagswerte und ein moderateres Klima gekennzeichnet. Allerdings ist die Niederschlagsmenge zwischen 1950 und 2019 hier im Trend bereits um 23 Prozent in den Sommermonaten zurückgegangen, während die Winterniederschläge um zehn Prozent zunahm. Diese Ungleichverteilung wird sich in den nächsten Jahren und Jahrzehnten noch weiter verstärken.⁷⁶

Ostbayerisches Hügel- und Bergland

Eine ähnliche Entwicklung ist im Ostbayerischen Hügel- und Bergland zu erwarten: Besonders in den Wintermonaten werden die Niederschläge eher zunehmen und infolge der milderen Temperaturen seltener als Schnee auftreten, während die Sommerniederschläge eher abnehmen. Zusätzlich ist in den südlicheren Bereichen, ähnlich der Entwicklung in den Alpen und dem Alpenvorland, mit einer ganzjährig deutlich überdurchschnittlichen Erwärmung zu rechnen.⁷⁷

73 adelphi / PRC / EURAC, 2015, StMUV, 2021b

74 Stadt München, o. J.

75 adelphi / PRC / EURAC, 2015, StMUV, 2021b

76 ebd.

77 ebd.

Kasten 10

Weltweite klimatische Veränderungen⁷⁸

Der Klimawandel wirkt sich in allen Regionen der Erde auf verschiedene Arten und Weisen aus und wird dies in Zukunft noch verstärkt tun. Wenngleich die Intensität regional variieren kann, sind die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt überall deutlich. Das betrifft neben der globalen Erwärmung auch die durch diese hervorgerufene und beobachtbare Zunahme von Extremwetterereignissen sowie graduelle Veränderungen im Klimasystem, wie beispielsweise den Anstieg des Meeresspiegels. Zudem reagieren wesentliche Elemente im Klimasystem der Erde ab einer bestimmten Erwärmung sehr sensitiv auf weitere klimatische Veränderungen. Das Verhalten der sogenannten Kippelemente basiert im Wesentlichen auf Rückkopplungseffekten, die sich – einmal angestoßen – ohne weitere externe Einflüsse selbst verstärken, was zu abrupten und drastischen Änderungen im Klimasystem führen wird. So werden beispielsweise das Abtauen der alpinen Gletscher und des grönländischen Eisschildes sowie die Austrocknung des Amazonas-Regenwaldes und das Absterben tropischer Korallenriffe als Kippelemente klassifiziert, deren Schwellenwerte potenziell bereits erreicht wurden bzw. dies bald werden.⁷⁹

In der Intensität und Häufigkeit klimawandelbezogener Auswirkungen zeigt sich tendenziell ein Nord-Süd-Gefälle, wobei die südlichen Regionen durch die Auswirkungen von extremer Hitze, Wasserknappheit, Dürre und Waldbränden viel stärker betroffen sind. Zudem stellt der Anstieg des Meeresspiegels eine existenzielle Bedrohung für zahlreiche kleine Inselstaaten dar. Deutschland und Bayern sind Extremwetterereignissen zwar tendenziell weniger ausgesetzt als andere (südlichere) Regionen der Erde, können jedoch Deutschland und Bayern von indirekten Folgen betroffen sein. Diese können sich beispielsweise aus klimawandelbedingten Migrationsbewegungen (Kasten 1) ergeben. Zudem sind Deutschland und Bayern aufgrund ihrer starken globalen (Handels-)Verflechtungen vulnerabel gegenüber Auswirkungen klimabedingter Veränderungen, die anderenorts auftreten.⁸⁰

Durch die Zunahme der Temperaturen können sehr weit nördlich gelegene Regionen in Ländern wie Russland oder Kanada ökonomisch sogar von den Klimawandelfolgen profitieren (beispielsweise durch die Auswirkungen milderer Temperaturen auf die Arbeitsproduktivität oder die ganzjährige Befahrbarkeit der Nordost- und Nordwestpassagen um die Arktis herum), wenngleich diese Veränderungen in den fragilen Ökosystemen ökologisch große Folgeschäden mit sich bringen werden. So setzt das Auftauen von Permafrostböden jahrtausendealtes im Boden gespeichertes Methan und andere Treibhausgase frei und stellt somit auch ein relevantes Kippelement im globalen Klimasystem dar.⁸¹

78 Prognos / vbw, 2020

79 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, 2021

80 Das Thema der direkten und indirekten Vulnerabilität gegenüber Klimawandelfolgen wird in Prognos, vbw (2021) ausführlich beleuchtet.

81 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, 2021

03

Klimaschutz und Klimawandel

Klimaschutz und Anpassungen an den Klimawandel setzen neue und vermehrte Anforderungen an die künftige Bautätigkeit.

Kapitel in der Übersicht

03.1	Klimaschutz	54
03.1.1	Klimaschutzziele in Deutschland	54
03.1.2	Bau- und gebäuderelevante THG-Emissionen in Deutschland	56
03.1.3	Klimaschutz im Bau: Klimaschutztechnologien	59
03.1.4	Klimaschutz im Bau: Nachwachsende Baustoffe	64
03.1.5	Klimapolitisch induzierte Investitionsbedarfe in Deutschland	69
03.1.6	Zwischenfazit	73
03.2	Klimawandelfolgen	74
03.2.1	Auswirkungen des Klimawandels auf das Bauwesen	75
03.2.2	Anforderungen an das klimaangepasste Planen und Bauen von Gebäude	80
03.2.3	Klimaanpassung durch Infrastruktur im Gebäudeumfeld	85
03.2.4	Zwischenfazit	88

03.1 Klimaschutz

Die anthropogenen Treibhausgasemissionen sind Haupttreiber des Klimawandels und der globalen Erwärmung. Deshalb steht die Verringerung der Treibhausgasemissionen im Zentrum von Klimaschutzmaßnahmen.

Auswirkungen durch Corona

Die Corona-Krise ändert nichts an der Dringlichkeit des Themas, da sie nicht zu einer dauerhaften Senkung der THG-Emissionen in nennenswertem Umfang beitragen dürfte. Kurzfristig könnten durch die milliardenschweren Corona-Hilfspakete von Deutschland und der EU bestimmte (klimafreundliche) Investitionen zeitlich vorgezogen werden – sofern es die Kapazitätsauslastungen erlauben. Als Auslöser für durch die Pandemie angestoßene dauerhafte Veränderungen der Treibhausgasemissionen kommen allenfalls veränderte Konsum- und Verhaltensmuster in Frage (z. B. mehr virtuelle Meetings und Homeoffice sowie weniger Dienstreisen). Inwiefern diese realisiert und langfristig erhalten bleiben, ist aufgrund möglicher gegenläufiger Effekte bislang unklar (z. B. kann selteneres Pendeln durch längere Pendelstrecken kompensiert werden).⁸²



03.1.1 Klimaschutzziele in Deutschland

Die deutschen Klimaschutzziele sind in ein Gerüst internationaler und europäischer Vereinbarungen eingebettet und im Klimaschutzplan 2050 (KSP) und im Klimaschutzgesetz (KSG) geregelt. Nach einer Verschärfung im Mai 2021 sollen die deutschen Treibhausgasemissionen nunmehr

- bis 2020 um 40 Prozent,
- bis 2030 um 65 Prozent (zuvor 55 Prozent) und
- bis 2040 um 88 Prozent (zuvor 70 Prozent reduziert werden (jeweils bezogen auf das Basisjahr 1990). Bis 2045 soll Klimaneutralität, also eine bilanzielle Treibhausgasneutralität („Netto-Null“) erreicht werden (bisher war dies erst für 2050 geplant). Ab 2050 sind bilanziell negative Emissionen geplant. Dazu soll neben den Sektoren der Energiebilanz (Verbrauchssektoren sowie Umwandlungssektor, in dem Strom- und Wärmeerzeugung erfolgt) nunmehr auch der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) Beiträge in Form negativer Emissionen leisten.⁸³

⁸² Prognos / vbw, 2020

⁸³ gem. Entwurf eines ersten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom 11.05.2021, der vom Bundeskabinett am 12. Mai 2021 beschlossen wurde. Die Novellierung des Klimaschutzgesetzes wurde am 10. Juni 2021 in einer ersten Lesung im Bundestag diskutiert.

Da die Senkenfunktion des LULUCF-Sektors in den vergangenen Jahren abnahm und er ohne geänderte Aktivitäten voraussichtlich ab 2025 sogar zur Netto-Emissionsquelle wird, erfordert dies unter anderem einen veränderten Umgang mit Mooren und eine Veränderung der Waldbewirtschaftung. Aufgrund des Klimawandels wird sich Letztere allerdings ohnehin verändern, da unter anderem die Sortenzusammensetzung in Bezug auf Robustheit gegenüber den Klimaveränderungen geändert werden muss. Die Veränderung der Waldbewirtschaftung kann sich auf Angebot und Preise für den Baustoff Holz auswirken.

Das Klimaschutzziel 2020 wurde – unter anderem infolge einmaliger Auswirkungen der Corona-Krise – insgesamt zwar erreicht, im Gebäudesektor wurde es jedoch um rund

zwei Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente (CO₂-Äq), knapp verfehlt. Aktuelle Szenarien zeigen, dass Deutschland mit den bereits beschlossenen Maßnahmen die alten Ziele bis 2030 in den meisten Sektoren nahezu, jedoch nicht vollständig erreicht hätte.⁸⁴ Im Hinblick auf die neuen Ziele sind also in allen Sektoren weitere Anstrengungen erforderlich (Tabelle 7). Damit ist davon auszugehen, dass in den kommenden Jahren weitere Instrumente beschlossen und zusätzliche Maßnahmen umgesetzt werden. Das den neuen Zielen zugrunde liegende Szenario zeigt, dass diese mit einer Beschleunigung und Verstärkung bisher geplanter technischer Maßnahmen sowie mit grundsätzlich bekannter Technologien im Rahmen der normalen Investitionszyklen erreicht werden können.⁸⁵

Tabelle 7
THG-Emissionen und Emissionsziele in Deutschland bis 2030

	Emissionen Mio. t CO ₂ -Äq				Reduktion bis 2030 neue Ziele	
	1990	2020	Alte Ziele 2030	Neue Ziele 2030	ggü. 1990	ggü. 2020
 Energie	466	221	175	108	-77 %	-51 %
 Gebäude	209	120	70	67	-68 %	-44 %
 Verkehr	164	146	95	85	-48 %	-42 %
 Industrie	283	178	140	118	-58 %	-34 %
 Landwirtschaft	90	66	58	56	-38 %	-15 %
 Abfall und Sonstiges	38	9	5	4	--89 %	-56 %
Summe	1.251	740	543	438	-65 %	-41 %

Emissionen ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) und für 2020 vorläufige Werte

Quelle: UBA, KSG, eigene Darstellung Prognos 2021

⁸⁴ Prognos et al., 2021a (KSP-Szenario)

⁸⁵ Prognos et al., 2021c

Bei der Prognose zur Zielerreichung wird unter anderem im Gebäudebereich bereits berücksichtigt, dass der Heizbedarf infolge der Klimaerwärmung künftig sinkt. Es wird erwartet, dass die Gradtagzahl, die die Differenz einer angenommenen Innentemperatur von 20 °C und der durchschnittlichen Außentemperatur eines Tages misst, in Deutschland bis 2050 um elf Prozent bis 16 Prozent (wahrscheinlich sogar um mehr) gegenüber dem Zeitraum 1990 bis 2010 zurückgeht.⁸⁶ Zugleich steigt infolge der Klimaerwärmung zwar die Nachfrage nach Klimakälte. Dieser Mehrbedarf fällt aber typischerweise in Zeiten an, in denen viel Strom aus Photovoltaik direkt oder via Kurzzeitspeicher verfügbar ist. Dennoch ist es sinnvoll, diesen so effizient und systemdienlich wie möglich zu decken und die Bau- und Anlagentechnik entsprechend integriert zu planen. Zudem kann der Kühlbedarf (und damit der entsprechende Energiebedarf) durch bestimmte Bauweisen und bauliche Anpassungen reduziert werden (Kapitel 03.2). Die Freihaltung innerstädtischer Flächen von Bebauung als Frischluftschneisen zum Kaltluftaustausch kann zwar ebenfalls einen Beitrag zur Reduktion des Kühlbedarfs in Städten leisten; hier ergibt sich aber ein Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung (Kasten 15).

Die mit den Klimaschutzzielen verbundenen Maßnahmen und politischen Instrumente haben einen wesentlichen Einfluss auf das Planen und Bauen der Zukunft. Dies betrifft den Gebäudesektor einerseits unmittelbar (z. B. Verwendung CO₂-arm produzierter Baustoffe, Wärmedämmung, erneuerbare Heizungswärmeherzeugung) und andererseits über Maßnahmen in den anderen Sektoren, da die hier erforderlichen Maßnahmen oftmals Bautätigkeiten erfordern (z. B. Errichtung von Erneuerbare-Energien-Anlagen, Prozessanlagen sowie Infrastrukturen).

03.1.2 Bau- und gebäuderelevante THG-Emissionen in Deutschland

Zu den THG-Emissionen in den bau- und gebäuderelevanten Bereichen liegen keine passfähig abgegrenzten amtlichen Statistiken vor. Die hier betrachteten Emissionsdaten stammen teilweise aus unterschiedlichen Quellen und Jahren und sind damit nur begrenzt vergleichbar. Gleichwohl ermöglichen sie eine Orientierung und grobe Einordnung der Größenordnungen und Relevanz der einzelnen Emissionsbereiche.

THG-Emissionen bei der Nutzung und beim Betrieb von Gebäuden

THG-Emissionen im Gebäudesektor entstehen vor allem durch Verbrennungsprozesse für die Produktion von Raumwärme und -kälte sowie von Warmwasser. Sie belaufen sich auf rund 16 Prozent der gesamten THG-Emissionen 2020.⁸⁷ Die Emissionen im Gebäudesektor verteilen sich zu rund zwei Dritteln auf Wohngebäude und einem Drittel auf Nichtwohngebäude (NWG), die gegenüber Wohngebäuden einen geringeren Anteil am gesamten Gebäudebestand (Kapitel 02.3) und typischerweise einen niedrigeren Heiz- und Warmwasserbedarf haben.

Hinzu kommen noch indirekte THG-Emissionen, die aus dem Energieverbrauch von Gebäuden resultieren und im Umwandlungssektor (Strom- und (Fern-)Wärmeerzeugung) bilanziert werden, z. B. Elektrizität für Beleuchtung, Bürotechnik sowie für den Betrieb von Maschinen und Motoren (Abbildung 19). Zusammen mit diesen verursachen Gebäude etwa 35 Prozent des Endenergieverbrauchs und etwa 30 Prozent der CO₂-Emissionen.⁸⁸

⁸⁶ Prognos et al., 2021a

⁸⁷ Der Gebäudesektor umfasst die beiden Sektoren Private Haushalte sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen.

⁸⁸ UBA, 2020; BBSR, 2020a

Abbildung 19
Anteil der Verwendungszwecke am Endenergieverbrauch im Gebäudesektor 2020 in Deutschland in %



Der dargestellte Endenergieverbrauch umfasst die beiden Sektoren Private Haushalte sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen inkl. Landwirtschaft.

Quelle: Prognos et al., 2021a, eigene Darstellung Prognos 2021

THG-Emissionen bei Herstellung, Errichtung und Sanierung von Gebäuden

Neben den Emissionen, die bei Nutzung bzw. Betrieb der Gebäude verursacht werden, sind insbesondere auch die Emissionen in Zusammenhang mit der sogenannten „grauen Energie“ relevant, die bei der Herstellung, Errichtung und Sanierung von Gebäuden entstehen und im Industriesektor bilanziert werden. Dies betrifft weniger das Baugewerbe selbst als vielmehr andere Branchen, in denen wichtige Baumaterialien hergestellt werden (v. a. Stahl, Zement). Um die Emissionen bei der Herstellung von Baumaterialien zu ermitteln, werden die direkten Emissionen der jeweiligen Branche (d. h. Emissionen aus Brennstoffverbräuchen, Prozessemissionen und gegebenenfalls Industriekraftwerken) mit dem Anteil der Gesamtproduktion, der in das Baugewerbe fließt, gewichtet. Beispielsweise wird rund ein Drittel der Eisen- und Stahlproduktion im Baugewerbe genutzt. Der Rest wird in anderen Branchen eingesetzt, vor allem im Fahrzeugbau. Somit wird auch nur rund ein Drittel der Emissionen bei der Herstellung von Eisen und Stahl als baurelevant klassifiziert. Die so ermittelten Emissionen bei der Herstellung der in Tabelle 8 dargestellten Baumaterialien belaufen sich auf rund sechs Prozent der deutschen THG-Emissionen. Ein Großteil davon entfällt auf die Zement- und Stahlherstellung. Hinzu kommen noch die indirekten Emissionen, die dem Stromverbrauch⁸⁹ bei der Herstellung der Materialien zugerechnet werden und im Umwandlungssektor bilanziert werden. In diesem Sinne sind die sechs Prozent eher als Untergrenze zu verstehen.

Das Baugewerbe selbst verursacht über Bauprozesse rund zehn Mio. Tonnen THG-Emissionen und das mit dem Baugewerbe in Verbindung stehende Grundstücks- und Wohnungswesen ist für etwa drei Mio. Tonnen THG-Emissionen verantwortlich.

⁸⁹ Die Brennstoffe, die unmittelbar in die Prozesswärmeherzeugung fließen, werden direkt in den Verbraucherbranchen und somit bereits im Industriesektor bilanziert.

Summe der bau- und gebäuderelevanten THG-Emissionen

Die deutschen THG-Emissionen stehen zu einem erheblichen Anteil in direktem oder indirektem Zusammenhang mit Bautätigkeit (Tabelle 8). Die direkten Emissionen belaufen sich nach der vorgenommenen Abgrenzung des Bau-sektors auf rund ein Viertel der gesamten THG-Emissionen Deutschlands. Hinzu kommen noch indirekte Emissionen in Verbindung mit dem Stromverbrauch, die im Umwandlungssektor bilanziert werden. Eine Studie schätzt, dass rund 55 Prozent der THG-Emissionen im Umwandlungssektor 2014 auf Bau und Sanierung von Gebäuden (5 %) sowie auf Nutzung und Betrieb von Gebäuden (50 %) zurückzuführen sind (Bereitstellung der verwendeten Brennstoffe und von Strom).⁹⁰ Letztlich handelt es sich dabei um alle Verwendungen von Strom und Wärme außer direkt in Industrieprozessen und im Verkehr eingesetztem Strom bzw. Prozesswärme, also z.B. Kleingewerbe, Kochen, IKT-Nutzung etc. Es geht also nicht nur um den Betrieb von Gebäuden, sondern auch um jegliche gewerbliche und nicht gewerbliche Tätigkeit, die in Gebäuden durchgeführt wird. Wird dieser Anteil unverändert auch für 2020 angesetzt, ergeben sich daraus indirekte THG-Emissionen in Höhe von fast 121 Mio. Tonnen.

Zusammen betragen die direkten und indirekten bau- und gebäuderelevanten THG-Emissionen schätzungsweise fast 41 Prozent (300,7 Mio. Tonnen CO₂-Äq) der gesamten THG-Emissionen in Deutschland.⁹¹ Hinzu kommen noch baurelevante Emissionen, die Zulieferer im Ausland verursachen. Diese werden in Schätzungen für 2014 mit 35 Mio. Tonnen CO₂-Äq angegeben.⁹²

Schätzungen auf globaler Ebene gehen ebenfalls davon aus, dass Bau und Betrieb von Gebäuden für rund 40 Prozent der weltweiten energiebezogenen CO₂-Emissionen verantwortlich sind und mehr als ein Drittel (35 %) des weltweiten Endenergieverbrauchs verursachen.⁹³

Die bau- und gebäuderelevanten THG-Emissionen werden in den kommenden Jahren und Jahrzehnten deutlich sinken, wenn die entsprechenden bisherigen energie- und klimaschutzpolitischen Instrumente fortgeführt und gemäß den Notwendigkeiten angepasst und gegebenenfalls ergänzt werden. Szenarienarbeiten zeigen, dass die THG-Emissionen auf Grundlage der bisherigen Maßnahmen und Rahmendaten (u. a. Entwicklung Bevölkerung, Haushalte) bis 2030 im Gebäudesektor um 35 Prozent und im Industrie-sektor um 20 Prozent gegenüber 2020 zurückgehen.⁹⁴ Allerdings ist die Realisierung von THG-Einsparungen gerade im Gebäudesektor sowie bei der Herstellung von Zementklinker und Stahl vergleichsweise herausfordernd:

- Im Gebäudesektor stellt sich vor allem die Herausforderung, dass der ganz überwiegende Teil des in Zukunft genutzten Gebäudebestandes bereits gebaut ist und die erforderlichen Maßnahmen aufgrund langer Amortisationszeiten oftmals wenig attraktiv sind (Kasten 12).
- Bei der THG-neutralen Herstellung von Zementklinker und Stahl ergeben sich vor allem technische sowie kostenseitige Herausforderungen (Kapitel 03.1.3).

⁹⁰ BBSR, 2020a

⁹¹ BBSR (2020a) weist für 2014 einen ähnlich hohen Anteil (40,2 %) aus.

⁹² BBSR, 2020a

⁹³ UN, 2020

⁹⁴ Prognos et al., 2021a (KSP-Szenario)

Tabelle 8
Grobabschätzung bau- und gebäuderelevanter THG-Emissionen in Deutschland

	Produktionsanteil, der ins Baugewerbe fließt	Emissionen Mio. t CO ₂ -Äq ¹⁾	Anteil an deutschen Gesamtemissionen 2020 ²⁾
Gebäudesektor	–	120,0	16,2 %
WZ Baugewerbe	–	10,1	1,4 %
WZ Grundstücks- und Wohnungswesen	–	0,4	< 0,1 %
Bauwirtschaftlicher Verkehr	–	3,2	0,4 %
Herstellung wichtiger Baumaterialien ³⁾	–	46,0	6,2 %
– Eisen und Stahl	35 %	19,6	2,7 %
– Zementklinker	100 %	19,4	2,6 %
– Kalk und Gips	18 %	1,3	0,2 %
– Glas	47 %	1,6	0,2 %
– Ziegel	100 %	1,9	0,3 %
– Keramik	38 %	0,4	< 0,1 %
– Erzeugn. aus Beton, Gips u. Stein	100 %	1,8	0,2 %
Zwischensumme	–	179,9	24,2 %
Energiewirtschaft (indirekte Emissionen) ⁴⁾	–	120,8	16,3 %
Summe	–	300,7	40,6 %

1) Die Emissionen beziehen sich jeweils auf das aktuellste Jahr, für das Daten vorliegen: Gebäude 2020, Wirtschaftszweige (WZ) 2018, bauwirtschaftlicher Verkehr 2017, Baumaterialien 2020.

2) Vorläufige Daten für 2020.

3) Die angegebenen Emissionen bilden den baurelevanten Anteil ab, der sich aus der Gewichtung der industriellen Gesamtemissionen bei der Herstellung des jeweiligen Materials (Prozess-, Verbrennungs- und Kraftwerkemissionen) mit dem jeweiligen Anteil der Gesamtproduktion, der ins Baugewerbe fließt, ergibt.

4) Die angegebenen Emissionen bilden den bau- und gebäuderelevanten Anteil ab (55 % der gesamten Emissionen im Umwandlungssektor).

Quelle: StMUV, 2021b, eigene Darstellung

03.1.3 Klimaschutz im Bau: Klimaschutztechnologien

Die zur Erreichung der Klimaschutzziele notwendige langfristige Transformation klimarelevanter Systeme und Prozesse ist grundsätzlich möglich. Hierfür erforderlich sind insbesondere Technologien, die bereits heute bekannt und weitgehend technisch ausgereift sind. Dauerhafte Veränderungen von Verhaltens- und Konsumgewohnheiten können zwar ebenfalls einen Beitrag leisten, ihre Beiträge sind gegenüber dem Beitrag der Technologien jedoch geringer und ersetzen technologische Veränderungen nicht. Eine Beispielrechnung zeigt, dass eine Begrenzung der Raumtemperatur in Wohngebäuden im Winter auf 19 °C (unter

den getroffenen Annahmen) zu einer Einsparung von lediglich etwa 5,5 Megatonnen CO₂-Äq führen würde, was etwa 0,6 Prozent der gesamten Emissionen Deutschlands und acht Prozent der mit der Raumwärme in Wohngebäuden verbundenen Emissionen entspricht. Eine Reduktion der Wohnfläche pro Kopf um durchschnittlich 15 Prozent könnte – bei ansonsten unveränderter Beheizungsstruktur – zu Einsparungen von ca. 10,5 Megatonnen CO₂-Äq führen, was etwa 1,2 Prozent der gesamten Emissionen Deutschlands entspricht.⁹⁵ Ein Umstieg auf CO₂-freie Heizungstechnologien ist dann immer noch erforderlich.

⁹⁵ UN, 2020

Ebenfalls gegenüber Technologien von untergeordneter Bedeutung sind bauliche Vorkehrungen und Anpassungen, die den Wärme- bzw. Kältebedarf und damit die THG-Emissionen im Gebäudebereich reduzieren (beispielsweise Mauervorsprünge zum Sonnenschutz).

Zur Reduktion der baurelevanten THG-Emissionen, die vor allem in dem Gebäude- und Industriesektor (Herstellung von Baustoffen) zu verorten sind, bedarf es vor allem (Tabelle 9)

- Effizienztechnologien (z. B. Wärmedämmung, Abwärmenutzung, LED-Beleuchtung, Stromeffizienz),
- Erneuerbare-Energien-Technologien und
- Prozessumstellungen (z. B. Direktreduktion bei der Stahlproduktion, veränderte Prozesse in der Grundstoffchemie).

Tabelle 9

Klimaschutztechnologien zur Reduktion baurelevanter THG-Emissionen

	Sektor	Ziel	Maßnahmenbeispiele
Effizienz	Gebäude und Industrie	Reduktion des Strom-, Wärme- und Kältebedarfs	<ul style="list-style-type: none"> – Energetische Verbesserung der Gebäudehülle (z. B. Wärmedämmung von Fassaden, Dächern, Kellern; hocheffiziente Fenster); Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung) – Reduktion des spezifischen Strombedarfs bestimmter Anwendungen (z. B. Drucklufterzeugung und -nutzung; effiziente Beleuchtungstechnik) – Intelligente Steuerung von Betriebsprozessen im Gebäudesektor und von Produktionsprozessen im Industriesektor – Verknüpfung von Abwärme mit Wärmebedarfen
Erneuerbare Energien	Gebäude	Ersatz fossiler Energien	<ul style="list-style-type: none"> – Erneuerbare-Energien-Heizungen (z. B. Wärmepumpen, Solarthermie, ggf. übergangsweise auch als bivalente Systeme); neue Wärmeträger bzw. Kältemittel-Medien (z. B. Phasenwechsel-Materialien) – Fernwärmesysteme auf Basis erneuerbarer Energien (z. B. Geothermie) und Abwärme – Integration von Photovoltaikanlagen (wird im Umwandlungssektor bilanziert, wird aber in bzw. auf Gebäuden umgesetzt)
Prozessumstellung	Industrie	Vermeidung prozessbedingter THG-Emissionen	<ul style="list-style-type: none"> – Einsatz von Wasserstoff statt Kohle (Koks) im Hochofen bei der Stahlherstellung; Einsatz grünen Wasserstoffs in bestimmten Prozessen der Grundstoffindustrie – Einsatz bestimmter Zuschlagstoffe bei der Zementmahlung – CCS bei den Prozessemissionen der Zementindustrie – BECCS (CCS bei Biomassefeuerungen zur Prozesswärmeproduktion) zur Erzeugung negativer Emissionen.

Quelle: Eigene Darstellung Prognos 2021

Zudem sind Abscheidungs- und Kompensationstechnologien erforderlich, die mittelfristig eine vergleichsweise kostengünstige Reduktion für anderweitig nicht vermeidbare prozessbedingte Emissionen ermöglichen. Dies betrifft insbesondere die Zementherstellung, da hier ein erheblicher Teil der Emissionen auf chemische Prozesse zurückzuführen ist, die nur bedingt beeinflusst werden können. Mit „Carbon Capture and Storage (CSS)“-Technologien erfolgt die Reduktion durch CO₂-Abscheidung an Punktquellen und anschließende CO₂-Speicherung im Untergrund. Zudem bauen Negativ-Emissionstechnologien (NET), die bilanziell negative Emissionen „erzeugen“, also langfristig der Atmosphäre CO₂ technisch entziehen, auf CCS auf. In Deutschland stehen dem künftigen Einsatz von CCS derzeit vor allem Akzeptanzprobleme entgegen (u.a. Bedenken hinsichtlich der Umweltverträglichkeit). CCS ist insbesondere eine Technologie für den mittelfristigen Einsatz, da die Speicherkapazitäten für CO₂ begrenzt sind. Längerfristig werden eher integrierte Verfahren weiterentwickelt und eingesetzt werden müssen, mit denen reiner Kohlenstoff erzeugt wird, der besser gelagert und weiterverarbeitet werden kann.

Brennwerttechnologie, in Kombination mit erneuerbaren Energien, arbeitet umweltschonender und effizienter als herkömmliche Gas- und Ölheizungen. Angesichts der verschärften Klimaschutzziele sind neue Heizungen auf Basis von Öl oder Gas (auch in Kombination mit erneuerbaren Energien) aber spätestens ab 2025 zu vermeiden und bestehende Brennwertkessel müssen bis 2045 ausgetauscht werden, um das politische Ziel der Klimaneutralität zu erreichen. Der Ausstieg aus fossilen Heizsystemen wird durch Markteffekte unterstützt: Infolge des allgemeinen Rückbaus der Gasheizungen verteilen sich die Betriebs- und Unterhaltskosten der Gasnetze auf immer weniger Endkunden, sodass die Nutzung von Gas für die verbleibenden Kunden zunehmend unwirtschaftlich wird.⁹⁶

Wärmepumpen

Im Gebäudebereich kommen unter anderem mit Wärmepumpen neue Stromverbraucher hinzu. Wärmepumpen ermöglichen es, Umweltwärme mit Einsatz von Strom als „Veredelungsenergie“ zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme zum Heizen und – bei spezifischen Technologien und mit Speicherelementen – auch zum Kühlen von Gebäuden zu nutzen. Als Umweltwärmequellen werden vor allem Luft, der Untergrund oder Wasser genutzt. Der Wärmeübertrager (Wärmequelle) ist hier in der Regel Luft, Wasser oder Sole, was zur Bezeichnung Luft-X-, Wasser-X- oder Sole-X-Wärmepumpe führt. Je nachdem welches Wärmeübertragermedium zur Übertragung der Heizwärme genutzt wird, werden die Wärmepumpen Y-Wasser- oder Y-Luft-Wärmepumpen benannt. Perspektivisch sind Y-Luft-Wärmepumpen aufgrund eines relativ geringen Wirkungsgrads zu vermeiden, wobei Wasser-Luft-Wärmepumpen mit natürlichem Kältemittel einen höheren Wirkungsgrad aufweisen als Luft-Luft-Wärmepumpen. Insgesamt sind bei der Wahl der Art von Wärmepumpen die jeweiligen örtlichen bzw. geografischen Gegebenheiten zu berücksichtigen, wie z. B. das geothermische Nutzungspotenzial, die verfügbaren Flächen und Bodenbeschaffenheiten.

Angesichts der steigenden Temperaturen dürfte die Kühlfunktion von Wärmepumpen (insbesondere in Verbindung mit Erd- und Wasserspeicherung) in Zukunft eine stärkere Rolle spielen. Sowohl aktive Kühlung, insbesondere an den heißesten Stunden des Tages, als auch indirekte Formen der Kühlung mit Nutzung nächtlicher Abkühlung werden weiterentwickelt werden. Die Zeiten, in denen aktive Kühlung eingesetzt wird, fallen mit den Zeiten hohen Photovoltaikertrags zusammen, sodass die Kühlung bezüglich der temporären Energiebilanz heute als weniger problematisch angesehen wird als noch vor ein bis zwei Jahrzehnten. In Verbindung mit (kurzfristigen) Speichersystemen kann der Photovoltaikstrom auch genutzt werden, wenn die Sonne nicht scheint (z. B. abends oder nachts). Werden dabei dezentrale Photovoltaikanlagen und Speicher prioritär genutzt, können die steigenden und anspruchsvollen Anforderungen an die Entwicklung der Netze (hohe temporäre Lasten und Einspeisungen) reduziert werden.

Alle genannten Technologien sind „im Prinzip“ ausgereift und werden seit Jahren eingesetzt. Sie haben zwar in den letzten Jahren zum Teil erhebliche Entwicklungen durchlaufen (z. B. erneuerbare Energien, Hochleistungsfenster, Wärmepumpenheizungen, effiziente Kühlungs- und Wärmerückgewinnungsanlagen). Es ist jedoch sowohl zu erwarten als auch erforderlich, dass diese Entwicklungen weitergeführt werden.

Als Beispiele wären hier zu nennen:

- Neue Hochleistungsdämmstoffe, die einfach zu handhaben und aufzubringen sind
- Reagible Fensterbeschichtungen, die selektiv bestimmte Teile des Spektrums stärker oder weniger stark ausblenden können, z. T. schaltbar. Von dieser Technologie wird insbesondere in stark verglasten Bürogebäuden ein erheblicher Beitrag zur Energieeffizienz (Wärmegewinnung im Winter, Reduktion von Strahlungsüberschüssen und damit Reduktion des Kühlungsbedarfs im Sommer) erwartet.
- Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe, z.B. Hanffasern, Flachfasern
- Next generation photovoltaics: Photovoltaik, die z. B. auf organochemischen Materialien wie Farbstoffen basiert. Diese haben den Vorteil, keine Halbleitermaterialien und sehr viel geringere Konzentrationen an hochwertigen Metallen zu benötigen. Sie haben geringere Wirkungsgrade als halbleiterbasierte Photovoltaik-Technologien, jedoch sind längerfristig niedrigere Kosten und ein einfacheres Handling zu erwarten. Bei dieser Technologie ist zu erwarten, dass die Produktions- und Wertschöpfungskette sich gegenüber der aktuellen Situation der Photovoltaik sehr stark strukturell verändert – andere Rohstoffe, andere Produktion, anderes Handling (z.B. Verwendung wie Farben, Drucken etc.), andere Trägermaterialien. Somit ist derzeit noch offen, welche Branchen und Unternehmen die zukünftigen großen Player werden.
- Sehr umweltfreundliche Kühlmittel für Wärmepumpen
- Höchst effiziente kostengünstige Wärmetauschermaterialien
- Neue umweltfreundliche Wärmeträgersubstanzen (und Kühlmittelsubstanzen), z. B. Phasenwechselmaterialien und die damit zusammenhängenden Technologien
- Die meisten dieser Technologien beinhalten neue weiterentwickelte und „maßgeschneiderte“ Materialien und Werkstoffe.

Flexibilitäts- und Lastverschiebungspotenziale

Ein weiterer Aspekt der Technologieentwicklung verbindet Digitalisierung und neue Geschäftsmodelle, da bei der zukünftigen Kopplung von Wärme, Strom und Mobilität in einem Energiesystem, das von fluktuierenden erneuerbaren Energien dominiert wird, die Erschließung von Flexibilitäts- und Lastverschiebungspotenzialen auf der Nachfrageseite eine große Rolle spielt. Systeme, die z.B. basierend auf künstlicher Intelligenz die verschiedenen Verbraucher eines Quartiers „im Blick“ haben, poolen und jeweils die effizienteste Verteilung von Speicherzeiten bei Elektromobilität, Vorratskühlung oder der Füllung von Wärmespeichern zur Lastverschiebung bei Wärmepumpen organisieren können, werden bei der effizienten Systemorganisation sehr wichtig werden. Denkbar ist, dass sie beispielsweise als „Intermediäre“ zwischen Verbraucher und Energieversorger agieren, selbst vom Energieversorger eingesetzt werden oder in neuen Poolingmodellen die Selbstorganisation unterstützen. Hier wird erwartet, dass mit „smarten“ Technologien in den nächsten Jahren sehr unterschiedliche Geschäftsmodelle ausprobiert werden.

Kasten 11

Notwendigkeit des Ausbaus von erneuerbaren Energien und Netzen

Der zur Transformation erforderliche Ausbau erneuerbarer Energien geht mit hohen Erfordernissen beim Netzausbau und -anschluss sowie bei der Entwicklung und Zurverfügungstellung von Flexibilitätspotenzialen, die für die Integration fluktuierender erneuerbarer Energien benötigt werden, einher. Auch hierzu kann die Bauwirtschaft einen Beitrag leisten.

Mit dem Klimapaket hat die Bundesregierung beschlossen, den Anteil erneuerbarer Energien schneller zu erhöhen, als bisher geplant. Bis zum Jahr 2030 soll ihr Anteil am Bruttostromverbrauch auf 65 Prozent steigen, wobei angesichts der verschärften Klimaschutzziele eher 70 Prozent erforderlich sind.⁹⁷

Eine Studie des UBA schätzt, dass sich in Deutschland theoretisch fast 14 Prozent der Fläche zur Windenergienutzung an Land (onshore) eignen. Damit könnte die installierte Windenergieleistung von 53 Gigawatt im Jahr 2019 theoretisch auf bis zu 930 Gigawatt ausgeweitet werden.⁹⁸ Allerdings liegt das realisierbare Potenzial sehr viel niedriger, da die Studie bei der Potenzialermittlung nur technische und ökologische Restriktionen berücksichtigt. Damit bleiben wesentliche Faktoren unbeachtet, beispielsweise Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, besonderer Artenschutz, räumliche Entwicklungsziele oder Nutzungsansprüche Dritter (z. B. Flugsicherung, Militär). Zudem ist aufgrund mangelnder Akzeptanz mit Einwänden und Vorbehalten von Gemeinden, Grundstückseigentümern und Anwohnern vor Ort zu rechnen.⁹⁹

Gefährdet wird der Ausbau der Windkraft zudem durch die Möglichkeit der Länder, eine Mindestabstandregelung von 1.000 Metern zwischen Windkraftanlagen und Wohnbebauungen festzulegen, die zu einer starken Einschränkung der für Windanlagen nutzbaren Flächen führt.¹⁰⁰ In Bayern schreibt die 10H-Regelung vor, dass Windkraftanlagen grundsätzlich einen Mindestabstand vom Zehnfachen ihrer Höhe zur Wohnbebauung einhalten müssen. Damit beträgt der Mindestabstand zur Wohnbebauung beispielsweise bei Anlagen mit 200 Metern Höhe (wie sie in Bayern üblich sind) zwei Kilometer, wodurch nur noch etwa 0,05 Prozent der Landesfläche für Windkraft nutzbar sind.¹⁰¹ Die Mindestabstandregelung soll die Akzeptanz bei den Bürgern erhöhen, birgt aber das Risiko, mit Belangen des Natur- und Landschaftsschutzes in Konflikt zu geraten. Hierzu gibt es in Deutschland traditionell zahlreiche auszuhandelnde Zielkonflikte.¹⁰²

Aufgrund der aktuellen Akzeptanzprobleme beim Ausbau erneuerbarer Energien und der Stromnetze werden derzeit verstärkt Potenziale ausgelotet, durch große oder auch vernetzte dezentrale Speicherprojekte die vorhandenen Netze möglichst stark auszunutzen, auch wenn dadurch der regionale Austausch von großen Mengen an Windenergie (vor allem im Winter!) im Norden, Photovoltaik im Süden und den großen Verbrauchsschwerpunkten in Nordrhein-Westfalen und im Süden nicht vollständig gewährleistet werden kann und somit das System ineffizient und teuer bleibt. Hiermit werden neue Möglichkeiten zur Steuerung und Ausregelung lokaler und dezentraler Systeme weiterentwickelt. Allerdings ist dies kein Ersatz für den Ausbau der Höchstspannungsebene, die nach wie vor dringend erforderlich ist, um den überregionalen Ausgleich der unterschiedlichen Produktions- und Nachfragemengen sowie ihrer zeitlichen Profile effizient zu gewährleisten.¹⁰³

⁹⁷ Prognos et al., 2021c

⁹⁸ Unter Einbezug von Standorten, an denen weniger als 2.200 Volllaststunden erwartet werden, ergibt sich ein Potenzial von 1.200 Gigawatt installierbarer Leistung.

⁹⁹ UBA, 2013b.

¹⁰⁰ Agora Energiewende, 2020a.

¹⁰¹ Bayerischer Landtag, 2014

¹⁰² Prognos / vbw, 2021

¹⁰³ Prognos / vbw, 2020

03.1.4 Klimaschutz im Bau: Nachwachsende Baustoffe

Neben den dargestellten Technologien zur Vermeidung von THG-Emissionen beim Bau und der Nutzung von Gebäuden lässt sich auch über den Einsatz nachwachsender Baustoffe ein Beitrag zum Klimaschutz leisten. Darüber hinaus tragen sie zur Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft (Kapitel 04) bei. Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen sind zumeist pflanzlichen Ursprungs (insb. Holz und Faserpflanzen); vereinzelt finden tierische Produkte (z. B. Wolle, Hanf- und Flachfasern) Verwendung (Abbildung 20). Teilweise können synthetische Zusatzstoffe enthalten sein, z. B. für Materialverbindungen, den Schädlings- oder Brandschutz.

Nachwachsende Baustoffe bringen gegenüber herkömmlichen Baumaterialien in der Regel mehrere (ökologische) Nachhaltigkeitsvorteile mit sich:

- (weitgehende) biologische Recyclierbarkeit,
- Möglichkeit zur Kaskadennutzung, d. h. eine mehrfach aufeinanderfolgende Nachnutzung eines Rohstoffs¹⁰⁴,
- geringer Energie- und Ressourcenbedarf in der Herstellung,
- die Bindung atmosphärischen Kohlenstoffs und
- die Schonung nicht regenerierbarer Rohstoffvorkommen.

Abhängig von der Art des konkret substituierten und des zuzubstituierenden Rohstoffs können weitere Vorteile auftreten, beispielsweise Regionalität, verbesserte Umweltbilanz (z. B. Wasser) und Sozialbedingungen bei der Gewinnung oder auch gesundheitliche Vorteile. Eine Voraussetzung für eine vorteilhafte Nachhaltigkeitswirkung ist, dass die genutzten nachwachsenden Rohstoffe aus verantwortungsvollen, vorzugsweise heimischen Quellen stammen (z. B. Verzicht auf Tropenhölzer). Wird beispielsweise großflächig aufgeforstet, kann der Einsatz von Holz sogar bilanziell negative Emissionen „erzeugen“. Dabei bedingt die Aufforstung keine Monokulturen, da zum Bau grundsätzlich verschiedene Baumarten sowie auch geschädigtes Holz genutzt werden können. Allerdings sind die Möglichkeiten zur nachhaltigen Holzbereitstellung aus dem Inland begrenzt, zumal sich die Waldbewirtschaftung aufgrund des Klimawandels ohnehin verändern wird. Das betrifft unter anderem die Änderung der Sortenzusammensetzung in Bezug auf Robustheit gegenüber den Klimaveränderungen. Zudem erfordern die Klimaschutzziele darüber hinaus eine Veränderung der Waldbewirtschaftung (Kapitel 03.1.1). Diese Veränderungen können sich auch auf Angebot und Preise für den Baustoff Holz auswirken. Vor diesem Hintergrund besteht der Bedarf zur Erforschung alternativer biobasierter Werk- und Baustoffe.

Abbildung 20

Systematisierung der gängigsten nachwachsenden Baustoffe

<p>Holzwerk- und-baustoffe Allgemeine Holzwerkstoffe Holzkonstruktionsteile</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fassaden – Fenster und Türen <p>Vorgefertigte Gebäude</p>	<p>Nachwachsende Dämmstoffe Holzfasern, Hobelspäne Zellulose / Altpapier Faserpflanzen (Hanf, Flachs, Stroh, Schilf, Gras) Schafwolle Kork</p>
<p>Bodenbeläge Holz, Parkett Linoleum Teppich aus Naturfasern Kork</p>	<p>Naturfarben Wandfarben Lasuren und Lacke, Öle Putze</p>

Quelle: Eigene Darstellung Prognos 2021

¹⁰⁴ Am Beispiel Holz kann eine Kaskadennutzung beispielsweise folgende Schritte umfassen: Massivholzwerkstoff, spanbasierter Werkstoff (z. B. Spanplatte), faserbasiertes Produkt (z. B. Papier), energetische Verwertung.

Wirtschaftliche Bedeutung nachwachsender Baustoffe

Nachwachsende Baustoffe haben in den letzten Jahren in Deutschland und Bayern kontinuierlich an (ökonomischer) Bedeutung gewonnen. Dies zeigt sich beispielsweise (1) im steigenden Anteil von Holzbauten und im (2) steigenden Produktionswert nachwachsender Baustoffe:

- (1) Der Anteil von Neubauten in Deutschland, die überwiegend aus dem Baustoff Holz gefertigt wurden, lag 2019 bei 18 Prozent.¹⁰⁵ Somit besteht mehr als jeder sechste Neubau überwiegend aus Holz. Die Bedeutung des Baustoffs Holz steigt weiter an – hat zuletzt aber deutliche Preissteigerungen erfahren. Im Bereich Wohngebäude lag der Anteil 2010 noch unter 15 Prozent und ist seither kontinuierlich gewachsen. Bei den Nichtwohngebäuden schwankte der Anteil in den letzten Jahren zwischen 17 Prozent und 21 Prozent (Spitze im Jahr 2018). Der Freistaat Bayern ist beim Holzeinsatz im Bau bundesweit mit führend. Im Bundesländervergleich belegt Bayern den ersten (Nichtwohngebäude 25 %) bzw. zweiten (Wohngebäude 23 Prozent) Platz.

Insgesamt ist allerdings festzuhalten, dass Holzbauten tendenziell kleiner als Gebäude aus anderen Baustoffen ausfallen. Rund 89 Prozent der Wohngebäude aus Holz umfassen nur eine Wohneinheit – zum Vergleich: Über alle Baustoffe hinweg liegt der Anteil von Wohngebäuden mit nur einer Wohneinheit bei 78 Prozent. Dies hängt unter anderem auch mit ordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen zusammen, die mehrgeschossige Holzbauten erschweren (siehe Absatz zu Hemmnissen weiter unten). Gemessen in Kubikmetern liegt der Anteil von Holzbauten am gesamten Neubauvolumen bei zwölf Prozent.

Zu weiteren nachwachsenden Baustoffen stehen nur eingeschränkt Daten zur Verfügung. Der Marktanteil von Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen lag 2019 bei neun Prozent.¹⁰⁶ Im Bereich der Bodenbeläge haben Produkte, die überwiegend aus Holz oder anderen Naturfasern bestehen, einen Marktanteil von etwa einem Viertel.¹⁰⁷

- (2) Das Produktionsvolumen nachwachsender Baustoffe, die in Deutschland für unterschiedliche Einsatzbereiche im Bau hergestellt werden,¹⁰⁸ ist zwischen 2015 und 2019 um rund 2,4 Prozent pro Jahr gewachsen. Die Anzahl der Unternehmen blieb weitgehend konstant und lag 2019 bei rund 1.460. Im Jahr 2019 belief sich das Produktionsvolumen nachwachsender Baustoffe in Deutschland auf insgesamt über 11,2 Mrd. Euro (Abbildung 21). Dieses geht zu einem Großteil auf den Rohstoff Holz zurück, vor allem auf Holzwerkstoffe (z. B. Bretter, Kanthölzer, Span- und OSB-Platten) sowie auf vorgefertigte Holzbau- und Konstruktionsteile (z. B. Türen, Fenster, Wandelemente, Verschalungen). Die Kategorie Sonstige enthält nachwachsende Baustoffe mit deutlich geringerer wirtschaftlicher Relevanz, darunter Teppiche aus Naturfasern mit einem Produktionswert von 309 Mio. Euro, Bodenbeläge mit 248 Mio. Euro, pflanzenbasierte Faserzementwaren mit 136 Mio. Euro und Naturfarben mit 50 Mio. Euro.

Das gesamte Produktionsvolumen nachwachsender Baustoffe in Deutschland ist derzeit noch etwas geringer als das Produktionsvolumen der wichtigsten mineralischen Baustoffgruppen aus Keramik (u. a. Ziegel) sowie aus Beton, Zement und Gips (inkl. Kalksandstein). Zwar werden diese Materialien in deutlich größerem Volumen als nachwachsende Baustoffe eingesetzt, der Bedarf wird aber zu einem Großteil aus Importen gedeckt, weshalb sie nicht in der Produktionsstatistik auftauchen. Die Produktionsvolumina beider Baustoffgruppen dürften sich in den kommenden Jahren zunehmend annähern.

¹⁰⁵ Statistisches Bundesamt, 2020a

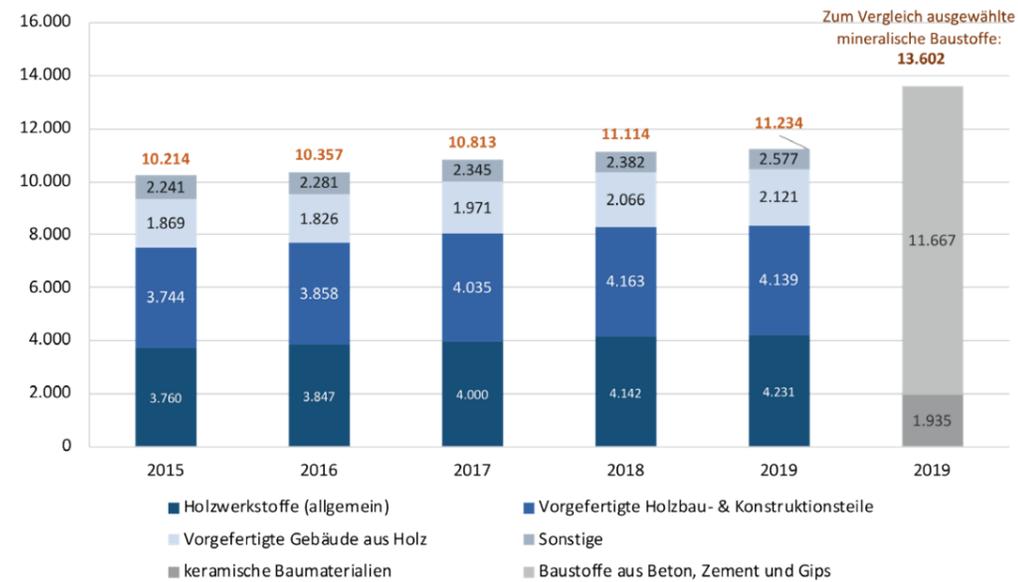
¹⁰⁶ FNR, 2020a

¹⁰⁷ Summe für Parkett, Kork, Laminat und geschätzten 10 %-Anteil naturfaserbasierter Teppiche. Nach Angaben des Bundesverbands für keramische Fliesen (2018).

¹⁰⁸ Ein Großteil der oben aufgeführten nachwachsenden Baustoffe lässt sich im Rahmen des Güterverzeichnisses für Produktionsstatistiken (GP 2019) identifizieren. Teilweise müssen Produkte aufgrund uneindeutiger Zuordnung bzw. unterschiedlicher Verwendungszwecke (z. B. Holzleisten im Bauwesen oder zur Herstellung anderer Produkte) anteilig berücksichtigt werden. Einzelne Produkte mit in der Regel weniger Marktrelevanz lassen sich nur teilweise erfassen (z. B. Dämmstoffe aus Naturmaterialien).

Abbildung 21

Produktionswert nachwachsender Baustoffe in Deutschland, in Mio. Euro



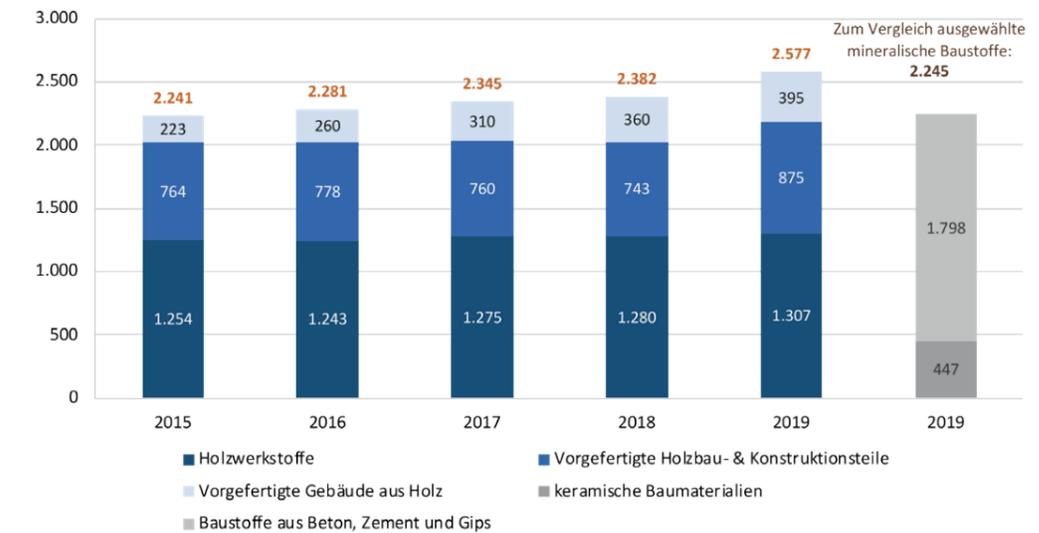
Sonstige umfassen: Teppiche aus Naturfasern, Bodenbeläge, pflanzenbasierte Faserzementwaren und Naturfarben.

Quelle: Statistisches Bundesamts 2021, eigene Berechnungen Prognos 2021

Für Bayern können auf Basis der vorliegenden Daten lediglich die Werte für die drei größten Segmente Holzwerkstoffe, Holzbaustoffe / Konstruktionsteile und vorgefertigte Gebäude ermittelt werden (Abbildung 22). Die übrigen Kategorien werden im Freistaat nur in marginalem Umfang hergestellt und von der Statistik nicht erfasst. In allen drei analysierten Segmenten hat die Produktion zwischen 2015 und 2019 zugenommen. Bemerkenswert ist insbesondere die Entwicklung der Produktion vorgefertigter Gebäude, die sich in den betrachteten fünf Jahren nahezu verdoppelte (von 223 Mio. Euro auf 395 Mio. Euro). Die jährliche Wachstumsrate der Produktion nachwachsender Baustoffe lag in Bayern zwischen 2015 und 2019 mit 3,6 Prozent deutlich höher als auf Bundesebene. Der Produktionswert betrug 2019 knapp 2,6 Mrd. Euro und damit knapp ein Viertel des bundesweiten Werts. Die Produktion nachwachsender Baustoffe nimmt somit in Bayern einen höheren Stellenwert ein als die Produktion gängiger Baustoffe aus Keramik, Beton, Zement oder Gips, die zusammen lediglich auf einen Produktionswert von 2,2 Mrd. Euro kommen. Insgesamt lassen sich knapp 460 Unternehmen in Bayern der Herstellung nachwachsender Baustoffe zurechnen.

Abbildung 22

Produktionswert nachwachsender Baustoffe in Bayern, in Mio. Euro



Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik, eigene Berechnungen Prognos 2021

Hemmnisse für den Einsatz nachwachsender Baustoffe

Trotz der gestiegenen Bedeutung bestehen nach wie vor verschiedene Hemmnisse, die eine umfassendere Nutzung nachwachsender Baustoffe behindern. Das Klima- und Ressourcenschutzpotenzial kann somit nicht voll ausgeschöpft werden.

Insbesondere lassen sich bauordnungsrechtliche Einschränkungen identifizieren, die dem heutigen Stand der Technik nicht entsprechen. Die verschiedenen Landesbauordnungen weisen in Bezug auf die Verwendung von nachwachsenden Baustoffen (vor allem Holz) deutliche Unterschiede auf und weichen teilweise stark von der Musterbauordnung des Bundes ab. Obwohl moderne Holzbauten in der Regel gute Brandschutzeigenschaften aufweisen und auch ohne den Einsatz gefährlicher Chemikalien effektiv gegen Feuer und Schädlinge geschützt werden können, gelten neben der Feuerwiderstandsdauer häufig zusätzliche baustoffspezifische Vorgaben. Dabei werden höhere Anforderungen an Holzbauten als an andere Bauweisen gestellt. Insbesondere holzbasierte Mehrgeschossbauwerke oder größere Industriebauten werden auf diese Weise sehr eingeschränkt.¹⁰⁹ Im Freistaat Bayern ist seit Februar 2021 eine novellierte Bauordnung in Kraft, die die Nutzung des Baustoffs Holz vereinfacht. Dieser kann nach

der Neuregelung künftig in allen Gebäudeklassen verwendet werden. Daneben weisen nachwachsende Dämmmaterialien nach jüngeren Untersuchungen sogar ein vorteilhaftes Brandschutzverhalten gegenüber erdölbasierten Hartschäumen auf. Auch hier ist eine entsprechende Anpassung von Normen und baurechtlichen Vorschriften erforderlich.¹¹⁰ Im Ausland, insbesondere in den USA, gibt es erhebliche Erfahrungen mit dem Einsatz von Holz zum Bau von Einfamilienhäusern. Diese Erfahrungen gilt es zu prüfen und gegebenenfalls zu nutzen.

Weitere Hemmnisse bestehen beispielsweise hinsichtlich unzureichender Standardisierungen und in der Ausbildung von Holzbau-Ingenieuren. Um nachwachsende Baustoffe noch stärker in der bauwirtschaftlichen Praxis zu etablieren, bedarf es unter anderem umfassenderer Informationsangebote. Wissensdefizite bestehen laut einer Untersuchung des Thünen-Instituts „sowohl bei den privaten und öffentlichen Auftraggebern als auch bei Fachplanern und Bauverwaltungen“.¹¹¹ Auf Bundesebene leisten insbesondere die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) sowie das Thünen-Institut aufklärerische Arbeit. In Bayern sind die WECOBIS-Informationenplattform¹¹² der bayerischen Architektenkammer sowie die Aktivitäten des Clusters

¹⁰⁹ Hafner et al., 2017

¹¹⁰ FNR, 2020b

¹¹¹ Thünen-Institut, 2020

¹¹² Ökologisches Bauinformationssystem, abrufbar unter (11.05.2021): <https://www.wecobis.de>.

Forst und Holz in Bayern positiv hervorzuheben. Ein weiterer potenziell limitierender Faktor besteht in der Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigem und nachhaltig erwirtschaftetem Holz. Eine Studie für das Umweltbundesamt¹¹³ untersucht eine mögliche Steigerung der für den Bau eingesetzten Holzmenge (einschließlich Neubau sowie Modernisierungsarbeiten) anhand des prognostizierten inländischen Holzpotenzials nach der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) des Bundes. Dazu schätzt die Studie die Waldentwicklung bis 2052 auf Basis der dritten Bundeswaldinventur aus dem Jahr 2012. Dabei werden drei Waldnutzungsszenarien angenommen: ein Basisszenario, ein Holzpräferenzszenario mit intensiverer Forstwirtschaft und ein Naturschutzszenario mit einer höheren Förderung der Biodiversität. Blicke die Holznutzung übriger Nachfrager (z. B. der Möbel- und Papierindustrie und Energieholz) konstant, wäre bis 2052 gegenüber dem Basisjahr 2013 je nach Waldnutzungsszenario eine mittlere Steigerung der eingesetzten Holzmenge auf Basis heimischer Wälder von elf Prozent (Naturschutzszenario)¹¹⁴, 25 Prozent (Basisszenario)¹¹⁵ bis zu 220 Prozent (Holzpräferenzszenario)¹¹⁶ möglich. Dabei handelt es sich jedoch um sehr theoretische Werte, da auch von einer erhöhten Nachfrage anderer Branchen und Verwendungszwecke bzw. stofflicher Nutzung ausgegangen werden muss. Darüber hinaus können anhaltende Dürren und andere Klimafolgen sowie Schädlingsbefall langfristig weitere Einschränkungen bei Angebot und Qualität mit sich bringen.

Obgleich eine Steigerung der eingesetzten Holzmenge nicht eins zu eins mit einer entsprechenden Steigerung des Anteils an Neubauten in Holzbauweise gleichgesetzt werden kann,¹¹⁷ deuten die Ergebnisse auf weitere Potenziale zur Steigerung des Holzbaus in Deutschland hin. Einerseits bieten heimische Quellen weitere Steigerungspotenziale, zumal sich Deutschland inzwischen zu einem Nettoexporteur von Rohholz entwickelt hat. Seit 2015 hat sich die Menge an ausgeführtem Rohholz mehr als verdreifacht, während die Importmenge um etwa ein Drittel zurückging. Im Jahr 2020 wurden rund 12,7 Mio. Kubikmeter Rohholz exportiert, rund die Hälfte davon ging nach China (vor allem Schadh Holz).¹¹⁸ Der wachsenden Auslandsnachfrage steht ein Anstieg beim Holzeinschlag gegenüber: Der Holzeinschlag in deutschen Wäldern erreichte 2020 über 80 Mio. Kubikmeter und übertraf damit den bisherigen

Rekordwert 2019 (seit der deutschen Vereinigung) um fast 17 Prozent. Fast ein Viertel des Holzeinschlages erfolgt in Bayern. Wie bereits in den Vorjahren ist der Anstieg des Holzeinschlages vor allem auf vermehrte Waldschäden infolge von Insektenbefall, der durch Trockenheit und Hitze begünstigt wurde, begründet. So waren 2020 fast drei Viertel des Holzeinschlages durch Waldschäden verursacht – mehr als jemals zuvor.¹¹⁹

Eine weitere Zunahme des Holzbaus ist darüber hinaus mit gesteigerten Holzimporten möglich. Hierbei sind nachhaltige Bezugsquellen aus zertifizierten Waldflächen sicherzustellen. Die mit dem Import einhergehenden höheren Transportaufwendungen müssen bei einer Betrachtung der Umweltauswirkungen berücksichtigt werden, haben in der Regel jedoch nur einen geringen Einfluss auf die Ökobilanz.¹²⁰ Derzeit ist ein kräftiger Preisanstieg bei Holz zu beobachten (aber auch bei vielen anderen Baustoffen). So lagen die Einfuhrpreise für Rohholz im März 2021 rund 16 Prozent über dem Stand des Jahres 2015.¹²¹ Der Preisanstieg geht auf verschiedene Faktoren zurück. Zu nennen sind vor allem:

- eine hohe Holz nachfrage im In- und Ausland durch Baukonjunktur,
- die Begrenzung des Einschlags von gesunden Fichten vom 1. Oktober 2020 bis zum 30. September 2021 auf 85 Prozent des mehrjährigen Mittels (auf Grundlage des Forstschäden-Ausgleichsgesetzes),
- die Angebotsverknappung infolge von Waldbränden in den USA, der Corona-Krise, Containerknappheit und ausgelasteten Sägewerke sowie
- Handelsstreitigkeiten zwischen Kanada und den USA.

Für eine umfassende Substitution bedeutender mineralischer Baustoffe wie Beton oder Gips ist angesichts der insgesamt beschränkten nachhaltigen Verfügbarkeit des Werkstoffs Holz eine alleinige Ausrichtung auf diesen Baustoff nicht ausreichend. Hierzu bedarf es eines verstärkten Forschungsimpulses in ganz neue Werkstoffrichtungen der Biologisierung. Die vermehrte Nutzung von Altholz ist zwar grundsätzlich möglich, doch wird es wegen Schadstoffbelastungen eher thermisch verwertet. Zudem haben wir hier den Sonderfall, dass die thermische Verwertung höhere CO₂-Einsparpotenziale pro Tonne Altholz generiert als die stoffliche Verwertung (Kapitel 04.3.3).

113 UBA, 2019

114 Dies entspricht einer jährlichen Steigerung des Waldholzeinsatzes um 1,6 Mio. Kubikmeter.

115 Entsprechend einer jährlichen Steigerung des Waldholzeinsatzes um 3,8 Mio. Kubikmeter.

116 Entsprechend einer jährlichen Steigerung des Waldholzeinsatzes um 33,6 Mio. Kubikmeter.

117 Hierzu müsste zunächst untersucht werden, in welchem Verhältnis die eingesetzte Holzmenge im Bau zum prozentualen Anteil an Gebäuden in überwiegender Holzbauweise steht.

118 Statistisches Bundesamt, 2021e

119 Statistisches Bundesamt, 2021f

120 Nach einer Untersuchung von Pohl (2017) verursacht der Transport im Vergleich zu anderen Lebenszyklusphasen des Holzbaus nur einen geringen Anteil der Umweltauswirkungen. Insbesondere beim Import von Hölzern aus dem europäischen Ausland liegt der Einfluss auf die Ökobilanz von Gebäuden im niedrigen einstelligen Prozent- und teilweise Promille-Bereich.

121 Statistisches Bundesamt, 2021e

03.1.5 Klimapolitisch induzierte Investitionsbedarfe in Deutschland

Die zur Erreichung der Klimaschutzziele notwendige langfristige Transformation erfordert deutliche Umsteuerungen und signifikante private und öffentliche Investitionen – insbesondere in klimafreundliche Technologien, die die Treibhausgasemissionen und -konzentration im Zeitverlauf dauerhaft senken. Die erforderlichen Mehrinvestitionen sind in den Basisprognosen zur Entwicklung der (Bau-)Wirtschaft (Kapitel 02.2.1) nicht enthalten. Sie können aber anhand von Szenarien quantifiziert werden. Dabei bilden die Mehrinvestitionen die zusätzlichen Investitionen ab, die zur Erreichung der Klimaschutzziele im Zielszenario gegenüber dem Referenzszenario erforderlich sind, also Investitionen, die über die ohnehin getätigten Klimaschutzinvestitionen hinausgehen. Sofern sich Minderinvestitionen ergeben, werden diese mit den Mehrinvestitionen saldiert (z. B. Minderinvestitionen in fossile Heizungen). Die folgenden Betrachtungen basieren auf dem KSP-Szenario aus der aktuellsten, voll (auch bezüglich der notwendigen Investitionen) durchgerechneten quantitativen Szenarienarbeit von Prognos für das BMWi. In diesem Zielszenario werden die deutschen THG-Emissionen bis 2050 um rund 87 Prozent gegenüber 1990 reduziert.¹²²

Für die im Mai 2021 verschärften THG-Reduktionsziele (Kapitel 03.1.1) liegt derzeit eine bezüglich des Energie- und THG-Systems voll durchgerechnete quantitative Szenarienarbeit vor, die die Machbarkeit mit bekannten Technologien und innerhalb der üblichen Investitionszyklen zeigt.¹²³ Diese macht keine Annahmen über Umsetzungsinstrumente, da diese Gegenstand politischer Aushandlungsprozesse sein sollten und hier nicht vorgegriffen werden sollte. Auch ökonomische Auswirkungen wurden noch nicht berechnet; es ist aber anzunehmen, dass die erforderlichen Mehrinvestitionen infolge der Verschärfungen insgesamt eher höher ausfallen als hier ausgewiesen.

Mehrinvestitionsbedarfe im Gebäudesektor

Die Mehrinvestitionsbedarfe im Gebäudesektor werden für die Sektoren Private Haushalte (PHH) und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) separat berechnet und ausgewiesen. Zusammen ergibt sich im Gebäudesektor (PHH und GHD) ein Mehrinvestitionsbedarf bis 2050 von insgesamt 366,3 Mrd. Euro bzw. im Durchschnitt 11,8 Mrd. Euro pro Jahr. Davon entfallen über zwei Drittel auf den PHH-Sektor (Abbildung 23, oben). Hier beträgt der Mehrinvestitionsbedarf bis 2050 in Summe 253,7 Mrd. Euro bzw. im Durchschnitt 8,2 Mrd. Euro pro Jahr. Bis zum Jahr 2030 beträgt der Mehrinvestitionsbedarf im PHH-Sektor in Summe 47,2 Mrd. Euro bzw. im Durchschnitt 4,3 Mrd. Euro pro Jahr. Fast die Hälfte davon entfällt auf Investitionen in den Wärmeschutz im Bestand (Sanierungen).

Abbildung 23 (oben) zeigt deutliche Unterschiede zwischen dem energetischen Mehrinvestitionsbedarf in Sanierungen und im Neubau. Dieser Unterschied ist unter anderem auf die insgesamt deutlich kleineren bearbeiteten Flächen sowie die ohnehin bereits vergleichsweise hohen energetischen Standards von Neubauten zurückzuführen.

Der Mehrinvestitionsbedarf im GHD-Sektor beträgt bis 2050 in Summe 112,6 Mrd. Euro bzw. im Durchschnitt 3,8 Mrd. Euro pro Jahr (Abbildung 23, unten). Insgesamt entfällt der Großteil der Mehrinvestitionen mit ca. 40 Prozent auf Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz von Gebäudehüllen, gefolgt von Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz bei Prozessen und mechanischer Energie (ca. 25 Prozent) und Maßnahmen zum Einsatz von erneuerbaren Energien bei Prozessen und Mobilität (ca. 20 Prozent). Bis zum Jahr 2030 beträgt der Mehrinvestitionsbedarf im GHD-Sektor in Summe 33,7 Mrd. Euro bzw. im Durchschnitt fast 3,2 Mrd. Euro pro Jahr.

Bestandsgebäude, die bislang saniert wurden, sind in der Regel bei Weitem noch nicht auf dem energetischen Standard, auf dem sich heutige Neubauten bewegen. Die „Lücke“ dürfte auch bei künftigen Sanierungen noch eine Weile fortbestehen, denn auf dem höchsten Standard zu sanieren wäre sehr kosten- und aufwandsintensiv. Daher sollten Sanierungen zuerst in der Breite auf dem heutigen verfügbaren guten Stand der Technik erfolgen. Im Laufe der nächsten Sanierungszyklen können dann weiter verbesserte Qualitäten (z. B. besser selektiv beschichtete Fenster, verbesserte Außenwand- oder Geschossdeckendämmungen) mit der weiteren Entwicklung der Baustoffe und Bauteile umgesetzt werden.

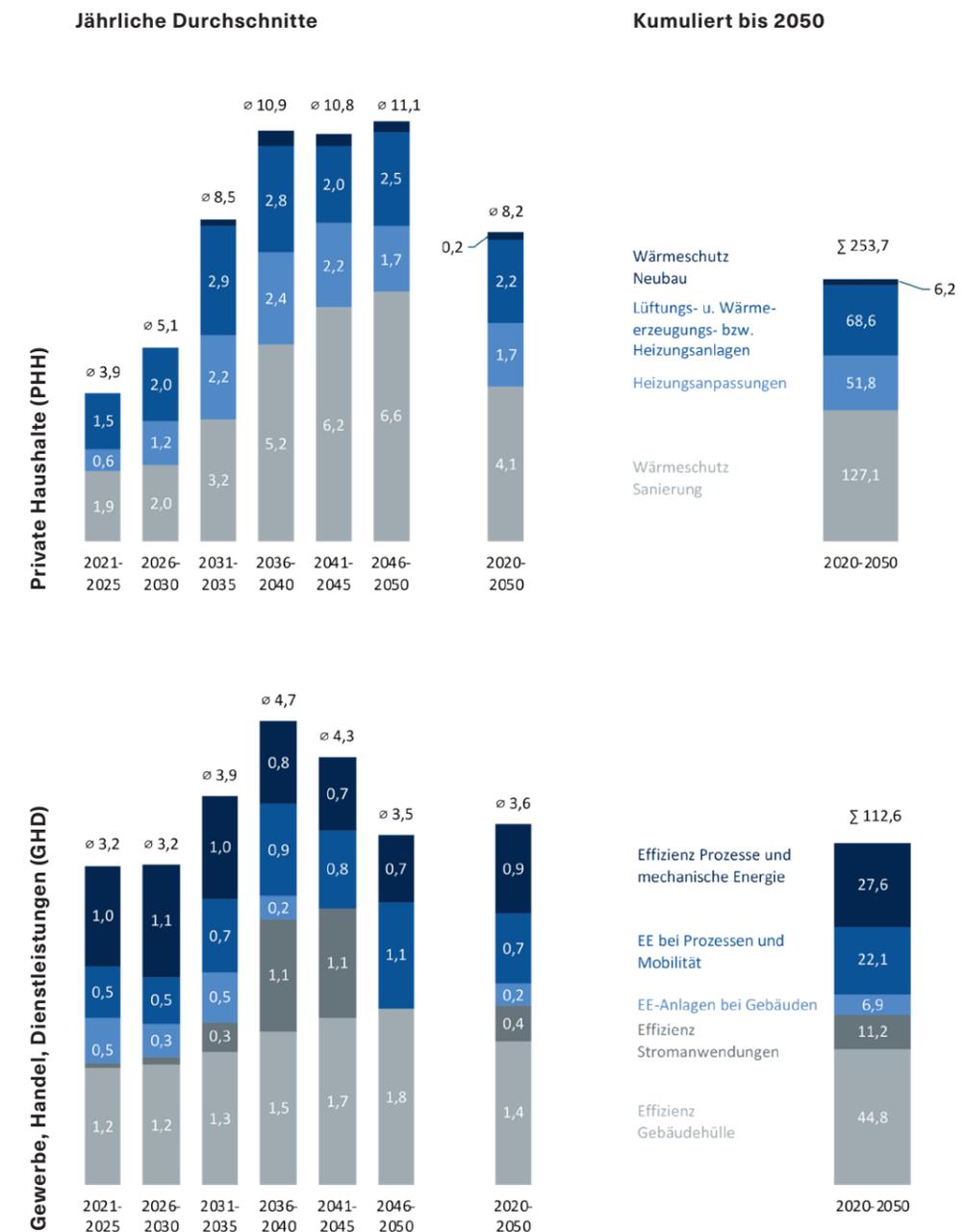
Energetische Sanierungen

Wenn bei künftigen Sanierungen möglichst alle Gelegenheiten ergriffen werden, in denen Gebäudeteile „angefasst“ oder erneuert werden müssen, so ist – auch angesichts der Tätigkeit in den beiden vergangenen Jahrzehnten – bis 2040 ein Großteil des Bestandes einmal energetisch verbessert worden. Die ab dann neu fälligen Gebäude und Bauteile sind dann bereits auf hohem energetischem Standard, sodass die zusätzlichen Mehrkosten durch die Sanierungen etwas abflachen. Ähnliche Argumente gelten auch für die Heizungsanlagen und die mit dem Umbau von Heizsystemen verbundenen baulichen Umbauten wie Flächenheizungen: Bis etwa 2040 sollte – auch aufgrund der Zielsetzungen – der größte Teil der Heizungen ausgetauscht und der Umbauten durchgeführt sein, sodass danach bei Heizungsumstellungen die Umbauerfordernisse geringer werden. Ab etwa 2030 wird damit gerechnet, dass keine neuen Öl- oder Gasheizungen mehr eingebaut werden, also die späteren Umbaunotwendigkeiten entfallen. Falls in Einzelfällen noch Heizungsanlagen bestehen, die dann mit strombasierten Brennstoffen betrieben werden, dürften diese auf hohem Effizienzniveau ersetzt werden.

Die Tötigung der Mehrinvestitionen wirkt sich positiv auf die Baunachfrage aus. Die Kosten für die Erstellung von Wohnraum dürften sich dadurch lediglich geringfügig erhöhen, da der Anteil der Mehrinvestitionen an den gesamten Investitionsvolumina in der Regel gering ist (da Neubauten in der Regel bereits einen hohen Energieeffizienzstandard haben). Im Bereich Neubau belaufen sich die Mehrinvestitionen bis 2050 auf schätzungsweise unter ein Prozent der dortigen Gesamtinvestitionen.¹²⁴ Zudem stehen den Mehrinvestitionen Einsparungen infolge niedrigerer Energieverbräuche gegenüber und es existieren zahlreiche staatliche Förderprogramme für energetisches Sanieren und Bauen. Ferner dürften energetische Sanierungen von Immobilien vor dem Hintergrund der Einführung der ESG-Offenlegungspflicht, nach der Unternehmen offenlegen müssen, inwiefern Finanzprodukte (damit auch Immobilienfonds) die ESG-Merkmale erfüllen, sowie der EU-Taxonomie, die darauf abzielt, Investitionen in klimafreundliche Wirtschaftstätigkeiten zu definieren und zu fördern, künftig an Attraktivität gewinnen. Allerdings sind insgesamt im Bausektor – auch im Zusammenhang mit den notwendigen Aktivitäten zur Herstellung hoher energetischer Standards – aus heutiger Sicht ein Fachkräftemangel und hoch- bzw. überausgelastetes Baugewerbe zu erwarten. Das könnte die Preise über den technischen Mehraufwand hinaus treiben.

Bei vermietetem Wohnraum im Bestand können Modernisierungsmaßnahmen, unter die z. B. die Verbesserung der Wärmedämmung fällt, grundsätzlich auf die Mietenden umgelegt werden (§ 555 ff. BGB). Allerdings ist die Umlage auf jährlich maximal acht Prozent der Modernisierungskosten begrenzt (Finanzierungskosten und Zuschüsse, die aus öffentlichen Mitteln stammen, sowie Instandhaltungskosten sind nicht umlagefähig). Zudem gibt es eine Kappungsgrenze, die den Mietanstieg innerhalb von sechs Jahren auf maximal drei Euro pro Quadratmeter beschränkt.

Abbildung 23
Mehrinvestitionen im Gebäudesektor in Mrd. Euro (real)



Zur besseren Lesbarkeit sind Investitionsbedarfe unter 1 Mrd. Euro teilweise nicht beziffert.

Quelle: Prognos et al., 2021b (basierend auf Prognos et al., 2021a), eigene Darstellung Prognos 2021

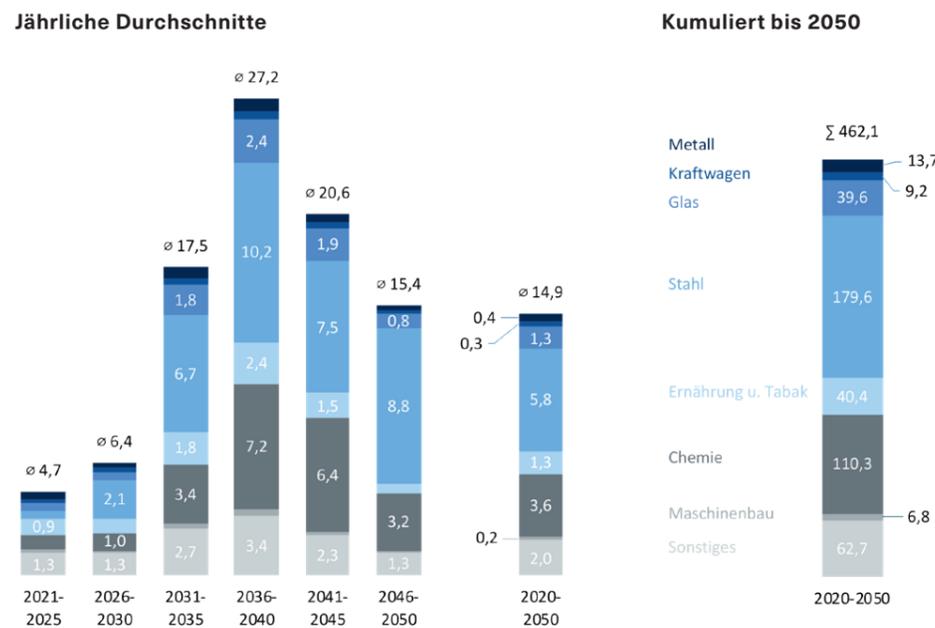
Im Industriesektor beträgt der Mehrinvestitionsbedarf in Anlagen (und Gebäude) bis 2050 in Summe 462,1 Mrd. Euro bzw. im Durchschnitt 14,9 Mrd. Euro pro Jahr (Abbildung 24). Bis zum Jahr 2030 beträgt der Mehrinvestitionsbedarf in Summe 58,7 Mrd. Euro bzw. im Durchschnitt fast 5,3 Mrd. Euro pro Jahr. Die Mehrinvestitionserfordernisse betreffen insbesondere die energieintensiven Grundstoffbranchen, die auf vergleichsweise kostenintensive Produktionstechniken zurückgreifen müssen (die technisch teilweise noch nicht vollständig ausgereift sind) und damit ein umfangreiches Investitionsvolumen bei gleichzeitig langen Investitionszyklen zu stemmen haben. Für die Bauwirtschaft relevant sind vor allem die folgenden Industriebranchen:

- Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen u. Erden. Hierunter erfasst ist auch die Herstellung von Zement, Kalk und gebranntem Gips. Auf die Glasbranche entfallen fast neun Prozent des gesamten Mehrinvestitionsbedarfs.
- Erzeugung von Roheisen, Stahl und Erzeugnissen der ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl (Stahl). Auf die Stahlbranche entfallen fast 40 Prozent des gesamten Mehrinvestitionsbedarfs.

Damit sind bei diesen Baumaterialien in den kommenden Jahren Preissteigerungen infolge der erforderlichen Transformation zu erwarten – sofern keine Kompensationen durch die öffentliche Hand erfolgen. Dies dürfte die Baukosten zwar weiter treiben. Es wird aber zugleich erwartet, dass aufgrund des Preisdrucks verstärkt Anstrengungen unternommen werden, diese Preissteigerungen abzumildern, z. B. durch ressourceneffizientere Baustoffe und Bauweisen, modulare Vorfertigung, höher automatisierte bzw. maschinen- und roboterunterstützte Fertigungsprozesse (Kapitel 06.2).

Abbildung 24

Mehrinvestitionen im Industriesektor in Mrd. Euro



Sonstiges umfasst die Zweige Papier, NE-Metalle und -gießereien, Gewinnung von Steinen, Erden und Bergbau, Gummi- u. Kunststoffwaren, Elektrogeräte, Elektrische Ausrüstungen sowie Sonstige Wirtschaftszweige. Zur besseren Lesbarkeit sind Investitionsbedarfe unter 1 Mrd. Euro teilweise nicht beziffert.

Quelle: Prognos et al., 2021b (basierend auf Prognos et al., 2021a), eigene Darstellung Prognos 2021

Kasten 12

Investitionshindernisse im Gebäudebereich

Da die meisten Gebäude, die für einen klimaneutralen Gebäudesektor benötigt werden, bereits heute bestehen, liegt der Fokus bei der Emissionsreduktion auf Bestandsgebäuden. Hier ergeben sich aber oftmals Hindernisse bei der Umsetzung. Beispielsweise können Denkmalschutzauflagen oder andere bauliche Restriktionen (z. B. Fachwerk, unzugängliche Wände und Keller) dazu führen, dass Reduktionen des Wärme- und Kältebedarfs nicht realisiert werden können. Zudem besteht eine große Herausforderung im Gebäudesektor darin, dass Investoren bzw. Eigentümer*innen von energetischen Maßnahmen nicht direkt profitieren. Die Nutzer*innen können hingegen einen Vorteil erzielen (z. B. in Form von Energie(kosten)einsparungen), während die Kosten der Maßnahmen nur teilweise auf die Nutzer (Mietler) umlegbar sind (siehe oben). Damit können die Maßnahmen für Eigentümer*innen nicht attraktiv genug sein und folglich unterbleiben.¹²⁵ Das Nutzer-Investor-Dilemma

betrifft in Deutschland vor allem Wohngebäude, die nur zu rund 46 Prozent vom Eigentümer selbst genutzt werden. Bei den NWG beträgt die Eigentümerquote schätzungsweise etwa 70 Prozent, wobei die Quote zwischen den Objektarten stark variiert (z. B. Bürogebäude vs. Produktionsgebäude).¹²⁶ Auf eine ähnliche Größenordnung (65 Prozent) kommt die im Rahmen der Studie durchgeführte Umfrage unter bayerischen Unternehmen (Kapitel 07.3.2).

Zudem verkomplizieren und verlängern langwierige Planungs- und Genehmigungsprozesse Effizienzvorhaben und machen diese damit – aus Sicht des Investors – unwirtschaftlicher.¹²⁷ Bei Wohnungseigentümergeinschaften (WEG), die fast ein Viertel aller Wohneinheiten umfassen, stellt sich die Herausforderung, dass Sanierungsmaßnahmen i. d. R. gemeinsam beschlossen und finanziert werden müssen.

03.1.6 Zwischenfazit

Deutschland hat seine Klimaschutzziele im Mai 2021 verschärft und sich nunmehr verpflichtet, seine Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65 Prozent und bis 2040 um 88 Prozent zu reduzieren und bis 2045 Klimaneutralität zu erreichen. Die zur Erreichung der Klimaschutzziele notwendige langfristige Transformation erfordert deutliche Umsteuerungen, ist aber technologisch machbar. Einen großen Hebel dafür bieten Bau und Betrieb von Gebäuden und Infrastrukturen, die für über 40 Prozent der deutschen THG-Emissionen verantwortlich sind. Hier entstehen THG-Emissionen vor allem energiebedingt bei der Nutzung der Gebäude (v. a. Heizen) und im Umwandlungssektor bei der Bereitstellung von Strom sowie energie- und prozessbedingt bei der Herstellung der Baumaterialien (v. a. Eisen und Stahl, Zementklinker). Damit bietet der Bau- und Gebäudesektor ein enormes Potenzial zur Reduktion der THG-Emissionen – vor allem durch den Einsatz von Klimaschutztechnologien sowie der Verwendung von nachwachsenden Baustoffen.

Die mit dem Klimaschutz einhergehenden Erfordernisse bieten Unternehmen Chancen sich neue Export- und Wachstumsmöglichkeiten zu erschließen, indem relevante Technologiefelder und neue Schlüsselkompetenzen besetzt werden, die bei fortschreitendem Klimawandel und Anhebung der Klimaschutzambitionen in den Schwellen- und Industrieländern sowie weltweit an Bedeutung gewinnen dürften. Bei den Technologien stehen im Gebäudesektor Effizienztechnologien und Erneuerbare-Energien-

Technologien sowie in den Industriebranchen, die zur Herstellung zentraler Baumaterialien relevant sind, Prozessumstellungen und Abscheidungs- und Kompensationstechnologien im Vordergrund. Neben der klimafreundlicheren Herstellung der bisherigen Baumaterialien (z. B. Direktreduktion von Eisen mit Wasserstoff, CCS-Einsatz bei der Zementherstellung) ist es für Unternehmen ebenso wichtig, die Potenziale neuer Baustoffe zu erkennen und zu nutzen. Bei den nachwachsenden Baustoffen ist vor allem Holz gefragt, das zugleich mehrere Nachhaltigkeitsaspekte miteinander verbinden kann und an (wirtschaftlicher) Bedeutung gewinnt. So wurde beispielsweise jeder fünfte Neubau in Deutschland 2019 überwiegend aus Holz gefertigt und das Produktionsvolumen nachwachsender Baustoffe in Deutschland ist auf 11,2 Mrd. Euro gestiegen, wovon knapp ein Viertel auf Bayern entfällt. Allerdings steht der Einsatz nachwachsender Baustoffe unter anderem noch oftmals vor Herausforderungen sowie bürokratischen bzw. rechtlichen Hürden (u. a. höhere Anforderungen an Holzbauten, unzureichende Standardisierungen, Fachkräftengpässe). Außerdem muss die langfristige Nachhaltigkeit der Baustoffgewinnung gesichert sein, sodass diese insbesondere keine neue Konkurrenz zur Flächennutzung der Nahrungskette aufmachen. Längerfristig könnte es bei stärkerer Nachfrage auch hier zu Knappheiten und Preissteigerungen kommen.

¹²⁵ Prognos et al., 2021b

¹²⁶ Pfnür, 2014

¹²⁷ Prognos, 2020b

Die Transformation in Richtung Klimaneutralität geht mit signifikanten privaten und öffentlichen Investitionsbedarfen einher – insbesondere in klimafreundliche Technologien, die die Treibhausgasemissionen und -konzentration im Zeitverlauf dauerhaft senken. Die erforderlichen Mehrinvestitionen, also Investitionen, die über die ohnehin getätigten Klimaschutzinvestitionen hinausgehen, werden in Szenarienrechnungen im Gebäudesektor bis 2050 in Summe auf 366,3 Mrd. Euro bzw. im Durchschnitt auf 11,8 Mrd. Euro pro Jahr geschätzt. Im Industriesektor beträgt der Mehrinvestitionsbedarf in Anlagen (und Gebäude) bis 2050 in Summe 462,1 Mrd. Euro bzw. im Durchschnitt 14,9 Mrd. Euro pro Jahr. Allerdings betreffen davon auch einige Investitionen Industrien, die für die Bauwirtschaft nicht bzw. nur teilweise relevant sind. Hinzu kommen noch Investitionen für die Transformation des (bauwirtschaftlichen) Verkehrs.

03.2 Klimawandelfolgen

Der Klimawandel hat vielfältige Auswirkungen auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft und wird künftig weiter voranschreiten – auch wenn die nationalen und internationalen Klimaschutzziele erreicht werden sollten (Kapitel 02.6). Die Auswirkungen des Klimawandels auf das Bauwesen reichen von Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen bis zu Beeinträchtigungen bei der Bautätigkeit. Zugleich spielt das Bauwesen im Umgang mit den Klimawandelfolgen eine zentrale Rolle. Sowohl die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) als auch die Bayerische Klimaanpassungsstrategie (BayKLAS) adressieren das Bauwesen jeweils in einem separaten Handlungsfeld und attestieren der „erhaltenden Bauvorsorge einen besonders hohen Stellenwert“ bei der Anpassung an die Klimawandelfolgen.¹²⁸

Neben den zahlreichen Herausforderungen, die der Klimawandel für die Bauwirtschaft sowie den bebauten Raum mit sich bringen wird und die im Folgenden beschrieben werden, lassen sich jedoch auch positive Effekte bzw. Chancen des Klimawandels identifizieren: So verlängert sich beispielsweise im Winter durch den Temperaturanstieg die Witterungsperiode, in der Bautätigkeiten durchgeführt werden können, und schafft so insbesondere für die bauausführenden Unternehmen Planungssicherheiten.¹²⁹ Allerdings fällt dieser Effekt gegenüber den Mehrbelastungen (beispielsweise durch die Hitzebelastung der Bauarbeitenden als auch den allgemein vermehrt auftretenden Baueinschränkungen durch häufigere Extremereignisse), die durch entsprechende Anpassungsmaßnahmen adressiert werden müssen, eher gering aus.¹³⁰

Im Folgenden stehen klimawandelbedingte Schäden und Anpassungen bei Gebäuden sowie bei grünen (natürlichen bzw. naturnahen Flächen) und blauen (wasserbaulichen) Infrastrukturen im Gebäudeumfeld im Mittelpunkt. Darüber hinaus sind aber auch weitere Infrastrukturen, wie beispielsweise Verkehrswege, vom Klimawandel betroffen. Verkehrliche und technische Infrastrukturen werden im Rahmen des Kapitels zwar nicht explizit betrachtet, sie sind aber prinzipiell über die gleichen Wirkungswege betroffen wie Gebäude und können daher auch ähnlich angepasst werden. Insbesondere kritische Infrastrukturen sind jedoch noch viel höheren Anforderungen an die Klimaanpassung ausgesetzt.

¹²⁸ Die Bundesregierung, 2008, S. 20

¹²⁹ StMUV, 2018

¹³⁰ adelphi / PRC / EURAC, 2015

03.2.1 Auswirkungen des Klimawandels auf das Bauwesen

In Deutschland und Bayern verursachen Extremwetterereignisse regelmäßig hohe Schadenskosten. Im Jahr 2019 betrug der bauliche Schadensaufwand durch Naturgefahren allein in der Sachversicherung 2,1 Mrd. Euro, davon entfielen 675 Mio. Euro auf Bayern.¹³¹ Mit 1,8 Mrd. Euro wurde der Großteil der versicherten Schäden in Deutschland durch Sturm und Hagel verursacht, was wohl vor allem auf die breite Absicherung gegen diese Schadensereignisse zurückzuführen ist. Bei anderen Extremwetterereignissen ist die Absicherung hingegen deutlich geringer, beispielsweise bei Hochwasser. Zur Höhe der nicht versicherten Schäden liegen zwar keine Daten vor, es ist aber offensichtlich, dass die tatsächliche Schadenssumme, insb. durch Hochwasserereignisse (hiergegen sind in Bayern lediglich 36 % aller Gebäude versichert, in Deutschland beträgt die Quote 45 Prozent), sehr deutlich über den 2,1 Mrd. Euro liegen.

Neben den direkt messbaren Schäden an Gebäudesubstanz und Infrastrukturen wird der Klimawandel, insbesondere in vulnerablen Regionen und stark exponierten Stadtteilen bzw. Stadteillagen, mittel- bis langfristig auch Auswirkungen auf die Bautätigkeiten sowie auf die Grundstücks-, Gebäude- und Baupreise und Mietenentwicklungen haben. Beispielsweise ist langanhaltende Sommerhitze ein Faktor, der bei entsprechender Ausrichtung bzw. Lage der Gebäude durch den verringerten thermischen Komfort in Innenräumen zu einer Verringerung der Angebotsmiete führen kann.¹³² Zukünftig sind solche Entwicklungen auch für (derzeit oftmals noch von hoher Attraktivität und Nachfrage geprägte) Quartiere in Flussnähe sowie in (hochversiegelten) Innenstadtlagen denkbar.

Durch den hohen Versiegelungsgrad (Kapitel 02.4) steigt die thermische Belastung in Sommermonaten, und insbesondere in den heute noch sehr attraktiven Süd- und Südwestlagen kann dies in längeren Hitzephasen eher zu einer Belastung durch das stark erhöhte Innenraumklima werden. Je höher sich die Wohnung im Gebäude befindet, desto stärker ist dabei die thermische Belastung (warme Luft steigt auch innerhalb des Gebäudes nach oben, außerdem haben Dachgeschosse eine größere Außenfläche, die von der Sonne erhitzt wird). In direkter Flussnähe sind die Erdgeschosszonen potenziell von Überflutungen betroffen und können daher in Zukunft schwieriger vermarktet werden.

Die Studie „Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel“ identifiziert für das Handlungsfeld Bauwesen in Deutschland fünf zentrale Auswirkungen des Klimawandels.¹³³ Es zeigt sich, dass für Bayern, neben den (1)

Hitzeauswirkungen auf Stadtklima und die Luftqualität wie auch auf das (2) Innenraumklima, insbesondere die (3) Schäden durch Flusshochwasser sowie Starkregenereignisse bzw. urbane Sturzfluten eine erhebliche Auswirkung auf die Bauwirtschaft haben und weiter haben werden. Zudem sind (4) Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Starkwind weiterhin zu erwarten, wobei hier je nach zukünftiger Ausprägung des Klimawandels keine eindeutige Aussage über deren Wirkungsstärke getroffen werden kann. Die für Deutschland ebenfalls identifizierten (5) Auswirkungen durch Sturmfluten sind für Bayern nicht relevant. Für die genannten Klimasignale (die die verschiedenen Ausprägungen des Klimazustandes wie Winde, Temperaturen oder Niederschläge beschreiben) gilt: Mit steigender Intensität des Klimawandels werden ihre Auswirkungen auch im Bauwesen zunehmen und zu höheren Schadenssummen bzw. Anpassungserfordernissen führen. Die Auswirkungen und anfallenden Schäden betreffen dabei verschiedene Bereiche des Bauwesens und lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- Auswirkungen auf die Gebäudesubstanz
- Auswirkungen auf den Betrieb bzw. die Funktion des Gebäudes
- Auswirkungen auf Bautätigkeiten

Nachfolgend werden die Auswirkungen der Klimasignale Starkregen / Hochwasser, Sturm / Hagel / Schneelast sowie Hitze auf diese drei Bereiche des Bauwesens näher betrachtet. Einen ersten Überblick über die Auswirkungen sowie eine Einschätzung ihrer Wirkungs- bzw. Disruptionsstärke gibt Abbildung 25.

¹³¹ GDV, 2020

¹³² Nikolowski et al., 2013

¹³³ adelphi / PRC / EURAC, 2015

Abbildung 25

Auswahl möglicher Auswirkungen der Klimasignale auf den Baubereich

	Auswirkungen auf die Gebäudesubstanz	Auswirkungen auf die Funktion des Gebäudes	Auswirkungen auf die Bautätigkeiten
Starkregen, Hochwasser	(Folge-)Schäden durch eindringende Feuchtigkeit Mechanische (Folge-)Schäden durch Schlagregen	Folge-)Schäden und beeinträchtigte Nutzbarkeit bei Flutung von Gebäudebereichen, v. a. Kellern	Verzögerte Abläufe durch (stehendes) Wasser in Baugruben und Rohbauten
Sturm, Hagel, Schneelast	Schäden an Dach- und vorstehenden Gebäudebereichen durch Zug- und Sogwirkung von Windböen und Schneelast	(Folge-)Schäden und beeinträchtigte Nutzbarkeit infolge von angewehten Gegenständen, Ästen, etc. sowie von Schneemassen	Schäden und Verzögerungen durch umstürzende bzw. wegwehende Werkzeuge, Fahrzeuge und Materialien sowie Schäden an diesen
Hitze	Schäden an der Bausubstanz, bspw. durch Verformungen	Heißes Innenraumklima führt zu gesundheitlichen Folgen durch Einschränkung von thermischem Komfort, Produktivität und Leistungsfähigkeit	Gesundheitliche Folgen für Bauarbeitende durch direkte Exposition der Sonneneinstrahlung oder hohen Lufttemperaturen

■ Geringe Auswirkung
■ Mittlere Auswirkung
■ Hohe Auswirkung

Quelle: Eigene Darstellung Prognos 2021

Auswirkungen von Starkregen und Hochwasser auf Gebäudebestand und Bauwirtschaft

Die Auswirkungen und Eintrittswege von Wasser, insbesondere infolge von Starkregen- und Flusshochwasserereignissen, in bzw. auf die Gebäudesubstanz sind vielfältig (Abbildung 26). Es können an sämtlichen Gebäudeteilen, von der Grundplatte bis zum Dach, Schäden durch eindringende Feuchtigkeit, aber auch mechanische Auswirkungen beispielsweise durch Schlagregen eintreten. Da die Hochwasserereignisse sowie, insbesondere in urbanen Räumen, auch Starkregenereignisse sowohl in Häufigkeit als auch in Intensität in den kommenden Jahren zunehmen werden (Kapitel 02.6), ist mit einer zukünftig erhöhten Einwirkung dieser auf den Gebäudebestand zu rechnen, der es entsprechend zu begegnen gilt.

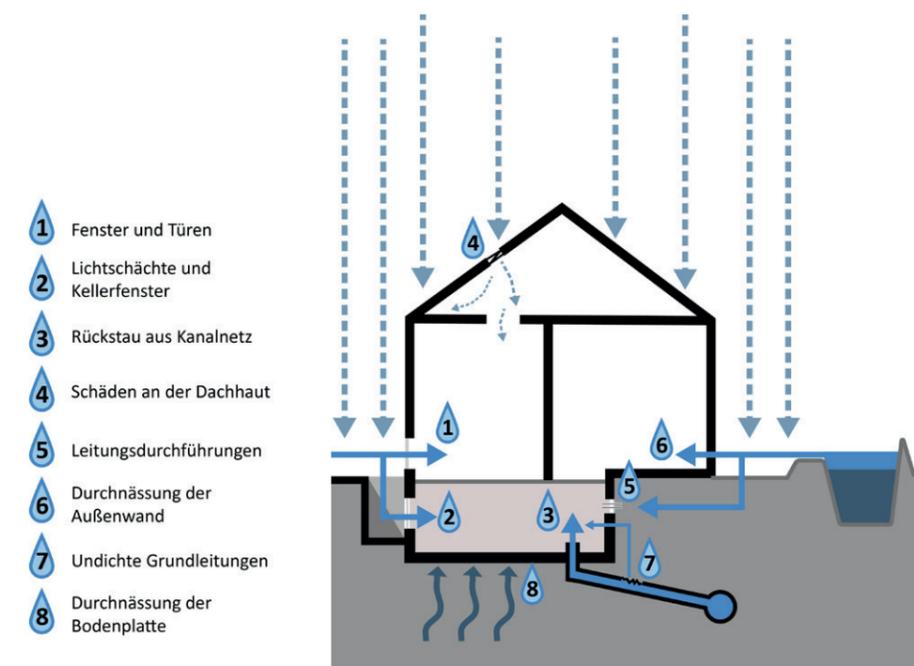
Für die Gebäudefassade besteht insbesondere das Risiko, dass Regenwasser aufgrund der Saugwirkung der Fassadenmaterialien schon durch kleinste Abdichtungsmängel oder durch den Regen entstehende Schäden (infolge der hohen Aufprallenergie) in das Innere der Fassade gelangen und dort kostspielige Folgeschäden anrichten kann, die oftmals erst spät erkannt werden. Bei Staunässe, die sich aufgrund eines Hochwassers oder des überlasteten Kanalsystems nach einem Starkregenereignis bildet, ist die Fassade ebenfalls über einen langen Zeitraum der Nässe ausgesetzt und kann beschädigt werden. Dies trifft auch auf Flachdachkonstruktionen zu, deren Entwässerungseinrichtungen überlastet oder nicht ausreichend dimensioniert sind. In Kombination mit Windereignissen kann Wasser auch an nicht ausreichend geschützten Stellen eintreten und dort Schäden anrichten.¹³⁴

In städtischen Räumen treten Schäden an Gebäuden sowie allgemeine Gefährdungen überwiegend durch starkregeninduzierte Überflutungen auf.¹³⁵ Neben der Fassade sind hier tieferliegende Gebäudeöffnungen wie Kellerklappen, Kellerfenster und Lichtschächte besonders betroffen und müssen entsprechend geschützt werden. Zwar werden Flüsse in vielen Städte inzwischen ab einer bestimmten Durchflussmenge in Flutmulden oder Ähnliches aufgeleitet (z. B. Isar in München), bei länger anhaltender Flutung der Mulden kann aber der Grundwasserspiegel spürbar ansteigen und so in Gebäude eindringen.

Bei langanhaltenden Regenfällen kann in Tallagen durch den Anstieg des Grundwasserspiegels eine Durchnässung der Bodenplatte des Gebäudes erfolgen, die zu strukturellen oder statischen Problemen im Gebäude oder im Extremfall zum „Schwimmen“ der Gebäudesubstanz führt. Darüber hinaus kann es durch das Aufweichen des Bodens zu Unterspülungen, Abtragungen oder Hangrutschen kommen sowie zu Schäden am Gebäude, die durch Gefahren aus dem Umfeld des Gebäudes entstehen, beispielsweise durch umgefallene und in der Folge angeschwemmte Gegenstände (Mülltonnen, Straßenschilder, Autoteile, Bäume oder Äste etc.).

Auf die Bautätigkeit haben Starkregen- und Hochwasserereignisse ebenfalls Auswirkungen, die zu einer Verzögerung von Baufertigstellungen führen können. Beispielsweise können Baugruben, insbesondere wenn diese eher hangabwärts liegen, mit dem nur verzögert versickernden Niederschlagswasser volllaufen, und es können Schäden an noch frischen und freiliegenden Fundamenten auftreten. Darüber hinaus sind Werkzeuge und Maschinen entsprechend zu schützen bzw. zu lagern, da auch an diesen Wasserschäden entstehen können. Manche Arbeiten, beispielsweise Maler- oder Lackierarbeiten sowie Einbetonierungen, setzen ebenfalls eine trockene Witterung voraus und sind daher bei Regenereignissen nur bedingt umsetzbar.

Abbildung 26

Potenzielle Eintrittswege von Wasser in die Gebäudesubstanz und Innenräume

Quelle: PDIfU, 2017, eigene Darstellung Prognos 2021

Auswirkungen von Sturmereignissen, Hagel und Schneelast auf Gebäudebestand und Bauwirtschaft

Wind- bzw. Sturmschäden treten am Gebäude auf zwei verschiedene Arten auf: einerseits durch die Windlast selbst, deren Zug- und Sogwirkung auf die Gebäudesubstanz und hier insbesondere auf hervorstehende oder locker befestigte Teile einwirkt; andererseits durch Gegenstände, die vom Wind transportiert werden und Aufprallschäden verursachen. Hierbei sind sämtliche Bereiche des Gebäudes, die über einen Kontakt mit der Umgebung verfügen, gefährdet. Besonders betroffen sind Dächer und vorstehende Bereiche der Fassade, aber auch kleinere Dachaufbauten wie Photovoltaikanlagen oder außenliegende Rollläden bzw. Jalousien sind der Gefährdung durch Sturm ausgesetzt.¹³⁶ Darüber hinaus tritt auch eine Gefährdung der umliegenden Bereiche der Gebäude und von Passanten auf, wenn sich durch die Wind- oder Sturmeinwirkung Bauteile vom Gebäudekörper lösen und herabfallen.¹³⁷ Neben klassischen Schrägdächern, deren Ziegelabdeckung in der Regel eine hohe Vulnerabilität gegen Stürme aufweist, sind auch die Eck- und Randbereiche von Flachdächern einer starken Beanspruchung durch Windböen und deren Sogwirkung ausgesetzt.¹³⁸

Von Hageleinwirkungen können Schäden sowohl an Fassaden, Fenstern, Türen als auch im Dachbereich entstehen, wobei im Gegensatz zur Wassereinwirkung, die gegebenenfalls in beschädigte Bauteile eindringt, vordringlich die der Witterung direkt ausgesetzten Bauteilschichten betroffen sind. Besonders betroffen von Hagelschäden sind Rollläden, Lichtkuppeln, Dächer, Fassaden sowie gegebenenfalls Photovoltaikmodule und solarthermische Kollektoren.¹³⁹ Zudem kann es bei Kombination von Sturm und Hagel auch zu Hageleinwirkungen an vorher geschützten Gebäudebereichen kommen, die durch ein Sturmereignis und das Abtragen der Schutzbarriere gegenüber dem Hagel exponiert wurden. Durch auftretendes Regenwasser oder das Auftauen der Hagelkörner kann es so zu kostspieligen Folgeschäden in Fassaden und Dachaufbauten kommen.

Zusätzlich zu den beschriebenen Auswirkungen von Wind und Hagel sind in Bayern (vor allem in den Alpen sowie ihrem Vorland) auch vermehrte bzw. intensivere Schneeereignisse zu erwarten (Kapitel 02.6). Für den Gebäudebereich haben diese insbesondere durch die hohe Belastung von Flach- sowie Schrägdächern infolge anhaltenden Schneefalls Konsequenzen, die es in der Errichtung der Gebäude zu adressieren gilt. So übt beispielsweise ein Kubikmeter Schnee, in Abhängigkeit vom Feuchtegrad, bis zu 500 Kilogramm Last aus und beansprucht damit die Gebäudesubstanz erheblich.¹⁴⁰ Bleibt der Schnee über einen längeren Zeitraum auf den Dachaufbauten liegen oder wird er in Kombination mit Wind als Schneewehe gegen die Fassade gedrückt, kann auch hier Feuchtigkeit in die Gebäudesubstanz eindringen und zu hohen Folgeschäden führen. Zudem können auch Bäume durch Schneelasten umfallen und ebenfalls Schäden an umstehenden Gebäuden verursachen.

Analog zu Starkregen- und Hochwasserereignissen können auch Stürme, Hagel und Schneeereignisse zu einer Verzögerung von Bautätigkeiten führen. Zudem müssen unter anderem Kräne, außen lagernde Maschinen und Materialbestände auf den Baustellen vermehrt gegen Wind-, Hagel- und Schneeeinwirkungen geschützt werden.¹⁴¹

Nach derzeitigem Stand der Wissenschaft ist für die meisten Klimasignale belegt, dass sie durch den menschengemachten Klimawandel an Häufigkeit und/oder Intensität zunehmen (z. B. Hitze, Starkniederschläge, Hagel). Bei Sturmereignissen sind solche Aussagen hingegen derzeit nur für bestimmte Sturmarten möglich (Kasten 9, Seite 49). Jedoch wird allein die prognostizierte zukünftige Zunahme der maximalen Windgeschwindigkeiten von Stürmen deren Schadens- und Gefährdungspotenziale für Bauten und Infrastrukturen sowie für Personen und Gegenstände deutlich erhöhen.

¹³⁶ BMI, 2019

¹³⁷ BBSR, 2010

¹³⁸ BMI, 2019

¹³⁹ ebd.

¹⁴⁰ Lawinenwarnzentrale im Bayerischen Landesamt für Umwelt, 2006

¹⁴¹ UBA, 2012

Auswirkungen von Hitze auf den Gebäudebestand und die Bauwirtschaft

Wirkt sich Hitze in länger aufeinanderfolgenden Perioden auch auf die Gebäudekonstruktion und Statik aus, so hat sie vor allem negative Auswirkungen auf die Gesundheit sowie das Wohlbefinden der Gebäudenutzer*innen. Beim Auftreten sogenannter Übertemperaturgradstunden (die in Abhängigkeit von der geografischen Lage eine Stunde mit mehr als 26 °C im Gebäudeinneren bedeuten) wird das thermische Wohlbefinden der Nutzer*innen eingeschränkt und es können gesundheitliche Folgen sowie Einbrüche der Leistungsfähigkeit und Arbeitsproduktivität auftreten.¹⁴² Je höher das Stockwerk, in dem sich eine Person während sommerlicher Hitzeperioden im Gebäude aufhält, gelegen ist, desto stärker heizt es sich auf und desto häufiger wird die thermische Situation als belastend wahrgenommen.¹⁴³ Insbesondere in verdichteten Innenstadt- und Innenstadtrandlagen, in denen der sogenannte urbane Hitzeinseleffekt aufgrund des Hitzestaus durch fehlende Durchlüftung, in Kombination mit einer hohen Wärmeabstrahlung der Gebäudefassaden, auftritt, ist die Belastung durch Übertemperaturen besonders hoch.¹⁴⁴ Den Belastungen kann zwar durch aktive Kühlungsmaßnahmen begegnet werden, doch nur sehr wenige Wohngebäude verfügen darüber; bei den Nichtwohngebäuden ist die Ausstattungsquote etwas höher (Kapitel 02.3). Je nach Ausstattung kann Homeoffice damit im Sommer weniger attraktiv sein.

Die extreme Hitzeeinwirkung hat auch Folgen für die bauausführende Wirtschaft. Insbesondere in den Mittagsstunden führt die Arbeit im Freien zu einer hohen Belastung der Bauarbeitenden und ist durch entsprechende Präventions- und Arbeitsschutzmaßnahmen (beispielsweise Verlagerungen von Arbeitszeiten oder Verschattung der Arbeitsbereiche) zu adressieren.¹⁴⁵ Darüber hinaus kann unter extremer Sonneneinstrahlung das für den Menschen giftige Ozon entstehen und zu Gesundheitsgefährdungen der Bauarbeitenden führen.

In Bezug auf die Bausubstanz ist die Hitzeanfälligkeit des Gebäudes entscheidend von den verbauten Materialien, vor allem bei der Gestaltung der Fassade, abhängig. So erhitzen sich Stahl und andere metallene Oberflächen sowie Glasflächen tagsüber unter Sonneneinstrahlung deutlich stärker als andere Oberflächen wie Holz oder Mauerwerk. Die starke Erwärmung von Baumaterialien birgt zwei verschiedene Arten von Herausforderungen: Zum einen wird ein hoher Anteil der Wärme ins Gebäudeinnere abgegeben, wo er durch entsprechende Kühlungs- oder anderweitige Maßnahmen adressiert werden muss.¹⁴⁶ Zum anderen führt sie unter Umständen zu Ausdehnungen und Verformungen sowie Erhöhungen der Porosität bzw. Bruchanfälligkeit – bei einer wechselnden Temperaturlage intensiviert sich dieser Effekt sogar noch. Diese Belastung der Gebäudesubstanz führt neben der Beeinträchtigung der Gebäudeästhetik (Kasten 31) nicht zwangsläufig zu direkten Schäden, kann aber durch die Öffnung von Spalten oder Poren Folgeschäden durch Feuchtigkeit bewirken. Diese physikalischen Effekte treten insbesondere bei Asphalt, Beton, Glas und in Teilen bei Stahl- und Holzbauteilen auf und sind bei Planung und Bau von Bauten zu berücksichtigen.

Mit den extremen sommerlichen Hitzeperioden und ihren Auswirkungen ist zukünftig vermehrt zu rechnen – sowohl Anzahl und Dauer als insbesondere auch die Intensität der auftretenden Temperaturen werden zunehmen (Kapitel 02.6). Für die Wahrung des thermischen Komforts im Gebäude und während seiner Errichtung kann auf eine Vielzahl verschiedener Anpassungsmaßnahmen zurückgegriffen werden, wobei diese zukünftig noch konsequenter umgesetzt bzw. in ihrer Gestaltungsintensität verstärkt werden müssen. Hierbei ist es sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoller, bereits in Planung und Bau Vorkehrungsmaßnahmen gegen die starke Erwärmung der Bausubstanz und des Innenraums zu treffen, als gegen bereits entstandene Hitze im Haus mit einem Kühlsystem bzw. einer Klimaanlage vorzugehen.¹⁴⁷ Denn aktive Kühlung verbraucht Energie, erzeugt Abwärme außerhalb des Gebäudes und verursacht laufende Kosten. Mögliche Anpassungsmaßnahmen werden im folgenden Kapitel beleuchtet. Hitze kann z. B. durch helle Oberflächen, Begrünungen sowie vorgehängte, hinterlüftete Fassaden abgemildert werden (Kapitel 03.2.2.1).

¹⁴² DIfU, 2017

¹⁴³ ISP, 2019

¹⁴⁴ ebd.

¹⁴⁵ BG Bau, o. J.

¹⁴⁶ DIfU, 2017

¹⁴⁷ ebd.

03.2.2 Anforderungen an das klimaangepasste Planen und Bauen von Gebäuden

Aus den zahlreichen Auswirkungen der Klimasignale auf den Gebäudebestand und der steigenden Häufigkeit und Intensität der Extremwetterereignisse ergeben sich geänderte und neue Anforderungen an die resiliente und klimaangepasste Gestaltung von Gebäuden. Allerdings sind die Lösungsansätze kaum allgemeingültig, sondern es muss immer in Abhängigkeit vom konkreten Standort (beispielsweise treten entsprechend bei Lage in Flussnähe oder an einem Hang bzw. auch bei Berücksichtigung der Ausrichtung des Baukörpers nach Himmelsrichtung unterschiedliche Anforderungen auf) sowie von Art und Dimensionierung des zu errichtenden Gebäudes eine Abwägung der im Einzelfall erforderlichen baulichen Anpassungsmaßnahmen erfolgen. Zudem kann es unter Umständen auch zu Zielkonflikten (aber auch zu Synergien) zwischen Anpassungsmaßnahmen und Umwelt- bzw. Klimaschutzaspekten kommen (Kasten 15).

In der Bauwirtschaft entstehen durch diese neuen Anforderungen an resilientes, klimarechtes Bauen auch veränderte Nachfragestrukturen in Bezug auf klimaangepasste Baumaterialien und veränderte Flächennutzungsmodelle. Darüber hinaus gewinnt auch die nachträgliche Anpassung bzw. klimaangepasste Sanierung von Gebäuden weiter an Bedeutung, ebenso wie die Beseitigung und Reparatur von klimawandelinduzierten Schäden an der Gebäudesubstanz. Branchenanalysen zeigen daher, dass die Bauwirtschaft durchaus von den prognostizierten Klimaveränderungen profitieren kann.¹⁴⁸

Die Anforderungen und Maßnahmen des klimaangepassten Planens und Bauens lassen sich vier Kategorien zuordnen (Abbildung 27):

- Technische Anforderungen und Maßnahmen – Anpassung der Gebäudesubstanz
- Qualitative Anforderungen und Maßnahmen – Anpassung der Gebäudefunktion bzw. Nutzungsweise
- Bautätigkeitsbezogene Anforderungen und Maßnahmen – Anpassung der technischen Normen, Planungsprozesse und Bauausführung
- Umfeldbezogene Anforderungen und Maßnahmen – Anpassung der gebäudeumgebenden Flächen auf dem Grundstück, um die Resilienz der Gebäudesubstanz zu erhöhen bzw. die Wahrung der Gebäudefunktion zu gewährleisten

Abbildung 27
Ausgewählte Anpassungen nach Klimasignal

Anforderungen und Maßnahmen			
	Starkregen und Hochwasser	Sommerliche Extremhitze	Stürme, Hagel und Schneelast
Technisch (Gebäudesubstanz)	<ul style="list-style-type: none"> – Dachbegrünung – Aufbordungen vor oberirdischen Gebäudeöffnungen – Rückstauklappen – Kontrollierte Flutungsmöglichkeiten (gegen Auftrieb) 	<ul style="list-style-type: none"> – Helle Oberflächen und Fassaden – Fassadenbegrünung und Verschattung 	<ul style="list-style-type: none"> – Sturmklammern – Abgerundete Attiken bzw. Dachkanten – ggf. Verzicht auf Lichtkuppeln bzw. nach oben gerichtete Fenster
Qualitativ (Gebäudefunktion)	Installation von Sensorik und Warnsystemen („Sturm- und Sonnenwächter“)		
	Weitestgehender Verzicht auf elektrische Einrichtungen, Maschinen oder Haushaltsgeräte im Keller sowie die Lagerung von Gefahrgut in Kellern	Intelligente Kühlsysteme und Anlagen (Windtürme, Kühlpumpen, bivalente Wärmepumpen mit Speicher, Fernkälte o. Ä.)	Verzicht auf oberirdische Leitungen bzw. Anschlüsse (Strom, Telefon)
Bautätigkeitsbezogen	Anpassung entsprechender Bauausführungs-Normen bzw. Berücksichtigung von Extremereignissen in der Planung und Dimensionierung des Gebäudes und seiner Infrastruktur		
	Sicherung und Abdeckung außen lagernder Baumaterialien und Geräte	<ul style="list-style-type: none"> – Verlagerung der Tätigkeiten in Morgen- und Abendstunden – Verschattung der Arbeitsbereiche – Information der Bauausführenden zum Umgang mit Hitze 	Sicherung und Abdeckung außen lagernder Baumaterialien und Geräte
Umfeldbezogen	<ul style="list-style-type: none"> – Verlagerung von Neubautätigkeit weg von Tälern oder Flüssen – Versickerungsfähige Bodenbeläge 	<ul style="list-style-type: none"> – Hoher Verschattungsgrad des Grundstücks – Hoher Begrünungsgrad des Grundstücks 	Bauen in angemessener Entfernung von Bäumen und Oberleitungen

Quelle: Eigene Darstellung Prognos 2021

03.2.2.1 Technische Anforderungen (Anpassung der Gebäudesubstanz) Ausweichen

Bei der hochwasser- bzw. starkregenangepassten Planung von Gebäuden können drei unterschiedliche Anpassungsstrategien unterschieden werden: Erstens sollte, sofern möglich, ein „Ausweichen“ der Bautätigkeit bzw. der Gebäudesubstanz aus den gefährdeten Zonen erfolgen. Ein solches „Ausweichen“ kann entweder geografisch erfolgen, beispielsweise indem gar nicht erst in hochwasservulnerablen Gebieten gebaut wird, oder es kann räumlich vor Ort erfolgen, beispielsweise indem auf eine Unterkellerung verzichtet wird. In regenreichen Ländern beispielsweise Süd- und Ostasiens werden Gebäude auf Stelzen gesetzt; auch so erfolgt ein Ausweichen der Wassereinwirkung.

Anpassen

Zweitens ist ein „Anpassen“ der Gebäudesubstanz an den Wassereintrag möglich, sodass bei einem Extremwetterereignis die Schäden akzeptiert, aber so gering wie möglich gehalten werden, beispielsweise indem eine wasserabweisende Oberfläche oder ein abflussunterstützendes Pumpensystem in den betroffenen Kellern installiert wird.

Widerstehen

Die dritte Strategie, das „Widerstehen“, zielt darauf ab, ein Wassereindringen möglichst vollständig zu verhindern. Eine wasserdichte Ausführung der außenliegenden Gebäudeteile (insb. an den Öffnungen von Fenstern und Türen) und des Kellers in Form einer sogenannten „Schwarzen Wanne“ ist ebenso Teil des Vorgehens wie Rückstauklappen zur Kanalisation oder außerhalb des Gebäudes aufgestellte mobile Hochwasserschutzsysteme sowie aufgebordete Kanten an den Gebäudeeingängen.¹⁴⁹ Um die Versickerung auf dem eigenen Grundstück zu erhöhen und so die Dauer des stehenden Wassers an der Gebäudesubstanz zu verringern, ist ein möglichst geringer Versiegelungsgrad des Grundstücks anzustreben. Dies gilt auch für entsprechende Flachdachkonstruktionen, die durch eine Begrünung ebenfalls zur Wasserspeicherung beitragen können. Versickerungsfähige Beläge, die sich für die Flachdachgestaltung eignen, sind unter anderem Kies bzw. Kies-Splitt, Schotterrasen, Holzpflaster sowie verschiedene Formen von Steinpflasterungen, die Öffnungen aufweisen, wie beispielsweise Rasengittersteine.¹⁵⁰

Wind- und Sturmereignisse

Gegen Wind- und Sturmereignisse haben sich an Schrägdächern spezielle Sicherungsmethoden für Dachziegel wie die sogenannten „Sturmklammern“ bewährt. An Flachdächern kann eine abgerundete Attika im Dachbereich hinter dem eigentlichen Randbereich durch ihre Verwirbelungswirkung zu einer deutlichen Verringerung des Sogeffekts und somit der entstehenden Schäden am Dach beitragen.¹⁵¹ Zusätzlich sind die entsprechenden Dach-Bauteile möglichst massiv zu gestalten, um die Resilienz der Dachkonstruktion gegen den Wind durch die Auflastung zu erhöhen.¹⁵² Entsprechend werden zukünftig vermehrt auch Photovoltaikmodule durch Rücken- und Seitenschilde geschützt werden müssen. Ein Indiz für die Widerstandsfähigkeit der Dachmaterialien wie beispielweise der Abdichtungsbahn ist die Hagelwiderstandsklasse. Insbesondere bei abdichtenden Bauteilen ist darauf zu achten, einen möglichst hohen Widerstand zu gewährleisten, da bereits kleine Schäden zum Eindringen von Feuchtigkeit führen können.¹⁵³ Vorreiter bei der Erforschung und Erprobung besonders widerstandsfähiger Baumaterialien ist das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP). Im Fachbereich Hygrothermik kommen verschiedene bauphysikalische Analysemethoden zum Einsatz, die die entsprechenden Kennwerte (beispielsweise in Bezug auf Feuchtigkeitsdurchlässigkeit) neuartiger Materialien und Innovationen aus dem Bereich

der Baustoffe bestimmen, bevor diese in die Marktreife gehen. So können beispielsweise auch die Durchfeuchtungseffekte eines Gründachs ermittelt und Konstruktionshinweise gegeben werden, die bereits in der Planung eines Gebäudes zur Vermeidung potenzieller Schäden beitragen können.¹⁵⁴

Hitzeereignisse

Um in der Gebäudeplanung auf auftretende Hitzeereignisse zu reagieren, ist die Gestaltung von Dach und Fassaden in möglichst hellen Farben anzustreben. Diese haben eine höhere Reflektion und geringe Wärmeabsorption und heizen sich entsprechend signifikant weniger auf als dunklere Oberflächen. Zusätzlich sind kleine bzw. wenige Fenster in Erwägung zu ziehen, da auch durch Einstrahlung durch das Glas eine hohe Erwärmung der Innenräume stattfindet (gleichwohl kann das zu Zielkonflikten mit einem möglichst hohen Wärmeeintrag im Winter, der den Heizbedarf reduziert, sowie mit einem möglichst geringen Einsatz an künstlichem Licht führen).¹⁵⁵ Sonnenschutzeinrichtungen (z. B. Jalousien oder Rollos) sind im Rahmen der technischen Möglichkeiten immer außerhalb des Gebäudes anzubringen, um den Wärmeeintrag so gering wie möglich zu halten. Weitere Ansätze der passiven Gebäudekühlung bieten vorgehängte hinterlüftete Fassaden, die ähnlich einem Kamin die warme Luft über einen Luftschacht hinter der vorgehängten Fassade nach oben abführen und so ermöglichen, dass kühle Luft nachströmen kann. Auch eine Begrünung der Fassade verbessert durch die Verschattung sowie den Verdunstungseffekt das Mikroklima und mindert die Temperaturen an der Fassade.

Intelligente Kühlungssysteme

Darüber hinaus können intelligente Kühlungssysteme als Teil der Gebäudeinfrastruktur einen wesentlichen Beitrag zur Minderung sommerlicher Hitzebelastung leisten. Zentrale Windschächte in mehrgeschossigen Häusern, wie sie in vielen arabischen Ländern genutzt werden, sorgen für eine natürliche Zirkulation. Die Stadtwerke München bieten ein Fernkälte-System an, das derzeit vor allem für gewerbliche Kunden konzipiert ist. Hierbei wird zentral erzeugtes, ca. 5 °C kühles Wasser über Rohre zu den Verbraucher*innen geleitet, wo es zur Kühlung eingesetzt wird und gleichzeitig zusätzliche Abwärme aus der weiteren Gebäudekühlung aufnimmt. Dies ist insbesondere bei Gewerbebauten und beim stark Abwärme produzierenden Betrieb von Rechenzentren oder größeren Serverräumen interessant. In einem geschlossenen Kreislauf wird es anschließend wieder zurückgeführt und zentral erneut abgekühlt. Zusätzlich tragen auch der Stadtbach sowie Grundwasser aus den Entwässerungsanlagen der U-Bahn zur Abkühlung bei.¹⁵⁶ Zukünftig werden die Bereitstellung von Fernkälte für private Haushalte und die dezentrale Verteilung beispielsweise über das hauseigene Heizungssystem an Bedeutung gewinnen.

03.2.2.2 Qualitative Anforderungen (Anpassung der Gebäudefunktion bzw. Nutzungsweise)

Die Anpassung der Gebäudefunktion bzw. Nutzung kann vor allem durch die intelligente Verteilung von Nutzungszonen innerhalb des Gebäudes vorangetrieben werden. So sollten (insbesondere in großen bzw. gewerblich genutzten Gebäuden) technische und elektrische Anlagen des Gebäudebetriebs nicht im Keller oder ebenerdig, sondern mindestens im ersten Obergeschoss untergebracht werden, um Schutz vor Hochwasser- bzw. Starkregenereignissen zu bieten. Ist dies beispielsweise in Industrieanlagen nicht möglich, sind unter Abwägung des Hochwassergefährdungsrisikos gegebenenfalls zusätzliche kostspielige Sicherungsmaßnahmen (Kapitel 03.2.2.1) erforderlich.

Im Sinne vorbeugender Klimaanpassung ist vor allem im Neubau darauf zu achten, dass in (Schräg-)Dachgeschosslagen Wohnungen und Büros möglichst nicht nach Süden oder Südwesten ausgerichtet werden, um den thermischen Komfort im Innenraum zu erhalten sowie den Kühlungs- und Verschattungsbedarf möglichst gering zu halten. Daraus können in der Heizperiode zwar geringere Wärmegewinne aus der passiven Nutzung der Sonnenwärme resultieren, der winterliche Heizbedarf wird aber ohnehin perspektivisch eher abnehmen.

Anpassungsmaßnahmen, die innerhalb des Gebäudes verortet sind, wie beispielsweise die Nutzung von zusätzlichen Kälteverteilungssystemen, Windschächten oder anderen technischen Infrastrukturen, schränken aufgrund des teilweise hohen Raumbedarfs die Nutzungsmöglichkeiten des Gebäudes ein und sind daher in der Planung entsprechend zu berücksichtigen und abzuwägen. Zudem bedarf es der Erforschung der Zusammenhänge von Trägheit aus massiven Baustoffen zur Kompensation von temporären Wärmelasten als Energiepuffer bzw. Leichtbauweisen für kürzere Reaktionszeiten zeitweise nicht genutzter Räume (z. B. Hotelzimmer oder Singlehaushalt). Hierin verbergen sich wichtige Energieeinsparpotenziale ohne Komfortverlust für die Nutzenden.

Um den effizienten Betrieb eines Gebäudes auch unter widrigen und wechselnden Klima- und Witterungsbedingungen zu gewährleisten, bieten sich entsprechend automatisierte Systeme an, die entweder auf Warnsystemen des Deutschen Wetterdienstes basierend Schutzvorkehrungen leisten oder über eigene Temperatur- und Windsensoren verfügen. So können großflächig die außenliegenden Gebäudeteile wie Jalousien oder Markisen rechtzeitig ein- bzw. ausgefahren werden oder Fenster bei Regen und Hagel geschlossen werden.¹⁵⁷

03.2.2.3 Bautätigkeitsbezogene Anforderungen

Im Bereich der klimaangepassten Planung und Gestaltung von Gebäuden und Bauteilen gibt es zahlreiche Normen und Vorgaben, die einen entsprechenden Schutz gegen Schäden durch Extremwetterereignisse gewährleisten sollen. Diese technischen Anforderungen gilt es beim Bau von Gebäuden konsequent einzuhalten. Untersuchungen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) zeigten, dass im Gebäudebestand die nicht fachgerechte Bauausführung an der Dachhaut und der Außenfassade als häufigste Ursache für Schäden durch Extremwetterereignisse verantwortlich gemacht werden kann.¹⁵⁸

In einigen Bereichen sind die derzeit geltenden Normen und Richtlinien jedoch nicht mehr ausreichend. So gilt beispielsweise bei der Bemessung von Hagelsicherheit eines Bauteils die höchste Widerstandsklasse HW5, wenn das Bauteil einem Hagelkorn mit einem Durchmesser von fünf Millimeter widersteht. Bei mehreren Hagelereignissen in den letzten Jahren konnten in Bayern jedoch deutlich größere Korngrößen ausgemacht werden.¹⁵⁹ Ähnliche Entwicklungen sind bei den Expositionsklassen gegen Starkregenereignisse zu beobachten.¹⁶⁰ In der Dimensionierung von Infrastrukturen, wie beispielsweise Kanalnetzen, sowie in der Absicherung der Gebäudesubstanz sind Extremereignisse entsprechend zu berücksichtigen. Dabei sind Kosten und Nutzen sowie das künftige regionale Gefährdungsrisiko durch Extremereignisse abzuwägen. Dies kann unterschiedliche Schutzklassen begründen, die dann entsprechende bauliche Anforderungen nach sich ziehen.

149 BMI, 2019

150 DIfU, 2017

151 BMI, 2019

152 BBSR, 2010

153 BMI, 2019

154 Fraunhofer IBP, o. J. a

155 DIfU, 2017

156 Stadtwerke München, 2018

157 DIfU, 2017

158 BBSR, 2015

159 Augsburg Allgemeine, 2019

160 BMI, 2019

Auch während der Bautätigkeiten sind (zusätzliche) Schutzmaßnahmen gegen die Klimawandelfolgen zu ergreifen. Dies bezieht sich sowohl auf die Baumaterialien bzw. Werk- und Fahrzeuge als auch für die in der Bauwirtschaft arbeitenden Personen. Beispielsweise sind Gerätschaften und Materiallager gegen Wind-, Starkregen- und Hagelereignisse zu sichern, um Schäden und Verzögerungen im Bau zu vermeiden sowie um für die Sicherheit der umliegenden Grundstücke sowie Personen zu sorgen.

Bisher gehört Hitze nicht zu den Kriterien der Schlechtwettertage am Bau. Der Indikator wird vom Deutschen Wetterdienst (DWD) berechnet und gibt auf regionaler Ebene Auskunft darüber in welchem Ausmaß die Arbeiten auf der Baustelle durch Witterungsverhältnisse beeinträchtigt sind.¹⁶¹ Dennoch sind Bauarbeiten von sommerlicher Hitze betroffen. Zum einen kann die Verarbeitbarkeit bestimmter Baumaterialien eingeschränkt sein (z. B. birgt Hitze die Gefahr des zu schnellen Abbindens und Ausdunstens bei Betonarbeiten).¹⁶² Zum anderen kann Hitze zu gesundheitlichen Belastungen der Bauarbeitenden und gegebenenfalls zur Beeinträchtigung ihrer Arbeitsleistung führen.¹⁶³ Um diesen Auswirkungen zu begegnen, sind bestimmte Arbeiten (im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben) von den Mittags- bzw. Nachmittags- (11 bis 16 Uhr) in die Morgen- (ab 6 bis 8 Uhr) oder Abendstunden (bis 22 Uhr) zu verlegen, was jedoch mit einer Verlängerung des Bauzeitraums sowie Verschiebungen von Baulärmzeiten einhergehen kann. Weiterhin ist für eine ausreichende Verschattung des Arbeitsbereichs sowie für Abkühlungsmöglichkeiten wie beispielsweise ausreichende Getränke zu sorgen.¹⁶⁴

03.2.2.4 Umfeldbezogene Anforderungen

Neben den Folgen, die der Klimawandel für die Substanz, den Betrieb und die Errichtung von Gebäuden hat, sind auch veränderte bzw. neue Anforderungen an das Zusammenspiel zwischen Gebäuden und Gebäudeumfeld bzw. zu bebauendem Grundstück zu beachten. Beispielsweise wird es zukünftig noch relevanter, dass Gebäude so errichtet werden, dass eventuelle Hangneigungen vom Baukörper wegzeigen, um die Einwirkung von Starkregenereignissen zu verringern. Durch die Ableitung von Oberflächenwasser darf jedoch keine Mehrbelastung auf anderen privaten und öffentlichen Grundstücken geschaffen werden.¹⁶⁵ Die sogenannte dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung, also die sofortige oder verzögerte Rückführung des Wassers in den natürlichen Kreislauf an Ort und Stelle des Niederschlags, hat für die Bewältigung der Folgen von Starkregenereignissen einen hohen Mehrwert. Bei Kombination von Versickerungs- und Speichersystemen kann das Wasser in sommerlicher Hitze zur Kühlung oder Bewässerung des Grundstücks verwendet werden.

Neben dem geringen Versiegelungsgrad des Grundstücks ist verstärkt auf einen hohen Verschattungs- und Begrünungsgrad der Umgebung zu achten, da diese das Mikroklima und damit den thermischen Komfort in sommerlichen Hitzeperioden ebenfalls wesentlich beeinflussen. Entsprechende Konzepte lassen sich unter dem Stichwort „doppelte Innenentwicklung“ zusammenfassen, die eine gemeinsame und integrierte Planung von Gebäuden und qualitativen Grünanlagen, insbesondere in verdichteten Innenstadtlagen, vorsieht. Hier ist jedoch gleichzeitig darauf zu achten, dass der Baukörper in einer angemessenen Entfernung von hochragenden Bäumen oder Oberleitungen errichtet bzw. ein Windschatten gebildet wird. Ein großer Abstand sorgt für eine größere Angriffsfläche, sodass zwar mögliche Schäden an Gebäuden, aber nicht am Baumbestand vermieden werden. Eine nachhaltige Planung kann die Gebäude als Schutz für die Grünflächen bei Starkwind nutzen, umgekehrt schützen die Grünflächen vor Überhitzung und speichern das Wasser.

¹⁶¹ Für weiterführende Informationen siehe (abgerufen am 28.05.2021): https://www.dwd.de/DE/leistungen/swt_aku/swt_aku.html

¹⁶² Bauwissen, o. J.

¹⁶³ DWD, 2011

¹⁶⁴ BG Bau, o. J.

¹⁶⁵ DIfU, 2017

Kasten 13

Klimaanpassung und denkmalgeschützte Gebäude

Denkmalgeschützte Gebäude und Ensembles stehen bei klimaangepasstem Planen, Bauen und Sanieren vor einer doppelten Herausforderung: Einerseits besteht eine erhöhte Vulnerabilität der Bau- und Stadtkörper durch den historischen Charakter, der mit hohen Versiegelungsgraden, dichter Bebauung bzw. erhöhter Nutzungsdichte sowie wenig klimaangepassten Oberflächen bzw. Materialien einhergeht. Andererseits ergeben sich in der Sanierung bzw. beim Umbau hohe Anforderungen an den Erhalt des Denkmalcharakters, denen in der Abwägung gegenüber anderen Aspekten ein hohes Gewicht eingeräumt wird.¹⁶⁶

Um diese Zielkonflikte zwischen Wohnkomfort bzw. Lebensqualität durch klimaangepasstes Bauen und der Identität des Gebäudes und Ensembles auszuräumen, sind besondere Strategien und integrierte Planungsprozesse nötig. Beispielsweise behilft sich die Stadt Regensburg, deren Innenstadt als UNESCO-Weltkulturerbe unter erhöhten denkmalpflegerischen Anforderungen steht, in ihrem Welterbe-Managementplan damit, die Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen auf nicht öffentlich einsehbare Bereiche (beispielsweise private Innenhöfe) zu begrenzen.¹⁶⁷ Das bedeutet, dass die Stadt Klimaanpassungsmaßnahmen

aufgrund des Denkmalschutzes auf den öffentlichen Flächen nicht oder nur beschränkt umsetzen kann. Damit werden Klimaanpassungsmaßnahmen im privaten (nicht öffentlich einsehbaren) Bereich zwar umso wichtiger, das Wissen von Privatpersonen um die Vorteile der Klimaanpassung am eigenen Gebäude ist in der Regel jedoch gering, sodass der Stadt hier eine aufklärende und vermittelnde Rolle zukommt. Um zukünftig Handlungsempfehlungen zur Aufhebung dieses Konfliktes und der aufwendigen Abwägungsprozesse geben zu können, befindet sich derzeit im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel das Projekt „Klimaanpassung in historischen Stadtkernen“ in Umsetzung.¹⁶⁸ Beispielsweise besteht die Möglichkeit, die feinstrukturierte Optik der Fassaden, die in der Regel den besonderen Charakter einer historischen Substanz bildet, durch 3D-Scanning zu erfassen und in gleicher (auch unregelmäßiger Form) auf wichtige Funktionsschichten wie Dämmung oder Abdichtung zu übertragen. In vielen Fällen könnten somit das historische Erscheinungsbild und die Originalsubstanz trotz der Modernisierung auch im öffentlich sichtbaren Bereich erhalten bleiben.

03.2.3 Klimaanpassung durch Infrastruktur im Gebäudeumfeld

Die Tätigkeit der Bauwirtschaft kann nicht nur auf die Planung und Errichtung von Gebäuden bezogen werden, sondern spielt auch bei der Konzeption und Ausgestaltung des Gebäudeumfelds eine zentrale Rolle. Dieses infrastrukturelle Umfeld muss ebenfalls gebaut werden und hat für die Aufrechterhaltung der Gebäudefunktionen bzw. der Bausubstanz eine zentrale Bedeutung. Führt beispielsweise ein Starkregenereignis zur Überlastung des Kanalnetzes, so sind auch die über ihm liegenden Gebäude bzw. anliegenden Keller betroffen. Um den Eintrag schädlicher Klimaauswirkungen aus dem Gebäudeumfeld in die Gebäude zu verringern, wird neben den klassischen technischen Infrastrukturen (z. B. Kanalnetz) vermehrt auf die Stadtgestaltung mithilfe grün-blauer Infrastrukturen gesetzt.¹⁶⁹ Aber auch die technische Infrastruktur ist beispielsweise durch entsprechend vergrößerte Leitungsquerschnitte auf die Anforderungen zukünftig häufiger auftretender Extremereignisse zu dimensionieren. Dies steht den aktuellen Bestrebungen, Kanalnetze aus Betriebskostengründen bei Sanierungen eher zu verkleinern, entgegen, da durch solche Sanierungen die Auffangkapazität des Netzes bei einem Starkniederschlag noch begrenzter ist. Auf lange Sicht übersteigen die zu erwartenden Schäden und Beseitigungskosten von Starkniederschlagsereignissen in der Regel die eingesparten Betriebskosten größer dimensionierter Kanalnetze.

Die grüne Infrastruktur bezeichnet sämtliche natürlichen bzw. naturnahen Flächen oder ein Netzwerk derselben, die verschiedene Ökosystemdienstleistungen erfüllen. Voraussetzung der Einordnung als Infrastruktur ist eine entsprechende Anlage bzw. Pflege, um die Bereitstellung der Ökosystemleistung langfristig zu gewährleisten. Parks, Grünverbindungen und Dach- bzw. Fassadenbegrünungen bilden den Bereich der grünen Infrastrukturen; wasserbauliche Infrastrukturen (Mulden-Rigolen-Systeme, Rückhaltebecken etc.) werden unter dem Begriff der blauen Infrastruktur zusammengefasst.¹⁷⁰

¹⁶⁶ DIfU, 2015

¹⁶⁷ Stadt Regensburg, 2012

¹⁶⁸ Kompetenzzentrum für Klimaschutz in Fachwerkstädten, 2021

¹⁶⁹ Technische Universität Dresden, 2019

¹⁷⁰ Europäische Kommission, 2013, DIfU, 2020

Kasten 14

Beispiele aus der guten Praxis in Bayern

Vom Parkplatz zur grünen Lunge: Die Entsiegelung der Asphaltwüste des ehemaligen Industrieareals des Quelle-Versandhauses in Nürnberg ist ein Leuchtturmprojekt aus dem Masterplan Freiraum.¹⁷¹ Diese neu entstandene grüne Infrastruktur wirkt der Bildung urbaner Hitzeinseln entgegen und sorgt für ein verbessertes Stadtklima und Regenwassermanagement. Auf ca. 1,3 Hektar wurden die ehemaligen Parkplätze entsiegelt und durch nutzbare Rasenflächen mit Spiel- und Aktivitätsbereichen, Wasserspielen und zahlreichen Baumneupflanzungen ersetzt. Darüber hinaus entstand durch die Pflanzung von Obstbäumen auch ein Nutzgarten, für den Baumpatenschaften übernommen werden können.¹⁷²

In der „Klimaforschungs-Station“ des Bayerischen Zentrums für Angewandte Energieforschung (ZAE) und der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) in Würzburg stellen sich Expert*innen der Herausforderung, die ideale grüne Gebäudefassade für die Stadt der Zukunft zu entwerfen. Auch das Fraunhofer IBP untersucht derzeit im Rahmen des BUOLUS-Projekts Optionen zur Gestaltung urbaner Oberflächen für nachhaltige Lebens- und Umweltqualität in Städten.¹⁷³ Funktionales Grün, in Kombination mit innovativen Fassadenmaterialien, hat zahlreiche Vorzüge: Verbesserung des Mikroklimas, Energieeinsparung durch Wärmedämmung, Schutz der Gebäudesubstanz vor UV-Strahlen und Hagel sowie Erhalt der Artenvielfalt und Erweiterung der Lebensräume für Pflanzen und Tiere. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts zeigen auf, dass die relative Luftfeuchte umso niedriger und die Temperaturen somit umso kühler sind, je größer der Abstand zwischen Fassade und Begrünung ist.¹⁷⁴

Als Best-Practice-Beispiel für blaue Infrastrukturen in Bayern lässt sich die Implementierung einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung im Rahmen einer Neuplanung eines Büro- und Dienstleistungsparks in Garching im Landkreis München nennen. Für dieses Projekt wurden zahlreiche Maßnahmen zur Entwässerung und somit Entlastung der Kanalisation umgesetzt: Versickerung über wasserdurchlässige Beläge und Drainpflaster auf Pkw-Parkflächen und Gehwegen, Lücken im Bordstein, damit überschüssiges Regenwasser oberflächlich abfließen kann sowie die Anlage eines 3.500 m² großen Sees, der das eingeleitete Niederschlagswasser zurückhält. So kann das Wasser entlang des Seerandes versickern und die Verdunstung wird begünstigt.¹⁷⁵

Auch in der oberbayerischen Gemeinde Eitensheim im Landkreis Eichstätt wird den Herausforderungen von Starkregen mit multifunktionalen Regenrückhalteflächen begegnet. Im Rahmen der Gestaltung eines Neubaugebiets wurde ein abgestuftes Rückhaltebecken angelegt, bestehend aus zwei Ebenen mit 75 Zentimetern Höhenunterschied. In den Becken wird vorübergehend in großen Mengen anfallendes überschüssiges Niederschlagswasser zwischengespeichert, damit es verlangsamt und kontrolliert in den Entwässerungskanal geleitet werden kann. Wenn die Becken nicht als Regenspeicher fungieren, ist das nördliche Becken in seiner Hauptfunktion ein Fußballplatz, während das südliche ein Spielplatz ist.¹⁷⁶

171 Stadt Nürnberg, 2014

172 Stadt Nürnberg, 2020

173 siehe <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/projekte-referenzen/buolus.html> (abgerufen am 09.06.2021)

174 LWG Bayern, 2018

175 StMuV, 2021c

176 ebd.

Grün-blaue Infrastrukturen erfüllen für die Wahrnehmung der allgemeinen Funktionen des Stadtraums, aber auch der in ihm befindlichen Gebäude zahlreiche Funktionen. Beispielsweise erhöhen grün-blaue Infrastrukturen die allgemeine Aufenthaltsqualität des Stadtraums und sorgen durch ihre Verschattungs- und Verdunstungswirkung für eine Verbesserung des Mikroklimas und eine Verringerung der Umgebungstemperatur. Darüber hinaus unterstützen die grün-blauen Infrastrukturen, da sie von Bebauung freigehalten sind und Verdunstungskühle bereitstellen, den Luftaustausch und kühlen so insbesondere nachts die überhitzten Innenstadtbereiche durch die Bildung von Frisch- bzw. Kaltluftschneisen.

Zudem erhöhen grüne Infrastrukturen durch die Bildung von Habitaten für Kleintiere und Insekten die städtische Biodiversität und sichern in Hanglagen die Böden vor einer Erosion, die beispielweise durch ein Starkregenereignis ausgelöst werden kann.¹⁷⁷ Der größte Mehrwert blauer Infrastrukturen (Bachläufe, Mulden-Rigolen-Systeme, Wasserspiele, begehbare Brunnen- bzw. Fontänensysteme etc.) besteht darüber hinaus in der kurzzeitigen dezentralen Speicherung von (Niederschlags-)Wasser. Durch diesen Wasserrückhalt erfolgt eine verzögerte Abgabe an die Kanalsysteme bzw. eine erhöhte Versickerung, durch die eine potenzielle Überlastung der Kanäle verhindert oder abgemildert wird (Konzept Schwammstadt). In sommerlichen Hitzeperioden ist die Nutzbarkeit bzw. Begehrbarkeit der blauen Infrastrukturen ein besonders relevantes Planungskriterium, da so eine unmittelbare Abkühlung der Nutzer*innen ermöglicht wird und Freizeitflächen geschaffen werden. Dies beugt auch einem Nutzungsverlust der öffentlichen Flächen im Sommer vor.¹⁷⁸ Beispielsweise adressiert dies auch der bereits genannte Quellepark in Nürnberg: Durch die ebenerdige Anlage eines Wasserspiels mit mehreren kleinen Fontänen wird eine direkte und nutzbare Abkühlmöglichkeit geschaffen, die gleichzeitig die unmittelbare Umgebung der angrenzenden Spielanlagen abkühlt und so auch die allgemeine Nutzbarkeit des Parks im Sommer erhöht.

Somit kommen der grünen und blauen Infrastruktur in der Gestaltung klimaangepasster und resilienter Städte sowie der klimaangepassten Bauwirtschaft eine zentrale Rolle zu. Die Anforderungen an die Gestaltungsqualität sowie die Anzahl der Infrastrukturen wird sich zukünftig mit Fortschreiten des Klimawandels weiter steigern. Darüber hinaus stellen sie einen relevanten Faktor für Wohn- und Lebensqualität dar und besitzen als solcher auch Auswirkungen auf Miet- und Kaufpreise von Immobilien.

Bei der Gestaltung grüner und blauer Infrastrukturen spielt ihre Multifunktionalität insbesondere in verdichteten städtischen Räumen eine wichtige Rolle: Neben der Klimaanpassungswirkung sind auch Aspekte der Nutzbarkeit sowie der allgemeinen ästhetischen Qualität bzw. des Einfügens in den Stadtkörper von hoher Bedeutung.¹⁷⁹ Hierzu zählt auch die resiliente Ausgestaltung der Infrastrukturmerkmale, beispielsweise durch die Verwendung auch zukünftig noch hitzeangepasster Baum- und Pflanzenarten. Hinsichtlich der blauen Infrastrukturen lohnt sich auch ein Blick auf die Entwässerung in Singapur, da das Land zum einen sehr extremen Regenfällen ausgesetzt ist und zum anderen eine Nutzung und Aufbereitung des Brauchwassers durchführt.

177 BfN, 2017

178 Eiserbeck, 2019

179 ebd.

Kasten 15

Zielkonflikte und Synergien zwischen Klimaanpassung und Klima- / Umweltschutz

Der Bauwirtschaft kommt in der synergetischen Verbindung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsaspekten eine besondere Rolle zu: In anderen Bereichen bzw. Themenfeldern der DAS, beispielsweise der Raum-, Regional-, und Bauleitplanung, ist das Verhältnis von Klimaschutz und Klimaanpassung in Teilen von Zielkonflikten geprägt: Beispielsweise steht eine Entsiegelung bzw. Freihaltung innerstädtischer Flächen von Bebauung (z. B. für Frischluftschneisen zum Kaltluftaustausch oder für den Erhalt von Grünqualität und Versickerungsräumen) teilweise in Konflikt mit dem Leitbild der ressourceneffizienten bzw. kompakten „Stadt der kurzen Wege“, die im Sinne des Klimaschutzes den Umweltverbund stärkt. Ein anderes Beispiel wäre eine gute Verschattung gegen sommerliche Einstrahlungsgewinne – die aber auch die Erträge möglicher Solaranlagen schwächt und die aus Klimaschutzgründen zur nachhaltigen Energieerzeugung erforderlichen Anlagen unwirtschaftlich macht.

Die resiliente und zukunftsgerichtete Ausgestaltung von Gebäuden hebt dagegen Potenziale und Synergien in beiden Bereichen. Im Bauwesen zahlen intelligente Klimaschutzmaßnahmen, wie beispielsweise eine Dreifachverglasung von Fensterflächen, gleichzeitig (im konkreten Fall durch die erhöhte Dämmung gegen Sommerhitze) auch auf die Ziele der Klimaanpassung ein. Ein mit Bepflanzung gestaltetes Dach bindet einerseits CO₂ und erreicht andererseits auch eine leichte Verbesserung des Mikroklimas und des thermischen Komforts. Das Münchner Technologiezentrum MTZ kann als namhaftes Beispiel für Synergie-

effekte durch Kombination von extensiver Dachbegrünung und Photovoltaik angeführt werden. Die Pflanzendecke isoliert das Gebäudedach vor Hitze und Kälte und dient als Speicher für Regenwasser. Verschattungselemente verringern die Reflektion der Sonneneinstrahlung und die Umgebungstemperatur sinkt. Werden dabei auch Solarmodule verschattet, mindert dies tendenziell die Stromerzeugung der Module. Durch ihre Reihenschaltung kann bereits die Verschattung einzelner Zellen im Modul den Ertrag stören. Hier kann es also zu einem Zielkonflikt zwischen Verschattungsmaßnahmen zur Abfederung der Klimawandelfolgen und dem Einsatz erneuerbarer Energien zur Erreichung der Klimaschutzziele kommen.

Perspektivische Weiterentwicklungen wie organische Photovoltaikzellen könnten unter anderem dünne und biegsame Trägermaterialien erlauben und sich positiv auf das mögliche Anwendungsspektrum auswirken (z. B. Gebäude, Fassaden, Fenster). Beispielsweise kann die Installation von Photovoltaik an Fassaden den Ertrag bei tiefstehender Sonne im Winter erhöhen und damit die Winterlücke, bei der die Stromerzeugung im Winter deutlich geringer ist als im Sommer, reduzieren.¹⁸⁰

Weitere Konzepte lassen sich unter „Prinzipien klimagerechten Bauens“ zusammenfassen und genießen derzeit durch zahlreiche Leitfäden und Praxisbeispiele in der kommunalen Planung sowie bei Architekt*innen hohe Aufmerksamkeit.

03.2.4 Zwischenfazit

Der Klimawandel ist bereits deutlich spürbar, wie die Hitze- und Trockenperioden der vergangenen drei Jahre gezeigt haben, und seine Auswirkungen werden in den kommenden Jahren und Jahrzehnten noch deutlich zunehmen. Die Bauwirtschaft besitzt eine hohe Exposition gegenüber diesen Klimawandelfolgen und ist daher besonders aufgefordert, vor allem vor dem Hintergrund der vergleichsweise langwierigen Anpassungsprozesse, sich bereits jetzt umfassend mit der Resilienzausbildung sowohl mit Bezug auf die Gebäudesubstanz selbst als auch auf die Bautätigkeiten zu befassen. Die Auswirkungen des Klimawandels variieren zwar etwas zwischen den Regionen Deutschlands und auch innerhalb Bayerns. Insgesamt sind die (baulichen) Reaktionen bzw. Anpassungsmöglichkeiten aber in allen Regionen recht ähnlich.

Das Bauwesen kann bei entsprechender Ausgestaltung der Anpassungen große Synergieeffekte zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung erzielen und gleichzeitig zu einer Erhöhung des Wohnkomforts sowie der Stadtgestalt beitragen. Zahlreiche bereits umgesetzte Best-Practice-Beispiele demonstrieren diese Verbindung und können auf Basis ihrer Vorbildwirkung für eine breite Verankerung der entsprechenden Konzepte in der Bauwirtschaft sorgen.

Die neuen Anforderungen, die durch den Klimawandel an das resiliente, klimagerechte Bauen gestellt werden, bietet Chancen für Unternehmen, sich neue Export- und Wachstumsmöglichkeiten zu erschließen, indem relevante Technologiefelder und neue Schlüsselkompetenzen besetzt werden, die bei fortschreitendem Klimawandel weltweit an Bedeutung gewinnen dürften. Sie führen insgesamt zu veränderten Nachfragestrukturen und Forschungsnotwendigkeiten in Bezug auf klimaangepasste Bausubstanz bzw. -materialien. Auch ein erhöhtes (energetisches) Sanierungs- sowie Anpassungsaufkommen wird eine Folge sein, welche die Bauwirtschaft zukünftig vermehrt adressieren muss. Ähnliches gilt für die Beseitigung von Klimawandelschäden, die ebenfalls eine steigende Nachfrage in der Bauwirtschaft erfahren wird.

Der Klimawandel betrifft auch Deutschland und Bayern (Kapitel 02.6). Als zentrale Herausforderung des 21. Jahrhunderts wird er für den Bausektor wie auch für die gesamte Gesellschaft eine grundlegende Veränderung implizieren. Das Bauwesen kann aber von den zukünftigen Veränderungen im Zuge des Klimawandels ökonomisch profitieren, wenn es frühzeitig auf diesen reagiert (beispielsweise durch die Umstellung auf klimaangepasste Bauweisen) und sich auch selbst an den Klimawandel anpasst (beispielsweise durch Schulungen der Bauarbeitenden zum Umgang mit Hitze oder zur Sicherung der Baustellen).

04

Kreislaufwirtschaft

Im Bausektor liegen große Potenziale für die Kreislaufwirtschaft. Dafür müssen Bauten aus der Perspektive ihres gesamten Lebenszyklus entworfen, betrieben, modernisiert und demontiert werden.

Kapitel in der Übersicht

04.1	Ausgangslage	92
04.2	Kreislaufwirtschaft Bau	92
04.2.1	Kreislaufwirtschaft und Gebäudebestand	95
04.2.2	Kreislaufwirtschaft und Neubau	95
04.3	Potenziale für die Rückgewinnung von Materialien aus Bauwerken in Deutschland und Bayern	96
04.3.1	Materialverbrauch im Bausektor	98
04.3.2	Materiallager im Bauwerksbestand und Infrastrukturen des Freistaates Bayern	99
04.3.3	Recycling von Materialien aus Bauwerken und Infrastrukturen	102
04.4	Lebenszyklusanalyse / Life Cycle Assessment (LCA)	104
04.4.1	Lebenszyklus von Gebäuden	105
04.4.2	Ausblick: Kreislaufwirtschaft in Lebenszyklusanalysen	108
04.5	Zwischenfazit und Ausblick	109

04.1 Ausgangslage

Nachhaltigkeit als Denk- und Handlungsprinzip hat bereits heute sowohl in wirtschaftlicher, sozialer als auch ökologischer Hinsicht einen hohen Stellenwert in Wirtschaft und Gesellschaft. Durch weiterhin zunehmende Herausforderungen, wie Klimawandel und Ressourcenverknappung, rückt die ökologische Nachhaltigkeit zunehmend in den Fokus der gesellschaftlichen Debatte. Dabei ist der Bausektor besonders gefordert, denn die Errichtung und der Betrieb von Bauten sind eine der bedeutendsten Quellen von Treibhausgasen (Kapitel 03.1.2) und gehen mit einer hohen Flächeninanspruchnahme einher (Kapitel 02.4).

Die Kreislaufwirtschaft bietet Lösungsansätze, um durch eine effiziente Material- und Ressourcennutzung die Umwelt zu schonen. Dafür müssen Bauten vom Beginn der Planung an in Kreisläufen gedacht werden, um Baumaterialien im Rahmen von geschlossenen Kreisläufen dauerhaft wiederzuverwenden. Für Unternehmen bietet die Kreislaufwirtschaft Wachstums- und Exportchancen, indem relevante Technologiefelder besetzt und neue Geschäftsmodelle erschlossen werden. Zudem können Abhängigkeiten von internationalen Lieferketten reduziert und somit die Resilienz gestärkt werden.

Um die im Rahmen der Kreislaufwirtschaft notwendigen Prozesse gezielt steuern, kontrollieren und bewerten zu können, bedarf es gesamtheitlich ausgerichteter Bewertungsmethoden, die es ermöglichen, den gesamten Material- und Betriebsenergieaufwand und die hieraus resultierenden Umweltwirkungen eines Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu analysieren und abzubilden.

Zugleich muss der Einsatz fossiler Brennstoffe drastisch reduziert werden, um den emissionsarmen Betrieb von Gebäuden sicherzustellen. Um auch diesen Faktor miteinzubeziehen, müssen Gebäude aus der Perspektive ihres gesamten Lebenszyklus entworfen, betrieben, modernisiert und demontiert werden. Die Methode der Ökobilanzierung (engl. Life Cycle Assessment, LCA) ermöglicht die Entwicklung dieser Perspektive.

04.2 Kreislaufwirtschaft Bau

Die notwendige Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft in Richtung Klima-, Umwelt- und Ressourcenneutralität wird auf europäischer Ebene durch den von der EU-Kommission im Juli 2019 vorgelegten „Green Deal“ gefördert.¹⁸¹ Hierbei steht die Berücksichtigung klima- und umweltpolitischer Herausforderungen im Mittelpunkt und wird als Chance für eine zukunftsorientierte Ausrichtung der Europäischen Union angesehen. „Bis 2050 soll Europa zum ersten klimaneutralen Kontinent werden – die Netto-Emissionen an Treibhausgasen sollen also auf Null sinken.“¹⁸² Der im Rahmen des „Green Deal“ vorgestellte Aktionsplan dient dazu, den effizienten Einsatz von Ressourcen und den Transformationsprozess hin zu einer umfassenden Kreislaufwirtschaft zu unterstützen. Hierzu gehört mit der geforderten Wiederherstellung der biologischen Vielfalt vor allem die umfassende Bekämpfung der Umweltverschmutzung.

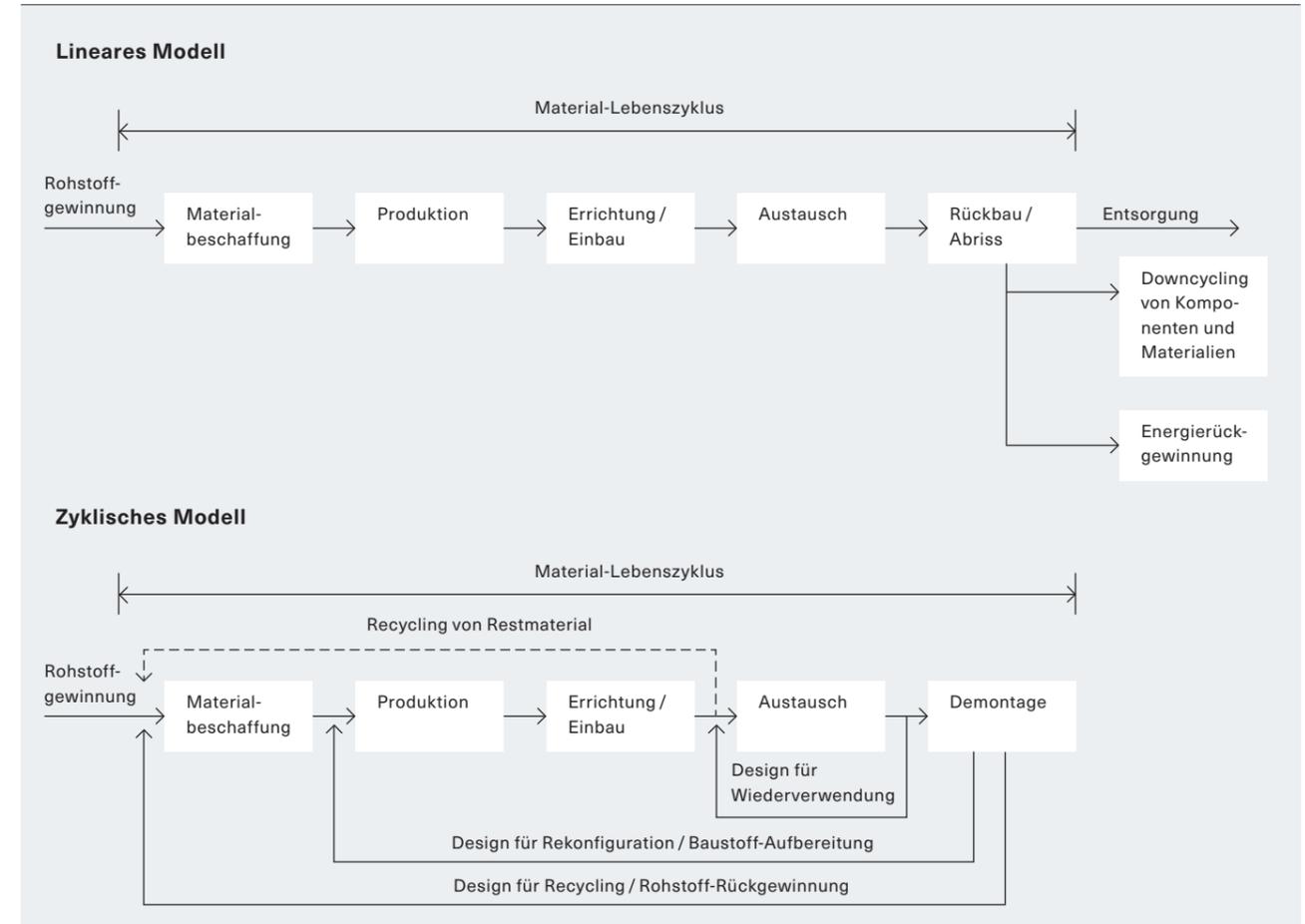
Das Bauwesen gehört zu den ressourcenintensivsten Branchen (Kapitel 04.3) und verursacht über die Hälfte des gesamten Abfallaufkommens in Deutschland (Kapitel 02.5). Damit birgt das Bauwesen enorme Einsparpotenziale, weshalb die Bauwirtschaft bzw. der Gebäudesektor eine Schlüsselrolle bei der Umsetzung der Ressourceneffizienz und eine wesentliche Rolle innerhalb des im Rahmen des Europäischen Green Deal geforderten Transformationsprozesses in Richtung Klima-, Umwelt- und Ressourcenneutralität spielt.¹⁸³

¹⁸¹ Europäische Kommission, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de, aufgerufen am 12.4.2021

¹⁸² Europäische Kommission, https://ec.europa.eu/germany/about-us/reasons/greendeal_de, aufgerufen am 13.4.2021

¹⁸³ Europäische Kommission, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de, aufgerufen am 28.02.2021

Abbildung 28
Vom linearen zum Kreislaufmodell



Quelle: Durmisevic, 2019, S. 348

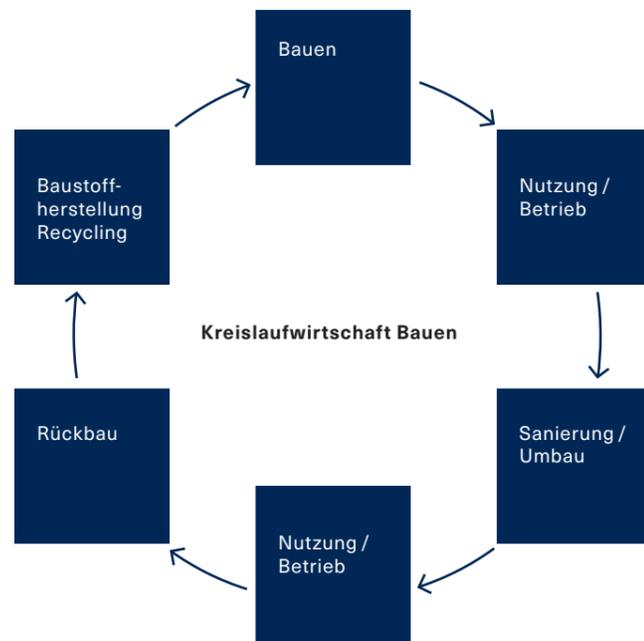
Idee der Kreislaufwirtschaft

Die grundlegende Idee der Kreislaufwirtschaft (Circular Economy¹⁸⁴) ist, sich von einer Linearwirtschaft, bei der Güter aus Rohstoffen produziert, verkauft, verbaut, genutzt und entsorgt werden, hin zu einer Kreislaufwirtschaft zu entwickeln (Abbildung 28). Hierbei werden bestehende Materialien und Produkte so lange wie möglich wiederverwendet, aufgearbeitet und recycelt. Auf diese Weise wird der Lebenszyklus von Produkten verlängert. Der Materialverbrauch wird grundlegend reduziert.¹⁸⁵

¹⁸⁴ „Im engeren Sinne umfasst die Kreislaufwirtschaft die Abfallwirtschaft mit vorgelagertem Maschinenbau und Handelsaktivitäten. Dieses enge Verständnis reicht zur Erfassung der Stoffkreisläufe nicht aus, da wichtige Akteure, Branchen und Prozesse nicht betrachtet werden. Ein deutlich weiter gefasstes Verständnis wird häufig unter dem Begriff der „Zirkulären Wertschöpfung“ zusammengefasst und umfasst fast alle Branchen sowie die Produktion, den Konsum und die Nutzungsarten von Produkten bis hin zur Schließung des Stoffkreislaufes“ (Prognos/vbw, 2020). Im Folgenden werden die Begriffe weit gefasst und synonym verwendet.

¹⁸⁵ Umweltbundesamt, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/2019_02_20_uba_knbau_bf.pdf, aufgerufen am 12.04.2021

Abbildung 29

Vereinfachte schematische Darstellung des Wertschöpfungskreislaufs in der Kreislaufwirtschaft

Quelle: TUM / Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen

Abbildung 29 verdeutlicht das Grundprinzip der grundlegenden Anwendung von geschlossenen Kreisläufen im Bauwesen, bei der Materialien vollständig wiederverwendet werden. Nicht erneuerbare Baustoffe, wie z. B. Beton, Stahl, Glas oder Aluminium, werden so lange wie möglich in geschlossenen Kreisläufen gehalten. Aufgrund der zunehmenden Ressourcenverknappung gilt dies zunehmend auch für erneuerbare Materialien, wie z. B. Holz.

Im Rahmen der Umsetzung geschlossener Kreisläufe sind sowohl die Sanierung und der Umbau des Baubestands als auch der Neubau gleichermaßen zu beachten. In beiden Fällen spielt die Digitalisierung zur Erfassung und Steuerung der Materialströme eine entscheidende Rolle.

04.2.1 Kreislaufwirtschaft und Gebäudebestand

Vor dem Hintergrund der dringenden Notwendigkeit, den Bedarf an (nicht erneuerbaren) Rohstoffen so weit wie möglich zu reduzieren, bietet das anthropogene Lager in Deutschland ein enormes Rohstoffpotenzial, das neben Infrastrukturen und langlebigen Gütern vor allem in Bauwerken zu finden ist (Kapitel 04.3).¹⁸⁶ Verknüpft mit zukünftigen Entwicklungsszenarien zu Lebensdauern, tragen die verbauten Stoffmengen bei einer Weiterverwendung wesentlich zur Verbesserung der Ressourceneffizienz und Reduzierung des CO₂-Ausstoßes im Bausektor bei. Um den steigenden Kosten und den Herausforderungen der Ver- und Entsorgungssicherheit entgegenzuwirken und den Gebäudebestand nachhaltiger zu entwickeln, müssen der Einsatz von Sekundärrohstoffen¹⁸⁷ und die Etablierung von Materialkreisläufen forciert werden. Insbesondere die derzeit im Gebäudebestand gebundenen Stoffe stellen ein großes Potenzial dar, um Primärstoffe zu substituieren und einzusparen. Zudem können durch die möglichst umfassende Wiederverwendung von Baustoffen Abfallmengen drastisch reduziert und Deponieengpässe gemildert werden.

Für strategische Planungen zur Steuerung der Roh- bzw. Baustoffe werden digitale Werkzeuge benötigt, die es erlauben, die im Gebäudebestand verbauten Materialien zu lokalisieren, zu quantifizieren und auf ihre Wiederverwendbarkeit hin zu beurteilen. Building Information Modeling und das Konzept des „digitalen Zwillings“ (Kapitel 06.2.1, Kasten 20) bieten eine digitale Grundlage für ein strategisches Stoffstrom- und Ressourcenmanagement im Bauwesen. Ansätze hierfür finden sich derzeit bereits in den Niederlanden, wo bereits entsprechende digitale Plattformen¹⁸⁸ vorhanden sind.

04.2.2 Kreislaufwirtschaft und Neubau

Auch wenn gerade im Bereich des Neubaus das Prinzip der Kreislaufwirtschaft im Sinne einer „recyclinggerechten Planung“ zunehmend das Interesse der im Gebäudesektor tätigen Planer*innen und Unternehmen weckt, sollten nicht nur der spätere Rückbau und die Wiederverwendung von Komponenten bzw. Baustoffen allein betrachtet werden.

Vielmehr muss es das Ziel sein, den späteren Rückbau so weit als möglich zu umgehen, da ein Rückbau grundsätzlich immer mit einem Ressourcenverbrauch einhergeht. Eine lange Nutzungsdauer von Gebäuden kann einerseits durch den Einsatz langlebiger Materialien unterstützt werden – andererseits sollten Gebäude so flexibel gestaltet werden, dass sie einfach an sich verändernde Anforderungen angepasst werden können.

In diesem Zusammenhang ist der Einsatz von standardisierten Tragwerkssystemen, wie z. B. die Holz-, Stahl- und Stahlbetonskelettbauweise, zu nennen, bei der Tragwerk und Innenausbau weitgehend unabhängig voneinander gestaltet werden können.¹⁸⁹ Eine Anpassung der Grundrisseinteilung und des Innenausbaus an sich verändernde Nutzeranforderungen kann auf diese Weise relativ einfach umgesetzt werden. Des Weiteren konnte im Rahmen des derzeit laufenden Sonderforschungsbereichs (SFB) 1244 der Universität Stuttgart nachgewiesen werden, dass mit „Hilfe adaptiver Elemente erhebliche Mengen an Baustoffen sowie der damit verbundenen grauen Energie und den grauen Emissionen eingespart werden können. Solche Elemente ermöglichen es, die strukturellen und die bauphysikalischen Eigenschaften von Materialien und Bauteilen gezielt so zu verändern, dass diese sich immer optimal an unterschiedliche Belastungen anpassen. Dadurch können tragende Strukturen mit weniger Material- und Energieeinsatz hergestellt werden.“¹⁹⁰

¹⁸⁶ Hedemann / Meinshausen, 2017

¹⁸⁷ „Sekundärrohstoffe sind aus Industrie- und Haushaltsabfällen abgetrennte und teilweise aufkonzentrierte Werkstofffraktionen, die in einem anschließenden Prozess zu Grund- und Werkstoffen weiterverarbeitet werden“, <https://www.umweltpakt.bayern.de/rez/informieren/sekundaerrohstoffwirtschaft/index.htm>, aufgerufen am 10.05.2021

¹⁸⁸ Harvest Map, abrufbar unter (27.05.2021): <https://www.ongstkaart.nk>.

¹⁸⁹ Staib / Dörrhöfer / Rosenthal, 2008

¹⁹⁰ SFB 1244

Für einen erfolgreichen Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft sind zuverlässige und standardisierte Informationen über Materialflüsse und die Zusammensetzung von Bauprodukten und Gebäuden erforderlich.¹⁹¹ Ein wichtiges Instrument, das die erforderliche Methodik und Datenstruktur für die Erfassung und Verarbeitung der relevanten Informationen bereitstellen kann, ist der sogenannte Materialpass.¹⁹²

Unter Materialpässen werden digitale Datensätze verstanden, die z. B., gekoppelt mit Building Information Modeling (BIM), wesentliche Merkmale von Baumaterialien, Bauteilen und Systemen über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden hinweg für sämtliche Akteure im Bauwesen verfügbar halten. Durch diese dauerhafte Bereitstellung wesentlicher Informationen entsteht eine entsprechende Transparenz, beispielsweise im Hinblick auf Materialeigenschaften, Fügeverfahren und die Lebensdauer. Dadurch wird nicht nur der Einsatz gesunder, ökologischer und recyclingfähiger Materialien und Bauprodukte gefördert, sondern darüber hinaus auch kreislauffähiges Produktdesign, die Entwicklung von Materialrückgewinnungsszenarien und kreislaufbezogenen Geschäftsmodellen.

Neben der Bereitstellung entsprechender Materialdaten unterstützen digitale Materialpässe Planer*innen und andere Entscheidungsträger*innen unter anderem auch bei der Planung und Umsetzung recyclingfähiger Gebäudekomponenten, -systeme und Gebäude. So können im Rahmen von digital verfügbaren Datensätzen auch Informationen zu den Verbindungsmitteln sowie zur Montage- bzw. Demontage von Komponenten und Systemen abgelegt werden. Indem die im BIM-Modell (Kapitel 06.2.1) bzw. Materialpass enthaltenen Informationen über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes aktuell gehalten werden, wird ein nachhaltiges Lebenszyklusmanagement für Materialien, Produkte und Gebäude ermöglicht. Die durch die Verwendung von Materialpässen gegebene Transparenz im Hinblick auf die Materialqualitäten trägt zur Optimierung und zum Erhalt der Gebäudequalität und des Gebäudewerts bei. Zudem unterstützt die verbesserte Wiederverwendbarkeit der verbauten Materialien und Komponenten die Materialversorgung im Bauwesen.

Durch einen standardisierten digitalen Informationsaustausch wird der grundlegende Übergang zu einer umfassenden Kreislaufwirtschaft im Bauwesen ermöglicht.

04.3 Potenziale für die Rückgewinnung von Materialien aus Bauwerken in Deutschland und Bayern

Deutschland ist geologisch gesehen ein rohstoffarmes Land. Dennoch verfügt es über ein nicht zu unterschätzendes Vermögen, das langfristig in Bauwerken sowie der dazugehörigen Infrastruktur im Verkehrs-, Ver- und Entsorgungsbereich enthalten ist. In der Fachliteratur wird dies als anthropogenes Rohstofflager bezeichnet.¹⁹³ Schätzungen zufolge wuchs das deutsche Rohstofflager zwischen 1960 und 2010 jedes Jahr um rund zehn Tonnen pro Einwohner*in und erreichte 2010 rund 28 Mrd. Tonnen.¹⁹⁴ Unter der Annahme, dass der Zuwachs im Mittel unverändert blieb, dürfte das deutsche Rohstofflager heute im Bereich von fast 40 Mrd. Tonnen liegen. Auch der Freistaat Bayern verfügt über ein großes Rohstofflager, das vor allem in unterschiedlichen Bauwerkstypen und Infrastrukturen gebunden ist (Abbildung 30).

Damit steckt in den Bauwerken und der dazugehörigen Infrastruktur ein enormes materielles Potenzial, das nach einem ordnungsgemäßen Rückbau entweder als Recyclingbaustoff bzw. als Recycling-Bauteile wiedereingesetzt oder für weitere Wirtschaftszweige genutzt werden kann. Das Baumaterial wäre somit in den Gebäuden nur „zwischenlagert“ und würde bei Rückbau oder baulichen Veränderungen weder Abfall generieren noch die

191 Umweltbundesamt: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_83_2015_kartierung_des_anthropogenen_lagers.pdf, S. 14, aufgerufen am 26.2.2020

192 Abualdenien et al., 2020

193 Schiller et al., 2015

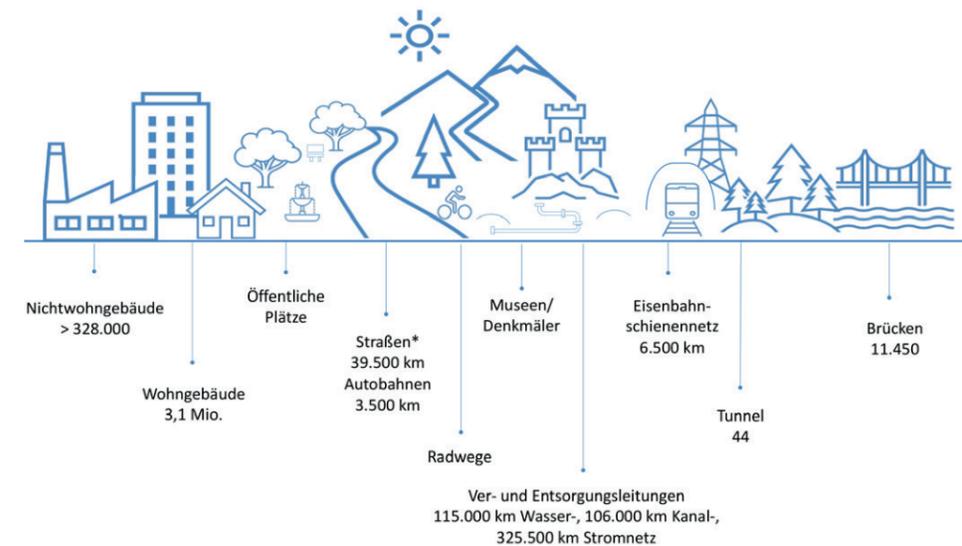
194 Ortler / Schiller, 2016

Umwelt derart belasten wie heute. Das Potenzial für die Rückgewinnung von Materialien und spezifischen Bauteilen spiegelt sich in den Bau- und Abbruchabfällen, die mit jährlich 228 Mio. Tonnen die mengenmäßig wichtigste Abfallgruppe in Deutschland bilden (Kapitel 02.5).

In Anbetracht immer knapper werdender Ressourcen wie seltenerer Metalle, Kies und Sand (Kasten 16) und begrenzter Kapazitäten in Bauschuttdeponien kommt der Rückgewinnung der Rohstoffe (Urban Mining) eine zentrale Rolle im Ressourcen- und Klimaschutz zu. Gebäude und Infrastrukturen sind zwar grundsätzlich so zu gestalten, dass sie möglichst lange genutzt werden können und werthaltig bleiben, doch die Möglichkeit der Rückgewinnung der Rohstoffe am Ende der Lebensdauer muss von Anfang an mitgedacht werden.

In den Niederlanden gibt es derzeit bereits einige Projekte, die die Kreislaufwirtschaft im Bau konsequent umsetzen. Beispielsweise wurde mit dem People's Pavillon in Eindhoven 2017 ein ca. 300 Quadratmeter großer temporärer Saal errichtet, der komplett aus „geborgtem“ Material bestand und ohne Beschädigungen des Materials (keine Bohrlöcher, Zuschnitte o. Ä.) zurückgebaut werden konnte.¹⁹⁵

Abbildung 30
Hauptherkunftsbereiche des anthropogenen Rohstofflagers Bayerns



* Bundes-, Land- und Kreisstraßen

Quelle: BAYSIS, 2021; STMB, 2021a, 2021b; LfU, 2021a; LfU, 2021b, eigene Darstellung Prognos 2021

**Kasten 16
Ressourcenknappheit bei Kies und Sand**

Über 90 Prozent der abgebauten Kies- und Sandmengen laden im Bausektor, wo sie vor allem als Beton, der zu über zwei Dritteln aus Sand und Kies besteht, sowie als Untergrundmaterial und Zuschläge für viele andere Baustoffe (z. B. Mörtel, Putz, Asphalt) zum Einsatz kommen. Zudem finden hochwertige Quarzsande, beispielsweise bei der Herstellung von Glas und von glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK), Verwendung.

Insbesondere Sand wird auf den ersten Blick oft nicht mit Ressourcenknappheit in Verbindung gebracht. Die Eignung von Sand für den Baubereich hängt von der Struktur der Sandkörner ab. Dies führt dazu, dass beispielsweise Wüstensand nicht geeignet ist. Sand wird im Baubereich unter anderem für die Zementherstellung benötigt. Der Freistaat Bayern verfügt insbesondere im Süden über umfassendere Sand- und Kiesvorkommen.

Der Bedarf der bayerischen Bauwirtschaft an Sand, Kies und Schotter wird pro Jahr auf rund 120.000 Tonnen beziffert. Umgerechnet sind dies 30 Kilogramm pro Einwohner*in und Jahr. Bundesweit werden jährlich rund 450 bis 500 Mio. Tonnen gefördert, wobei jährliche Schwankungen, insbesondere aufgrund der Entwicklung der Baukonjunktur, zu berücksichtigen sind. Noch übersteigt die inländische Förderung den Bedarf leicht, sodass ein Teil exportiert werden kann. Angesichts der weltweit steigenden Nachfrage, auf die das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) bereits 2014 aufmerksam gemacht hat, ist es jedoch nur eine Frage der Zeit, bis wann die einheimischen Ressourcen deutlich knapper werden.

04.3.1 Materialverbrauch im Bausektor

Der Bausektor gehört zu den Branchen mit dem größten Verbrauch an Primärressourcen. Das bezieht sich nicht allein auf die in den Gebäuden und der Infrastruktur gebundenen Materialien. Ressourcen werden auch bereits bei der Herstellung der Bauprodukte „verbraucht“. Ein Teil dieser Ressourcen wird nicht direkt verbraucht, sondern bezieht sich auf sogenannte „ungenutzte Ressourcen“, die keine wirtschaftliche Verwendung mehr finden wie z. B. Abraum bei der Gewinnung von Bodenschätzen. Ungenutzte Ressourcen fallen auch beim Bau selbst an, etwa als Bodenaushub im Hoch- und Tiefbau.

In Deutschland werden im Baubereich jährlich 517 Mio. Tonnen bzw. 90 Prozent der inländisch entnommenen nicht metallischen Mineralien (Steine, Kiese, Sand, Erden) eingesetzt, beispielsweise als Schotter oder zur Produktion von Baustoffen wie Beton, Pflaster, Gips. Der Anteil des Freistaates Bayern an der bundesdeutschen Entnahme nicht metallischer Mineralien beträgt etwa 18 Prozent.¹⁹⁶ Zudem werden im Baubereich insbesondere auch Metalle wie Eisen- und Stahl, Aluminium, Kupfer, Zinn und Zink sowie Holz genutzt:

- Der jährliche Einsatz von Stahl belief sich 2019 auf fast 14 Mio. Tonnen, was ungefähr 35 Prozent der Rohstahlproduktion in Deutschland entspricht.¹⁹⁷
- Der jährliche Einsatz von Zement belief sich 2019 auf fast 29 Mio. Tonnen, was 100 Prozent des Zementverbrauchs in Deutschland entspricht.¹⁹⁸
- Der jährliche Einsatz von Holz belief sich 2013 ca. 17 Mio. Kubikmeter,¹⁹⁹ was ungefähr 20 Prozent der durchschnittlichen jährlichen Rohholznutzung (2002–2012) in Deutschland entspricht.²⁰⁰ Der Holzeinsatz umfasst auch Verschnittmenge (Reste und Späne aus der Verarbeitung von Holz), die rund 20 Prozent beträgt.²⁰¹

Zudem spielen (eher schwer recycelbare) Verbundstoffe beim Bau eine zunehmende Rolle, weil damit leichtere und materialsparendere Bauteile hergestellt werden können. Mit deren Einsatz werden auch Möglichkeiten in der modernen Aufbereitungstechnik entwickelt, diese Materialien wieder sortenrein aufzusplitten (Kasten 17). Aktuell sind die Verbundstoffe entweder der Hauptfraktion oder den sonstigen Baumaterialien zugeordnet.

Für Bayern liegen derzeit zwar keine detaillierten Zahlen zum Materialverbrauch im Bausektor vor. Es kann aber von einer ebenfalls sehr hohen Bedeutung der oben genannten Baustoffe als Einsatzmaterial im Bausektor ausgegangen werden.

196 UBA, 2018b
197 Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2020
198 Verein Deutscher Zementwerke, 2020
199 Weimar / Dominik, 2013
200 BMEL, 2012
201 Weimar / Dominik, 2013

04.3.2 Materiallager im Bauwerksbestand und Infrastrukturen des Freistaates Bayern

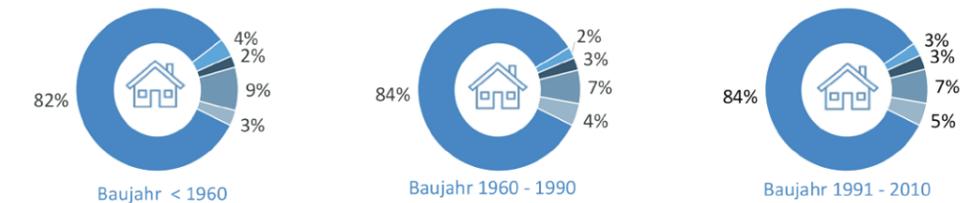
Das Gesamtaufkommen des im Bauwerksbestand und in den Infrastrukturen derzeit gebundenen Materiallagers ist nicht bekannt. Es kann aber auf Grundlage der verbauten Materialien näherungsweise geschätzt werden. Dafür wird auf die Bauwerksdaten von Gebäuden des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) zurückgegriffen.

Zusammensetzung des Materiallagers im Gebäudebereich

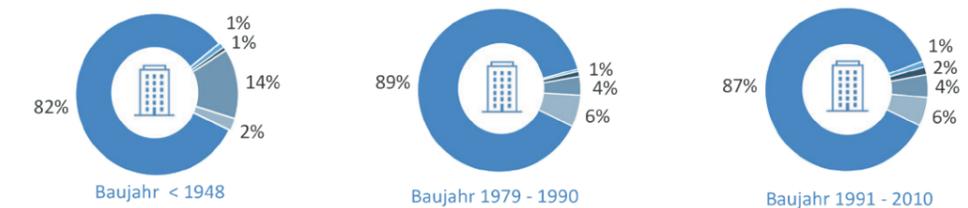
Gemäß der IÖR-Bauwerksdaten unterscheidet sich die durchschnittliche Materialzusammensetzung von Gebäuden in Deutschland je nach Baujahr und Gebäudefunktion. Wohngebäude bestehen typischerweise zu über 80 Prozent aus mineralischen Baustoffen – unabhängig von ihrem Baujahr und ihrer Größe. Die Anteile mineralischer Baustoffe bei NWG variieren hingegen deutlich stärker je nach Gebäudetyp bzw. -funktion. Sie liegen beispielsweise bei Lagerhallen im Durchschnitt unter 50 Prozent und bei Schulen bei etwa 84 Prozent. Zudem ist bei NWG der durchschnittliche Holzanteil mit rund ein Prozent bis zwei Prozent der Gesamtbaumasse deutlich geringer und der Metallanteil mit fünf Prozent bis acht Prozent deutlich höher. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern ist die durchschnittliche Menge an Metallen zwar von neun Tonnen in vor 1960 errichteten Gebäuden auf 14 Tonnen in nach 1991 gebauten Gebäuden gestiegen. Sie machen aber weiterhin nur etwa drei Prozent der Gesamtbaumasse aus (Abbildung 31).

Abbildung 31
Durchschnittliche Materialzusammensetzung am Beispiel von ausgewählten Gebäudetypen und Baujahren für Deutschland

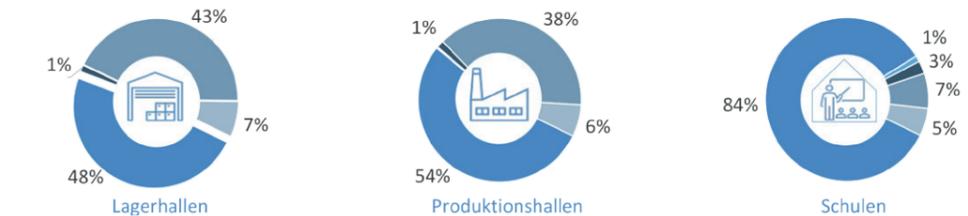
Ein- / Zweifamilienhäuser



Mehrfamilienhäuser



Ausgewählte Nichtwohngebäude



Quelle: IÖR, 2021, eigene Darstellung Prognos 2021

Theoretisches Potenzial an Recyclingrohstoffen

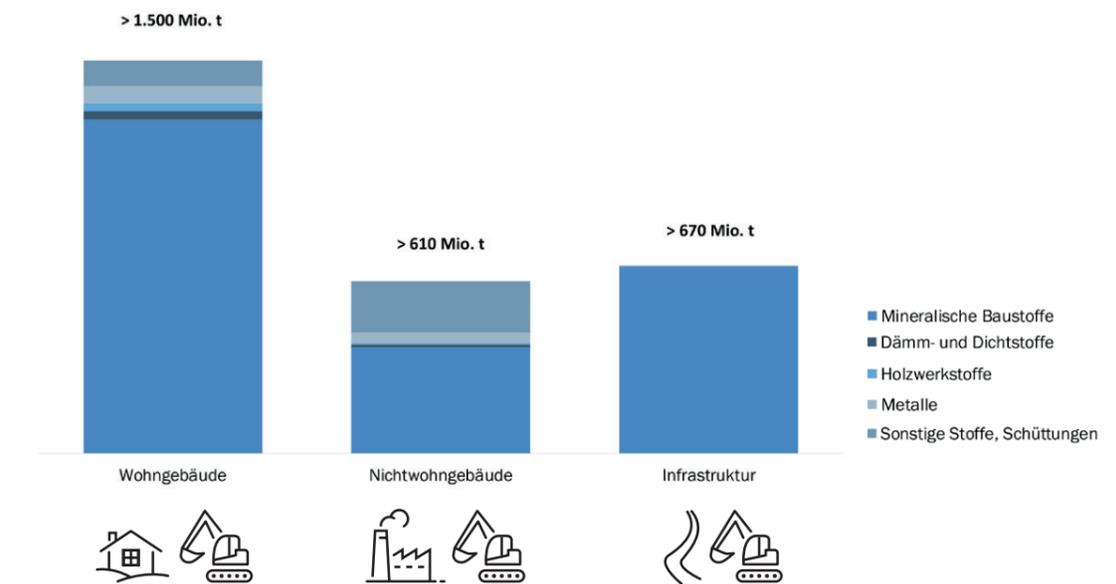
Mithilfe der Daten zur durchschnittlichen Materialzusammensetzung von Gebäuden und der Daten zu den Baualterklassen des Wohngebäudebestands (Kapitel 02.3.1) kann das Potenzial an Recyclingrohstoffen (= verbaute Materialien) näherungsweise abgeschätzt werden (Abbildung 32). Unsicherheiten verbleiben insbesondere bei den Annahmen zu den Mehrfamilienhäusern, da nur Daten zur Materialzusammensetzung für zwei- bis viergeschossige Bauten vorliegen.

Insgesamt beträgt das theoretische Potenzial an Recyclingrohstoffen im gesamten Wohngebäudepark Bayerns schätzungsweise mindestens 1,5 Mrd. Tonnen (als Untergrenze). Dabei dominieren die mineralischen Baumaterialien. Das verbaute Potenzial an Holz liegt allein bei fast 30 Mio. Tonnen und bei Metallen bei deutlich mehr als 60 Mio. Tonnen, die zum Beispiel in Form von Armierungen, Betonstahl, Stahlträgern oder Rohren aus Gusseisen gebunden sind. Nichteisenmetalle finden sich insbesondere für Aluminium in Fensterrahmen und -bänken, Rollladensystemen, Fassadenbekleidungen, für Kupfer in Gestalt von Dachabdeckungen und Rohren und für Zink vor allem als Korrosionsschutz. Kunststoffe sind Bestandteil der Kategorie Dämm- und Dichtstoffe und werden nicht separat aufgeführt. Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen werden bisher für Verfüllungen im Straßenbau verwendet oder deponiert. Demgegenüber werden Dämmstoffe aus synthetischen Materialien bisher mehrheitlich thermisch verwertet bzw. beseitigt.

Der Bestand an Nichtwohngebäuden in Bayern beläuft sich auf mehr als 328.000 Gebäude. Die detaillierte Darstellung des Nichtwohngebäudeparks ist aufgrund der unzureichenden Datenlage nur schwer möglich. Differenziert verfügbare Daten beziehen sich auf die Bauwerkstypen Lager- / und Garagengebäude, Werkstattgebäude, Laden- und Verkaufsflächen, Schulen sowie Bürogebäude, die summiert eine Gesamtzahl von rund 125.000 NWG ergeben.²⁰² Es fehlen Zahlen beispielsweise zu Pflegeheimen, landwirtschaftlichen Hallen, Autohäusern, Hotels und Gaststätten, Tiefgaragen, Parkhäusern oder auch Sport- und Mehrzweckhallen. Auf Grundlage der verfügbaren Daten liegt das Potenzial an Recyclingrohstoffen für Nichtwohngebäude bei mindestens 610 Mio. Tonnen, darunter 375 Mio. Tonnen mineralische Baustoffe, fünf Mio. Tonnen Holz und mehr als 36 Mio. Tonnen Metalle. Würden noch die weiteren NWG berücksichtigt, zu denen derzeit keine verlässlichen Daten vorliegen, ist zu erwarten, dass das Rohstofflager im Nichtwohngebäudebereich ebenfalls eine Mrd. Tonnen überschreitet.

Das Gesamtpotenzial ist im Infrastrukturbereich aufgrund unzureichender Datenlage nur schwer abschätzbar. Im 6.500 Kilometer langen Eisenbahnschienennetz (ohne dazugehörige Infrastruktur wie Bahnhöfe) sind rund 1,5 Mio. Tonnen an Metallen gebunden. Hinzu kommen mehr als 0,3 Mio. Tonnen Holz und Kunststoffe. Der Anteil der mineralischen Baustoffe kann mit mehr als 92 Mio. Tonnen angenommen werden. Das bayerische Straßennetz mit den Bundesautobahnen sowie den Bundes-, Land- und Kreisstraßen besteht – sofern man die begleitende Infrastruktur (wie Leitplanken, Tankstellen, Raststätten) außer Acht lässt – mehrheitlich aus mineralischen Baustoffen, die auf mindestens 570 Mio. Tonnen hochgerechnet werden können.

Abbildung 32
Theoretisches Rohstoffpotenzial im Gebäude- und Infrastrukturbestand Bayerns



Mindestaufkommen auf der Grundlage verfügbarer Daten

Quelle: Hochrechnungen Prognos auf Basis BAYSIS, 2021; STMB, 2021a, 2021b; LfU, 2021a; LfU, 2021b; eigene Berechnungen Prognos 2021

Grundsätzlich sind Gebäude und Infrastrukturen so zu gestalten, dass sie möglichst lange genutzt werden können und werthaltig bleiben. Die Potenziale des Rohstofflagers können damit nur schrittweise am Ende der spezifischen Lebensdauer der Bauwerke erschlossen werden. So haben beispielsweise Mehrfamilienhäuser (Mietwohngebäude) und gemischt genutzte Wohn- und Geschäftshäuser eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 60 bis 80 Jahren.²⁰³ Bei Nichtwohngebäuden liegt sie bei 50 Jahren.²⁰⁴ Die tatsächliche Nutzungsdauer hängt dabei von einer Vielzahl von Faktoren ab wie beispielsweise Material- und Ausführungsqualität, Beanspruchung oder auch Umwelteinflüssen, Wartung und Pflege.

Einen Hinweis auf das jährliche Potenzial zur Rückgewinnung von Materialien aus Bauwerken geben die Aufkommen an Bau- und Abbruchabfällen (Kapitel 2.5). Aufgrund des Gewichtes ist allerdings bei vielen Baustoffen eher von einer regionalen Entsorgung, Aufbereitung und Wiederverwendung auszugehen. Damit sind nennenswerte Exporte nicht zu erwarten, zumal die möglichen Mengen an Recyclingbaustoffen in den kommenden Jahren hinter dem heimischen Materialverbrauch zurückbleiben dürften.

Deutschland zählt zu den größten Exporteuren von Technik für die Abfallwirtschaft. Allein im Jahr 2018 exportierte Deutschland Technik für die Abfallwirtschaft in einer Größenordnung von mehr als 5,1 Mrd. Euro. Dazu zählten unter anderem insbesondere Instrumente zur Abfallbehandlung und -analyse (1,4 Mrd. Euro), Trenn- und Sortieranlagen (1,2 Mrd. Euro) sowie Maschinen zur Bearbeitung von Altpapier (764 Mrd. Euro).²⁰⁵ Zu den wichtigsten Abnehmern zählten die USA und China, von denen insbesondere Anlagentechnik mit Analyseinstrumenten sowie Trenn- und Sortiertechniken nachgefragt wurden. Weitere, wenn auch mit Abstand, bedeutende Zielländer waren Frankreich, Polen, UK, Italien und die Niederlande.²⁰⁶

Kasten 17

Sortiertechnologien in der Bauschuttbereitung

In Abhängigkeit von der Art und Qualität des Inputmaterials kommen bei der Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen unterschiedliche Aufbereitungstechnologien zum Einsatz. Gängige Verfahren sind hierbei Zerkleinerungs- und Klassierungsverfahren sowie die Magnetscheidung zur Abtrennung von Fe-Metallen. Holz, Kunststoffe oder gipsbasierte Bau- und Abbruchabfälle werden darüber hinaus auch noch in manuellen Sortierkabinen bzw. über Schwimm-Sink-Trennungs- bzw. Windsichtungsverfahren sortiert.²⁰⁷

Um die Potenziale in gemischten Bau- und Abbruchabfällen besser nutzen und auch die notwendigen Qualitäten für einen erfolgreichen Wiedereinsatz im Wirtschaftskreislauf gewährleisten zu können, kommt sensorbasierten Sortierverfahren eine immer größere Bedeutung zu. Hierzu zählen beispielsweise Farbsortierungssysteme wie Linescan-Kameras oder auch Röntgentransmissionstechnologien zur

Dichtesortierung. Durch den Einsatz von Nahinfrarot(NIR)-Sortiertechnologien ist es beispielsweise möglich, verschiedene Kunststoffarten wie Folien oder Hartkunststoffe separat zu erfassen.²⁰⁸ Zudem ermöglicht die sogenannte „elektrodynamische Fragmentierung“ durch die selektive Trennung verschiedenster Verbundmaterialien (z. B. Altbeton, Müllverbrennungsschlacke, Keramiken) die Rückgewinnung einzelner Komponenten.²⁰⁹

Der Knappheit von Bausand entgegenzuwirken, ist ein Ziel bei der Wiederaufbereitung der feinkörnigen mineralischen Bauabfälle. Hierzu wurde vom Fraunhofer IOSB in den vergangenen Jahren ein optopneumatisches Sortierverfahren entwickelt, das neben Farben unter anderem auch chemische Unterschiede in der Partikelzusammensetzung erkennen kann. Mithilfe einer Infrarotkamera werden unterschiedliche Arten der Feinfraktion aussortiert.²¹⁰

04.3.3 Recycling von Materialien aus Bauwerken und Infrastrukturen

Insgesamt werden die Bau- und Abbruchabfälle in Deutschland zwar zum Großteil stofflich verwertet, allerdings variiert die Verwertungsquote stark zwischen den Abfallarten und viele Verwertungsmaßnahmen sind eher niederwertig wie die Nutzung für Verfüllungen von Gruben, Brüchen und Tagebauen usw. Im Sinne des Handlungsbedarfes müssen hier wirklich geschlossene Materialkreisläufe im Mittelpunkt stehen. Ein Downcycling ist keine Lösung im Sinne der Kreislaufwirtschaft. Dies löst einen deutlichen Forschungsbedarf sowohl in Fragen der Materialien, der Modularität des Rückbaus wie auch der erforderlichen Informationsbereitstellung aus.

Bayern

Über den Abriss aber auch die (Teil-)Sanierung von Gebäuden und Infrastruktur fallen in Bayern jährlich rund 45 bis 55 Mio. Tonnen Bau- und Abbruchabfällen an. Im Jahr 2018 waren es insgesamt 53,2 Mio. Tonnen. Diese betrafen zu 70 Prozent Bodenaushub und Straßenaufbruch, 19 Prozent entfielen auf Bauschutt und die verbleibenden elf Prozent auf sonstige Bauabfälle. Über die Hälfte der gesamten Bauabfälle (29 Mio. Tonnen) wurde bei Verfüllungsmaßnahmen wieder eingesetzt.²¹¹

In Bauschuttrecyclinganlagen wurden im Jahr 2016²¹² 11,1 Mio. Tonnen Bauschutt, Straßenaufbruch und Bodenaushub eingesetzt, von denen 10,9 Mio. Tonnen²¹³ Erzeugnisse

zurückgewonnen wurden, die im Straßen- und Wegebau (3,8 Mio. Tonnen), im sonstigen Erdbau (2,7 Mio. Tonnen), als Betonzuschlag (0,2 Mio. Tonnen), beim Sportplatz- oder Deponiebau (0,99 Mio. Tonnen) oder in Asphaltmischanlagen (3,2 Mio. Tonnen) verwendet wurden.²¹⁴

Die in sonstigen bayerischen Abfallbehandlungsanlagen (ohne Bauschuttrecycling, Asphaltmischanlagen, Verfüllmaßnahmen) beseitigten bzw. verwerteten Bau- und Abbruchabfälle betragen im Jahr 2016 insgesamt 10,8 Mio. Tonnen.²¹⁵ Dazu trugen Metalle mit einem Anteil von 1,04 Mio. Tonnen sowie Holz, Glas und Kunststoffe mit 1,05 Mio. Tonnen bei.²¹⁶

207 Pak/Lambertz, 2016

208 Pak/Lambertz, 2016

209 Fraunhofer IBP, o. J. b

210 Fraunhofer IOSB, 2018

211 Bayerisches Landesamt für Statistik, 2020a

212 letztes verfügbares Jahr

213 bezogen auf 49,6 Mio. Tonnen Bauabfälle im Jahr 2016

214 Bayerisches Landesamt für Statistik, 2019

215 Abfälle des Kapitels 17 (Bau- und Abbruchabfälle) des Europäischen Abfallverzeichnisses

216 Bayerisches Landesamt für Statistik, 2019

Deutschland

In Deutschland werden mineralische Bauabfälle mehrheitlich verwertet. Beispielsweise werden Boden und Steine für Verfüllungen im übertägigen Bergbau bzw. im Deponiebau wieder eingesetzt. Straßenaufbruch wird bereits zu 93 Prozent recycelt. Bei Bauschutt liegt dieser Anteil bei nahezu 78 Prozent. Der Recyclinganteil von Baustellenabfällen, die vor allem Holz, Metall, Dämmstoffe, Glas und Kunststoffe umfassen, beträgt hingegen unter zwei Prozent; rund 96 Prozent werden stofflich bzw. thermisch verwertet, die verbleibenden Anteile beseitigt (Abbildung 33).

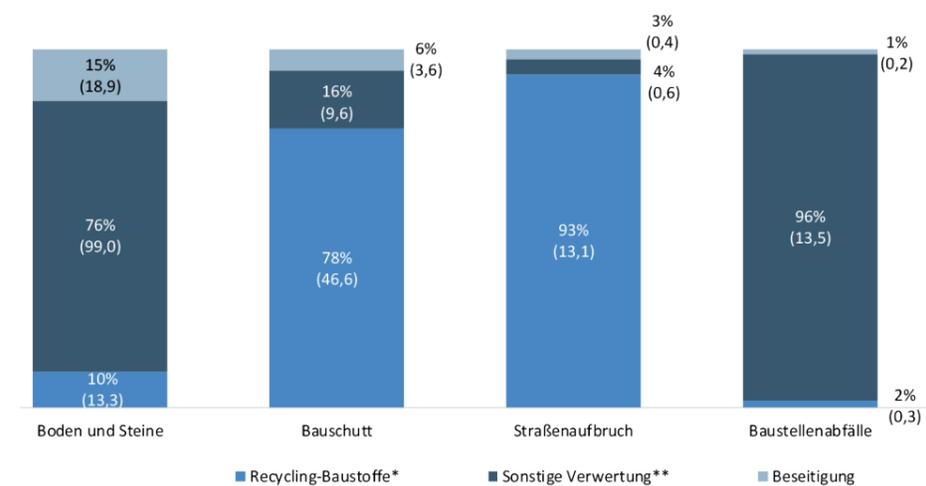
Deutliche Recyclingpotenziale bestehen zudem noch bei Bauabfällen auf Gipsbasis, bei denen der Recyclinganteil unter fünf Prozent liegt.²¹⁷ Eine Herausforderung ist hier teilweise noch die Kostenfrage, da derzeit noch ausreichend Gips zur Verfügung steht, der aus den Rückständen von Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA) in Braunkohlekraftwerken gewonnen wird (REA-Gips). Wenn diese Produktion wegfällt, wird das Recycling von Gipskartonplatten notwendiger und lukrativer.

Metalle behalten selbst nach mehrfachem Recycling ihre ursprünglichen Eigenschaften und können ohne Qualitätsverluste rückgebaut werden. Das unterscheidet sie deutlich von nichtmetallischen Materialien.²¹⁸ Aufgrund des enormen Ressourcenverbrauchs bei der Gewinnung und Aufbereitung von Metallen als Primärrohstoff und ihres hohen Verbrauchs, aber auch vor dem Hintergrund begrenzter Reichweiten gewinnen Rückgewinnung und Wiedereinsatz immer mehr an Bedeutung. Mithilfe von Magneten kann Baustahl beim Abbruch sehr gut zurückgewonnen werden, sodass heute bereits 99 Prozent recycelt oder wiederverwendet werden.²¹⁹ Dies spart nicht nur wertvolle Ressourcen, sondern auch CO₂-Emissionen. Gleichzeitig können weitere umweltschädigende Begleitmaßnahmen, wie die Versauerung von Gewässern, Sommersmog oder Eutrophierung, reduziert werden. Je nach Schrottschäufelheit können durch ihren Einsatz 1,67 Tonnen CO₂ (bei Kohlenstoffstahl) bis 4,3 Tonnen CO₂ bei Schrotten aus rostfreiem Edelstahl eingespart werden.²²⁰

Abbildung 33

Verbleib der Bauabfälle nach Hauptfraktionen in Deutschland nach Anteilen und in Mio. Tonnen in Klammern, 2018

Angaben in Klammern in Mio. t / 2018



* Als Recycling-Baustoffe werden Gesteinskörnungen bezeichnet, die durch die Aufbereitung mineralischer Bauabfälle hergestellt werden.

** z. B. Verwertung von Boden und Steinen in übertägigen Abgrabungen

Quelle: Kreislaufwirtschaft Bau, 2018, eigene Darstellung Prognos 2021

217 Kreislaufwirtschaft Bau, 2018

218 Metals for building, 2021

219 VDI, 2014

220 IWMS/CEM, 2019

Auch bei Aluminium werden bereits 96 Prozent des Aluminiumschrottes wieder in den Kreislauf zurückgeführt.²²¹ Die Rückgewinnung von Aluminium – aus dem Bau- und anderen Bereichen – schont somit nicht nur die knappen Ressourcen. Die Aufbereitung von Sekundäraluminium hat auch einen deutlich geringeren Energieverbrauch und hilft, relevante Mengen an klimaschädlichen CO₂-Emissionen einzusparen, denn durch den Einsatz von einer Tonne Sekundäraluminium werden rund zehn Tonnen CO₂-Äq eingespart. Gegenüber dem Primärprozess entspricht dies Einsparungen in Höhe von 85 Prozent.²²²

Das Recycling von Bauabfällen steht insbesondere in Bezug auf Kunststoffe und Glas noch vor Herausforderungen. Fensterglas hat zunehmend komplexere und sehr unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen, sei es als Sicherheitsglas oder beschichtetes Glas, um die Sonneneinstrahlung zu reduzieren. Zudem ist es in Rahmen verbaut und muss erst entsprechend demontiert werden. Das Recycling alter Fenster für den Wiedereinsatz bei der Herstellung von Flachglas steht mit einer Closed-loop-Recyclingquote von rund elf Prozent daher noch am Anfang.²²³ Beispielsweise kann geschliffenes Glas in Glasasphalt, einem Gemisch aus Glas und Asphalt, eingearbeitet oder in die reflektierende

gelbe und weiße Farbe, die auf Straßen verwendet wird, eingerührt werden.

Die Einsatzmöglichkeiten für Recycling-Baustoffe hängen sowohl von den Ausgangsqualitäten als auch den spezifischen Abbruch- bzw. Rückbauverfahren ab. Im Jahr 2018 wurden drei Viertel der insgesamt 73,3 Mio. Tonnen Recycling-Baustoffe wieder im Straßen- und Erdbau eingesetzt und nahezu 22 Prozent in der Asphalt- und Betonherstellung.²²⁴

Altholz wird wegen der Schadstoffbelastungen eher thermisch verwertet; nur ein geringer Teil mit hoher Qualität (Altholz der Kategorie A1, teilweise AII gemäß Altholzverordnung) ist stofflich nutzbar. Zudem haben wir hier den Sonderfall, dass die thermische Verwertung in der Regel höhere CO₂-Einsparpotenziale pro Tonne Altholz generiert als die stoffliche Verwertung, da sie fossile Energieträger bei der Erzeugung von Energie und Wärme substituiert. In Deutschland fielen 2016 rund zehn Millionen Tonnen Altholz an, davon rund vier Millionen Tonnen in Bau- und Abbruchabfällen. Die angefallene Altholzmenge wurden zu über zwei Drittel energetisch verwertet und zu rund 17 Prozent stofflich verarbeitet.²²⁵

04.4 Lebenszyklusanalyse / Life Cycle Assessment (LCA)

Umweltwirkungen von Produkten

Unter einer Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment – LCA) wird in methodischer Hinsicht die systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten verstanden, die den gesamten Lebensweg eines Produkts einschließt. Begriffe wie „Umweltbilanz“ oder „Ökobilanz“ sind hierbei als Synonyme zu verstehen. Bezogen auf das Bauwesen umfasst dies den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden (Abbildungen 28 und 29). Eine Lebenszyklusanalyse kann sowohl für bestehende Gebäude als auch Neubauten durchgeführt werden.

Nachhaltigkeitsstrategien

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Ressourcenverknappung (Kapitel 04.3) und Umweltbelastungen (Kapitel 03.1.2) müssen zukunftsfähige Gebäude grundlegend ökologisch orientiert geplant, errichtet, betrieben, rückgebaut und so weit wie möglich wiederverwendet werden, um die negativen Umweltwirkungen so gering wie möglich zu halten. Hierbei spielen Nachhaltigkeitsstrategien wie Effizienz, Konsistenz und Suffizienz eine tragende Rolle. Der Ressourceneinsatz muss minimiert (Effizienz) und – wo möglich – durch erneuerbare Materialien und Energien (Konsistenz) bewerkstelligt werden. Zudem muss die Frage der Suffizienz, im Sinne eines genügsamen Umgangs mit vorhandenen Ressourcen ohne die Minderung der eigenen Zufriedenheit und Lebensqualität, in zunehmender Weise von Beginn an in den Planungsprozess integriert werden.

Lebenszyklusanalyse

Da im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse sämtliche Umweltwirkungen von der Herstellung über die Nutzung bis hin zum Abriss und zur Entsorgung sowie gegebenenfalls zum Recycling berücksichtigt werden, erscheint die Methode der LCA geeignet, die Umweltwirkungen von Gebäuden umfassend zu erfassen, zu bewerten und die entsprechenden Analyseergebnisse in den Planungsprozess einfließen zu lassen. Hierbei ist zu beachten,

221 VDI, 2014

222 VDM, 2021

223 ISC, 2019

224 Kreislaufwirtschaft Bau, 2018

225 UBA, 2020g

dass Gebäude nicht nur in materialbezogener Hinsicht in der Herstellung und Entsorgung entsprechende Umweltwirkungen aufweisen, sondern insbesondere auch im Betrieb. In der Regel wird in der Nutzungsphase thermische und / oder elektrische Energie für Heizen, Kühlen, Lüften und künstliche Beleuchtung benötigt, die in Abhängigkeit vom Energieträger entsprechend große Umweltwirkungen verursachen (Kapitel 03.1.2).

Eine Lebenszyklusanalyse bzw. lebenszyklusorientierte Ökobilanz zielt daher darauf ab, die gesamten Material- und Energiemengen sowie -ströme eines Gebäudes über die gesamte Lebensdauer bis hin zum Rückbau sowie zur Entsorgung bzw. zum Recycling zu erfassen. Die Bilanzierung erfasst zum einen den im Rahmen der Materialherstellung, des Einbaus, der Nutzung sowie der späteren Entsorgung entstehenden Ressourcenverbrauch und Ausstoß an Treibhausgasen. Zum anderen werden die für den Betrieb von Gebäuden notwendigen nicht erneuerbaren bzw. erneuerbaren Energiemengen und die daraus resultierenden Umweltwirkungen bilanziert.

Optimierungspotenziale

Damit können die gesamten Umweltwirkungen eines bestimmten Gebäudes bzw. Planungsansatzes relativ genau bestimmt werden. Zudem ermöglicht es eine LCA, im Rahmen des Planungsprozesses Optimierungspotenziale im Hinblick auf die Reduktion der Umweltbelastung zu identifizieren und zu nutzen. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Kosten für Erstellung, Betrieb, Rückbau und Entsorgung bzw. Recycling lassen sich darüber hinaus ökologische und ökonomische Vorteile aufeinander abstimmen.

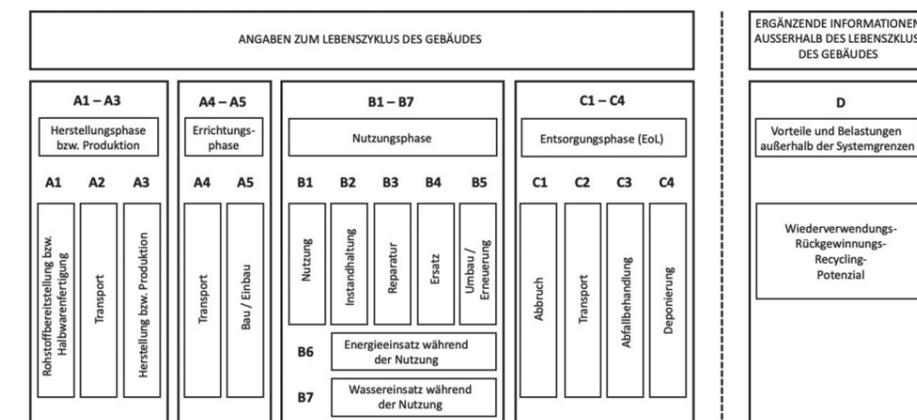
04.4.1 Lebenszyklus von Gebäuden

Einteilung des Lebenszyklus von Gebäuden

Wie in Abbildung 34 dargestellt, wird der Lebenszyklus eines Gebäudes in die Herstellungsphase (A 1–3), Errichtungsphase (A 4–5), Nutzungsphase (B 1–7) und Entsorgungsphase (C 1–4) eingeteilt. Prozesse außerhalb der Systemgrenze des Lebenszyklus werden im Rahmen der Phase D – Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen abgebildet. Dies beinhaltet z. B. das Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und das Recyclingpotenzial von Baustoffen bzw. Baukomponenten.

Abbildung 34

Einteilung der Lebenszyklusinformationen in Module nach DIN EN 15804 und DIN EN 15978



Durchführung einer Lebenszyklusanalyse

Allgemeine Grundlagen zur Durchführung einer Lebenszyklusanalyse bzw. Ökobilanzierung finden sich in den Normen DIN EN ISO 14040:2009-11 und DIN EN ISO 14044-2018-05. Weitergehende Informationen für die Erstellung von Gebäudeökobilanzen sind in DIN EN 15978:2012-10 und DIN 15804:2014-07 enthalten. Die Durchführung einer Ökobilanz erfolgt in vier Schritten (Abbildung 35):

1. Ziel und Untersuchungsrahmen

Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens. Hierzu gehört die Bestimmung der funktionalen Einheit (Komponente, Bausystem, Gebäude etc.), der Systemgrenzen, Datengrundlagen, Indikatoren u. a. m. In der Regel wird eine Lebensdauer für das zu untersuchende Gebäude von 50 Jahren angenommen. Es können aber auch fallbezogen alternative Lebensdauern zugrunde gelegt werden. Zudem können anhand unterschiedlicher Lebensdauern Vergleichsrechnungen durchgeführt werden.

2. Sachbilanz

Erstellung einer Sachbilanz. Ähnlich einer Inventarisierung erfolgt hier die Erstellung einer Massenbilanz unter Berücksichtigung aller verwendeten Baustoffe. Zudem wird eine Berechnung des voraussichtlichen Einsatzes an nicht erneuerbarer bzw. erneuerbarer Primärenergie über den gesamten Lebenszyklus durchgeführt.

3. Wirkungsabschätzung

Durchführung einer Wirkungsabschätzung. Basierend auf den ermittelten Baustoffarten und -mengen sowie dem Primärenergieeinsatz erfolgt die Emissionsbilanz, bei der die zu erwartenden Treibhausgasemissionen, wie Kohlendioxid und Methan, aber auch weitergehende Emissionen, wie Stickoxide und Schwefeldioxid, ermittelt werden.

4. Auswertung

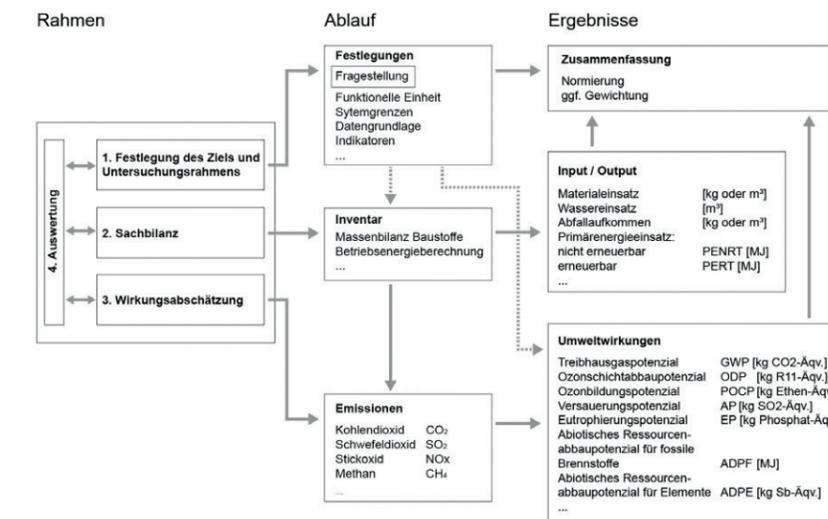
Auswertung der Massenbilanz der Baustoffe sowie der Emissionen im Hinblick auf den In- und Output von Stoff- und Energieströmen. Hierbei werden unter anderem Materialeinsatz und Abfallaufkommen, Trink- und Abwassermengen und der nicht erneuerbare und erneuerbare Primärenergieeinsatz quantifiziert. Zudem werden auf der Basis der ermittelten Emissionen die resultierenden Umweltwirkungen bestimmt (ökologische Wirkungsabschätzung), wie Treibhausgaspotenzial, Ozonschichtabbaupotenzial u. a. m.

Wie unter Punkt 4 dargestellt, lässt sich mit einer lebenszyklusbezogenen Ökobilanz darstellen, wie groß der Ressourcenverbrauch (z. B. Material, Energie, Wasser etc.) oder der Ausstoß von Treibhausgasen eines Gebäudes oder Stadtquartiers innerhalb eines bestimmten Zeitraums ist. Die hierbei ermittelten, sich auf den gesamten Lebenszyklus beziehenden Bilanzwerte können im Rahmen der Auswertung mit den anfänglich vereinbarten Zielen, wie z. B. max. Energiebedarf oder CO₂-Ausstoß, abgeglichen werden. Zusätzlich bietet sich die Möglichkeit, vergleichende Untersuchungen im Hinblick auf alternative Material- oder Energiekonzepte anzustellen. Neben ökologischen Aspekten können auch Investitions-, Betriebs- und Rückbaukosten über den gesamten Lebenszyklus in analoger Weise bestimmt werden.

Im Rahmen einer vergleichenden Untersuchung alternativer Planungsansätze kann so bereits in relativ frühen Planungsphasen ein Optimierungsprozess in Gang gesetzt werden, der in Verbindung mit einer Lebenszykluskostenanalyse zu sowohl in ökologischer als auch ökonomischer Hinsicht überzeugenden Lösungen führt. Auch hier besitzt der Einsatz digitaler Planungswerkzeuge ein enormes Potenzial zur automatisierten Erfassung der in alternativen Entwurfs- und Ausführungsvarianten vorhandenen Baustoffmassen sowie des durch die Gebäudehülle, die Nutzung und das Energieversorgungssystem bestimmten Verbrauchs an nicht erneuerbaren bzw. erneuerbaren Energien.

Abbildung 35

Rahmen, Ablauf und Ergebnisse einer Ökobilanz (Darstellung nach DIN EN ISO14040/DIN 15804)



Quelle: Lang / Schneider, 2021

Aufgrund der weiterhin verstärkt zunehmenden Bedeutung von Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien im Betrieb und der Umweltwirkungen der Baukonstruktion und technischen Ausstattung von Gebäuden kommt digitalen Planungsmethoden, wie der BIM- und lebenszyklusbasierten Ökobilanzierung, eine immer wichtiger werdende Rolle zu.²²⁶

Öffentlich verfügbare Datenbanken, wie z. B. die ÖKOBAUDAT des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI),²²⁷ erlauben den Zugriff auf entsprechende Materialkennwerte der sieben wichtigsten Umweltwirkungskategorien, die in Kopplung mit hierfür verfügbaren Rechenwerkzeugen Planer*innen in die Lage versetzen, alternative Entwurfsansätze miteinander zu vergleichen und entsprechend zu optimieren. Die ÖKOBAUDAT wurde zu großen Teilen auf der von der Fraunhofer-Gesellschaft mitentwickelten GABI-Datenbank und Software aufgebaut.

Entsprechende Ökobilanzierungswerkzeuge, wie das vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) bereitgestellte Rechenwerkzeug eLCA,²²⁸ ermöglichen es Planer*innen, auf der Basis digital vorliegender Kenndaten in Verbindung mit den digitalen Gebäudedaten den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks hinsichtlich seiner ökologischen und ökonomischen Eigenschaften umfassend und belastbar zu beurteilen. In diesem Kontext ist auch auf GENERIS hinzuweisen, ein von der Fraunhofer-Gesellschaft entwickeltes Softwaretool. Es handelt sich hier um ein auf Ökobilanzdaten basierendes Bewertungstool für die Beurteilung der Umweltwirkungen von Gebäuden.

²²⁶ Röck et al., 2018

²²⁷ Ökobaudat, <https://oekobaudat.de>, 2021

²²⁸ Bauteileditor, <https://www.bauteileditor.de>, aufgerufen am 13.04.2021

04.4.2 Ausblick: Kreislaufwirtschaft in Lebenszyklusanalysen

Unter bestimmten Voraussetzungen lässt sich bereits heute die Kreislauffähigkeit von Gebäuden und der in ihnen enthaltenen Materialien in Lebenszyklusanalysen (ökologisch und ökonomisch) abbilden.

Eine Kreislaufnutzung zeigt zunächst in den Phasen A1 bis A3 Vorteile (Abbildung 34), da durch die Verwendung von Sekundärmaterialien Energieeinsatz und Umweltwirkungen niedriger ausfallen als für Primärmaterial. Derzeit gelten Sekundärbaustoffe aber in der Regel noch als teurer, sodass sich in einer Lebenszykluskostenanalyse hier zunächst Nachteile ergeben.

Die umweltbezogenen Vorteile der Verwendung von Sekundärmaterialien zeigen sich später auch in den Phasen, in denen Baumaterialien ausgetauscht werden (B4) oder wenn der Austausch, beispielsweise durch Reparatur oder Aufbereitung von Oberflächen vor Ort, vermieden wird. Den größten ökologischen Nutzen sollte die Kreislaufwirtschaft aber in den End-of-Life-Phasen (C und D) zeigen, da keine oder nur wenige Stoffe deponiert werden, sondern alle Materialien einer weiteren Nutzung zugeführt werden. In der Phase D werden Gutschriften für Recyclingmaterial angerechnet.

Derzeit erhalten Materialien, die bereits einmal recycelt wurden, allerdings keine weitergehenden Gutschriften in der Phase D (da sie bereits im Einbau gutgeschrieben wurden), um doppelte Gutschriften zu vermeiden. Hier besteht im Bereich der Normung dringender Klärungsbedarf, um die umweltbezogenen Vorteile des Einsatzes von Sekundärbaustoffen entsprechend abbilden und nutzen zu können. Zudem wird die Phase D in den Normen zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden²²⁹ nur als ergänzende Information bezeichnet und „kann“ oder „darf“ mit angegeben werden. Für ökologische Bewertungen darf derzeit nach geltender Praxis das Ergebnis der Phase D aber nicht eingerechnet werden, da es außerhalb der Systemgrenze liegt.²³⁰ Eine Veränderung dieser Festlegung wäre insofern vorteilhaft für Materialien mit hohem Kreislaufpotenzial, da dieses Potenzial sich dementsprechend im Gesamtbild im Rahmen der Ökobilanz zeigen würde.

Je nachdem, welche Indikatoren in die Analyse miteinbezogen werden, zeigen sich bei der Deponierung von Materialien lediglich geringe Nachteile, da hier rechnerisch nur geringe Mengen von Treibhausgasen emittiert werden. Auch hier besteht dringender Bedarf, die Grundlagen für eine Aufnahme weiterer Indikatoren in die Bewertung zu schaffen, beispielsweise den abiotischen Ressourcenbedarf oder die Beanspruchung von Naturraum.

Das bedeutet, dass heutige Ökobilanzen noch nicht ausreichend die ökologischen Vorteile einer Kreislaufnutzung bzw. die Nachteile einer Deponierung von Materialien abbilden. Auch aus ökonomischer Sicht werden die End-of-Life-Phasen unzureichend abgebildet, da nur sehr eingeschränkt Kostendaten zu Recycling- oder Deponierungsprozessen vorliegen.²³¹ Hier besteht dringender Entwicklungs- und Handlungsbedarf, um im Rahmen einer künftig anzustrebenden Überarbeitung der Methodik der Ökobilanzierung die in ökologischer und gegebenenfalls ökonomischer Hinsicht vorhandenen Vorteile der Wiederverwendung von Baumaterialien und -komponenten entsprechend abbilden und bewerten zu können.

²²⁹ DIN EN 15643-2:2011-05 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität; DIN EN 15643-4:2012:04: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität

²³⁰ DIN EN 15978:2012-10 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode

²³¹ Schneider-Marin / Lang, 2020

04.5 Zwischenfazit und Ausblick

Nachhaltigkeit

Kreislaufwirtschaft im Bausektor ist für ökologische Nachhaltigkeit von großer Bedeutung. Zum einen ist der Bau und Betrieb von Gebäuden und Infrastrukturen für einen Großteil der THG-Emissionen verantwortlich. Zum anderen gehört der Bausektor zu den Branchen mit dem größten Verbrauch an Primärressourcen. Das anthropogene Rohstofflager in Deutschland wächst jedes Jahr um rund zehn Tonnen pro Einwohner*in und liegt heute im Bereich von insgesamt fast 40 Mrd. Tonnen. Das Rohstofflager in Bayern wird allein im Wohngebäudepark sowie in ausgewählten Nichtwohngebäuden und Infrastrukturen auf insgesamt mindestens 2,78 Mrd. Tonnen geschätzt. Ein Großteil davon betrifft mineralische Baustoffe.

Damit steckt in den Bauwerken ein enormes materielles Potenzial, das nach einem ordnungsgemäßen Rückbau entweder als Recyclingbaustoff wiedereingesetzt oder für weitere Wirtschaftszweige genutzt werden kann. Das jährliche Potenzial spiegelt sich in den Bau- und Abbruchabfällen, die mit jährlich 228 Mio. Tonnen die mengenmäßig wichtigste Abfallgruppe in Deutschland bilden. Die deutschen Bau- und Abbruchabfälle werden zwar bereits heute zu fast 90 Prozent stofflich verwertet, allerdings variiert der Anteil stark zwischen den Abfallarten, und viele Verwertungsmaßnahmen sind eher niederwertig wie die Nutzung für Verfüllungen.

Rückgewinnung

In Anbetracht des Materialaufwands und der Umweltbelastungen (u.a. Bauabfallaufkommen, Emissionen) bei der Errichtung von Bauwerken sowie der teilweise knapper werdenden Ressourcen und begrenzter Kapazitäten in Bauschuttdeponien ist es das Ziel der Kreislaufwirtschaft, im Bau den Abriss so weit als möglich zu umgehen. Eine lange Nutzungsdauer von Gebäuden kann durch den Einsatz langlebiger Materialien unterstützt werden. Zudem sollten Gebäude so flexibel gestaltet werden, dass sie einfach an sich verändernde Anforderungen angepasst werden können. Kommt es zum Abriss, spielt die Rückgewinnung der Rohstoffe (Urban Mining) eine zentrale Rolle beim Ressourcen- und Klimaschutz. Zur Abfallvermeidung und Rückgewinnung können digitale Technologien einen Beitrag leisten (Kapitel 06).

Verwiesen sei auch auf die Fraunhofer-Initiative „Fraunhofer Circonomy® Hubs“. Ziel ist es, deutschlandweit eine agile Architektur für die Circular Economy aus wirtschaftsorientierten Hubs aufzubauen, wofür derzeit eine eigene Domäne für die Bauwirtschaft eingerichtet wird. Diese Hubs bilden ein Netzwerk, das Strategien und Roadmaps, FuE-Schwerpunkte sowie Transfer- und Bildungsmaßnahmen für eine wertorientierte Transformation zum zirkulären Wirtschaften gestaltet und dazu eine gemeinsame Datenplattform schafft.

²³² Erfahrungsberichte aus Gesprächen mit Vertreterinnen und Vertretern von Verbänden der Bau- und Wohnungswirtschaft im April 2021

Erfahrungen²³² zeigen, dass derzeit die Rückgewinnung der Rohstoffe in der Praxis noch vor großen Herausforderungen steht. Zum einen ist auf Baustellen oftmals nicht ausreichend Platz, um Anlagen zur sortenreinen Rückgewinnung aufzubauen, bzw. sind solche Anlagen nicht hinreichend mobil. Zum anderen fehlen in vielen Regionen geeignete Flächen mit Genehmigung für stationäre Anlagen. Zudem ist die Nachfrage nach Recycling-Baustoffen in Deutschland relativ gering, sodass die betriebswirtschaftliche Rentabilität solcher Anlagen unklar ist.

Hinzu kommen Entwicklungsnotwendigkeiten bei den Trenn- und Sortiertechniken, beispielsweise um Körnungen mit definierter Qualität für gezielte Anwendungen herzustellen. Selbst sortenreine Recycling-Materialien können derzeit oftmals nicht oder nur in begrenztem Maße zur Herstellung des ursprünglichen Baustoffs wiedereingesetzt werden. Zudem stellen die Lösbarkeit von verbundenen Materialien sowie enthaltene Schadstoffe oftmals Herausforderungen beim Recycling dar.

Lebenszyklusanalyse

Im Hinblick auf die gesamtheitliche Berücksichtigung und Bewertung der Umweltwirkungen von Gebäuden ist die Methode der Lebenszyklusanalyse (LCA) von ausschlaggebender Bedeutung. Aufgrund der umfassenden Betrachtung aller Stoff- und Energieströme im Bauwesen ist die LCA ein wirkungsvolles Werkzeug, um bereits im Planungsprozess umweltbezogene Eigenschaften unterschiedlicher Entwurfsansätze optimieren zu können.

Unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Investitions-, Betriebs- und Rückbaukosten ermöglicht dies eine gesamtheitliche Betrachtungsweise, die es allen an der Planung, Umsetzung, dem Betrieb, Erhalt und Rückbau des Gebäudes Beteiligten erlaubt, informierte Entscheidungen zu treffen.

Hierbei stehen bereits heute in umfassender Weise digitale Werkzeuge und Datenbanken zur Verfügung, die in naher Zukunft weiter optimiert und ausgeweitet werden müssen, um künftig auch in sehr frühen Planungsphasen, wie z. B. in der Grundlagenermittlung, dem Planer entsprechende Hinweise zur Optimierung von ökologischen und ökonomischen Eigenschaften alternativer Entwurfsansätze geben zu können.

Export- und Wachstumsmöglichkeiten

Die mit den Umwelt- und Ressourcenschutz einhergehenden Erfordernisse bietet für Unternehmen die Chance sich neue Export- und Wachstumsmöglichkeiten zu erschließen, indem relevante Technologiefelder und neue Schlüsselkompetenzen besetzt werden, die bei fortschreitendem Klimawandel und Anhebung der Ambitionen im Bereich Umwelt- und Ressourcenschutz in den Schwellen- und Industrieländern sowie weltweit an Bedeutung gewinnen dürften.

05

Wohnungsmarkt und Bürokratie beim Planen und Bauen

In vielen Wohnungsmärkten im Freistaat steigt die Nachfrage nach Wohnraum. Für die Zukunft des Bauens und Planens ist Bürokratie ein entscheidender Hebel.

Kapitel in der Übersicht

05.1	Wohnungsmarkt	112
05.1.1	Entwicklung und Struktur der Wohnraumnachfrage in Bayern	112
05.1.2	Entwicklung und Struktur des Wohnraumangebots in Bayern	118
05.1.3	Exkurs: Regionale Wohnungsmarktspannungen und sozialer Wohnraum in Bayern	120
05.1.4	Zukünftige Entwicklung der Wohnraumnachfrage in Bayern sowie übergreifende Herausforderungen der Angebotserweiterung	122
05.2	Bürokratie und Regulierung	123
05.2.1	Verwaltungsstrukturen	125
05.2.2	Öffentlichkeits- und Bürgerbeteiligung	125
05.2.3	Genehmigungsverfahren	127
05.2.4	Digitale Antragsverfahren und Projektmanagement	128
05.2.5	Öffentliche Vergabeverfahren	129
05.2.6	Technische und energetische Standards	130
05.2.7	Rechtliche Hürden für verdichtetes Bauen	132
05.3	Zwischenfazit	133

05.1 Wohnungsmarkt

Um Aussagen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklungen für die bayerischen Wohnungsmärkte ableiten zu können, werden zuerst die bisherigen Entwicklungen und Spezifika des bayerischen Wohnungsmarkts analysiert (Wohnungsnachfrage in Kapitel 05.1.1 und Wohnungsangebot in Kapitel 05.1.2). Die Ex-post-Betrachtung ist nötig, um zu verstehen, warum Wohnungsmärkte in Bayern schon heute vor Herausforderungen stehen. In Kapitel 05.1.3 zeigen wir anhand der prognostizierten Entwicklung der Rahmendaten (v. a. Bevölkerung, Haushalte) auf, wie sich die zu erwartende Wohnungsnachfrage in Bayern in Zukunft verändern wird und welche übergreifenden Herausforderungen sich für die Wohnungsmärkte im Freistaat ergeben. Um vor dem Hintergrund zukünftiger Nachfragemuster und sich verändernder Rahmenbedingungen im Bereich Planen und Bauen Voraussetzungen für innovatives und kostengünstiges Bauen zu schaffen, gilt es insbesondere Bürokratie und Regulierung in den Blick zu nehmen. Ausgewählte Aspekte zur Regulierung werden in Kapitel 05.2 dargestellt.

05.1.1 Entwicklung und Struktur der Wohnraumnachfrage in Bayern

Die Wohnungsnachfrage ergibt sich vor allem durch die demografische Entwicklung sowie die Entwicklung der Haushaltszahlen. Abbildung 36 verdeutlicht die Entwicklung dieser beiden Größen und damit der Wohnungsnachfrage in Bayern und Deutschland seit 2011. Demnach stieg die Wohnungsnachfrage in Bayern im Vergleich zum Bund stärker an.

Bevölkerung in Bayern

Die Bevölkerung in Bayern ist zwischen 2011 und 2020 mit 5,6 Prozent deutlich stärker gestiegen als auf Bundesebene (3,6 Prozent). Damit entfiel fast ein Viertel der deutschlandweiten Bevölkerungszunahme auf den Freistaat, der folglich überproportional an Bevölkerung gewinnt. Absolut betrachtet ist Bayern in diesem Zeitraum um 697.000 Einwohner*innen gewachsen, was etwa der Einwohnerzahl der Stadt Frankfurt/Main (rd. 760.000 Einwohner*innen) oder Stuttgart (635.000 Einwohner*innen) entspricht.

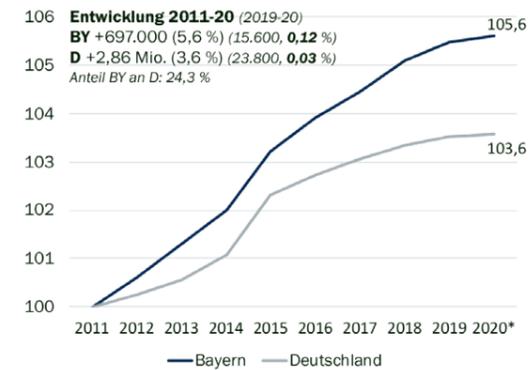
Wachstum bei den Haushalten

Noch deutlicher fällt das relative Wachstum bei den Haushalten, also der direkten Wohnungsnachfrage, aus. Zwischen 2011 und 2019 nahm die Zahl der privaten Haushalte im Freistaat um 381.000 bzw. 6,2 Prozent zu (Deutschland: 5,1 Prozent) (Abbildung 36). Dabei entfallen 19 Prozent der bundesweiten Zunahme der Haushalte auf Bayern. Die höhere Dynamik der Haushaltsentwicklung im Vergleich zur Bevölkerung ist durch den Trend hin zu kleineren Haushalten zu erklären.²³³ Sowohl im bundesweiten als auch bayerischen Kontext sinkt die durchschnittliche Haushaltsgröße (Abbildung 37) und die Anzahl der Ein- und Zwei-Personen-Haushalte nimmt kontinuierlich zu (Kapitel 02.1). Die durchschnittliche Haushaltsgröße liegt im Freistaat mit 2,03 Personen je Haushalt über dem Bundeswert von 2,00 Personen. Im zeitlichen Vergleich zeigt sich, dass die durchschnittliche Haushaltsgröße in Bayern seit 2011 mit einer Reduzierung um 0,01 Personen je Haushalt im Bundesvergleich etwas langsamer abnimmt (Deutschland: -0,03 Personen je Haushalt) (Abbildung 37).

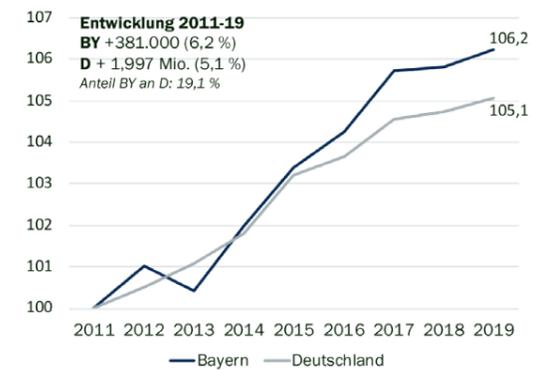
233 Auf kleinräumiger Ebene kann die Entwicklung der Haushalte auch durch unterschiedliche Gruppen (u. a. Studenten, Arbeitskräfte) geprägt sein. Bezogen auf den gesamten Freistaat gleichen sich unterschiedliche Gruppen der Zuwanderung weitgehend aus. Der stärkere Treiber der Haushaltsentwicklung ist die Veränderung der Haushaltsgrößen der bereits vorhandenen Wohnbevölkerung.

Abbildung 36
Entwicklung der Wohnungsnachfrage in Bayern im Vergleich zu Deutschland seit 2011

Bevölkerungsentwicklung 2011-2020
(Index: 2011=100)



Haushaltsentwicklung 2011-2019
(Index: 2011=100)



*Daten für 2020 zum Stichtag 30.09.

Quelle: Statistisches Bundesamts sowie Mikrozensus, 2021, eigene Darstellung Prognos 2021

Die Eigentümerquote spiegelt die Nachfrage nach Miet- oder Eigentumswohnungen. Der Freistaat weist eine Eigentümerquote von rund 51 Prozent auf, d. h., über die Hälfte der bayerischen Haushalte lebt im Wohneigentum. Das ist mehr als im Bundesdurchschnitt (46 Prozent), aber weniger als in einigen anderen westdeutschen Flächenländern wie Baden-Württemberg (53 Prozent), Rheinland-Pfalz (58 Prozent), Saarland (65 Prozent) und Niedersachsen (54 Prozent). Wohnungen im Freistaat werden nicht nur häufiger von Eigentümer*innen bewohnt, sondern sind auch etwas größer als im Bundesdurchschnitt, wobei die Wohnfläche zwischen Miet- und Eigentümerhaushalten, Stadt- und Landbevölkerung sowie der Altersstruktur der Haushalte deutlich variiert.

Abbildung 37
Übersicht über ausgewählte Indikatoren der Wohnungsnachfrage in Bayern im Vergleich zu Deutschland

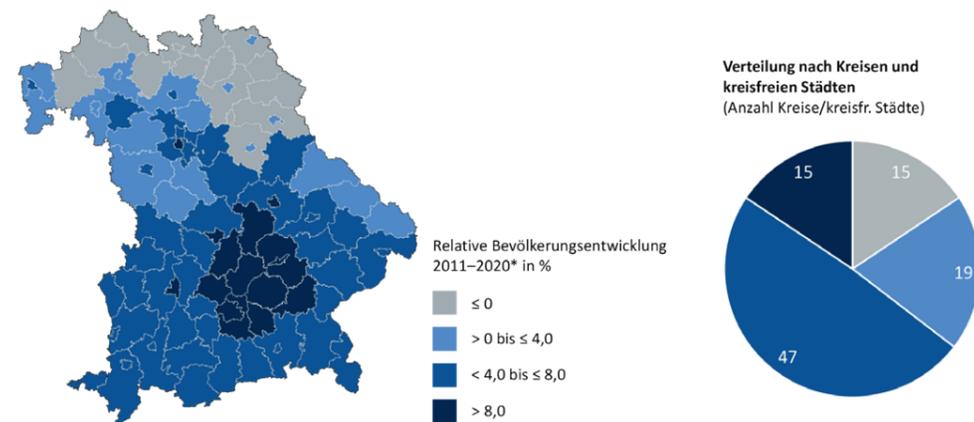


Quelle: Statistisches Bundesamts sowie Mikrozensus, 2021, eigene Darstellung Prognos 2021

Auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte zeigen sich Unterschiede bei der Zuwanderung, der Bevölkerungsentwicklung (Abbildung 22) sowie der Altersstruktur. Daraus resultiert eine deutliche räumliche Variation der Wohnraumnachfrage. Gerade in strukturschwächeren Gebieten im Norden und Osten des Freistaates sinkt die Bevölkerungszahl und damit langfristig auch die Nachfrage nach Wohnraum. In diesen Regionen können Werte von Wohneigentum langfristig sinken und Kommunen stehen vor den Herausforderungen von Leerstand sowie von Erhalt der Attraktivität als Wohnstandort und von Ortszentren.²³⁴ Demgegenüber stehen 15 Kreise und kreisfreie Städte mit einer Bevölkerungszunahme von über acht Prozent (insb. Großraum München), in denen die Wohnraumnachfrage überproportional angestiegen ist.

Abbildung 38
Regionale Bevölkerungsentwicklung in Bayern 2011 bis 2020

Relative Bevölkerungsentwicklung 2011 – 2020 in %



*Bevölkerung 2020 zum Stichtag 30.09

Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik, eigene Darstellung Prognos 2021

234 BBSR, 2021b: Nach Angaben des BBSR standen im Jahr 2018 bundesweit 4,2 Prozent aller Wohnungen leer. In strukturschwächeren Regionen liegen die Wohnungsleerstände teils deutlich über dem bundesweiten Durchschnitt. Beispielsweise liegen die Leerstandsquoten in den Landkreisen Kornach, Hof, Kulnbach, Wunsiedel, Tirschenreuth, Neustadt a. d. Waldnaab oder Cham zwischen sechs und acht Prozent.

Auswirkungen durch Corona

In der kürzeren Frist von 2019 bis 2020 zeigt sich durch die Corona-Pandemie ein leicht differenziertes Bild der Zuwanderung sowie der regionalen Bevölkerungsentwicklung. In diesem Zeitraum verzeichnen 35 Kreise und kreisfreie Städte Bevölkerungsverluste. Neben Teilen der Region Oberfranken sind in diesem Zeitraum insbesondere Großstädte und kreisfreie Städte von sinkenden Einwohnerzahlen betroffen. Zurückzuführen sind diese Entwicklungen insbesondere auch auf ein verändertes Wanderungsverhalten. Zwischen Januar und November 2020 verzeichnen 15 kreisfreie Städte in Bayern (u. a. München, Nürnberg, Würzburg, Regensburg, Bamberg) einen negativen Wanderungssaldo, wohingegen bei den Landkreisen lediglich Fürstfeldbruck im Saldo eine leichte Abwanderung aufweist.



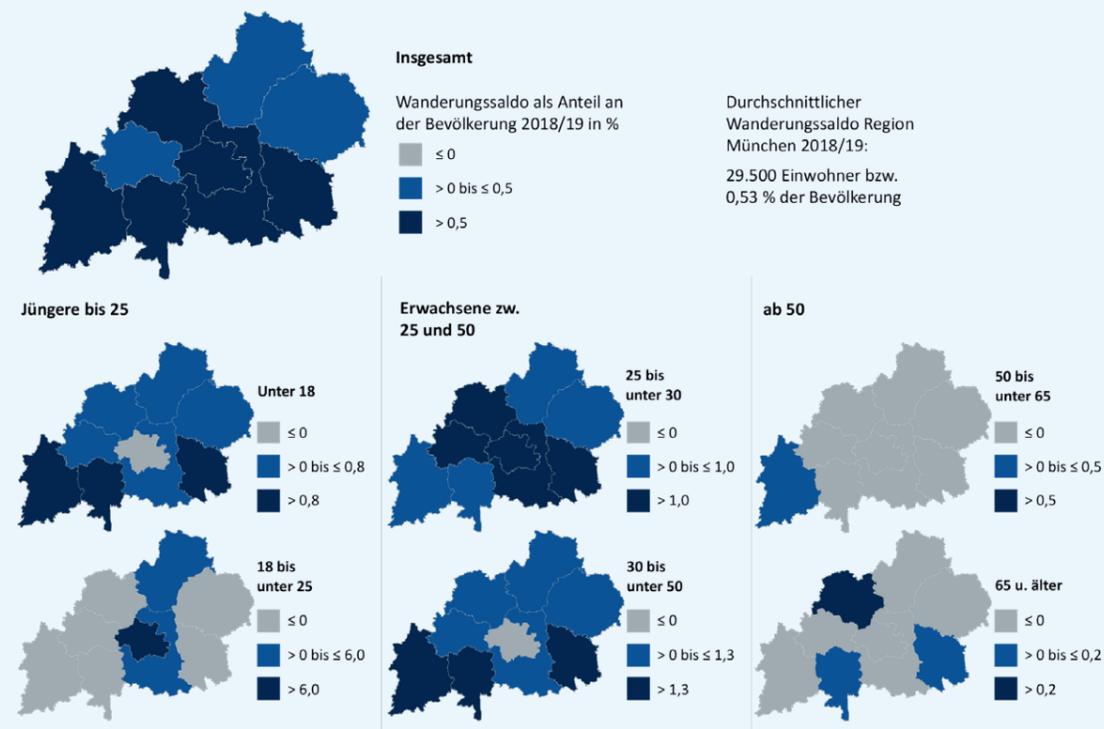
Kasten 18 Wanderungsverhalten im Großraum München

In den vergangenen Jahren seit 2011 war insbesondere der Großraum München von einer anhaltend hohen Zuwanderung geprägt. Zwischen 2011 und 2019 konnte die Planungsregion München 237.600 Einwohner*innen (Zunahme um 8,8 Prozent) gewinnen. Im Durchschnitt der Jahre 2018 und 2019 konnten alle Landkreise im Großraum München sowie die Stadt München im Saldo Wanderungsgewinne verzeichnen. Insgesamt wanderten 29.500 mehr Menschen zu, als die Region verließen (Abbildung 39).

Betrachtet man den Wanderungssaldo nach Altersklassen, zeigt sich ein stark differenziertes Bild des Wanderungsverhaltens.²³⁵ Abbildung 39 zeigt das Wanderungsverhalten von sechs Altersgruppen in der Region München. Die graue Einfärbung veranschaulicht jeweils einen negativen Wanderungssaldo (Fortzüge > Zuzüge), mit der blauen Einfärbung werden Wanderungsgewinne gekennzeichnet. Es wird deutlich, dass die Stadt München lediglich in den Altersgruppen zwischen 18 und 30 Jahren im Saldo Wanderungsgewinne verzeichnet. Familien mit Kindern, die Bauherrengeneration (30- bis 50-Jährige) und Senioren ziehen verstärkt aus der Stadt fort. Die Umlandkreise im ersten und zweiten Ring um die Landeshauptstadt verzeichnen insbesondere bei Familien Wanderungsgewinne, während insbesondere die Altersklasse der 50- bis unter 65-Jährigen und zum Teil auch Seniorinnen und Senioren aus dieser Region in andere Regionen wegziehen. Im Kontext der Corona-Pandemie hat sich das Wanderungsmuster mit einer verstärkten Verlagerung der Wohnraumnachfrage ins erweiterte Umland verschoben (siehe Abschnitt zu Stadt-Umland-Beziehungen).

235 Für das Jahr 2020 liegen noch keine Daten zur Wanderung nach Altersklassen vor. Die Jahre 2018/19 zeigen das Wanderungsverhalten vor der Corona-Pandemie.

Abbildung 39
Wanderungen nach Altersklassen in der Region München 2018/19
(Wanderungssaldo als Anteil an der jeweiligen Bevölkerungsgruppe 2018/19 in %)



Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik, eigene Darstellung Prognos 2021

Stadt-Umland-Beziehungen

Die Wanderungsmuster aus der Region München lassen sich auch auf andere Großstädte und ihr Umland übertragen. Gerade durch gestiegene Miet- und Kaufpreise in Großstädten ist bereits seit einigen Jahren zu beobachten, dass insbesondere Haushalte bzw. Familien mit erhöhtem Wohnflächenbedarf häufiger als noch Mitte/Ende der 2000er-Jahre aus der Stadt ins Umland ziehen, wo die Wohn- und Lebenshaltungskosten oftmals noch geringer sind. Hinzu kommen Faktoren wie ein höheres Sicherheitsgefühl und ein grünes Umland. Bei einer guten Verkehrs- und Infrastrukturanbindung kann zum Arbeitsplatz aus dem Umland in das Zentrum gependelt werden. Eine Erreichbarkeit zwischen 45 und 60 Minuten gilt dabei als hinnehmbare Distanz für Pendler, in der das Wohnen im Umland noch als attraktiv gilt.²³⁶

236 Brand eins, 2021; Handelsblatt, 2021

Auswirkungen durch Corona

Verstärkt werden diese Überschwappeffekte und der Trend zum Wohnen im Umland durch die Corona-Pandemie. Die Zunahme des Arbeitens im Homeoffice und die dadurch gestiegene Flexibilität sowie der Wunsch in der Corona-Pandemie nach mehr Platz und Grün sorgen dafür, dass die Bedeutung der Erreichbarkeit des (Büro-)Arbeitsplatzes abnimmt, die Präferenz und Wahl des Verkehrsträgers sich verschieben (weg vom ÖPNV und hin zum Pkw) und damit gerade auch kleinere und entferntere Umlandstandorte („3. Ring“)²³⁷ als Wohnstandorte zunehmend an Attraktivität gewinnen.²³⁸ Die Umfrage unter Unternehmen sowie Haushalten zeigt, dass die Wirtschaft von einer Verringerung der Präsenzzeiten im Büro ausgeht und auch rund ein Viertel der befragten Arbeitnehmenden in Zukunft überwiegend das autonome Arbeiten bevorzugt (Kapitel 07.3.2).

Einen ersten Hinweis auf Attraktivitätsgewinne des Umlands von Großstädten als Wohnstandort geben zudem die Mieten, die im zweiten Halbjahr 2020 in den Metropolen um 3,5 Prozent und in Gemeinden mit einer durchschnittlichen Fahrzeit von 45 bis 60 Minuten bis zum städtischen Arbeitsplatz um durchschnittlich 5,5 Prozent gegenüber dem Vorjahreszeitraum gestiegen sind.²³⁹ Gerade in Städten mit hohem Wohnraumdruck und geringer Flächenverfügbarkeit kann das Ausweichen in das entferntere Umland als Wohnstandort auch ein längerfristiges Muster darstellen, das sich auch nach der Pandemie fortsetzt. Voraussetzungen dafür sind eine gute Anbindung und Infrastruktur.

Ein erhöhter Zuzug, gerade von Familien, stellt kleinere und mittlere Umlandgemeinden vor die Herausforderung der Bereitstellung von Bildungs- und wohnortnaher Infrastruktur. Der Bedarf an Betreuungs- und Bildungsangeboten nimmt ebenso zu wie der Bedarf an Breitband und technischer Infrastruktur, die von den Kommunen bereitzustellen sind und teilweise Kapazitätserweiterungen und hohe Investitionskosten nach sich ziehen. Aus diesem Grund scheuen gerade kleinere Kommunen und Umlandgemeinden oftmals die Ausweisung weiterer Wohnbauflächen.²⁴⁰

237 Als „3. Ring“ werden in diesem Fall Standorte bezeichnet, die nicht direkt an eine Großstadt angrenzen, sondern Nachbarn der Standorte im erweiterten Speckgürtel einer Großstadt sind.

238 Handelsblatt, 2021; Erfahrungsberichte aus Gesprächen mit Vertreterinnen und Vertretern von Verbänden der Bau- und Wohnungswirtschaft im April 2021.

239 Handelsblatt, 2021. Erfasst wurden die Mieten in Berlin, Hamburg, München, Köln, Frankfurt, Stuttgart, Düsseldorf und Leipzig.

240 Erfahrungsberichte aus Gesprächen mit Vertreterinnen und Vertretern von Verbänden der Bau- und Wohnungswirtschaft im April 2021. Hinzu kommen Sorgen der „Überfremdung“ in kleinen Gemeinden und Vorbehalte gegenüber einen erhöhten Zuzug aus Ballungsräumen und Großstädten. Gerade für das Mehrfamilienhaussegment wird deshalb tendenziell kein Angebot geschaffen. Ein Beispiel für Sorgen von Bürgern bei der Ausweisung von neuem Bauland stellen die aktuellen Diskussionen in der Gemeinde Hohenbrunn südöstlich von München dar, in der Planungen für einen neuen Ortsteil angelaufen sind (u. a. Süddeutsche Zeitung, 2021).

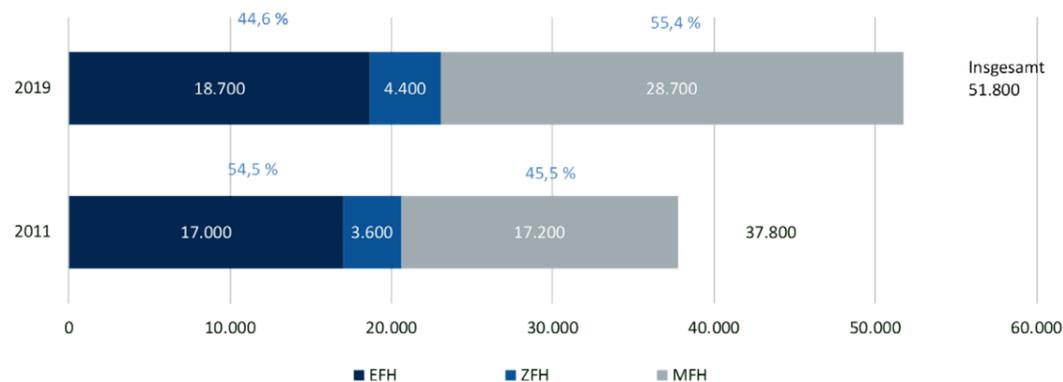


05.1.2 Entwicklung und Struktur des Wohnraumangebots in Bayern

Mit dem Anstieg der Bevölkerung und Haushalte in Bayern wurde auch das Wohnungsangebot kontinuierlich durch einen Anstieg der Fertigstellungen ausgebaut. Wurden 2011 noch knapp 37.800 Wohnungen neu errichtet, so waren es im Jahr 2019 bereits 51.700 neue Wohneinheiten (Abbildung 40).²⁴¹ Zwischen 2011 und 2018 stieg die Fertigstellungsintensität von 3,04 Wohnungen je 1.000 Einwohner*innen auf 4,06 an (Höchststand in 2017: 4,11). Gegen den Bundestrend sank die Intensität im Jahr 2019 geringfügig auf 3,94 Wohnungen je 1.000 Einwohner*innen ab. Der Freistaat liegt jedoch weiterhin deutlich über dem bundesweiten Durchschnitt von 3,08 fertiggestellten Wohnungen je 1.000 Einwohner*innen und erreicht eine der höchsten Fertigstellungsintensitäten unter den deutschen Flächenländern.

Die Zunahme der Fertigstellungen in Bayern wurde maßgeblich vom Mehrfamilienhaussegment getragen. Der Anteil der fertiggestellten Wohnungen in Mehrfamilienhäusern (MFH) an allen fertiggestellten Wohnungen ist von 45 Prozent im Jahr 2011 auf 55 Prozent im Jahr 2019 gestiegen (Abbildung 41). Insgesamt weist Bayern mit 51,4 Prozent einen leicht höheren Anteil von Ein- und Zweifamilienhäusern am gesamten Wohnungsbestand auf als der Bundesdurchschnitt (46,4 Prozent) (Kapitel 02.3). Dieser Anteil deckt sich mit der höheren Eigentümerquote sowie einem überdurchschnittlichen Anteil von ländlich geprägten Wohnungsmarktregionen im Freistaat.

Abbildung 40
Fertigstellungen von Wohnungen in Bayern in Wohngebäuden nach Segmenten 2011 und 2019



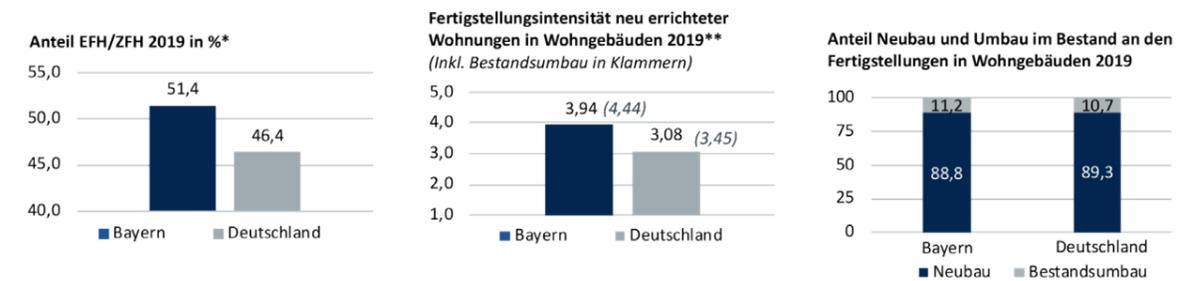
Quelle: Statistisches Bundesamts, 2021, eigene Darstellung Prognos 2021

Zu den neu errichteten Wohngebäuden kommen Bestandsumbauten (u.a. durch Umbau, Ausbau sowie Erweiterungsmaßnahmen)²⁴² hinzu, die das Wohnungsangebot erhöhen. In Bayern ist der Anteil der Bestandsumbauten an der gesamten Erweiterung des Wohnungsbestands von 9,4 Prozent im Jahr 2011 auf 11,2 Prozent im Jahr 2019 gestiegen. Damit lag der Anteil Bayerns etwas höher als im Bundesdurchschnitt (10,7 %) (Abbildung 41).

²⁴¹ Neu errichtete Wohnungen in Wohngebäuden (inkl. Wohnheime).

²⁴² Statistisches Bundesamt, 2021d: Zu Bestandsumbauten zählen Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden, die bauliche Veränderungen an bestehenden Gebäuden durch Umbau-, Ausbau-, Erweiterungs- oder Wiederherstellungsmaßnahmen bedeuten.

Abbildung 41
Übersicht über ausgewählte Indikatoren des Wohnungsangebots in Bayern im Vergleich zu Deutschland



*Anteil von Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern am gesamten Wohnungsbestand in Wohngebäuden. **Fertigstellungen je 1.000 Einwohner

Quelle: Statistisches Bundesamts, 2021, eigene Darstellung Prognos 2021

Angespannte Wohnungsmärkte

Die insgesamt hohe Fertigstellungsintensität in Bayern führt dazu, dass sich Angebot (320.000 Wohnungen) und Nachfrage (365.000 Haushalte) im landesweiten Durchschnitt relativ ähnlich entwickelt haben. Zwischen 2013 und 2019 wurden rechnerisch rund 36.000 Wohnungen zu wenig gebaut, um die gestiegene Nachfrage zu decken. Dies führt regional zu angespannten Wohnungsmärkten, von denen insbesondere starke Wirtschafts- und Zugzugsregionen betroffen sind. Die hohe Nachfrage und ein knappes Angebot führen dazu, dass gerade bezahlbarer Wohnraum²⁴³ in hohem Maß fehlt und die Miet- und Kaufpreise in Regionen mit angespannten Wohnungsmärkten überdurchschnittlich steigen.

Baugrundstücke

Gerade in (Groß-)Städten und Ballungsräumen sind erforderliche Baugrundstücke und Wohnbauland zur Angebotserweiterung besonders knapp geworden. Die Knappheit führt wiederum zu einem Auftrieb der Bodenpreise, der die Errichtung von neuem Wohnraum zusätzlich verteuert und Mieten steigen lässt.²⁴⁴ Im Durchschnitt des Freistaats sind Preise für baureifes Land zwischen 2011 und 2019 um rund 100 Euro pro Quadratmeter bzw. 46 Prozent gestiegen. In vielen Regionen und Großstädten mit einer hohen Zuwanderung haben sich die Bodenpreise in diesem Zeitraum sogar mehr als verdoppelt (u.a. Regierungsbezirk Oberbayern/Großraum München, Region Nürnberg, Regensburg, Ingolstadt, Augsburg).

Im Kontext von Stadt-Umland-Beziehungen kommt es auch in den Umlandgemeinden großer Städte zu einer zunehmenden Knappheit von Baugrundstücken. In den Regionen mit sinkender oder stagnierender Bevölkerung (u.a. Oberpfalz, Oberfranken) stiegen die Baulandpreise dagegen moderater um rd. 30 Prozent (u.a. Landkreis Amberg-Weilburg, Landkreis Tirschenreuth, Landkreis Forchheim) an bzw. stagnierten (u.a. Landkreis Bamberg, Landkreis Hof). In Einzelfällen kam es zu Preisrückgängen (u.a. Landkreis Kronach).²⁴⁵ Die weitere Entwicklung der Immobilienmärkte wird in Kapitel 05.1.4 dargestellt.

²⁴³ Die Bezahlbarkeit von Wohnraum wird in der Regel auf Basis des Haushaltseinkommens bewertet, wobei es keine einheitliche Abgrenzung und Definition des Begriffs gibt. Ein oft herangezogener Grenzwert, bis zu dem Wohnkostenbelastungen als grundsätzlich „bezahlbar“ angesehen werden, ist ein Drittel des Haushaltsnettoeinkommens (u.a. Pestel Institut, 2014).

²⁴⁴ Prognos, 2019b: Im Rahmen einer vereinfachten Modellrechnung wurde die Auswirkung höherer Bodenpreise auf die Miete berechnet. Je nach Wohnungsmarkttyp (A-, B-, C-Standorte) sowie Geschossflächenzahl variiert der Anteil der Grundstückskosten an den Gesamtkosten erheblich und führt zu unterschiedlichen Aufschlägen bei der Miete. Liegt beispielsweise die durchschnittliche Kaltmiete bei einem Bodenpreis von 450 Euro pro m² noch bei 9,70 Euro pro m², so steigt die Kaltmiete bei einem Bodenpreis von 1.120 Euro pro m² auf 10,80 Euro pro m² (Aufschlag von rd. 11 %).

²⁴⁵ Die Statistik der Kaufwerte für baureifes Land basiert auf den Verkaufsfällen eines Jahres, die nach Anzahl und Größe der veräußerten Flächen stark variieren können. Insbesondere bei kleineren Gebietskörperschaften können sich einzelne und größere Verkäufe relativ stark auf die durchschnittlichen Preise auswirken.

Gerade jüngere Generationen in Ballungsräumen mit hoher Wohnraumnachfrage stehen angesichts steigender Preise und Baukosten vor Herausforderungen des Erwerbs von Wohneigentum. Seit einigen Jahren ist ein deutlicher Anstieg der Relation von Einkommen und Kaufpreisen zu beobachten, vor allem in Großstädten. Damit werden Immobilien zwar tendenziell weniger erschwinglich, allerdings begünstigen niedrigere Zinsen zugleich den Immobilienkauf.²⁴⁶ Einer Erhebung des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) zur Folge mussten Haushalte für den Erwerb von selbstgenutztem Wohneigentum (inkl. Grundstücks-, Erschließungs- und Erwerbsnebenkosten) im Durchschnitt der Jahre 2012 bis 2017 etwa das 6-Fache ihres jährlichen Haushaltsnettoeinkommens aufbringen. In den Jahren 2008 bis 2011 war es das 5,2-Fache. In hochverdichteten Kernräumen hat sich das Verhältnis von 5,2 auf 7,5 verschlechtert. Familien mit Kindern mussten 6,6 Jahreseinkommen für ihre Immobilie aufbringen (2008 bis 2011: 5,3-Fach).²⁴⁷

Der Anstieg von Boden- und Immobilienpreisen sowie von Mieten ist vor allem Ausdruck der Entwicklung von Wohnraumangebot und -nachfrage. Zudem spielen das niedrige Zinsumfeld und die damit verbundene Flucht in Immobilien als vermeintlich sichere und gewinnbringende Anlageform eine Rolle (Kasten 3). Ferner waren die Preisanstiege in den vergangenen Jahren teilweise Ausdruck von Nachholeffekten, bedingt durch stagnierende oder rückläufige Preise in den Jahr(zehnt)en zuvor.

05.1.3 Exkurs: Regionale Wohnungsmarktspannungen und sozialer Wohnraum in Bayern

Regionale Wohnungsmarktspannungen in Bayern

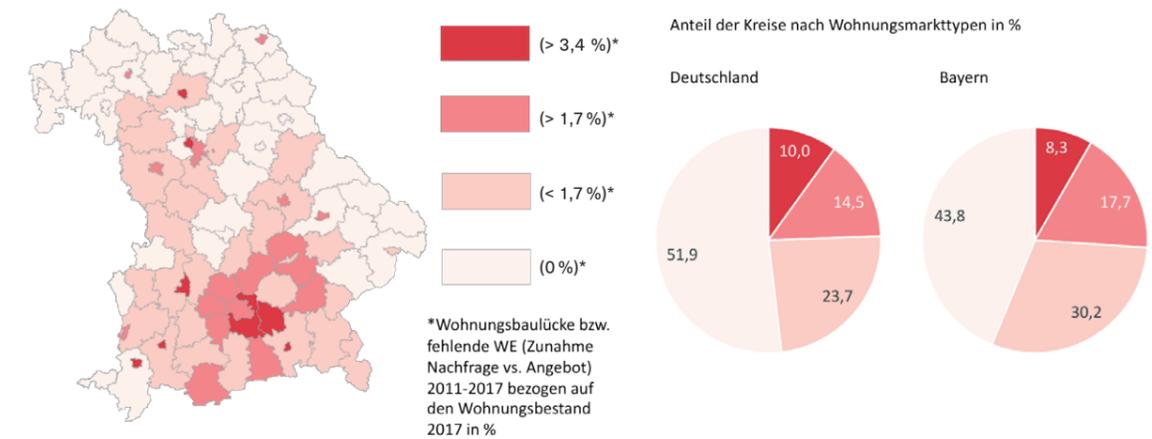
Die regionalen Unterschiede der bayerischen Wohnungsmärkte wurden 2019 auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte im Prognos Immobilienatlas untersucht. Abbildung 42 zeigt die aufgelaufene Wohnungsbaulücke in den Jahren 2011 bis 2017 bezogen auf den regionalen Wohnungsbestand und damit die regionale Entwicklung von Angebot und Nachfrage von Wohneinheiten (WE).

Im Vergleich zu Deutschland wird deutlich, dass Bayern einen höheren Anteil von Regionen mit angespannten Wohnungsmärkten aufweist. In Bayern übersteigt in 54 der 96 Städte und Landkreise die zunehmende Nachfrage die Angebotserweiterungen (das sind 56 Prozent, in Deutschland sind es 48 Prozent). Insbesondere im Großraum München sowie in Universitäts- und Hochschulstädten (u. a. Augsburg, Regensburg, Rosenheim, Kempten, Bamberg) sind die Wohnungsmärkte deutlich angespannt. Daneben gibt es auch Teilregionen (z. B. in der Oberpfalz und in Oberfranken), in denen die Baufertigstellungen höher ausfallen als die Zunahme der Wohnbevölkerung. In diesen Regionen besteht zwar ein rechnerischer Überhang an Wohnraum. Der Überhang kann sich aber durch Verschiebungen in der regionalen Wohnraumnachfrage, die unter anderem durch Preisdifferenzen ausgelöst werden können, in Teilen ausgleichen. Perspektivisch gilt es in diesen Regionen Wohnraumerweiterungen bedarfsgerecht im Kontext der zukünftigen Nachfrageentwicklung zu errichten (Kapitel 05.1.4).

²⁴⁶ z. B. IVD-Erschwinglichkeitsindex

²⁴⁷ BBSR, 2019b

Abbildung 42
Typisierung der Wohnungsmärkte nach Wohnungsbaulücke 2011–2017 in Bayern gemäß Prognos Immobilienatlas 2019



Quelle: Prognos, 2019a

Sozialer Wohnraum in Bayern

Der soziale Wohnraum in Deutschland und Bayern hat sich in den vergangenen Jahren durch ein zunehmendes Auslaufen von Wohnungsbeständen aus der Preisbindung wie auch aufgrund einer geringen Neubautätigkeit sowie geringen Aktivierung und Förderung von Beständen in diesem Segment deutlich reduziert. Zwischen 2002 und 2018 ging der Bestand von Sozialwohnungen in Deutschland von 2,47 Mio. Wohneinheiten (WE) um 52,4 Prozent bzw. 1,29 Mio. Wohneinheiten auf rd. 1,18 Mio. zurück. Neben dem Auslaufen von Preis- und Belegungsbindungen fiel angesichts der demografischen Entwicklung auch der Neubau in diesem Zeitraum deutlich zurück. Sozialwohnungen können von Personen und Haushalten mit geringeren Haushaltseinkommen bewohnt werden. Voraussetzung dafür ist ein Wohnberechtigungsschein.²⁴⁸

Mit 136.900 preisgebundenen Wohnungen entfielen 2018 rd. 11,6 Prozent des bundesweiten sozialen Wohnungsbestands auf den Freistaat Bayern. Am bayerischen Wohnungsmarkt machen preisgebundene Wohnungen damit einen Anteil von 2,2 Prozent aus. Bezogen auf die Bevölkerung entfallen bundesweit 14,2 Mietwohnungen mit Preisbindung auf 1.000 Einwohner, in Bayern liegt dieser Wert bei 10,2. Zwischen 2003 und 2018 gingen die Bestände auch in Bayern deutlich zurück – um fast 43 Prozent (102.700 Wohneinheiten). Beim Neubau konnte der Freistaat seit 2016 eine deutliche Trendwende verzeichnen. Wurden im Zeitraum 2011 bis 2015 noch durchschnittlich jährlich rd. 1.450 preisgebundene Mietwohnungen errichtet, konnte das Niveau auf rund 5.300 Wohnungen p. a. im Zeitraum 2016 bis 2019 gesteigert werden. Die Fertigstellungen übertreffen damit auch die Zahl der aus der Preisbindung fallenden Wohnungen, sodass der Bestand an sozialem Wohnraum im Freistaat gegen den Bundestrend wieder leicht angestiegen ist.

²⁴⁸ Die Einkommensgrenzen für die Ausstellung eines Wohnberechtigungsscheins werden von den Ländern festgesetzt. In Bayern gilt für Alleinstehende ein Jahresnettoeinkommen von 14.000 Euro. Für zwei Personen liegt die Grenze bei 22.000 Euro des gemeinsamen Jahresnettoeinkommens (vgl. Angaben des Freistaats Bayern, abrufbar unter: <https://www.freistaat.bayern/dokumente/leistung/973534974443>). Es ergibt sich allerdings kein automatischer Anspruch auf eine Sozialwohnung durch die Ausstellung eines Wohnberechtigungsscheins.

05.1.4 Zukünftige Entwicklung der Wohnungsnachfrage in Bayern sowie übergreifende Herausforderungen der Angebotserweiterung

Zukünftige Entwicklung der Wohnungsnachfrage in Bayern

Anknüpfend an die Ex-post-Betrachtung der Entwicklung der Wohnungsnachfrage in Bayern (Kapitel 05.1.1) werden in diesem Kapitel die zukünftige Entwicklung der Wohnungsnachfrage sowie daraus resultierende Herausforderungen für das Wohnraumangebot dargestellt.

Wie die Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern (Kapitel 02.1.2) deutlich macht, wird die Wohnungsnachfrage im Freistaat auch in den kommenden Jahren bis 2039/40 weiter zunehmen. Gegen den Bundestrend wird der Freistaat weiter an Bevölkerung gewinnen bzw. diese stabil halten können (Kapitel 02.1.2). In den kommenden Jahren bis 2025 wird die Bevölkerung auf insgesamt 13,29 Mio. Einwohner*innen steigen (Zunahme um 168.000 Einwohner*innen bzw. 1,3 Prozent gegenüber 2019). Aufgrund des Trends hin zu kleineren Haushaltsgrößen, der auch in Zukunft anhalten wird, nehmen die Haushalte und damit die eigentliche Wohnungsnachfrage in Bayern dabei dynamischer zu als die Bevölkerung. Im Bund wird trotz einer sinkenden Bevölkerung noch von steigenden Haushaltszahlen bis zum Jahr 2040 ausgegangen (Kapitel 02.1.1). Das Statistische Bundesamt geht in seiner Haushaltsvorausberechnung aus dem Jahr 2020 von rd. 6,91 Mio. privater Haushalte im Jahr 2040 in Bayern aus (Variante Trend). Das würde einen Anstieg von rd. 6,6 Prozent gegenüber dem Jahr 2019 bedeuten (Zunahme um rd. 430.000 Haushalte). Allein bis zum Jahr 2025 nehmen die Haushalte um 216.000 bzw. 3,4 Prozent gegenüber 2019 zu (bis 2030 Zunahme um 318.000 Haushalte bzw. 4,9 Prozent). Der Bedarf an zusätzlichem Wohnraum in Bayern bis 2025 wird demnach näherungsweise bei rd. 215.000 Wohnungen liegen (rd. 315.000 WE bis 2030), die im Zuge von Fertigstellungen im Neubau und in Bestandsumbauten bereitgestellt werden müssen.²⁴⁹

Die regionale Verteilung der Wohnungsnachfrage wird dabei deutlich variieren. Die regionalisierte Bevölkerungsvorausrechnung für den Freistaat zeigt auf Ebene der Landkreise und kreisfreien Städte erhebliche Unterschiede. Innerhalb Bayerns werden Regionen wie Oberbayern und Schwaben weitere Bevölkerungszunahmen verzeichnen, während die Bevölkerung in Regionen wie Oberfranken oder Teile Unterfrankens und der Oberpfalz deutlich abnehmen wird.²⁵⁰ Übertragen auf die Wohnungsnachfrage bedeutet das, dass es neben weiter wachsenden Regionen mit steigender Nachfrage und Wohnraum auch Regionen mit stagnierender oder sinkender Wohnraumnachfrage geben wird, in denen es dann zu Wohnungsleerständen kommen kann.

Übergreifende Herausforderungen: Worauf kommt es bei der zukünftigen Entwicklung der Wohnungsmärkte in Bayern an?

Neben der quantitativen Entwicklung der (regionalen) Wohnungsnachfrage werden sich in Zukunft auch die qualitative Anforderungen an den Wohnraum verändern. Die folgenden Aspekte zeigen neben Trends und Anforderungen von Nutzer*innen auch übergreifend die daraus resultierenden Herausforderungen für die Entwicklung der bayerischen Wohnungsmärkte auf:

- Vor dem Hintergrund variierender regionaler Nachfrageentwicklungen kommt es in Zukunft auf die richtige und bedarfsorientierte Steuerung bei der Erweiterung des Wohnungsbestands an. Einem erheblichen Wohnraumbedarf in einigen Regionen (bedarfsorientierte Angebotserweiterung) stehen zukünftig erhebliche Leerstände in anderen Regionen (Rückbau, Vermeidung von weiteren Leerständen, Attraktivitätsverlust Ortskerne) gegenüber. Im Hinblick auf die zukünftige Angebotserweiterung gilt es, demografische Wendepunkte vorausschauend in den Blick zu nehmen und mögliche Angebotserweiterungen daran auszurichten. Für Gemeinden mit stagnierender und rückläufiger Nachfrage steht darüber hinaus die Sicherung der wohnortnahen Infrastruktur und Zentrenstruktur im Fokus der zukünftigen Entwicklung, um die Attraktivität als Wohnstandort zu erhalten.
- Die fortschreitende Alterung der Gesellschaft steigert die Nachfrage nach mehr barrierefreiem und altersgerechtem Wohnraum im städtischen, aber auch im ländlichen Raum. Der Wunsch der Mehrheit der Bevölkerung, im Alter möglichst lange in den eigenen vier Wänden zu leben, erhöht sowohl den Bedarf an barrierefreiem Neubau als auch insbesondere den Bedarf für altersgerechte Wohnraumanpassung durch Umbaumaßnahmen (u.a. Rampen, Beseitigung von Schwellen und Stufen, Assistenzsysteme).
- Die Reduzierung der durchschnittlichen Haushaltsgröße steigert die Nachfrage nach mehr kleineren Wohnungseinheiten. Im Hinblick auf hohe Miet- und Kaufpreise erhöht sich der Bedarf an kleineren Wohnungseinheiten, die jedoch flexible Grundrisse besitzen und leichter an sich ändernde Bedarfe der Nutzer*innen angepasst werden können. Durch eine flexible Planung von Grundrissen kann der Wohnraum an die jeweilige Lebenssituation angepasst werden (u. a. Einrichtung eines Arbeitszimmers, wenn Kinder ausziehen). Hilfreich ist dabei, wenn bei der Planung Aufenthaltsräume mit etwa der gleichen Größe angelegt werden, die durch mobile oder leichte Wände voneinander getrennt und bei Bedarf zusammengelegt werden können. Aus zwei Kinderzimmern kann so z. B. ein größerer Wohnraum entstehen. Auch einzelne Wandöffnungen bieten die Möglichkeit zur flexiblen Anpassung des Wohnraums. Wird darüber hinaus bei der Planung eines zwei geschossigen Hauses bereits berücksichtigt,

dass sich die Treppe im Eingangsbereich befindet, kann bei einer Verkleinerung des Haushaltes nach Auszug der Kinder leicht eine zweite separate Wohnung geschaffen werden (siehe hierzu auch Kasten 27, der neue Bau- und Wohnformen adressiert).

- Vor dem Hintergrund hoher Bodenpreise und dem Ziel einer geringeren Flächeninanspruchnahme kommt stärker verdichteten Bauweisen und der Erhöhung der baulichen Dichten (GRZ (Grundflächenzahl) und GFZ (Geschossflächenzahl)) in Zukunft eine besondere Bedeutung zu. Die Bauwirtschaft, Investoren und auch Kommunen sind gefordert, auch mit weniger Flächen eine attraktive Nutzungsmischung und Quartiersentwicklung voranzutreiben. Eine Stärkung des Mehrfamilienhaussegments und mehrgeschossiger Bauweisen auch in kleineren Gemeinden kann dazu beitragen, die zukünftige Wohnungsnachfrage bedarfsgerecht zu decken. Um Folgekosten für Infrastruktur und Daseinsvorsorge geringer zu halten und einer zusätzlichen Zersiedlung entgegenzuwirken, stehen im urbanen Raum insbesondere Nachverdichtungen und Arrondierungen der Siedlungsflächenentwicklung, orientiert an der Zentrenstruktur, ÖPNV-Haltestellen sowie Verkehrsknotenpunkten, im Fokus der Bestandserweiterung (zur Entwicklung neuer Flächennutzungskonzepte siehe auch Kapitel 02.4).
- Im Kontext der Klimawandelfolgen gilt es bei der zukünftigen Bestandserweiterung neben der versiegelten Fläche (Risiken vor Überschwemmungen bei Starkregen) auch Folgen für das Stadtklima (u. a. Gefahr von „Hitzeinseln“) bei der Standortwahl zu berücksichtigen (Kapitel 03.2.1).

05.2 Bürokratie und Regulierung

Für die Zukunft des Bauens und Planens ist die Weiterentwicklung und Vereinfachung von Planungsverfahren und Regulierung sowie von technischen und energetischen Vorgaben ein entscheidender Hebel. Vor dem Hintergrund steigender Baukosten bei gleichzeitig wachsendem Bedarf nach (bezahlbarem) Wohnraum ist es dabei besonders wichtig, Voraussetzungen für kostengünstiges Bauen zu schaffen und überproportionale Preis- und Kostenentwicklungen zu vermeiden – ohne jedoch Abstriche bei Nachhaltigkeitsaspekten zu machen. So ist die Zahl der Haushalte in Bayern im Zeitraum 2011 bis 2019 um 6,2 Prozent gewachsen. Seit 2015 sind zudem die Baupreise für Wohngebäude in Bayern um durchschnittlich 17 Prozent angestiegen (Kapitel 5.1).

Eine zentrale Herausforderung liegt darin, dass teilweise Regulierungen und Vorgaben sowie Verfahrensverzögerungen mit Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Nutzen unverhältnismäßig erscheinen, sodass Bürokratie und Regulierungen immer wieder als Bremse für die zeitnahe Realisierung und Fertigstellungen von benötigten Gebäuden sowie zukunftsfähiges Bauen wahrgenommen werden. So ergab eine Mitgliederbefragung des Verbands Bayerischer Wohnungsunternehmen, dass für 73 Prozent der befragten Unternehmen Verordnungen und Regelwerke ein Hindernis für den Wohnungsbau darstellen.²⁵²

²⁴⁹ Statistisches Bundesamt, 2020f. Die zugrunde gelegte Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes (14. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung) fällt gegenüber der Vorausberechnung des Bayerischen Landesamtes für Statistik bis 2039/40 jedoch etwas geringer aus. Die hier angegebenen Daten der Entwicklung der Wohnhaushalte und damit der zusätzlichen Wohnungsnachfrage stellen somit tendenziell eher den unteren Rand der zukünftigen Entwicklung im Freistaat dar.

²⁵⁰ Bayerisches Landesamt für Statistik, 2020b

²⁵¹ Seit 2015 sind die Baupreise für Wohngebäude in Bayern durchschnittlich um 17 Prozent gestiegen. Dem steht eine Entwicklung des Verbraucherpreisindex von 6,3 Prozent gegenüber. In Einzelfällen, insb. bei langjährigen Bestandsmieten (private Vermieter), bewertet das Finanzamt Mieten als zu günstig („Liebhabelei“) und erkennt beispielsweise Instandhaltungskosten des Vermieters bei der Steuererklärung nicht an. Dies kann zur Verhinderung von günstigen bzw. bezahlbaren Mieten führen.

²⁵² Verband bayerischer Wohnungsunternehmen, 2020

Die Politik auf Bundes- und Länderebene hat das Handlungsfeld des Bürokratieabbaus hinsichtlich der grundsätzlichen Bedeutung und Relevanz erkannt. So hat die Baukostenenkommision im Jahr 2015 erste Vorschläge erarbeitet, um Bürokratielasten im Bereich Planen und Bauen abzubauen. Ein zentraler Hebel liegt dabei im Bereich Digitalisierung (Kapitel 05.2.4). Auch die Bayerische Staatsregierung hat mit der Position des Beauftragten für Bürokratieabbau eine zentrale Anlaufstelle geschaffen, um Bürokratielasten und von Baukosten sind zudem zentrale Ziele der Novellierung der Bayerischen Bauordnung, die am 01. Februar 2021 in Kraft getreten ist. Diesen Zielen wurde unter anderem Rechnung getragen durch die Einführung einer Genehmigungsfiktion, einer Typengenehmigung, der Reduzierung von Abstandsflächen sowie der genehmigungsfreien Nutzungsänderung von Dachgeschossen zu

Wohnzwecken. Nicht zuletzt werden digitale Bauanträge zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren in Bayern im Rahmen von Pilotprojekten in fünf unteren Bauaufsichtsbehörden vorangetrieben.

In Abbildung 43 werden ausgewählte zentrale und relevante Belastungsbereiche hinsichtlich Bürokratie und Regulierungen im Bereich Planung und Bauen dargestellt. Als Belastung werden vornehmlich solche Effekte von Regulierung und von Bürokratie bewertet, die entweder vermeidbare Kosten bewirken (u.a. Mindereinnahmen und Opportunitätskosten,²⁵³ Kosten der Unsicherheit, Bauablaufstörungen) oder innovative und notwendige Entwicklungen im Bereich Planen und Bauen (u.a. Nachverdichtung/Innenentwicklung und innovative Quartiersentwicklung, serielles Bauen und Sanieren) erschweren und verhindern.

Abbildung 43
Auswahl von Themenfeldern mit beispielhaften Belastungen durch Bürokratie und Regulierung im Bereich Planen und Bauen



Quelle: Eigene Darstellung Prognos 2021

²⁵³ Als Opportunitätskosten werden entgangener Nutzen oder Gewinn bezeichnet. Im Kontext von Bürokratie und Regulierung für das Planen und Bauen können Opportunitätskosten beispielsweise durch die Vorgabe von geringeren baulichen Dichten entstehen, die die Potenziale des Grundstücks nicht ausnutzen.

05.2.1 Verwaltungsstrukturen

Das Bauplanungs- und Bauordnungsrecht in Deutschland unterliegt einem komplexen Zuständigkeitsgeflecht aus Bund, Ländern und Kommunen im Rahmen der föderalen Zuständigkeit und des Verwaltungsaufbaus. So hat der Bund die Hoheit über das Bauplanungsrecht (BauGB), die Länder über das Bauordnungsrecht mit eigenen Landesbauordnungen und die Kommunen haben die Hoheit über die Ausgestaltung und Umsetzung der Bauleitplanung. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die verschachtelte Verwaltungsstruktur und die damit einhergehenden teils langwierigen Verwaltungsprozesse mit den Bedarfen und Anforderungen von Unternehmen als Bauherren und Investoren im Kontext schneller werdender Investitionszyklen nicht immer zusammenpassen. Insbesondere die unterschiedlichen und abweichenden Landesbauordnungen in den Ländern stellen für bundesweit tätige und internationale Investoren oftmals ein Hindernis dar.

Der Aufbau der Landesbauordnungen (inkl. der bayerischen) basiert zwar auf der Musterbauordnung der Bauministerkonferenz, inhaltlich unterscheiden sich die Gesetzestexte aber teilweise erheblich voneinander. Somit können einerseits länderspezifische Besonderheiten, unter anderem hinsichtlich traditioneller Baustile, Abstandsregelungen oder Verfügbarkeit von Bauland, berücksichtigt werden. Auch hier bietet die Digitalisierung bislang textbasierter Regelwerke Potenziale einer Vereinfachung in Form von regelbasierten Planprüfungen (Kapitel 05.2.4). Andererseits werden serielles Bauen (Kapitel 06.2.4.2) und für die Bauwirtschaft erforderliche Standardisierungen im länderübergreifenden Kontext erschwert und die Rüstkosten für Bauherren und Planer*innen erhöhen sich teilweise zusätzlich. Die Baukostenenkommision hat daher im Rahmen des Maßnahmenpakets Baukostenenkommision eine stärkere Harmonisierung der Landesbauordnungen im Sinne einer Vereinheitlichung entsprechend der Musterbauordnung vorgeschlagen.²⁵⁴

Im Freistaat Bayern ist die Bauaufsichtsbehörde in einem dreistufigen Aufbau mit 138 unteren Bauaufsichtsbehörden sowie sieben höheren Bauaufsichtsbehörden in den Bezirksregierungen und der obersten Bauaufsichtsbehörde (OBB) strukturiert. Die OBB ist beim Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr angesiedelt. Angesichts der Fläche und Einwohnerzahl des Freistaats Bayern ist die Anzahl der unteren Bauaufsichtsbehörden mit 138 vergleichsweise überschaubar.²⁵⁵ Erfahrungen zeigen, dass gerade in kleineren Baurechtsbehörden bei komplexeren Genehmigungsverfahren und seltenen Sonderbauten vermeidbare Verzögerungen im Verfahrensablauf auftreten. Denn vor allem kleine Baurechtsbehörden stehen vor Herausforderungen, die sich aus Personalengpässen und fehlendem Erfahrungswissen bei komplexen Bauvorhaben ergeben.²⁵⁶

05.2.2 Öffentlichkeits- und Bürgerbeteiligung

Bei der Planung und Umsetzung von überregional wirksamen Bauvorhaben wie beispielsweise Stromtrassen ist eine hohe Öffentlichkeitsbeteiligung durch die Instrumente der Raumordnung (Raumordnungsverfahren) und durch die Verwaltungsverfahren (Planfeststellungsverfahren) verankert. Somit wird demokratische Partizipation sichergestellt und die Interessen aller Beteiligten sowie Anwohner*innen können berücksichtigt werden. Jedoch können gerade formelle Bürgerbeteiligung und Anhörungen der Träger öffentlicher Belange die Planung und Umsetzung bisweilen durch eine hohe Zahl von Stellungnahmen und Eingaben maßgeblich verzögern. Dies geht bis hin zur Anfechtung von Baugenehmigungen vor Verwaltungsgerichten. Werden gerichtliche Entscheidungen über mehrere Instanzen getragen und/oder Bautätigkeiten trotz rechtskräftiger Urteile behindert, kann es zu erheblichen Verzögerungen kommen. Vor diesem Hintergrund gewinnt das Thema der Akzeptanz von Bauvorhaben erheblich an Bedeutung. Besonders eine frühzeitige und transparente Kommunikation kann dazu beitragen, Widerstände und fehlende Akzeptanz abzubauen und unverhältnismäßigen Einwänden und Verzögerungen (u.a. Einsatz von

²⁵⁴ BBSR / BMI, 2019

²⁵⁵ So beläuft sich beispielsweise die Anzahl der unteren Baurechtsbehörden in Baden-Württemberg auf 207 Behörden.

²⁵⁶ Normenkontrollrat Baden-Württemberg / Prognos, 2020

²⁵⁷ Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung, 2020

Rechtsmitteln) vorzubeugen.²⁵⁷ Potenziale für Prozessbeschleunigung bietet beispielsweise die Einbindung der Öffentlichkeit und Visualisierung und Präsentation von Baumaßnahmen anhand digitaler 3D-BIM-Modelle. Dies macht die Maßnahmen und Projekte für die Öffentlichkeit und kommunalen Entscheidungsträger verständlicher, erlebbarer und transparenter.

Dabei zeigt sich vielerorts das Phänomen, dass vor allem große Infrastrukturprojekte (wie die „Energiewende“ als solche oder der Ausbau erneuerbarer Energien oder verkehrliche Entlastung) grundsätzlich begrüßt werden, die konkrete Umsetzung des Infrastrukturprojekts in räumlicher Nähe zum eigenen Wohnort hingegen nicht. Diese Haltung wird mit dem Begriff NIMBY bezeichnet (englisch: „not in my backyard“ – „nicht in meinem Hinterhof“). Um Planen und Bauen zu beschleunigen, hat der Bundestag im November 2020 den Gesetzesentwurf zur Beschleunigung von Investitionen angenommen. Der Gesetzesentwurf zielt vornehmlich darauf ab, Investitionen im Verkehrs- und Energiebereich effizienter zu gestalten und Planungs- und Genehmigungsverfahren zu verkürzen. Gerade im Hinblick auf den Ausbau von kritischer Infrastruktur kann ein zügiger Ausbau von großer Bedeutung sein. Besonders überregional wichtige Infrastrukturprojekte sollen beschleunigt werden. Nach Genehmigung durch die zuständige Behörde kann demnach sofort gebaut werden und die aufschiebende Wirkung von Widersprüchen oder Anfechtungsklagen bei überregional wichtigen Infrastrukturprojekten entfällt.²⁵⁸

Kasten 19 Gigafactory in Grünheide

Ein aktuelles und prominentes Beispiel dafür, wie die schnelle Umsetzung eines Bauvorhabens trotz teils erheblicher Widerstände gestaltet werden kann, bietet die Tesla Gigafactory in Grünheide in Brandenburg. Dort sollen etwa zwei Jahre nach Antragsstellung bereits erste Fahrzeuge produziert werden. Dabei wurden im Rahmen einer mehrtägigen Anhörung Ende September 2020 über 400 Einwände von Trägern öffentlicher Belange und der Öffentlichkeit gegen das Bauvorhaben vorgebracht. Obwohl bis heute noch keine Baugenehmigung vorliegt, baut Tesla auf Basis vorzeitiger Zulassungen für einzelne Arbeitsschritte auf eigenes Risiko bereits seit Frühjahr 2020. Zwar wurde im März 2021 ein 17-tägiger Baustopp gegen Tesla verhängt. Inzwischen laufen die Bauarbeiten aber wieder und im Ergebnis ist die Gigafactory etwa 16 Monate später trotz Corona-Pandemie zu etwa zwei Dritteln fertiggestellt. Der hohe politische Rückhalt (Landesregierung Brandenburg, Landkreis Oder-Spree sowie Gemeinde Grünheide) sowie die Risikobereitschaft des Bauherren haben augenscheinlich zu einer schnellen Umsetzung beigetragen. Es bleibt abzuwarten, wie sich die Akzeptanz für das Bauvorhaben vor diesem Hintergrund im längerfristigen Kontext entwickelt. Die Übertragbarkeit des Beispiels Grünheide auf andere Bauprojekte ist dabei gleichwohl als begrenzt einzuschätzen. Denn nicht jeder Bauherr kann sich in vergleichbarer Weise ins Risiko begeben wie Tesla bzw. bringt ein vergleichbares wirtschaftspolitisches Gewicht mit. Hinzu kommt der besondere Umstand, dass für das Gewerbegebiet in Grünheide durch eine um die Jahrtausendwende geplante und letztlich nicht erfolgte BMW-Ansiedlung bereits umweltrechtliche Vorarbeiten sowie bauplanungsrechtliche Konzeptionen erarbeitet worden waren und vorlagen. Dies hat zu einer erheblichen Verfahrensbeschleunigung beigetragen.

Zuletzt war es durch die Corona-Pandemie erheblich erschwert, die Träger öffentlicher Belange zu persönlichen Sitzungen in laufenden Planungsprozessen zusammenzubringen. Es zeigte sich, dass erfahrungsgemäß Lösungen möglicher Konflikte in persönlichen Sitzungen vor Ort

schneller erreicht werden können. Da digitale Sitzungen das persönliche Zusammenkommen in dieser Hinsicht nicht vollständig ersetzen, sei es in Einzelfällen zu Verzögerungen gekommen.²⁵⁹

²⁵⁸ Verkehrsrundschau, 2020

²⁵⁹ Erfahrungsberichte aus Gesprächen mit Vertreterinnen und Vertretern von Verbänden der Bau- und Wohnungswirtschaft im April 2021

05.2.3 Genehmigungsverfahren

Eine weitere Ursache für Bürokratiebelastung im Kontext steigender Baukosten sind langwierige Planungs- und Genehmigungsverfahren, die nicht nur die Planbarkeit erschweren, sondern auch zur Kostensteigerung im Neubau und Bestandsumbau beitragen. Aus Investorensicht sind lange Planungs- und Genehmigungsverfahren eine zentrale Belastung. Eine Erhebung des Statistischen Bundesamts aus dem Jahr 2015 zeigt, dass der größte Kritikpunkt beim Umgang von Unternehmen mit Bauaufsichtsbehörden die Verfahrensdauer betrifft, gefolgt von fehlenden Informationen zu Verfahrensschritten.²⁶⁰ Eine Umfrage unter Mitgliedern des Verbands bayerischer Wohnungsunternehmen 2018 bestätigt, dass bei den 471 Mitgliedern des Verbands bayerischer Wohnungsunternehmen (VdW) von der Projektplanung bis zum Gebäudebezug durchschnittlich drei Jahre verstreichen. Ein Drittel der Befragten gab eine Bauzeit von vier Jahren an.²⁶¹ Zudem wurden Investitionen auch durch Verfahrensschwierigkeiten verhindert.²⁶²

Mindereinnahmen

Verzögerungen können Mindereinnahmen wie beispielsweise Mietausfälle oder auch Bauablaufstörungen mit sich bringen. Sie erschweren zudem die Planbarkeit, beispielsweise hinsichtlich der Preisgestaltung von Bauvorhaben. Wenn kaum abzuschätzen ist, wann der Bau fertiggestellt werden kann oder ob überhaupt eine Genehmigung erfolgt, können weder Kosten noch Preise abschließend kalkuliert werden. Im Wohnungsbau werden die damit verbundenen Kostensteigerungen in der Folge entweder auf die Mieten bzw. Kaufpreise umgelegt oder sie erhöhen die Investitionskosten und Amortisationszeiträume und mindern die Kalkulation und Margen der ausführenden Firmen.

Personalengpass

Eine zentrale Ursache für die Verzögerung von Genehmigungsverfahren ist darin zu sehen, dass viele Baurechtsbehörden zunehmend Schwierigkeiten haben, Stellen passend zu besetzen, und folglich einen Personalengpass aufweisen. So sind die Behörden zum einen mit Renteneintritten der „Babyboomer-Generation“ konfrontiert, während zugleich die jungen Fachkräfte mit einschlägiger Qualifikation teilweise attraktivere Jobchancen mit guten Verdienstmöglichkeiten bei Baufirmen, Ingenieurbüros oder in der Industrie finden. Die Verwaltung hat es entsprechend schwer, ausreichend qualifizierte Absolventinnen und Absolventen für sich zu gewinnen. In einzelnen Behörden machen sich auch Einsparungen der letzten Jahre bemerkbar. Vielerorts steigt zugleich die Zahl der Bauanträge und Baugenehmigungen sowie die Komplexität der Bauvorhaben mit immer mehr Mehrfamilienhäusern, Sonderbauten oder anderen innovativen Bauvorhaben wie beispielsweise Holzbauweisen. Diese erfordern erfahrungsgemäß (künftig) mehr personelle Ressourcen und verschärfen Personalengpässe in vielen Baurechtsbehörden.

²⁶⁰ Statistisches Bundesamt, 2015

²⁶¹ Verband bayerischer Wohnungsunternehmen, 2018

²⁶² Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2016

²⁶³ Erfahrungsberichte aus Gesprächen mit Vertreterinnen und Vertretern von Verbänden der Bau- und Wohnungswirtschaft im April 2021

Zudem zeigen Erfahrungen aus der Praxis, dass Ermessensspielräume besonders in Bereichen, die Leib und Leben betreffen (u. a. Brandschutz, Schallschutz), meist von den Genehmigungsbehörden nicht ausgenutzt werden. Die Erfahrung zeigt vielmehr, dass Absicherungstendenzen bei den Genehmigungsbehörden dazu führen, dass viele Fachgutachten eingeholt werden, deren Forderungen seitens der Genehmigungsbehörden nicht immer hinterfragt werden und teilweise das rechtlich erforderliche Maß überschreiten.²⁶³ Im Ergebnis entstehen teils vermeidbare Kosten und Verzögerungen.

Genehmigungsfiktion

Die Beschleunigung von Genehmigungsverfahren ist ein zentrales Ziel der Novelle der Bayerischen Bauordnung, die am 01. Februar 2021 in Kraft getreten ist. Ein Kernpunkt der Novelle ist die sogenannte Genehmigungsfiktion. Wenn Bauaufsichtsbehörden nach Ablauf einer Frist von drei Monaten keine Entscheidung über Bauanträge gefällt bzw. sich nicht gemeldet haben, gilt die Genehmigung demnach als erteilt. Die Frist beginnt drei Wochen nach Zugang des vollständigen Bauantrags. Fraglich ist hingegen, ob angesichts von Personalmangel in den (unteren) Baurechtsbehörden durch die Genehmigungsfiktion eine echte Beschleunigung von Genehmigungsverfahren erreicht werden kann. Denn der Hinweis auf (mögliche) Fehler oder Mängel im Bauantrag genügt, um das Eintreten der Genehmigungsfiktion vorerst zu verhindern.

Typengenehmigung

Auch die mit der Novellierung der BayBO neu eingeführte Typengenehmigung soll Bürokratie abbauen und Genehmigungsverfahren beschleunigen. So kann ein einmal genehmigter Bautyp an anderer Stelle mehrfach errichtet werden. Die bereits im Rahmen der Typengenehmigung entschiedenen Fragen müssen dann von der unteren Bauaufsichtsbehörde nicht mehr geprüft werden. Dies vereinfacht insbesondere serielles Bauen und es werden Skaleneffekte durch den seriellen Einsatz gleichbleibender Bauteile bzw. Bauelemente erreicht, die das Bauen kostengünstiger machen.

05.2.4 Digitale Antragsverfahren und Projektmanagement

Ein weiterer Handlungsansatz für eine Beschleunigung von Planen und Bauen liegt in der Implementierung und Anwendung von digitalen Methoden. Dies wurde auch im Rahmen der Empfehlungen der Baukostensenkungskommission als zentrales Handlungsfeld identifiziert.²⁶⁴ Im Rahmen einer Befragung des Statistischen Bundesamts wurde deutlich, dass bei Baurechtsbehörden die Möglichkeit der Nutzung von E-Government ausbaufähig ist und Möglichkeiten der Digitalisierung noch nicht ausgeschöpft werden.²⁶⁵ Dies beginnt mit der Möglichkeit, Bauanträge digital einzureichen. In Bayern ist dies mit dem Inkrafttreten der Novelle der Bayerischen Bauordnung als Pilotvorhaben in den Landratsämtern Ebersberg, Kronach, Neustadt an der Waldnaab und Traunstein nun möglich. Ziel ist, dass so bald wie möglich alle 183 unteren Bauaufsichtsbehörden in Bayern in die Lage versetzt werden, digitale Bauanträge entgegennehmen und bearbeiten zu können und somit eine Beschleunigung der Verfahren zu erzielen. Mit dem Erlass des Gesetzes zur Verbesserung des Onlinezugangs zu Verwaltungsleistungen (Onlinezugangsgesetz) im Jahr 2017 wurden Bund und Länder dazu verpflichtet, bis Ende des Jahres 2022 über 500 Verwaltungsleistungen, darunter auch Baugenehmigungsverfahren, digital zugänglich zu machen.

Begleitend zur Möglichkeit der Einreichung digitaler Antragsunterlagen müssen die Behörden zudem die Instrumente erhalten, um die Unterlagen auch digital bearbeiten und prüfen zu können. Dies erfordert technische Investitionen sowie Weiterbildungsmaßnahmen und die Etablierung der Digitalisierung von Baunormen. Denn bislang sind die erforderlichen Normen und Regelwerke weitgehend textbasiert. Digitalisierung bietet hier Möglichkeiten der Vereinfachungen in Form regelbasierter Planprüfungen an. Auch im Bereich der Dokumentations- und Nachweispflichten bestehen hohe Entlastungspotenziale durch Digitalisierung. Denn oft entstehen der zusätzliche Aufwand und die Kosten nicht aus der Regulierung selbst, sondern durch die geforderten Nachweisen. Hier kann die Digitalisierung wichtige Beiträge leisten, um Nachweise zu automatisieren, Prozesse zu beschleunigen und Transparenz für Entscheidungen zu schaffen.

Digitales Arbeiten schließt zudem auch die digitale Bauakte sowie das digitale und medienbruchfreie Genehmigungsverfahren und digitales Projektmanagement ein.²⁶⁶ Denn gerade bei zunehmend komplexen Bauvorhaben wird professionelles und digitales Projektmanagement mit klaren Verantwortlichkeiten immer wichtiger, um Termineinhaltung, Kostensicherheit und Qualitätssicherung zu gewährleisten. Hier bleiben die Herausforderungen groß. So wurden gerade vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie Versäumnisse der letzten Jahre im Bereich des digitalen Arbeitens in den vielen Baurechtsbehörden deutlich. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass im Frühjahr 2020 aufgrund lückenhafter IT-Infrastruktur vereinzelt Mitarbeitende der Genehmigungsbehörden im Zuge des Lockdowns und der Arbeit aus dem Homeoffice nicht vollständig arbeitsfähig waren. Dies führte in Teilen zu vermeidbaren Verzögerungen von Genehmigungsverfahren.²⁶⁷

²⁶⁴ BBSR / BMI, 2019

²⁶⁵ Statistisches Bundesamt, 2015

²⁶⁶ Länder und Kommunen haben die Bedeutung einer einheitlichen und flächendeckenden Digitalisierung planungs- und baurechtlicher Verfahren erkannt und 2018 mit einem Pilotvorhaben die Einführung der Dateiformate XPlanung und XBau als öffentlicher zugänglicher Standard gestartet. Bis 2022 soll dieser Standard flächendeckend eingesetzt werden. Dies stellt eine wichtige Voraussetzung dar, um zukünftig Planungs- und Genehmigungsverfahren zu beschleunigen.

²⁶⁷ Immobilienmanager, 2021

05.2.5 Öffentliche Vergabeverfahren

Vergabeprozesse sind ein wichtiger Schlüssel für die strukturelle, aber auch inhaltliche Entwicklung der Bauwirtschaft. Sie können wichtige Impulse für Innovationen im Bereich öffentlicher Gebäude und Infrastruktur setzen und damit einen Beitrag für die zukunftsfähige Bauwirtschaft leisten. An den streng formalisierten Vergabeverfahren in Deutschland wird immer wieder bemängelt, dass sie teilweise eine starre Preisorientierung aufweisen und Innovationen nicht ausreichend berücksichtigen. Auch die Baulandkommission hat in den Empfehlungen zur Bodenpolitik 2019 darauf hingewiesen, dass qualitativ ausgerichtete Vergabeverfahren stärker als Steuerungsinstrument genutzt werden sollen, um innovative Wohnungspolitik zu fördern.²⁶⁸ Die Ergebnisse der vorliegenden Studie (Kapitel 6, 7 und 8) könnten Ansatzpunkte für das erforderliche Zielbild liefern, sodass in der Folge die Vergabeprozesse mit den richtigen Anreizen zur passenden Entwicklung versehen werden können. Einige Städte und Gemeinden haben bereits Konzeptvergaben²⁶⁹ angewendet, darunter die bayerische Landeshauptstadt München und die Stadt Bamberg im Rahmen der Konversion der ehemaligen Lagarde-Kaserne.²⁷⁰ Auf diese Weise können Innovation und Qualität bei der Quartiersentwicklung im Rahmen öffentlicher Vergaben angemessen miteinbezogen werden.

Zudem sollen gemäß der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen bei öffentlichen Bauvorhaben die Bauarbeiten nach Fachlosen vergeben werden. Nur in seltenen Einzelfällen sollen Aufträge an Generalunternehmer zugeteilt werden. Dies muss in der Regel ausführlich begründet werden (u. a. aus wirtschaftlichen oder technischen Gründen). Eine Vergabe nach Fachlosen stellt sicher, dass kleine und mittelständische lokale Unternehmen in öffentlichen Vergaben ausreichend berücksichtigt werden. Generalunternehmer hingegen bündeln und koordinieren Planung und Ausführung der Gewerke und haben daher andere Möglichkeiten hinsichtlich eines effizienzsteigernden Projektmanagements. Dies ermöglicht einen höheren Optimierungsgrad bei Bauverfahren und kann teilweise zu Kostenreduktion führen. Einer Erleichterung der Beauftragung von Generalunternehmen über die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen könnte somit zu Kosteneinsparungen bei öffentlichen Bauprojekten beitragen. Die Berücksichtigung lokaler (Handwerks-)unternehmen, insbesondere aus dem kleinen und mittelständischen Bereich, könnte allerdings darunter leiden.²⁷¹ Dabei kann eine klare und spezifische Abgrenzung der geforderten Leistungen eine passfähige und kosteneffiziente Vergabe erleichtern. Alternativen zur Leistungsbeschreibung können durch den Bieter über Nebenangebote dargelegt werden. Dies eröffnet dem Bieter eine Möglichkeit, Verbesserungsvorschläge der Leistungsbeschreibung auf Basis neuester Forschungs- und Entwicklungsergebnisse aufzuzeigen und dem Auftraggebenden bekannt zu machen. Gerade spezialisierte Unternehmen, insbesondere KMU und Start-ups, können somit ihre Expertise einbringen.

Im März 2021 hat die Bundesregierung den Entwurf eines Lieferkettengesetzes beschlossen. Damit sollen in Deutschland ansässige Unternehmen ab einer bestimmten Größe stärker in die Verantwortung genommen werden, in ihren Lieferketten auf die Einhaltung von Menschenrechten und Umweltstandards zu achten. Viele Wirtschafts- und Arbeitgeberverbände befürchten, dass daraus Wettbewerbsnachteile für deutsche Unternehmen im internationalen Wettbewerb resultieren – auch die Bauwirtschaft.²⁷² Zum einen bedeutet das Gesetz neue erhöhte bürokratische Lasten für Unternehmen (z. B. Dokumentationspflichten) und zum anderen wären die Sanktionen in vielen Fällen zu hoch. So können Unternehmen beispielsweise bei Verstößen gegen die Sorgfaltspflicht von öffentlichen Aufträgen ausgeschlossen werden. Ein Ausschluss von öffentlichen Vergaben sei für viele Bauunternehmen besonders schwerwiegend, da die öffentliche Hand ein wichtiger Auftraggeber ist.

²⁶⁸ Baulandkommission, 2019

²⁶⁹ Über Konzeptvergaben werden meist Grundstücke der öffentlichen Hand vergeben. Kommunen können über dieses Instrument der Stadtplanung Grundstücke im Rahmen von Wettbewerben vergeben und dafür im Vorfeld Kriterien definieren (u. a. bauliche Maße, Anteile für bestimmte Nutzungen). Grundstücken werden somit nicht zum Höchstpreis vergeben, sondern nach Qualität der eingereichten Konzepte.

²⁷⁰ Immobilienmanager, 2020

²⁷¹ Erfahrungsberichte aus Gespräch mit Vertreterinnen und Vertretern von Verbänden der Bau- und Wohnungswirtschaft April 2021.

²⁷² Bauindustrie, 2020

05.2.6 Technische und energetische Standards

Nicht zuletzt sind auch die steigenden qualitativen Vorgaben und Anforderungen im Bereich der technischen und energetischen Ausstattung im Neubau und Bestandsumbau eine Belastung für Bauherren und Investoren. Sie tragen zu steigenden Baukosten bei,²⁷³ wenngleich insbesondere Bodenpreise bei Neubauten als Kostentreiber wirken.

Zudem wird im internationalen Vergleich das deutsche Bau- und Planungsrecht immer wieder als eines der komplexesten wahrgenommen. Dies ist begründet durch eine sehr hohe Regulierungsdichte und laufende Novellierungen und Verschärfungen in den letzten Jahren. Die Komplexität der technischen Anforderungen spiegelt auch die Zahl der relevanten Normen wider. Die Baukostensenkungskommission zählte rund 3.750 relevante Normen. Sie sind maßgeblich für das gesetzliche Schutzniveau und den Stand der Technik. Entsprechend erkannte die Baukostensenkungskommission ein besonderes Handlungsfeld hinsichtlich der Kosten, die durch technische und energetische Vorgaben sowie durch Verordnungen und Normen entstehen.²⁷⁴ Beispielsweise sind im Zuge der Steigerung des energetischen Gebäude- und Anlagenstandards hocheffiziente Lüftungsanlagen zunehmend erforderlich. Die Qualität der Gebäudehülle muss zudem mit hohen Dämmstoffdicken und Hochleistungsdämmstoffen sowie mit Sonderbauteilen erhöht werden, um den energetischen Anforderungen gerecht zu werden. Durch diese und andere zusätzliche Arbeitsschritte sowie durch die Wartung technischer Ausstattungen können zwar Steigerungen der Investitions- und Betriebskosten entstehen, denen aber Heiz- und Stromkosteneinsparungen gegenüberstehen.

Auch die Studie „Kostentreiber für den Wohnungsbau“ der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen nennt die technischen und energetischen Vorgaben der Kommunen sowie von Bund und Ländern als eine wesentliche Ursache für die Baukostensteigerung der letzten Jahre.²⁷⁵ Diese ist unter anderem bedingt durch erhöhte Sicherheitsstandards, ökologische bzw. energetische Standards. Die Herausforderung besteht darin, die Verhältnismäßigkeit von Mehrkosten und dem dadurch entstehenden Zugewinn hinsichtlich Energieeffizienz oder Sicherheit zu gewährleisten. Insbesondere im Bereich der energetischen Anforderungen zeigt sich, dass sich, je höher die Anforderungsniveaus werden, die Energieeinsparpotenziale nur noch geringfügig verändern, während die Mehrkosten überproportional ansteigen.²⁷⁶ Es wird somit immer schwieriger, bei den bisherigen Kosten fossiler Brennstoffe verträgliche Amortisationszeiträume sicherzustellen. Diese Amortisationszeiträume werden auch durch die Vorgaben der Umlagefähigkeit im Mietrecht mitbestimmt.

Durch striktere Vorgaben sowie aufgrund allgemeiner Trends im Wohnungsbau wie unter anderem Energie- und Klimatechnik, Gebäudetechnik und Smart Home, hat der Anteil der technischen Gebäudeausstattung an den Gestehungskosten in den letzten Jahren erheblich zugenommen. So wurde im Zeitraum 1999 bis 2014 bei der Kostengruppe 400 (Bauwerk – Technische Anlagen) eine Kostensteigerung von rund 46 Prozent verzeichnet. Bei den Bauleistungen am Bauwerk insgesamt waren es hingegen nur rund 28 Prozent.²⁷⁷

Im Kontext steigender Anforderungen im Neubau und Bestandsumbau stehen die Verschärfungen der energetischen Anforderungen besonders im Fokus. Dem Gebäudesektor kommt bei der Erreichung der Ziele der Energiewende sowie der europäischen Klimaziele eine entscheidende Rolle zu (Kapitel 03.1). Daher hat die Bundesregierung sich das Ziel gesetzt, einen weitergehend klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050 zu erreichen. Die Energieeinsparverordnung (EnEV) ist das zentrale Regelwerk für Bauherren und Eigentümer*innen. Sie trat 2002 in Kraft, wurde 2013 novelliert (EnEV 2014) und 2016 wurden die Anforderungen erneut geändert. Sie wurde durch das im November 2020 in Kraft getretene Gebäudeenergiegesetz abgelöst. Eine erneute Verschärfung des energetischen Anforderungs-

nivoeaus ist dabei nicht erfolgt. Die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen benannte insbesondere die Verschärfung der EnEV 2016 als zentrale Kostentreiber.²⁷⁸ Zwar dürften die Mehrkosten während der Bau- und Planungsphase (Kapitel 03.1.5) durch langfristige energetische Einsparungen im Lauf der technischen Lebensdauer grundsätzlich kompensierbar sein, insbesondere bei steigenden Preisen fossiler Energieträger z. B. durch marktorientierte Instrumente wie CO₂-Preise. Angesichts des Investor-Nutzer-Dilemmas (Kasten 12 auf Seite 80) gilt es, die Lasten- und Nutzenteilung zwischen Mietenden und Vermietenden fairer und gerechter auszuhandeln, um Kostenasymmetrien zu vermeiden. Dies ist wichtig, damit es nicht zu erheblichen Verzögerungen und Hemmnissen bei Investitionen im Neubau sowie Bestandsumbau (insb. energetische Gebäudesanierung) kommt.²⁷⁹

Im Rahmen des Maßnahmenkatalogs schlägt die Baukostensenkungskommission vor, die gesetzlichen Regelwerke zu energetischen Anforderungen strukturell neu zu konzipieren, was teilweise im Rahmen der Einführung des GEG umgesetzt wurde.²⁸⁰ Eine strikte Beachtung des Wirtschaftlichkeitsgebots unter Berücksichtigung vertretbarer Amortisationszeiträume und der Technologieoffenheit können dazu beitragen, Wohnungsneubau und Klimaschutz miteinander zu vereinbaren. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass je nach Nutzerverhalten die Effizienz von technischen Anlagen sehr unterschiedlich ausfällt. Zudem gilt es, jährliche und regelmäßige Installations- und Wartungskosten für technische Anlagen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über den Lebenszyklus von Gebäuden mit einzubeziehen. Die Berechnungsverfahren im Rahmen des gesetzlichen energetischen Anforderungsniveaus sollten insbesondere Installations-, Wartungskosten sowie die während des Betriebs anfallenden Energieaufwendungen berücksichtigen, um eine Einsparung des Endenergieverbrauchs und von THG-Emissionen bei gleichzeitig vertretbaren Kosten sicherzustellen.²⁸¹ Klar ist, dass Energieeffizienz im Gebäudebereich für die Erreichung der Klimaziele unverzichtbar ist, sich aber kostensteigernd auf die Baukosten auswirken kann (Planungskosten, Rohbaukosten und Kosten der technischen Gebäudeausrüstung). Durch geschickte integrierte Planung und gegebenenfalls standardisiertes Bauen können diese Mehrkosten in sehr geringem Rahmen gehalten werden. Vor dem Hintergrund erheblicher Engpässe auf dem Wohnungsmarkt und der erforderlichen Reduktion der THG-Emissionen besteht die Herausforderung darin, energetische Optimierung und wirtschaftlichen Wohnungsneubau miteinander zu vereinbaren.

Zudem ist es aus Investorensicht besonders wichtig, dass Planungssicherheit besteht. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass durch ständige Novellierungen der Regelwerke im Baubereich keine Routine im Umgang mit Vorschriften entstehen kann und Planungssicherheit eingeschränkt wird. Dies erhöht die Fehleranfälligkeit und erschwert es selbst großen Bauträgern, kostensenkende Skaleneffekte zu erreichen.²⁸²

Nicht zuletzt verschärfen die komplexen technischen und energetischen Anforderungen den Fachkräftemangel im Baugewerbe (Kapitel 02.2.2). Denn je häufiger sich die technischen und energetischen Anforderungen ändern, desto schwieriger wird es auch, Personal mit dem entsprechenden Fachwissen für die Umsetzung zu finden. Erschwert wird dies durch abweichende Vorgaben und Regelwerke in den Bundesländern. Somit verschärfen die technischen und energetischen Anforderungen den ohnehin bestehenden Fachkräftemangel und tragen mittelbar zu einer Steigerung der Lohn- und Arbeitskosten bei, die sich wiederum auch auf die Baukosten niederschlagen.²⁸³ Es wird aber zugleich erwartet, dass aufgrund des Preisdrucks verstärkt Anstrengungen unternommen werden, Preissteigerungen abzumildern, z. B. durch ressourceneffizientere Baustoffe und Bauweisen, modulare Vorfertigung, höher automatisierte bzw. maschinen- und roboterunterstützte Fertigungsprozesse (Kapitel 06).

²⁷³ Sagner / Voigtländer, 2018

²⁷⁴ BBSR / BMI, 2019

²⁷⁵ Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen ARGE, 2015

²⁷⁶ Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen ARGE, 2019

²⁷⁷ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2014

²⁷⁸ Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen ARGE, 2015

²⁷⁹ Frankfurter Allgemeine Zeitung, 2016

²⁸⁰ BBSR / BMI, 2019

²⁸¹ INWIS / ARGE, 2016

²⁸² Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen ARGE, 2015

²⁸³ Erfahrungsberichte aus Gesprächen mit Vertreterinnen und Vertretern von Verbänden der Bau- und Wohnungswirtschaft im April 2021

05.2.7 Rechtliche Hürden für verdichtetes Bauen

Die Hauptursache für steigende Baukosten ist der zunehmende Preisauftrieb bei Baulandpreisen. Hinzu kommt eine zunehmende Knappheit von bebaubaren Grundstücken. Entsprechend sind die Bereitstellung von Baulandreserven und Flächenaktivierung ein zentrales Handlungsfeld für eine Verhinderung eines weiteren Anstiegs der Baukosten. Ein großer Hebel liegt dabei in der Ausschöpfung der vertretbaren baulichen Dichte in den Quartieren. Denn je nach Maß der baulichen Nutzung²⁸⁴ kann der Anteil der Grundstückskosten an den gesamten Baukosten erfahrungsgemäß zwischen 15 Prozent und bis zu 40 Prozent betragen. Nachverdichtung und Aktivierung städtischer Flächen stellen dabei eine besondere planerische Herausforderung dar. Mit der Einführung des Urbanen Gebiets 2017 in die Baunutzungsverordnung wurde bereits eine höhere bauliche Dichte und Nutzungsmischung in innerstädtischen Quartieren ermöglicht, indem es unter anderem die Festlegung unterschiedlicher Nutzungen für einzelne Geschosse erlaubt.

Erfahrungsgemäß wird die Ausnutzung der erlaubten baulichen Dichte aber oftmals durch rechtliche Vorgaben erschwert, unter anderem aus den Bereichen Stellplätze, Brandschutz, Schallschutz und Gebäudeabstand.

So trägt unter anderem die Pkw-Stellplatzverordnung zu hohen Kostensteigerungen bei und erschwert die Aktivierung von Bauland in innerstädtischen Quartieren. Nach Art. 47 der Bayerischen Bauordnung ist ein Stellplatzschlüssel von 1,0 Stellplätzen pro Wohneinheit vorgegeben. Besonders in städtischen Quartieren besitzt aber oftmals ein deutlich kleinerer Teil der Bewohner*innen einen Pkw. Entsprechend plädierte unter anderem die Baukostensenkungskommission für eine flexiblere Gestaltung der Stellplatzverordnung, bei der auch andere Mobilitätsformen, wie etwa Anbindung an öffentlichen Nahverkehr, berücksichtigt werden können.²⁸⁵ Da Stellplatzrecht in den Zuständigkeitsbereich der Städte und Gemeinden fällt, können diese über Satzungen eigene Vorgaben zur Bereitstellung von Stellplätzen erlassen. Hier sind die Städte und Gemeinden besonders gefordert, die tatsächlichen aktuellen und zukünftigen Bedarfe für Pkw-Stellplätze in der Quartiersentwicklung zu berücksichtigen, um mögliche vermeidbare Kosten (u. a. kostenintensive Tiefgaragenplätze, Verknappung von Bauland durch Stellplätze) zu reduzieren. Gleichzeitig gilt es auch Flächen für andere Verkehrsträger (u. a. breite Radwege) im Rahmen der Quartiersentwicklung zu berücksichtigen.

Auch im Bereich des Schallschutzes werden Hindernisse für die städtische Baulandaktivierung identifiziert. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Vorgaben aus dem Bereich des Schallschutzes eine zukunftsgerichtete Quartiersentwicklung mit einer Mischung der Funktionen Wohnen und Arbeiten bremsen und Baulandaktivierung erschweren. So entstehen oftmals Lärmkonflikte bei der Schließung von Baulücken oder der Umnutzung alter Gewerbeflächen zum Wohnen.²⁸⁶

Um Nachverdichtung zu erleichtern, wurde im Rahmen der Novellierung der Bayerischen Bauordnung, die am 01. Februar 2021 in Kraft getreten ist, flexiblere Abstandsregelungen ermöglicht. In Gemeinden mit bis zu 250.000 Einwohnern wurde der Mindestabstand auf 40 Prozent der Höhe des Gebäudes und mindestens drei Meter reduziert, wobei Städte und Gemeinden individuell die Abstandsflächen durch Satzungen regeln können. Die Bayerische Bauordnung folgt damit der Musterbauordnung des Bundes. Die Erfahrung zeigt aber, dass einzelne Städte und Gemeinden hinsichtlich der Abstandsregelungen durch Satzungen weiterhin höhere Abstandsflächen festlegen.

²⁸⁴ Das Maß der baulichen Nutzung wird durch die Grundflächenzahl, die Geschossflächenzahl, die Baumassenzahl und die Anzahl der Vollgeschosse sowie der Höhe der baulichen Anlage bestimmt.

²⁸⁵ Erfahrungsberichte aus Gesprächen mit Vertreterinnen und Vertretern von Verbänden der Bau- und Wohnungswirtschaft im April 2021

²⁸⁶ Gemeinsame AG Bauministerkonferenz und Umweltministerkonferenz, 2020

05.3 Zwischenfazit

Nachfrage nach Wohnraum

Die deutliche und anhaltend hohe Zunahme von Bevölkerung und Haushalten in der letzten Dekade im Freistaat hat insgesamt zu einem deutlichen Anstieg der Nachfrage nach Wohnraum geführt. Der starke Zuzug in viele bayerische Wohnungsmarktregionen erfolgt im Kontext einer starken Wirtschaftskraft sowie eines hohen Fachkräftebedarfs der Wirtschaft und Unternehmen. Neben dem Bevölkerungszuwachs wird die Wohnungsnachfrage zusätzlich durch einen deutlichen Anstieg der Wohnungshaushalte im Kontext des Rückgangs der durchschnittlichen Haushaltsgröße (Anstieg der Ein- und Zweipersonenhaushalte) verstärkt und getrieben. Gerade in Städten ist die Nachfrage nach Wohnraum teilweise schneller gewachsen als das Angebot, sodass sich die Lage auf den oftmals ohnehin bereits angespannten Wohnungsmärkten weiter verschärfte und erforderliche Leerstände als Fluktuationsreserve fast gänzlich abgebaut wurden. Auch in den kommenden Jahren werden die Haushaltszahlen und damit die Wohnungsnachfrage in Bayern insgesamt weiter steigen und es wird mehr Wohnraum geschaffen werden (müssen). Insbesondere bezahlbarer Wohnraum im preisgebundenen sowie freien Mietwohnungsbau fehlt in vielen Wohnungsmarktregionen in Bayern in hohem Maße. Die Angebotserweiterung in diesem Segment wird für die kommenden Jahre eine zentrale Aufgabe und politische Herausforderung darstellen.

Gleichwohl verläuft die Nachfrageentwicklung im Freistaat regional unterschiedlich; es gibt auch Regionen, die schrumpfen und einen Rückgang bei der Nachfrage nach Wohnraum erwarten lassen. Im Hinblick auf die regional differenzierte Nachfrageentwicklung im Freistaat müssen einerseits bedarfsorientierte Angebotserweiterungen und andererseits potenzielle Leerstände in schrumpfenden Regionen mit einem bedarfsorientierten Umbau in Richtung barrierefreiem / altersgerechtem Wohnraum sowie Rückbau zukünftig verstärkt in den Fokus rücken. Der Freistaat Bayern kann durch die bedarfsorientierte Weiterentwicklung und Ausrichtung des Instrumentariums der Wohnraum- und Städtebauförderung dazu beitragen, dass sowohl Regionen mit hohem Wohnraumdruck (u. a. bezahlbarer / sozialer Wohnraum) als auch Regionen, die zukünftig von deutlicher Schrumpfung und Leerstand bedroht sind (u. a. Revitalisierung Ortskerne, Beratungsangebote für Kommunen / Eigentümer*innen, Unterstützung bei aktivem Leerstandsmanagement, Rückbau und Umwidmung), für die Zukunft vorausschauend gut aufgestellt werden. Dabei wird es auf eine kontinuierliche Anpassung des Förderrahmens und Instrumentariums im Bereich der Wohnungsbau- und Städteförderung, das Monitoring der regionalen und lokalen Wohnungsmärkte sowie die aktive und kontinuierliche Begleitung der Städte und Kommunen im Freistaat Bayern durch die Staatsregierung bei Umbau- und Transformationsprozessen ankommen.

Rahmenbedingungen

Für die Schaffung von (bezahlbarem) Wohnraum bedarf es insbesondere förderlicher Rahmenbedingungen, die das Planen und Bauen beschleunigen und vereinfachen und zu einer Senkung bzw. Stabilisierung der Baukosten beitragen. Hierzu zählen unter anderem die Entlastung von vermeidbarer Bürokratie und Regulierung, die Vereinfachung und Beschleunigung von Genehmigungsverfahren sowie die Aufstockung von qualifiziertem Fachpersonal in den Baurechtsbehörden. Einige Schritte zur Vereinfachung und Beschleunigung behördlicher Bau- und Planungsprozesse, die nicht zuletzt auf die Empfehlungen der Baukostensenkungskommission zurückgehen, wurden unter anderem im Rahmen der Novellierung der Bayerischen Bauordnung bereits berücksichtigt. Dazu gehören unter anderem die Genehmigungsfiktion oder Typengenehmigung sowie die allgemeine stärkere Orientierung an der Musterbauordnung der Bauministerkonferenz. Darüber hinaus kann beispielsweise eine konsequente Digitalisierung von Baugenehmigungsverfahren, ergänzt durch digitales Projekt- und Wissensmanagement, zu einer Beschleunigung von Genehmigungsverfahren beitragen (Kapitel 06).

Bodenpreise

Dabei ist auch zu beachten, dass insbesondere Bodenpreise als Kostentreiber wirken. Im Hinblick auf hohe Baulandpreise und Flächenverbrauch gilt es unter anderem bauliche Dichten zu erhöhen und neue Quartierslösungen für eine stärker verdichtete und gemischte Bauweise zu entwickeln. Hierfür können Städte und Gemeinden beispielsweise durch Anpassungen von Stellplatz- und Abstandsregelungen einen Beitrag leisten.

Die Schaffung von (bezahlbarem) Wohnraum wird neben bürokratischen und regulatorischen Aspekten von den hohen Kapazitätsauslastungen im Bauhaupt- und Ausbaugewerbe sowie den steigenden Grundstückspreisen, die zu einer Verkaufsrückhaltung bei Eigentümer*innen führen, gebremst.

Anforderungen

Insgesamt sind bei Planung und Bau künftig neue bzw. veränderte Anforderungen, die sich vor allem aus dem demografischen Wandel (Kapitel 02.1) (z. B. altersgerechtes und barrierearmes Bauen sowie flexible Grundrisse) sowie aus dem Klimaschutz und -wandel (Kapitel 03) ergeben, verstärkt zu beachten und dabei die Baukosten im Blick zu behalten. Es ist zu erwarten, dass digitale Technologien in den nächsten Jahren zu einem deutlichen Zuwachs an Produktivität und Effizienz führen, verknüpft mit einem Zuwinn an Qualität und Nachhaltigkeit sowie insbesondere einer Erhöhung der Zeit- und Kostensicherheit (Kapitel 06). Damit sind Wachstums- und Exportchancen für Unternehmen vor allem in Technologien und Kompetenzen zum altersgerechten und nachhaltigen sowie klimaangepas-

tem Wohnungsbau zu verorten. Aufgrund von Flächenknappheit und sich verändernder Mobilitäts- und Arbeitsmuster wird auch verdichtetes Bauen an Bedeutung gewinnen. Mit der Einführung des „Urbanen Quartiers“ in der Baunutzungsverordnung wurde dieser Entwicklung mit einem ersten Schritt bereits Rechnung getragen.

Es gilt die rechtlichen Rahmenbedingungen (insb. in den Landesbauordnungen und ergänzenden Verordnungen) regelmäßig an die veränderten Bedarfe und technischen Bau- und Gebäudestandards hin anzupassen, um die Voraussetzungen für die Umsetzung und Realisierung von Innovationen in Bau- und Planungsprozessen sowie den Umbau und die Fertigstellung von modernen Gebäuden zu gewährleisten und vermeidbare Zeit- sowie Kostensteigerungen durch die Regulierung und den Verwaltungsvollzug zu verhindern. Neben der Gewährleistung der rechtlichen und administrativen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen kommt es insbesondere auch auf die aktive Bereitstellung eines zielgerichteten Informationsangebotes sowie die Unterstützung von Städten und Kommunen, Architekten und Planern, Bauunternehmen sowie Bauherren für die Umsetzung, Gestaltung und Anwendung neuer und innovativer Bau- und Planungslösungen an. Durch zielgerichtete Bereitstellung von Information, unter anderem in Form von Dialogen, Plattformen und Beratungsangeboten, können somit die richtigen Impulse für zukunftsgerichtetes Bauen gesetzt werden.

06

Digitalisierung im Bauwesen – Bauen 4.0 und BIM als integrierende Schlüsseltechnologie

Die Digitalisierung wird in den nächsten Jahren die Baubranche revolutionieren und die Art und Weise der Planung, des Bauens und des Betriebs von Gebäuden und baulichen Anlagen effizienter gestalten.

Kapitel in der Übersicht

06.1	Stand der Digitalisierung im Bauwesen	137
06.2	Bauen 4.0 – Industrie 4.0 der Baubranche	139
06.2.1	BIM als Kernkomponente von Bauen 4.0	141
06.2.2	Automatisierte Baufortschrittsüberwachung	159
06.2.3	Robotik auf der Baustelle	162
06.2.4	Digitale Vorfertigung und 3D-Druck / additive Fertigung	168
06.2.5	Künstliche Intelligenz im Bauwesen	176
06.2.6	Internet of Things (IoT) in der Gebäudetechnik	181
06.3	Zwischenfazit	186

Viele Branchen in der Industrie haben bereits einen tiefgreifenden Digitalisierungsprozess durchlaufen und konnten durch die einhergehende Erhöhung von Effizienz und Prozessqualität stark profitieren. Im Bauwesen steht dieser Modernisierungsprozess zum großen Teil noch aus. Während die industrielle Produktion überwiegend ortsgebunden erfolgt und durch festgelegte optimierte Prozessketten geprägt ist, sind die Abläufe im Bauwesen hingegen wesentlich individueller. Dies umfasst das örtliche Umfeld und die sich während des Baugeschehens ergebenden Veränderungen auf der Baustelle sowie die Vielzahl der am Bau beteiligten Disziplinen. Erschwerend kommt hinzu, dass die einzelnen Beteiligten oftmals verschiedene Technologien einsetzen und digitale Kompetenzen variieren. Durch die Charakteristik des Bauwesens, die sich von der stationären Industrie unterscheidet, ergeben sich spezifische Herausforderungen an die Digitalisierung und die aktuelle Situation zeigt, dass noch viele Potenziale ungenutzt sind.

Strategien und Schlüsseltechnologien in der stationären Industrie im Kontext der Digitalisierung können als Vorbild herangezogen und an die Spezifika im Bauwesen angepasst werden. Nach dem Vorbild der Zukunftsstrategie Industrie 4.0 basiert Bauen 4.0 (engl.: Construction 4.0) auf einem Zusammenwirken von Methoden und Technologien, um die Art und Weise der Planung, des Bauens und des Betriebs von Gebäuden und baulichen Anlagen neu zu gestalten. Da in der Baubranche der Digitalisierungsgrad noch geringer ist als in anderen Industriezweigen, ist der nächste Schritt nicht die komplexe Vernetzung von Informations- und Kommunikationstechnologien, sondern vielmehr steht die generelle Digitalisierung von Planungs-, Realisierungs- und Verwertungsprozessen in der gesamten Breite des Bauwesens im Vordergrund.

Eine zentrale Rolle in der Strategie Bauen 4.0 nimmt die BIM-Methodik (Building Information Modeling) ein, welche die meisten Schlüsseltechnologien miteinander verknüpft. In den letzten Jahren hat es einen deutlichen Zuwachs in den Kompetenzen und Erfahrungen beim Einsatz der BIM-Methode im Bausektor gegeben. Immer mehr Planungsbüros und Baufirmen setzen BIM in Planung, Angebotskalkulation und Ausführung erfolgreich ein, meist jedoch nur in Teilbereichen im Lebenszyklus von Gebäuden und baulichen Anlagen. Eine maßgebliche Rolle bei der Förderung

des technologischen Wandels kommt der öffentlichen Hand zu. Als wichtigster und größter Auftraggeber im Bausektor kann sie den Einsatz von BIM fördern und durch Begleitmaßnahmen fördern. In diesem Zusammenhang ist der BIM-Stufenplan des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) aus dem Jahr 2015 zu erwähnen, der im Bereich des Infrastrukturbaus eine sichtbare positive Wirkung entfaltet hat. Gleichzeitig ist festzustellen, dass die Breite der Umsetzung von BIM im öffentlichen Bauen noch nicht den Stand erreicht, der notwendig wäre. Insbesondere der Hochbau des Bundes und der Länder liegt deutlich hinter den Fortschritten des Infrastrukturbaus zurück. Größere Auftraggeber der Privatwirtschaft haben hingegen schon die Vorteile erkannt und fordern verstärkt eine BIM-gestützte Umsetzung der Planungsleistungen ein.

Die Auswirkungen des technologischen Wandels auf die Baubranche sind bereits deutlich spürbar, maßgeblich durch die Unternehmen und ihre Interessensverbände vorangetrieben. Dies umfasst unter anderem die breite Etablierung von einer Vielzahl entstandener Weiterbildungsangebote, den deutlichen Fortschritt bei der Verabschiedung von Normen und Richtlinien, den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis sowie die Durchführung von Pilot- und Umsetzungsprojekten. Die Geschwindigkeit in der Umsetzung bleibt jedoch hinter den Erwartungen zurück. Die Gründe dafür sind vielschichtig; sie betreffen unter anderem die isolierte Betrachtung von Planungs-, Ausführungs- und Betriebskosten oder die projektgetriebene Entscheidungskultur. Die Einführung von BIM erfordert die Bereitschaft, langfristig zu denken: Investitionen, die heute in Schulung, Prozessentwicklung etc. investiert werden, können sich schnell amortisieren.

In den nächsten Jahren ist ein technologischer Sprung im Bauwesen zu erwarten, der zu einem deutlichen Zuwachs an Produktivität und Effizienz führen wird, verknüpft mit einem Zugewinn an Qualität und Nachhaltigkeit sowie insbesondere einer Erhöhung der Zeit- und Kostensicherheit. Durch die Einführung und Nutzung der in Bauen 4.0 adressierten Schlüsseltechnologien und deren Verzahnung können neue Geschäftsfelder erschlossen und zum Beispiel Start-ups die Möglichkeiten eröffnen werden, die Digitalisierung im Bauwesen mit neuen Produkten und Dienstleistungen voranzutreiben.

06.1 Stand der Digitalisierung im Bauwesen

Die Digitalisierung im Bauwesen bringt große Herausforderungen mit sich, die sich in der vergleichsweise langsameren Anwendung innovativer Technologien widerspiegeln. Im Branchenvergleich gehört das Bauwesen zu den digitalen Nachzüglern. Während in vielen Branchen in Deutschland der digitale Wandel in den vergangenen Jahren stark vorangetrieben wurde, ist der Grad der Digitalisierung im Bauwesen weniger hoch. Unternehmen der Bauwirtschaft konnten im Digitalisierungsindex Mittelstand 2020/2021 gegenüber dem Vorjahr nur um einen Punkt zulegen und erreichten 52 von 100 möglichen Punkten. Der durchschnittliche Index über alle Branchen betrug 58 Punkte. Nur 37 Prozent der Unternehmen haben die digitale Transformation in der Geschäftsstrategie fest verankert.²⁸⁷

Es zeichnet sich aber ein Paradigmenwechsel im Bauwesen ab. 52 Prozent der deutschen Bauunternehmen haben Erfahrungen mit Building Information Modeling (BIM) in verschiedenen Ausprägungen gesammelt, ca. 80 Prozent der Bauunternehmen wollen in den nächsten Jahren Building Information Modeling nutzen. Etwa 20 Prozent haben eine ausgereifte BIM-Strategie, rund 40 Prozent sind in der Erarbeitung. Ein Konzept für die Implementierung hat jedes dritte Unternehmen, einen konkreten Zeitplan ca. ein Viertel.²⁸⁸

Aufgeschlossen zeigen sich Unternehmen im Bausektor gegenüber neuen und zukunftsweisenden Technologien (Kapitel 06.2.2 bis 06.2.6) und potenziellen Geschäftsfeldern. 67 Prozent der Baubetriebe sehen Potenziale in Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz (KI), 26 Prozent schätzen diese als groß bis sehr groß ein. Jedoch nutzen erst ein Prozent erste KI-Anwendungen, 17 Prozent wollen KI innerhalb der nächsten zwei Jahre in Anwendungen umsetzen.²⁸⁹

Auswirkungen durch Corona

Der Ausbruch der Corona-Pandemie, die seit letztem Jahr das Leben und Arbeiten weltweit stark beeinflusst, hat auch dazu geführt, dass die Digitalisierung in allen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bereichen in Deutschland stark an Bedeutung gewonnen hat. Bei acht von zehn Unternehmen hat die Digitalisierung durch Corona an Bedeutung gewonnen, aber gleichzeitig musste auch fast jedes dritte Unternehmen Investitionen in der Digitalisierung zurückfahren.²⁹⁰ Im Baugewerbe wurden verstärkt Basistechnologien ausgebaut und Investitionen in Bereichen der Zukunftstechnologien reduziert.²⁹¹



²⁸⁷ Deutsche Telekom / Corporate Communications, 2020

²⁸⁸ PwC, 2019

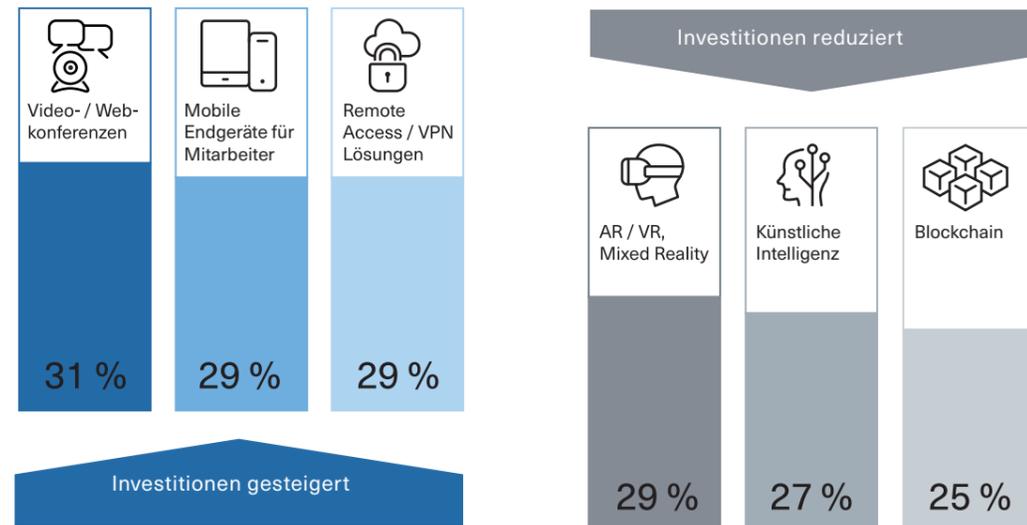
²⁸⁹ Deutsche Telekom / Corporate Communications, 2020

²⁹⁰ bitkom, 2020

²⁹¹ Deutsche Telekom / Corporate Communications, 2021

Abbildung 44

Investitionsänderungen im Baugewerbe vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie



Quelle: Deutsche Telekom / Corporate Communications, 2021, eigene Darstellung

Um den Folgen der Corona-Pandemie entgegenzuwirken, haben viele Unternehmen in die Digitalisierung investiert (Abbildung 44). 46 Prozent der Bauunternehmen haben ihr Geschäftsmodell, ihre Produkte und Services kurzfristig angepasst. 37 Prozent digitalisierten betriebsinterne Prozesse, wie die Ausstattung mit mobilen IT-Lösungen, die Beschaffung von Web- und Videokonferenzen oder Investitionen in branchenspezifische IT-Anwendungen, beispielsweise digitales Baustellenmanagement, sensorbasierte Ortung von Baumaschinen oder softwaregestützte Auftragsvergabe. Homeoffice stand für die meisten Unternehmen bisher nicht im Fokus: nur eines von zehn Unternehmen ermöglichte dies. Mittlerweile haben 53 Prozent der Baubetriebe Konzepte für Homeoffice in dafür geeigneten Bereichen ausgearbeitet und umgesetzt, welches sich in den Änderungen der Investitionen niederschlägt. Sieben von zehn geben an, dass Digitalisierungsvorhaben auch künftig unverändert fortgesetzt werden und 18 Prozent wollen mehr in digitale Lösungen investieren, als zuvor geplant. Nur zwölf Prozent wollen geplante Investitionen für digitale Projekte reduzieren, im Durchschnitt um 21 Prozent. Davon sind hauptsächlich Bereiche wie Künstliche Intelligenz, Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), Blockchain und Internet of Things (IoT) betroffen.²⁹²

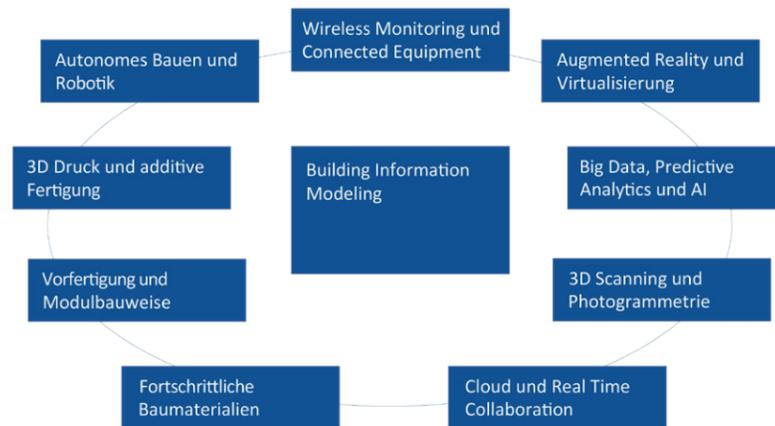
06.2 Bauen 4.0 – Industrie 4.0 der Baubranche

Das Bauwesen gehört zu den Schlusslichtern des digitalen Wandels – und dies hat nicht nur Auswirkungen auf die Produktivität, sondern auch auf gesellschaftlich relevante Themen wie Klimaschutz und Verbrauch natürlicher Ressourcen. Derzeit wird nur ein kleiner Prozentsatz von Projekten durchgehend mit modernen digitalen Prozessen umgesetzt. Im Vergleich zu anderen Branchen, insbesondere der stationären Industrie, mit anderen Rahmenbedingungen, hat das Bauwesen bei der Digitalisierung immer noch erheblichen Nachholbedarf. Daraus resultieren aber auch große Chancen, nicht nur in der Erhöhung der Produktivität, sondern auch in der Erschließung neuer Geschäftsfelder.

Nach dem Vorbild der Zukunftsstrategie Industrie 4.0 basiert die Idee des Bauens 4.0 (engl. Construction 4.0) auf einem Zusammenwirken von Methoden und Technologien, um die Art und Weise der Planung, des Bauens und des Betriebs von Gebäuden und baulichen Anlagen neu zu gestalten. Industrie 4.0 (engl. Industry 4.0) bezeichnet die umfassende Digitalisierung der industriellen Produktion, die Verzahnung mit moderner Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Technische Basis sind intelligente und vernetzte Systeme, die eine weitestgehend selbstorganisierte Produktion ermöglichen – eine direkte Kommunikation und Kooperation von Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkten während aller Phasen des Lebenszyklus von Produkten. Der Begriff Industrie 4.0 wurde 2011 im Zuge des gleichnamigen Zukunftsprojektes im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung geprägt.²⁹³ Unter dem abstrakten und vielschichtigen Begriff Industrie 4.0 werden eine Vielzahl von Komponenten zusammengefasst, wie beispielsweise Internet of Things (IoT), Location Detection Technologies, Advanced Human-Machine Interfaces, 3D-Druck und additive Fertigung, Smart Sensors, Big Data Analytics, Augmented und Virtual Reality sowie Künstliche Intelligenz.

Unter Bauen 4.0 wird die Digitalisierung und (Teil-)Automatisierung von Prozessen der Baubranche verstanden. In der Baubranche ist der Digitalisierungsgrad im Vergleich zu anderen Industriezweigen noch geringer und demzufolge liegt der Fokus auf der generellen Digitalisierung von Planungs-, Realisierungs- und Verwertungsprozessen in allen Bereichen des Bauwesens. Der darauffolgende Schritt ist die Vernetzung der Informations- und Kommunikationstechnologien im Sinne von Industrie 4.0, die in den nächsten Jahrzehnten die Baubranche zunehmend prägen und verändern wird.

Abbildung 45
Schlüsseltechnologien in Bauen 4.0



Quelle: Grafik in Anlehnung an World Economic Forum, Boston Consulting Group²⁹⁴

Prinzipiell kann zwischen den folgenden zehn wichtigsten Schlüsseltechnologien (Abbildung 45) unterschieden werden:

- Building Information Modeling (BIM)
- Vorfertigung und Modulbauweise (Pre-Fabrication and Modular Construction)
- Fortschrittliche Baumaterialien (Advanced Building Materials)
- Autonomes Bauen und Robotik (Autonomous Construction and Robotic)
- 3D-Druck und additive Fertigung (3D Printing and Additive Manufacturing)
- Erweiterte Realität und Virtualisierung (Augmented Reality and Virtualization)
- Big Data, vorausschauende Analysen und Künstliche Intelligenz (Big Data, Predictive Analytics and Artificial Intelligence)
- Drahtlose Überwachung und vernetzte Geräte (Wireless Monitoring and Connected Equipment)
- Cloud und Real Time Collaboration
- 3D-Scanning und Photogrammetrie (3D Scanning and Photogrammetry)

Andere Gruppierungen der Schlüsseltechnologien sind unter anderem in Maskuriy²⁹⁵, Forcae²⁹⁶ und Sawhney²⁹⁷ aufgeführt.

Eine zentrale Rolle im Bauen 4.0 nimmt das Building Information Modeling (BIM) ein, das die meisten anderen Schlüsseltechnologien miteinander verknüpft. BIM ist die Grundlage, um eine Digitalisierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette Bau zu realisieren. Es dient als „Sammelstelle“ für projektrelevante Daten sowie den Austausch von Informationen aller am Bau Beteiligten und ist der Schlüssel für den digitalen Zwilling. Die digitale Transformation erfasst und bestimmt zunehmend alle Lebens- und Wirtschaftsbereiche, wirkt sich auf die gesamte Wertschöpfungskette aus und verändert so ganze Geschäftsmodelle – zur Digitalisierung im Bauwesen gibt es keine Alternative. Jedoch ist die bloße Digitalisierung analoger Prozesse nicht zielführend, das Digitale muss auch digital (neu) gedacht und umgesetzt werden, um das volle Potenzial des Digitalen zu erschließen.

²⁹⁴ www.weforum.org/agenda/2018/06/construction-industry-future-scenarios-labour-technology, aufgerufen am 12.04.2021

²⁹⁵ Maskuriy et al., 2019

²⁹⁶ Forcae et al., 2020

²⁹⁷ Sawhney et al., 2020

Kasten 20 Digitaler Zwilling

Ein digitaler Zwilling (engl. digital twin) ist eine digitale Repräsentanz eines materiellen oder immateriellen Objekts oder Prozesses aus der realen Welt in der digitalen Welt. Es ist unerheblich, ob das Gegenstück in der realen Welt bereits existiert oder zukünftig erst existieren wird. Digitale Zwillinge ermöglichen einen übergreifenden Datenaustausch. Sie sind mehr als reine Daten und bestehen aus konsistenten, untereinander kompatiblen Modellen des repräsentierten Objekts oder Prozesses und können daneben Simulationen, Algorithmen und Services enthalten, die Eigenschaften oder Verhalten des repräsentierten Objekts oder Prozesses beschreiben, beeinflussen, oder Dienste darüber anbieten.²⁹⁸

06.2.1 BIM als Kernkomponente von Bauen 4.0

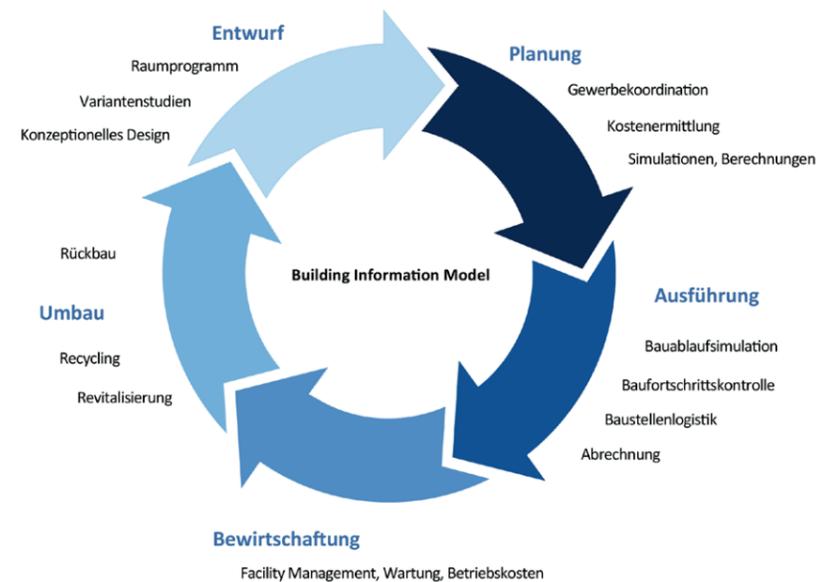
06.2.1.1 Überblick

Unter einem Building Information Model (BIM) versteht man ein umfassendes digitales Abbild eines Bauwerks. Es enthält typischerweise die dreidimensionale Geometrie der einzelnen Elemente des Bauwerks in einem definierten Detaillierungsgrad. Darüber hinaus umfasst es auch nicht physische Objekte, wie z. B. Räume und Zonen oder eine hierarchische Projektstruktur. Die physischen und nicht physischen Objekte sind typischerweise mit einem wohldefinierten Satz semantischer Informationen verbunden, wie z. B. dem Komponententyp, den Materialien, der Nutzung, den technischen Eigenschaften sowie den Beziehungen zwischen den Komponenten und anderen physischen oder logischen Einheiten.

Der Begriff Building Information Modeling beschreibt zum einen den Vorgang zur Erschaffung, Änderung und Verwaltung eines solchen digitalen Bauwerkmodells mithilfe entsprechender Softwarewerkzeuge. Zum anderen wird dieser Begriff jedoch auch verwendet, um damit die Nutzung dieses digitalen Modells über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks hinweg zu beschreiben – von der Planung über die Ausführung bis zur Bewirtschaftung und schließlich zum Rückbau (Abbildung 46). Vor allem hierin liegt das enorme Potenzial der BIM-Technologie: Wenn über die einzelnen Phasen hinaus Daten konsequent weitergenutzt werden, kann die bislang übliche aufwendige und fehleranfällige Wiedereingabe von Informationen auf ein Minimum reduziert werden. Zudem kann das Bauwerk schon vor der Errichtung in seiner Funktionsweise simuliert werden, sodass potenziell teure Fehler minimiert werden können.

²⁹⁸ Gesellschaft für Informatik (GI): Digitaler Zwilling, www.gi.de/informatiklexikon/digitaler-zwilling, aufgerufen am 29.04.2021

Abbildung 46
Verwendung des Building Information Modeling im Lebenszyklus



Building Information Modeling beruht auf der durchgängigen Nutzung und verlustarmen Weitergabe eines digitalen Bauwerksmodells über den gesamten Lebenszyklus.

Quelle: Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

Der Stufenplan „Digitales Planen und Bauen“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) umfasst folgende Definition²⁹⁹: „Building Information Modeling (BIM) beschreibt eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“

Das BIM-Konzept ist nicht neu. Bereits in den 1970er-Jahren wurden die ersten Forschungsarbeiten zum Aufbau und zum Einsatz virtueller Gebäudemodelle veröffentlicht.³⁰⁰ Der Begriff Building Information Modeling wurde das erste Mal 1992 in einem Paper der Wissenschaftler van Nederveen und Tolman verwendet.³⁰¹ Eine weite Verbreitung erlangte der Begriff jedoch erst nach seiner Verwendung durch die Firma Autodesk in einem White Paper³⁰² im Jahr 2002. Mittlerweile stehen äußerst leistungsfähige Softwarewerkzeuge zur Verfügung, sodass die zunächst nur theoretisch entwickelten Konzepte heute Eingang in die industrielle Praxis gefunden haben.

Augenfälligstes Merkmal eines digitalen Bauwerksmodells ist die dreidimensionale Modellierung des Bauwerks, die die Basis für die Kollisionskontrolle bildet und das Ableiten von konsistenten 2D-Plänen für Grundrisse und Schnitte ermöglicht. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die 3D-Geometrie allein nicht ausreicht, um eine wirklich leistungsfähige

digitale Repräsentation eines Bauwerks zu liefern. Zusätzlich werden die enthaltenen Objekte mit Semantik versehen, d.h., weiterführende Informationen zur Bedeutung oder Ausprägung des Objektes sind verfügbar. Alle Objekte sind Instanzen³⁰³ wohldefinierter Objektklassen bzw. Objekttypen, wie Wand, Stütze, Fenster, Tür etc. Diese Bauteilobjekte kombinieren die meist parametrisierte 3D-Geometriedarstellung mit weiteren beschreibenden Merkmalen und definierten Beziehungen zu anderen Bauteilen. Aus diesen Bauteilen können später Pläne aus dem digitalen Bauwerksmodell abgeleitet werden, die den geltenden Vorschriften und Normen entsprechen. Die häufig notwendigen symbolischen Darstellungen können nicht immer direkt aus der reinen 3D-Geometrie generiert werden, wozu dann häufig die semantischen Informationen als Grundlage verwendet werden. Daneben erlaubt die semantische Modellierung eines Bauwerks vor allem auch die unmittelbare Anwendung unterschiedlichster Analyse- und Simulations-

werkzeuge, beispielsweise für die Mengenermittlung, die baustatische Berechnung und die Energiebedarfsanalyse.

Es gibt keine allgemeingültige Definition, welche Informationen ein digitales Bauwerksmodell liefern muss. Vielmehr hängt der konkrete Informationsgehalt stark von den sogenannten Anwendungsfällen ab, also dem Zweck, für den das Modell erstellt wird.³⁰⁴ Die anvisierten BIM-Anwendungsfälle stellen einen sehr wichtigen Ausgangspunkt für die Durchführung eines BIM-Projekts dar und müssen zu Beginn des Projekts definiert werden. Eine Forschergruppe an der Penn State University hat hierfür bereits 2013 ein allgemeingültiges Schema entwickelt und 32 detaillierte Anwendungsfälle in den vier Phasen Planung, Entwurf, Bau und Betrieb beschrieben. Tabelle 10 listet einige der häufigsten Anwendungsfälle auf, erhebt dabei aber explizit keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 10
Eine Auswahl der gebräuchlichsten BIM-Anwendungsfälle

Anwendungsfall	Beschreibung
Technische Visualisierung	Visualisierung des 3D-Modells als Basis für die Projektbesprechung sowie für die Öffentlichkeitsarbeit
Koordination der Fachgewerke	regelmäßiges Zusammenführen der Fachmodelle in einem Koordinationsmodell, Kollisionsprüfung und systematische Konfliktbehebung
Planableitung	Ableitung der wesentlichen Teile der Entwurfs- bzw. Ausführungspläne aus dem Modell
Kostenschätzung und Kostenberechnung	Mengenermittlung (Volumen, Flächen) anhand des Modells als Basis für die Kostenschätzung und Kostenberechnung
Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe	Modellgestütztes Erzeugen mengenbezogener Positionen des Leistungsverzeichnisses, modellbasierte Ausschreibung und Vergabe
BIM-gestützte Tragwerksplanung	Nutzung des Modells für Bemessung und Nachweisführung
Bauablaufmodellierung (4D-Modellierung)	Verknüpfung des 3D-Modells mit dem Bauablauf
Simulation des zeitlichen Verlaufs der Kosten (5D-Modellierung)	Verknüpfung des 4D-Modells mit den Kosten zur Herstellung der betreffenden Bauteile
Baufortschrittskontrolle	Nutzung des Modells für die Baufortschrittskontrolle, Erzeugung und Nachführung eines 4D-Modells zum tatsächlichen Baufortschritt
Abrechnung	Nutzung des Modells für Abrechnung und Controlling, Grundlage bildet das 4D-Modell der Baufortschrittskontrolle
Mängelmanagement	Nutzung des Modells zur Dokumentation von Ausführungsmängeln und deren Behebung
Nutzung für Betrieb und Erhaltung	Übernahme von Daten in entsprechende Systeme für das Erhaltungsmanagement

299 BMVI, 2015b

300 Eastman et al., 1974

301 van Nederveen, G.A./ Tolman, F.P., 1992

302 Autodesk (2002), www.laiserin.com/features/bim/autodesk_bim.pdf, aufgerufen am 05.01.2021

303 technischer Begriff für konkrete Ausprägungen eines abstrakten Objekttyps

304 Kreider / Messner, 2013

In typischen BIM-Projekten werden über die Projektphasen hinweg mehrere digitale Bauwerksmodelle verwendet, von denen jedes auf die spezifische Phase und die zu implementierenden Anwendungsfälle zugeschnitten ist. In den folgenden Abschnitten wird detaillierter auf die typischen BIM-Anwendungsfälle in den einzelnen Phasen eines Bauprojekts eingegangen und es werden die jeweiligen Vorteile beschrieben.

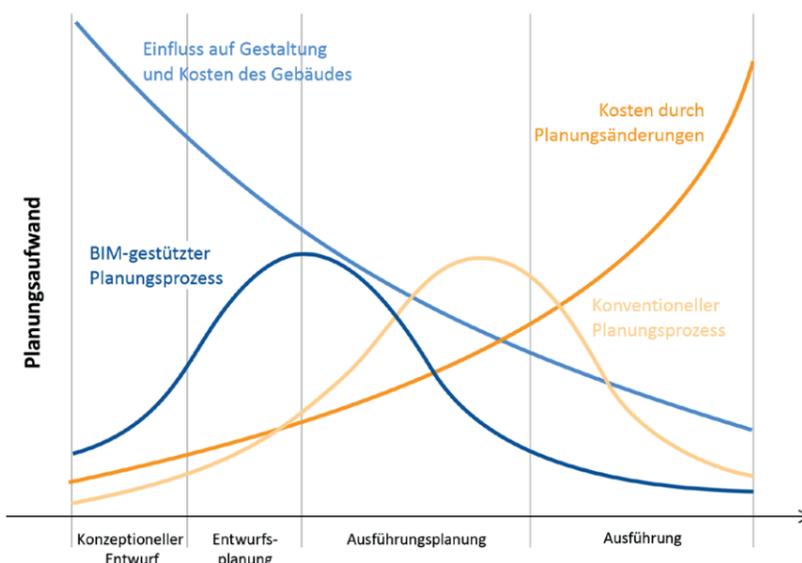
BIM im Planungsprozess

Mit der Umsetzung der BIM-Methodik ergibt sich bereits für den Planungsprozess eine Vielzahl von Vorteilen. Technische Zeichnungen, einschließlich der verschiedenen Ansichten, Grundrisse und Schnitte können direkt aus dem Modell abgeleitet werden und sind damit automatisch untereinander widerspruchsfrei. Es können Kollisionskontrollen zwischen den Fachmodellen der verschiedenen Gewerke durchgeführt werden, um auf diese Weise Konflikte frühzeitig zu erkennen. Des Weiteren können verschiedene Berechnungs- und Simulationsprogramme angeschlossen werden, die eine Vielzahl von Informationen wie beispielsweise zur Bauwerksgeometrie direkt aus dem Modell übernehmen. Zu diesen Berechnungen gehören statische Nachweise ebenso wie Wärmebedarfsberechnungen, Evakuierungssimulationen und Beleuchtungsanalysen. Zum Teil kann das Modell zudem auf Einhaltung von gesetzlichen Vorschriften, Normen und Richtlinien geprüft werden. Und schließlich erlaubt das Modell eine äußerst präzise Mengenermittlung, was die Grundlage für eine zuverlässige Kostenschätzung bildet und darüber hinaus das Erstellen des Leistungsverzeichnisses für die Ausschreibung erheblich beschleunigt.

Durch den Einsatz von BIM in der Planung ergibt sich gegenüber den bisherigen Abläufen eine Aufwandsverlagerung, die in Abbildung 47 illustriert wird. Bei der konventionellen Planung wird der Hauptaufwand zur Ausarbeitung der Planung in späten Phasen geleistet. Das führt dazu, dass die Anwendung von Analyse- und Simulationstools und eine umfassende Bewertung des Entwurfs erst zu einem fortgeschrittenen Zeitpunkt möglich sind. Dann sind die Möglichkeiten zur Änderung des Entwurfs allerdings bereits sehr begrenzt bzw. führen zu erheblichen zusätzlichen Kosten.

Abbildung 47

Building Information Modeling führt zu einer Vorverlagerung von Planungs- und Entscheidungsprozessen



Quelle: Grafik nach MacLeamy, 2004

Im Gegensatz zu konventionellen Bauprozessen verlagert der BIM-gestützte Planungsprozess den Planungsaufwand in die frühen Phasen, indem bereits hier ein umfassendes digitales Modell des Entwurfs geschaffen wird. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass dieses Modell bereits in diesen frühen Phasen für erste Simulationen und Berechnungen verwendet werden kann. Auf diese Weise können unterschiedliche Entwurfsoptionen eingehend untersucht werden, was zu einem verringerten Aufwand in späten Planungsphasen und einer erhöhten Entwurfsqualität führt.

BIM in der Vergabe von Bauleistungen und der Bauausführung

Nicht nur in der Planung, sondern auch für Vorbereitung und Begleitung der Bauausführung bietet die Nutzung von BIM enorme Vorteile. Die Bereitstellung eines digitalen Bauwerksmodells durch den Bauherren im Rahmen der Ausschreibung erleichtert den Baufirmen die Aufwandsermittlung für die Angebotsabgabe und ermöglicht später die präzise Abrechnung. Mithilfe eines 4D-BIM, das durch Verknüpfung der Bauteilobjekte mit den geplanten Fertigstellungszeiträumen erzeugt wird, können der Bauablauf geprüft, etwaige Unstimmigkeiten bzw. räumliche Kollisionen frühzeitig erkannt und die Baustellenlogistik koordiniert werden. Ein sogenanntes 5D-Modell integriert zusätzlich Kosteninformationen und kann verwendet werden, um die Kostenentwicklung über die Zeit zu simulieren. Häufig werden BIM-Modelle auch für die Baufortschrittskontrolle verwendet. Darauf aufbauend kann die Abrechnung von Bauleistungen sowie das Mängelmanagement wiederum anhand eines BIM objektscharf und integriert realisiert werden. Wichtige Prozessschritte der Fakturierung aus ERP-Systemen wie SAP oder die Übernahme der Daten für Produktions- und Logistikprozesse der Bauprodukte erfordern jedoch noch eine verstärkte Entwicklung.

BIM im Betrieb

Weitere wesentliche Vorteile des BIM-Ansatzes ergeben sich aus der Nutzung des digitalen Bauwerksmodells über die vergleichsweise lange Nutzungs-, Betriebs- bzw. Bewirtschaftungsphase. Voraussetzung hierfür ist die Übergabe des BIM-Modells vom Planer an den Bauherren, gegebenenfalls ergänzt um Informationen aus der Ausführung. Werden dem Bauherren anstelle von Zeichnungen hochwertige digitale Informationen in Form eines digitalen Bauwerksmodells übergeben, kann er diese direkt für das Facility-Management verwenden und dabei beispielsweise Informationen zu den Raumgrößen, Elektro- und Haustechnikanschlüssen direkt übernehmen. Für den Betrieb des Bauwerks besonders hilfreich sind Zusatzinformationen zu den verbauten technischen Geräten einschließlich der Wartungsintervalle und Garantiebedingungen. Wichtig ist die kontinuierliche Pflege des digitalen Bauwerksmodells, d. h., dass alle Änderungen am realen Bauwerk auch im digitalen Abbild entsprechend nachgeführt werden müssen. Kommt es zu größeren Umbaumaßnahmen oder wird das Bauwerk am Ende seines Lebenszyklus zurückgebaut, kann das Modell genauen Aufschluss über die verbauten Materialien geben und ermöglicht so eine umweltgerechte Entsorgung bzw. ein kreislaufgerechtes Recycling von Baumaterialien (Kapitel 04). Größeren Handlungsbedarf gibt es hinsichtlich der bedarfsgerechten Übergabe relevanter Betreiberinformationen aus der BIM-Planung an die CAFM-Systeme des Betriebes.

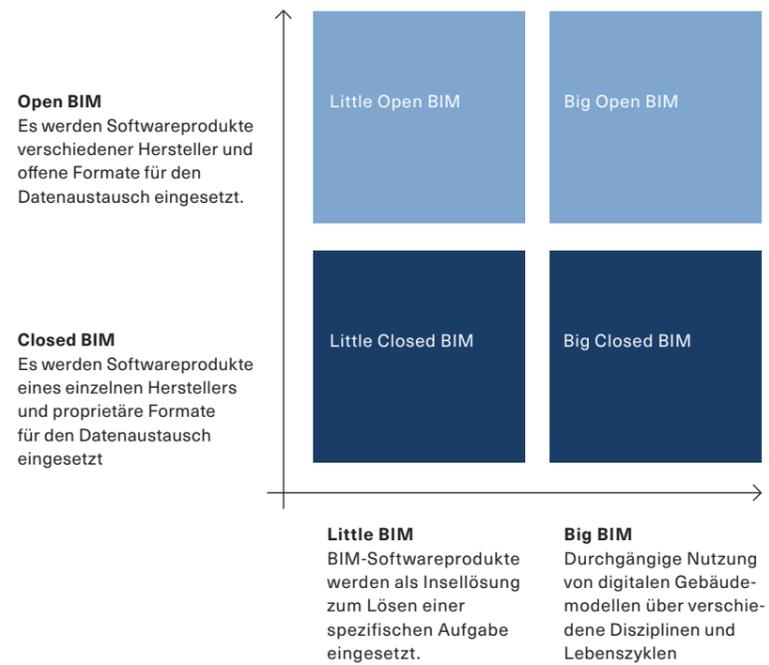
06.2.1.2 Little BIM vs. Big BIM, Closed BIM vs. Open BIM

Der Umstieg von der herkömmlichen zeichnungsgestützten auf die modellgestützte Arbeit macht Änderungen an den unternehmensinternen und unternehmensübergreifenden Prozessen notwendig. Um die Funktionstüchtigkeit der Abläufe nicht zu gefährden, ist ein schrittweiser Übergang sinnvoll. Entsprechend unterscheidet man bei der Umsetzung von BIM verschiedene technologische Ausprägungen (Abbildung 48).

Die einfachste Unterscheidung wird mit den Begriffen „Big BIM“ und „Little BIM“ vorgenommen.³⁰⁵ Dabei bezeichnet „Little Bim“ die Nutzung einer spezifischen BIM-Software durch einen einzelnen Planer im Rahmen seiner disziplinspezifischen Aufgaben. Mit dieser Software wird ein digitales Bauwerksmodell erzeugt und gegebenenfalls Pläne abgeleitet. Die Weiternutzung des Modells über verschiedene Softwareprodukte hinweg geschieht nicht. Ebenso wenig wird das Bauwerksmodell zur Koordination der Planung zwischen den beteiligten Fachdisziplinen herangezogen. BIM wird in diesem Fall also als Insellösung innerhalb einer Fachdisziplin eingesetzt, die Kommunikation nach außen wird weiterhin zeichnungsgestützt abgewickelt. Zwar lassen sich mit Little Bim bereits Effizienzgewinne erzielen, das große Potenzial einer durchgängigen Nutzung digitaler Bauwerksinformationen bleibt jedoch unerschlossen. Im Gegensatz dazu bedeutet „Big BIM“ die konsequente modellbasierte Kommunikation zwischen allen Beteiligten über alle Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes hinweg. Für den Datenaustausch und die Koordination der Zusammenarbeit werden in umfassender Weise Internetplattformen und Datenbanklösungen eingesetzt.

305 Jernigan /Onuma, 2008

Abbildung 48
Die Breite des BIM-Einsatzes unterscheidet „Little BIM“ von „Big BIM“. Je nachdem, ob herstellernerneutrale Datenaustauschformate zum Einsatz kommen, spricht man von „Closed BIM“ oder „Open BIM“.



Quelle: Grafik nach Hausknecht / Liebich, 2016

Orthogonal dazu steht die Frage, ob ausschließlich Softwareprodukte eines Herstellers eingesetzt und ob für den Datenaustausch entsprechende proprietäre Schnittstellen genutzt werden (Closed BIM) oder ob offene, herstellernerneutrale Datenformate zum Einsatz kommen, die den Datenaustausch zwischen Produkten verschiedener Hersteller ermöglichen (Open BIM). Zwar bieten einzelne Softwarehersteller eine erstaunliche Palette von Softwareprodukten für das Bauwesen an und können damit eine große Bandbreite der Aufgaben in Planung, Bau und Betrieb abdecken. Allerdings wird es auch weiterhin Lücken geben, bei denen Produkte anderer Hersteller zum Einsatz kommen müssen. Die Heterogenität der Softwarelandschaft ergibt sich darüber hinaus insbesondere aus der Vielzahl der beteiligten Fachdisziplinen und der Verteilung der Aufgaben über verschiedene Unternehmen.

Das sich daraus ergebende Problem der mangelnden Interoperabilität verursacht enorme Kosten. Im Jahr 2004 führte das US-amerikanische Institut für Standards und Technologie (NIST) eine Studie durch, die die anfallenden Mehrkosten bei Planung, Ausführung und Betrieb für das Jahr 2002 infolge mangelnder Interoperabilität zwischen den eingesetzten Softwaresystemen allein in den USA mit 15,8 Mrd. US-Dollar bezifferte.³⁰⁶

Um dieser enormen Verschwendung von Wirtschaftskraft zu begegnen und den Datenaustausch zwischen Softwareprodukten des Bauwesens zu verbessern, gründete sich Anfang der 1990er-Jahre die Internationale Allianz für Interoperabilität (IAI), eine internationale

Non-Profit-Organisation, die sich 2003 in buildingSMART (bS) umbenannt hat. Ihr ist es gelungen, ein herstellerunabhängiges Datenformat zur umfänglichen Beschreibung von Bauwerksmodellen zu schaffen, das den Namen Industry Foundation Classes (IFC) trägt. Das Datenmodell beinhaltet umfangreiche Datenstrukturen zur Beschreibung von Objekten aus nahezu allen Bereichen des Hochbaus. Es wurde 2013 in einen ISO-Standard überführt³⁰⁷ und bildet die Grundlage einer Vielzahl nationaler Richtlinien zur Umsetzung von Open BIM.

Trotz der enormen Fortschritte im Bereich Open BIM ist jedoch anzumerken, dass die Nutzung herstellernerneutraler Formate heute noch nicht in jedem Fall einwandfrei funktioniert. Gerade bei der Übergabe von Modellen zwischen

Modellierungswerkzeugen zum Zwecke der Weiterbearbeitung kommt es noch zu Einschränkungen. Dies liegt vor allem darin begründet, dass sowohl die Schaffung von herstellernerneutralen bzw. standardisierten Formaten als auch deren korrekte Implementierung durch die Softwarehersteller technisch äußerst anspruchsvoll sind. Es gibt jedoch genügend Grund für die Annahme, dass die verbleibenden technischen Probleme bald gelöst werden, sofern dieses Ziel von den Softwareherstellern mit der nötigen Ernsthaftigkeit verfolgt wird. Dies wird insbesondere davon abhängen, wie stark der Markt (bzw. die Bauherren) die Unterstützung von Open BIM einfordert. Bedenkt man die möglichen negativen Auswirkungen, die eine zu große Marktdominanz eines einzelnen Softwareherstellers mit sich bringt, ist die Philosophie des Open BIM in jedem Fall der richtige Weg.

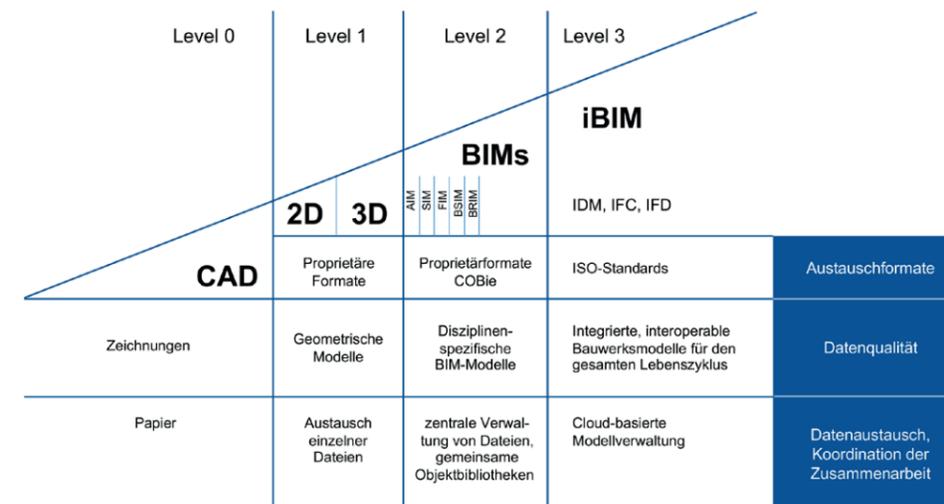
06.2.1.3 BIM-Reifegradstufen

Das Kapitel beschäftigt sich mit der Tiefe der BIM-Umsetzung, die üblicherweise über Reifegradstufen ausgedrückt wird. Dabei wird unter anderem auf die vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur definierten Leistungsniveaus eingegangen.

Die Bauindustrie kann den Umstieg auf das durchgängig modellgestützte Arbeiten im Sinne von Big Open BIM nicht

in einem Zug bewältigen, stattdessen ist eine schrittweise Einführung dieser neuen Technologie sinnvoll. Von der britischen BIM Task Group wurde in diesem Zusammenhang ein BIM-Reifegradmodell (engl. BIM Maturity Model) eingeführt, das vier verschiedene Stufen (engl. Level) der Umsetzung von BIM definiert (Abbildung 49). Die Stufen 1–3 wurden als „BIM-Entwicklungsgrade“ von der internationalen Norm ISO 19650-1 übernommen.³⁰⁸

Abbildung 49
Die BIM Maturity Ramp der britischen BIM Task Group definiert vier verschiedene Reifegradstufen



Quelle: Diagramm nach Bew / Richards, 2008

Stufe 0 beschreibt dabei das konventionelle Arbeiten mit 2D-Zeichenprogrammen und den Austausch von papiergedruckten Plänen.

Stufe 1 beinhaltet das Erzeugen von 3D-Modellen für komplizierte Bereiche des geplanten Bauwerks (wie spezielle Knotenpunkte), die mit herkömmlichen 2D-Zeichnungen koexistieren. Der Datenaustausch geschieht durch das Versenden einzelner Dateien, eine zentrale Projektplattform existiert nicht.

Level 2 sieht die Nutzung von BIM-Software zum Erstellen digitaler Bauwerksmodelle vor. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Fachplaner*innen jeweils eigene, voneinander unabhängige Modelle erzeugen, die jedoch regelmäßig miteinander abgeglichen werden. Der Datenaustausch basiert auf dem Austausch von Dateien, bei dem herstellerspezifische Formate zum Einsatz kommen. Zur Abstimmung und Koordination werden die Daten in einer gemeinsamen Datenumgebung (engl. Common Data Environment), zusammengeführt und vorgehalten. Die Daten selbst werden in sogenannten Informationscontainern zusammengefasst, die unterschiedlichste Dateien wie Modelle, Pläne und Protokolle beinhalten können. Für diese Arbeitsweise haben sich in Deutschland die Ausdrücke „Fachmodell-basiertes Arbeiten“ und „Föderiertes Datenmanagement“ etabliert.³⁰⁹

Level 2 wird seit 2016 für öffentliche Bauvorhaben in Großbritannien verbindlich vorgeschrieben.³¹⁰ Im Vorfeld sind entsprechende Normen und Richtlinien verabschiedet worden³¹¹ die mittlerweile Eingang in die internationale Normung wie beispielsweise die ISO 19650 gefunden haben.³¹² In Deutschland bildet das international definierte Level 2 die Basis für die Leistungsstufe 1, die vom BMVI im Stufenplan „Digitales Planen und Bauen“ als verbindlich einzuführen festgelegt wurde.³¹³ Die genauen Schritte zur Einführung der Leistungsstufe werden derzeit in einem BIM-Masterplan definiert, dessen Veröffentlichung für den Sommer 2021 geplant ist. Weitere Leistungsstufen sehen unter anderem die Verwendung eines Netzwerks von Digitalen Zwillingen für den Betrieb von Infrastrukturbauwerken vor.

Level 3 sieht die Umsetzung von Big Open BIM vor, d. h., es werden ISO-Standards für den Datenaustausch und für die Beschreibung der Prozesse eingesetzt und ein integriertes digitales Modell über den gesamten Lebenszyklus verwendet. Für das Datenmanagement kommen zentrale Modellserver zum Einsatz, die einen Zugriff über Cloud-Technologien erlauben. Ein wesentlicher Unterschied zu Level 2 liegt darin, dass die Informationen viel feingranularer verwaltet werden – nicht als Informationscontainer auf Basis von Dateien, sondern als einzelne Objekte. Dies erlaubt ein besseres Zugriffs- und Änderungsmanagement durch die gemeinsame Datenumgebung. Es gibt bislang keine Bestrebungen, Level 3 verbindlich einzuführen, dennoch geht die technologische Entwicklung kontinuierlich weiter in diese Richtung. So bieten schon heute verschiedene Unternehmen der Bausoftwarebranche cloudbasierte Lösungen an, die ein feingranulares Informationsmanagement erlauben.

309 ISO, 2018; VDI, 2020

310 Cabinet Office, 2011

311 British Standards Institution, 2013

312 ISO, 2018

313 BMVI, 2015b

06.2.1.4 Vertragliche Vereinbarungen

Eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung von BIM sind vertragliche Vereinbarungen hinsichtlich der Modellinhalte, der Modellqualität und der Prozessabläufe, Letzteres insbesondere in Bezug auf die Übergabe von Modellen. Hierfür wird in der internationalen Norm ISO 19650 sowie in diversen deutschen Richtlinien eine Vorgehensweise festgeschrieben, die auf zwei sich ergänzenden Dokumenten beruht, den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und dem BIM-Abwicklungsplan (BAP):

- In den AIA legt der Auftraggeber (AG) fest, welche Ziele mit der Nutzung von BIM im Projekt verfolgt werden, welche Anwendungsfälle umgesetzt werden sollen, welche Anforderungen an die Modellinhalte bestehen und welche Übergabeformate einzusetzen sind. Sie haben damit die Aufgabe eines Lastenheftes in Bezug auf die BIM-Umsetzung.
- Im BIM-Abwicklungsplan (BAP) legt der Auftragnehmer dar, wie er die Anforderungen des Auftraggebers umsetzen möchte. Hierzu geht er darauf ein, welche Softwareprodukte für die Erstellung der Modelle, deren Koordination und Prüfung und die Umsetzung der Anwendungsfälle eingesetzt werden. Zudem werden Fragen der Modellaufteilung und Modellinhalte vertieft behandelt und Zuständigkeiten und Rollen definiert.

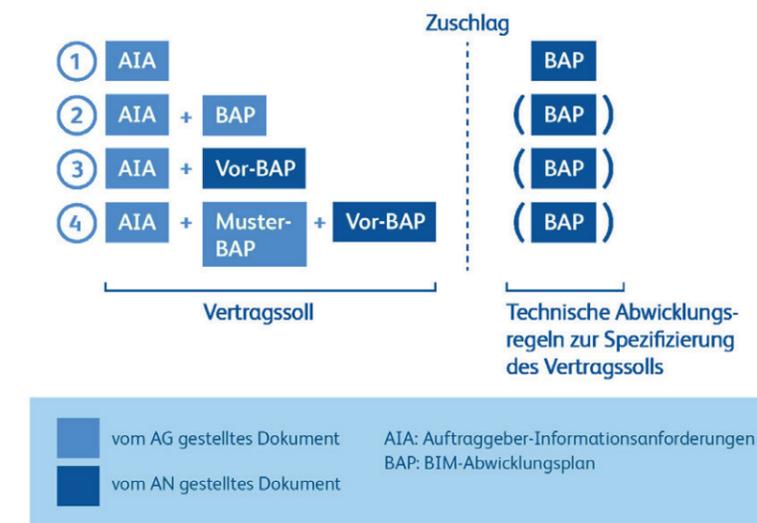
Hinsichtlich der Einbettung von AIA in die Ausschreibung und Vergabe von Planungs- und Ausführungsleistungen bzw. in die entsprechenden vertraglichen Vereinbarungen gibt es unterschiedliche Konstellationen, die in Abbildung 50 überblicksartig aufgeführt sind:

- In Konstellation 1 bilden die AIA die alleinige Grundlage für die Ausschreibung und Vergabe und das vertraglich festgelegte Leistungssoll.
- In Konstellation 2 wird vom Auftraggeber zusätzlich auch ein BAP vorgegeben, der dann zusammen mit den AIA das Vertragssoll bildet. Da hier aber viele Details vom AG festgelegt werden müssen, kommt diese Konstellation jedoch nur selten zum Einsatz.
- In Konstellation 3 legen die Bieter im Zuge der Angebotsabgabe einen Vor-BAP vor, dessen Qualität bei der Zuschlagsvergabe berücksichtigt werden kann.
- In Konstellation 4 gibt der AG zusätzlich noch einen Muster-BAP vor, der ihm durch die vereinheitlichte Struktur den Vergleich zwischen den von den Bietern vorgelegten Vor-BAPs erleichtert.

Bei Konstellation 3 und 4 fließen die Vor-BAPs in die vertraglichen Vereinbarungen ein, was aus AG-Sicht zu bevorzugen ist. Unabhängig davon ist es möglich, den BAP im Laufe des Projekts fortzuschreiben. Dies hat dann aber keinen Einfluss auf die vertraglich vereinbarten Leistungen.

Abbildung 50

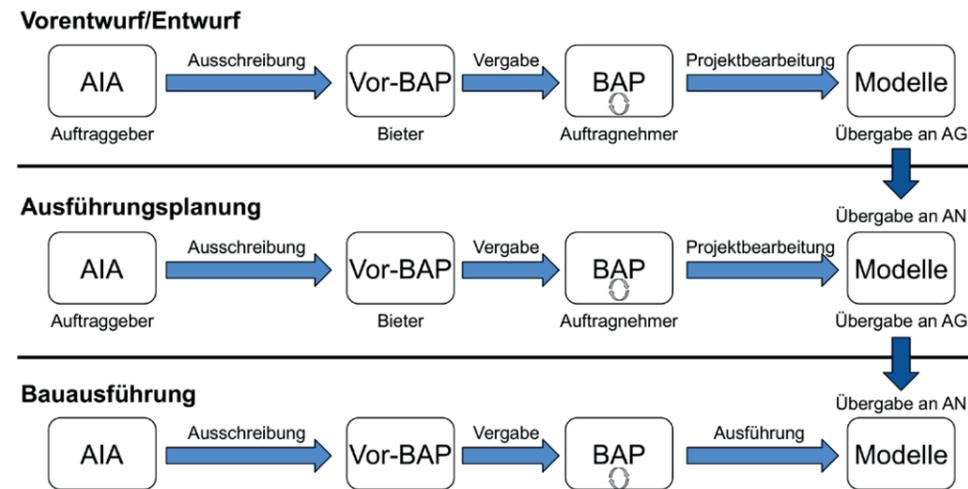
Unterschiedliche Modelle für die Einbettung von AIA und BAP in Vergabeprozesse und vertragliche Vereinbarungen



Quelle: Grafik nach Kapellmann / Partner, 2019

AIA und BAP werden in der Regel phasenweise bzw. je nach Ausschreibungs- und Beauftragungspaket formuliert. Damit ergibt sich beispielsweise der in Abbildung 51 gezeigte Ablauf.

Abbildung 51
AIA und BAP werden in der Regel phasenweise bzw. je nach Ausschreibungs- und Beauftragungspaket formuliert.



Quelle: Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

Von verschiedenen Institutionen werden entsprechende Vorlagen für AIA und BAP zur Verfügung gestellt. Beispielhaft seien hier die Initiative BIM4INFRA2020 genannt, die im Auftrag des BMVI detaillierte Vorlagen für den Infrastrukturbau erarbeitet hat.³¹⁴ Derzeit befindet sich das BIM-Portal des Bundes im Aufbau, das zukünftig konfigurierbare AIA-Dokumente zum Download anbieten wird.

Die generelle Vorgehensweise von AIA und BAP wurde und wird in zahlreichen BIM-Projekten im Hoch- und Tiefbau bereits praktisch angewendet. Dabei hat sich die Konstellation 4 aus Abbildung 50 als „Best Practice“ herauskristallisiert.

Bei der Ausarbeitung der internationalen Norm ISO 19650 wurde darauf Wert gelegt, die vertraglichen Konstellationen von den inhaltlichen Festlegungen zu trennen. Es wird daher in der Norm nicht von Auftraggebern und Auftragnehmern gesprochen, sondern von Informationsbestellern und Informationsbereitstellern.

06.2.1.5 BIM-bezogene Rollen und Berufsbilder

Aus der Abwicklung von BIM-Projekten ergeben sich vielfältige neue Aufgaben in Bezug auf die Verwaltung digitaler Bauwerksmodelle und die Koordination der Informationsflüsse. Damit entstehen auch neue Rollen und in letzter Konsequenz neue Berufsbilder.

In Deutschland definieren nationale Normen und Richtlinien (DIN EN ISO 19650, VDI 2552) die Rollen und Verantwortlichkeiten in BIM-Projekten sowie hierfür erforderliche Fachkenntnisse beziehungsweise Kriterien für die Zertifizierung.

BIM-Manager

Die Aufgabe des BIM-Managers (oder: Informationsmanagers) liegt in der übergeordneten Steuerung alles BIM-Aspekte eines Bauvorhabens. Der Verantwortungsbereich umfasst die Definition der Auftraggeber-Informationen (AIA) – in erster Linie der BIM-Prozesse, BIM-Ziele und BIM-Anwendungen –, Beratung hinsichtlich der technologischen Umsetzung (eingesetzte Hard- und Software, Datenaustausch) sowie Maßnahmen zur BIM-Qualitätssicherung und -kontrolle in Bauherrenvertretung wie die Freigabe der Koordinationsmodelle. Zudem zeichnet der BIM-Manager für den projektübergreifenden Erfahrungsaustausch und den Kompetenzaufbau verantwortlich und übernimmt die Entwicklung und Umsetzung der langfristigen BIM-Strategie der jeweiligen Organisation.

BIM-Gesamtkoordinator

Der BIM-Gesamtkoordinator bildet die Schnittstelle zwischen dem Auftraggeber und den weiteren Mitgliedern des Projektteams. Zum Verantwortungsbereich des BIM-Gesamtkoordinators zählen das regelmäßige Zusammenführen der Fachmodelle und die Koordination der verschiedenen Planungsdisziplinen nach Maßgabe der Auftraggeber-Informationen (AIA) sowie Festschreibung im BIM-Abwicklungsplan (BAP). Nach der erfolgreichen fachbezogenen Qualitätsprüfung der einzelnen Fachmodelle und der fachübergreifenden Qualitätssicherung des Koordinationsmodells einschließlich Kollisionsbereinigung werden die Modelle durch den BIM-Manager freigegeben und zur Dokumentation des Planungsfortschritts archiviert.

BIM-Koordinator

Einzelne Fachdisziplinen werden in BIM-Projekten durch die Rolle des BIM-Koordinators (oder: Informationskoordinators) vertreten. Der BIM-Koordinator ist verantwortlich für die operative Umsetzung der vereinbarten BIM-Ziele, für die Koordination der fachbezogenen Aufgaben und Zuständigkeiten im Rahmen der BIM-Prozesse und BIM-Anwendungen sowie für die fristgerechte Bereitstellung der Fachmodelle und weiterer digitaler Liefergegenstände in der vertraglich vereinbarten Qualität nach Maßgabe der Auftraggeber-Informationen (AIA) und des BIM-Abwicklungsplans (BAP).

BIM-Autor

Der BIM-Autor (oder: Informationsautor) ist verantwortlich für die Bearbeitung und fristgerechte Erstellung von Fach- und Teilmodellen sowie Auswertungen aus Modellen in der vertraglich vereinbarten Qualität nach Maßgabe der Auftraggeber-Informationen (AIA) und des BIM-Abwicklungsplans (BAP) sowie in Abstimmung mit dem BIM-Koordinator. Ihnen obliegt die Datenhoheit über die Fach- und Teilmodelle.

Der Erfolg BIM-basierter Projektabwicklung beruht maßgeblich auf der Kollaboration und Kommunikation des Projektteams, vertreten durch den BIM-Manager, den BIM-Gesamtkoordinator und die BIM-Koordinatoren der einzelnen Fachdisziplinen.

Weiterhin müssen entsprechend der jeweiligen Rollendefinition spezifische Fachkenntnisse vorhanden sein, um die erfolgreiche BIM-Implementierung in Projekten zu gewährleisten. Die erforderlichen Basiskennnisse für einzelne Rollen werden in der Richtlinie VDI/BS-MT 2552 Blatt 8.1 definiert. Lebenslanges Lernen und lebenslange Fortbildung sind wesentliche Bausteine für das Aneignen notwendigen Fachwissens und den fortlaufenden Abgleich mit normativen und regulatorischen Änderungen in nationalen und internationalen Kontexten.

In Deutschland etablierte buildingSMART Deutschland in Kooperation mit dem Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) auf Grundlage der Richtlinie VDI/BS-MT 2552 Blatt 8.1 ein zweistufiges BIM-Qualifizierungsprogramm. Die erste Stufe des Programms verfolgt das Ziel der Vermittlung und Zertifizierung von Basiswissen in Building Information Modeling (BIM). Die Basisqualifizierung wird von Schulungsanbietern in Deutschland seit Mai 2018 als buildingSMART-/VDI-Zertifikat „BIM-Qualifikationen – Basiskennnisse (Professional Certification Program – Foundation)“ angeboten – im Freistaat Bayern unter anderem von:

- Technische Universität München im Rahmen des Weiterbildungskurses „BIM Professional“ des Life Long Learning Institute,
- Hochschule für Angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt,
- Hochschule München,
- Bayerische Ingenieurekammer-Bau,
- Allplan Deutschland GmbH in Kooperation mit der EDUBIM GmbH sowie
- Duschl Ingenieure GmbH & Co. KG Beratende Ingenieure für Technische Ausrüstung + Energietechnik.

Ab Herbst 2021 plant buildingSMART Deutschland die Erweiterung des Angebots um eine Aufbaustufe des Programms, dem „Professional Certification – Practitioner“. Schwerpunkt des Qualifizierungsprogramms bildet die Vermittlung anwendungsbezogener BIM-Kompetenzen.

06.2.1.6 Stand der Einführung international

In vielen Ländern ist die Einführung der BIM-Methode bereits weit vorangeschritten. Als Vorreiter sind hier insbesondere Singapur, Finnland, die USA, Großbritannien und Australien zu nennen. Herauszuheben ist, dass in allen genannten Ländern der Staat als größter Auftraggeber eine Schlüsselrolle bei der Einführung von BIM eingenommen hat. Das Kapitel beschreibt die Herangehensweisen in den verschiedenen Ländern und geht auf den erreichten Umsetzungsgrad ein. Darüber hinaus werden Standardisierungsaktivitäten bei ISO und CEN diskutiert.

In Singapur gibt es bereits seit 2004 die Pflicht, Bauunterlagen für öffentliche Bauvorhaben über eine Internet-Plattform elektronisch einzureichen.³¹⁵ Dabei müssen digitale Bauwerksmodelle im Neutralformat IFC übergeben werden. Sie werden anschließend automatisiert auf die Einhaltung bestimmter Normen und Vorgaben, z. B. zum Brandschutz, geprüft. Die Durchdringung der Bauwirtschaft in Singapur mit BIM ist entsprechend weit fortgeschritten. Die BIM-Richtlinien der Building and Construction Authority sind 2013 in der zweiten Version erschienen.³¹⁶

In Finnland wird seit 2007 für alle von der öffentlichen Hand in Auftrag gegebenen Bauvorhaben mit einem Volumen von über einer Mio. Euro die Bereitstellung eines digitalen Bauwerksmodells vorgeschrieben.³¹⁷ Inzwischen konnten umfangreiche Erfahrungen in der Abwicklung von BIM-Projekten gesammelt werden. Diese haben Eingang gefunden in die Richtlinienammlung „Common BIM Requirements“, die 2012 veröffentlicht wurde.³¹⁸ Die finnischen Richtlinien setzen sehr stark auf offene Datenaustauschformate wie die IFC.

In den USA verlangen große staatliche Auftraggeber wie die General Service Administration (GSA) und das US Army Corps of Engineers (USACE) ebenfalls bereits seit vielen Jahren die Übergabe von BIM-Modellen.³¹⁹ Die amerikanischen Gaststreitkräfte fordern für ihre Neubauten in Deutschland auch die Nutzung von BIM und haben bereits 2011 die USACE-BIM-Richtlinie für Deutschland erstellen lassen.³²⁰ Aber auch von privaten Auftraggebern in den USA wird heute häufig standardmäßig eine BIM-gestützte Projektabwicklung verlangt.

Das National Institute of Building Sciences (NIBS) hat 2007 die erste Version des Nationalen BIM-Standards (NBIMS-US) als Bündelung von Standards veröffentlicht, die an anderer Stelle definiert wurden, darunter die internationalen Datenaustauschstandards IFC und COBie (Construction Operations Building Information Exchange), die LOD-Spezifikationen des BIMForum, die US CAD Standards und die PennState BIM Use Cases, um nur einige zu nennen. Die jüngste Version 3 von NBIMS-US wurde 2015 veröffentlicht.³²¹ Im Dezember 2020 wurde die Erarbeitung und Veröffentlichung einer substantiell erweiterten Version 4 angekündigt.³²²

Darüber hinaus gibt es in den USA BIM-Richtlinien bis zu den unteren staatlichen Verwaltungsebenen – als Beispiel seien die BIM-Richtlinien von New York City genannt.³²³ Eine wichtige Rolle bei der praktischen Umsetzung von BIM nimmt das American Institute of Architects ein. Es stellt beispielsweise Vorlagen für vertragliche Vereinbarungen in BIM-Projekten zur Verfügung und wirkt insbesondere an einer detaillierten Spezifikation zur Beschreibung des Ausarbeitungsgrades (engl. Level of Development, LOD) von BIM-Modellen unter dem Dach von BIMForum mit.³²⁴ Im Jahr 2020 wurde das amerikanische Chapter von buildingSMART wieder ins Leben gerufen und verzeichnet verstärkte Aktivitäten, insbesondere im Bereich der Erarbeitung offener Standards. Beispielsweise haben sich die Verkehrsministerien der Bundesstaaten darauf verständigt, zukünftig IFC Road als offizielles Übergabeformat einzusetzen.

³¹⁵ Khemlani, 2005

³¹⁶ BCA Singapore, 2013

³¹⁷ Senate Properties, 2007

³¹⁸ www.buildingsmart.fi/en/common-bim-requirements-2012, aufgerufen am 12.04.2021

³¹⁹ GSA, 2021

³²⁰ Hausknecht / Liebich, 2011

³²¹ NIBS, 2015

³²² NIBS, 2020

³²³ NYC DDC, 2012

³²⁴ BIMForum, 2020

In Asien sind neben Singapur die Länder Südkorea und China schon sehr weit in Bezug auf die Einführung von BIM. Korea hat eine lange Tradition in der Nutzung von BIM und veröffentlichte bereits 2010 seine erste BIM-Roadmap. Die ersten BIM-Richtlinien wurden 2011 veröffentlicht und seither in regelmäßigen Abständen aktualisiert. Sie enthalten Details darüber, wie BIM-Modelle während der Planungs- und Bauphase schrittweise entwickelt werden sollten und definieren die Mindestanforderungen für verschiedene Anwendungsfälle, wie z. B. Entwurfsprüfung, 3D-Koordination und Kostenschätzung. Seit 2016 schreibt die koreanische Regierung BIM für alle öffentlichen Bauprojekte über 50 Mrd. Won³²⁵ vor. Derzeit konzentriert man sich darauf, den Infrastruktursektor in die verbindliche BIM-Nutzung einzubeziehen.

China begann im Jahr 2003 mit der Entwicklung seiner Digitalisierungsstrategie für das Bauwesen.³²⁶ Im Jahr 2010 veröffentlichte das Ministry of Housing and Urban-Rural Development (MOHURD) den „Überblick über die Entwicklung der Digitalisierung der Bauindustrie 2011–2015“, in der BIM als eine Kerntechnologie zur Unterstützung und Verbesserung der Bauindustrie hervorgehoben wurde. Im Jahr 2016 veröffentlichte MOHURD eine aktualisierte Version, in der vorgeschlagen wird, die integrativen Anwendungen von Informationstechnologien wie BIM, Big Data usw. zu verbessern.

Besonders beachtenswert ist die BIM-Strategie der britischen Regierung, die 2007 ins Leben gerufen wurde und deren erklärtes Ziel es war, mithilfe digitaler Technologien eine signifikante Reduzierung von Kosten und Treibhausgasen zu erzielen.³²⁷ Zudem sollte die britische Bauindustrie mit der breiten Einführung von BIM auf ein neues technologisches Niveau gehoben werden, sodass Wettbewerbsvorteile auf dem internationalen Markt entstehen. Seit 2016 wird für alle öffentlichen Bauvorhaben in Großbritannien BIM Level 2 verbindlich vorgeschrieben. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokuments ist das Ziel der Etablierung von BIM in der britischen Bauwirtschaft weitgehend erreicht worden. Dies wird durch eine jährliche BIM-Umfrage untermauert, die eine deutliche Zunahme der Nutzung von BIM-Methoden in den letzten Jahren dokumentiert. In der jüngsten Erhebung aus dem Jahr 2020 geben 73 Prozent der befragten Planungsbüros und Bauunternehmen an, BIM einzusetzen, und 71 Prozent davon stellten eine gesteigerte Produktivität fest. Neben der Bereitstellung zahlreicher Richtlinien und Vertragsvorlagen wurde eine National BIM Library aufgebaut, die eine große Zahl von BIM-Objekten unterschiedlichster Hersteller mit standardisierten Eigenschaftslisten für die Nutzung in BIM-Entwurfswerkzeugen bereitstellt.³²⁸ Die Digitalisierung des Bauwesens wird unterdessen vom 2017 gegründeten Centre for Digital Built Britain (CDBB) an der University of Cambridge kontinuierlich vorangetrieben.³²⁹

³²⁵ ca. 350.000 Euro

³²⁶ Liu, 2017

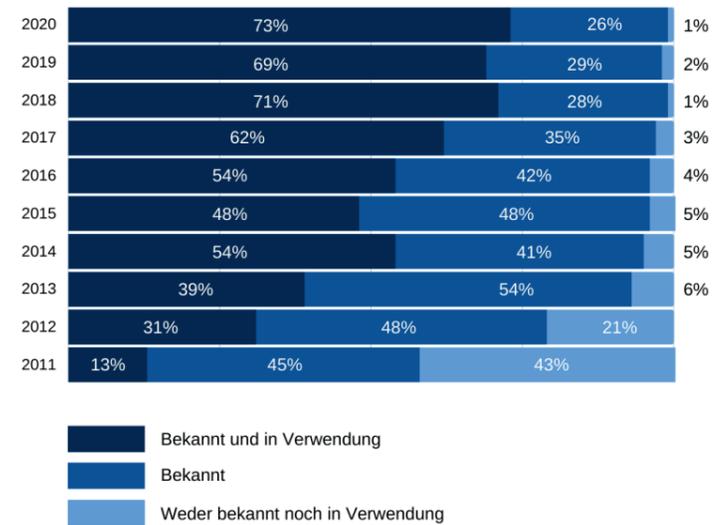
³²⁷ Cabinet Office, 2011

³²⁸ NBS, 2020

³²⁹ CDBB, 2018

Abbildung 52

Kontinuierlich zunehmender BIM-Einsatz in Großbritannien seit 2011



Quelle: eigene Darstellung, NBS National BIM Survey, 2021

Eines der Schlüsseldokumente mit weltweiter Wirkung war die von der British Standards Institution (BSI) herausgegebene, öffentlich verfügbare Spezifikation (Publicly Available Specification) PAS 1192-2 „Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modeling“. Darin werden die grundlegenden Abläufe in einem BIM-Projekt festgelegt und sogenannte Data Drops spezifiziert, bei denen zu bestimmten Zeitpunkten Projektdaten an den Bauherren übergeben werden. Die PAS bleibt dabei auf einem weitgehend generischen Niveau und überlässt Details der Modellinhalte und Ausarbeitungsgrade den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungsplänen (BAP) der einzelnen Projekte. Die Grundprinzipien der PAS 1192-2 wurden von der internationalen Norm ISO EN DIN 19650 weitgehend übernommen und haben damit auch in Deutschland Verbindlichkeit im Sinne einer geltenden Norm bekommen.

Viele weitere europäische Länder haben Initiativen zur Umsetzung von BIM im Bausektor auf den Weg gebracht. In einigen ist die BIM-Methode für öffentliche Bauvorhaben bereits verbindlich vorgeschrieben oder ist dies für die nächsten Jahre vorgesehen. Dazu zählen insbesondere Finnland, Schweden³³⁰, Norwegen³³¹ und die Niederlande³³². Hier werden bereits seit vielen Jahren positive Erfahrungen mit BIM gesammelt. In einer vom norwegischen Verkehrsministerium durchgeführten Studie wurden beispielsweise BIM-Projekte mit konventionellen Projekten verglichen, wobei systematisch geringere Kostenüberschreitungen festgestellt wurden.

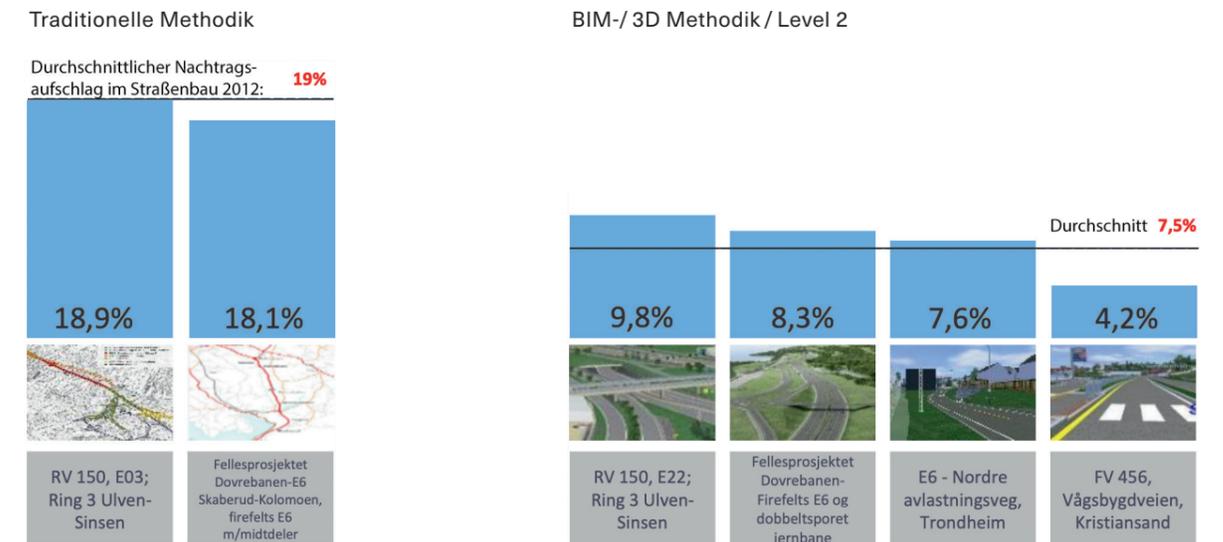
³³⁰ BIM Alliance, 2020

³³¹ Statsbygg, 2013

³³² Rijksgebouwdienst, 2012

Abbildung 53

Norwegische Studie zu Nachträgen in BIM-Projekten gegenüber konventionellen Projekten



Eine Studie des norwegischen Verkehrsministeriums aus dem Jahr 2017 belegt den deutlich geringeren Anteil an Nachträgen in BIM-Projekten gegenüber konventionellen Projekten.

Quelle: eigene Darstellung, Berg, 2017

In Frankreich wurde 2014 der „Plan transition numérique dans le bâtiment“ (PTNB) ins Leben gerufen. Im Rahmen des von 2015 bis Ende 2018 durchgeführten Programms wurden eine Roadmap, ein BIM-Leitfaden und eine Standardisierungsstrategie veröffentlicht. Nach dem Abschluss dieses Vorbereitungsprojekts wurde vom Ministère Chargé du Logement der „Plan BIM 2022“ verabschiedet, der durch eine Reihe von Aktivitäten in den Bereichen Entwicklung, Normierung und Weiterbildung die breite Nutzung von BIM ab dem Jahr 2022 ermöglichen soll. In Spanien, Italien³³³ und Österreich³³⁴ laufen ähnliche staatliche Initiativen. In der Schweiz treibt die Interessengemeinschaft „Bauen Digital Schweiz“ die Digitalisierung des Bauwesens voran. Sie arbeitet eng mit dem Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein und dem Standardisierungsinstitut CRB zusammen.

Eine wichtige Voraussetzung für verbindliche Vorschriften zur Verwendung von BIM bei öffentlichen Aufträgen ist die Vereinbarkeit mit dem EU-Recht. Hierfür wurde 2014 die EU-Beschaffungsrichtlinie so angepasst, dass sie den öffentlichen Bauherren ausdrücklich erlaubt, digitale Formate für die Übergabe zu fordern: „For public works contracts and design contests, Member States may require the use of specific electronic tools, such as building information, electronic modeling tools or similar.“

³³³ MIT, 2017

³³⁴ Austrian Standards, 2020

06.2.1.7 Stand der Einführung in Deutschland

Im Jahr 2015 hat die Reformkommission Bau von Großprojekten, die im Auftrag der Bundesregierung Vorschläge für eine zuverlässigere Abwicklung von großen Bauvorhaben erarbeitet, in ihrem Abschlussbericht die Nutzung von BIM empfohlen, um zukünftig Großprojekte im Zeit- und Kostenrahmen realisieren zu können.³³⁵

In der Folge hat das BMVI eine führende Rolle bei der Einführung von BIM in Deutschland eingenommen. Zunächst veröffentlichte das Ministerium 2015 den Stufenplan „Digitales Planen und Bauen“, der das Leitungsniveau 1 der BIM-Nutzung definiert und drei Stufen zu seiner Einführung mit dem Ziel festlegt, ihn ab Ende 2020 BIM in allen Neubauprojekten im Zuständigkeitsbereich des BMVI verbindlich zu nutzen.³³⁶

Im Januar 2015 wurde die „planen-bauen 4.0 – Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betriebens mbH“ (PB40) gegründet. Als Gesellschafter agieren die führenden Verbände im Bausektor, darunter der Bauindustrieverband, die Bundesarchitektenkammer, die Bundesingenieurkammer, der Verband Beratender Ingenieure und der Zentralverband Deutsches Baugewerbe.³³⁷

Von 2017 bis 2019 führte das Projekt BIM4INFRA2020, geleitet durch PB40, umfangreiche Arbeiten zur Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ durch.³³⁸ Dazu gehörten die Begleitung und Analyse von zahlreichen Pilotprojekten, die Erarbeitung von umfangreichen Handreichungen einschließlich Vorlagen für AIA und BAP, die Beantwortung rechtlicher Fragestellungen einschließlich Vorlagen für Besondere Vertragsbedingungen (BIM-BVB) und die Definition einer umfassenden Datenbankstrategie. Im Anschluss wurde im Jahr 2019 das nationale Zentrum für die Digitalisierung des Bauwesens „BIM Deutschland“ durch das BMVI und das BMI ins Leben gerufen, das in umfassender Weise staatliche Organisationen beraten und die strategische BIM-Entwicklung weiter vorantreiben soll.³³⁹ Zum Zeitpunkt der Drucklegung sind zwei Masterpläne BIM für den Bundeshochbau und den Bundesfernstraßenbau in Vorbereitung, die weitere detaillierte Festlegungen und einen genauen Fahrplan zur verbindlichen Nutzung von BIM beinhalten werden.

Große Auftraggeber im Infrastrukturbereich wie die Deutsche Bahn oder die DEGES haben infolge des Impulses durch das BMVI eigene BIM-Strategien entwickelt. Die Deutsche Bahn hat bereits im Jahr 2017 detaillierte BIM-Richtlinien veröffentlicht.³⁴⁰ Im Jahr 2019 wurde ein umfassendes Strategiepapier zur Implementierung von BIM im Vorstandsressort Infrastruktur der Deutschen Bahn veröffentlicht,³⁴¹ in dem detaillierte Zielbilder und ein Zeitrahmen sowie die Handlungsfelder und zu ergreifenden Maßnahmen dargelegt werden. Zudem wurden zahlreiche Pilotprojekte durchgeführt.

Bei der BIM-Anwendung im Straßenbau nimmt die DEGES eine führende Rolle ein. Auch hier sind bereits früh zahlreiche Pilotprojekte durchgeführt worden und detaillierte Richtlinien entstanden.³⁴²

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes³⁴³ verfolgt für den Bereich des Wasserstraßenbaus ebenfalls eine umfassende BIM-Strategie. Daneben gibt es zahlreiche weitere Initiativen, zum Teil mit regionalem Charakter. Beispielhaft sei hier die Initiative „BIM. Hamburg“ oder der BIM-Cluster Bayern genannt.

³³⁵ BMVI, 2015a

³³⁶ BMVI, 2015b

³³⁷ PB40, 2020

³³⁸ BIM4INFRA, 2020

³³⁹ BIM D, 2020

³⁴⁰ Deutsche Bahn, 2017

³⁴¹ Deutsche Bahn, 2019

³⁴² DEGES, 2020

³⁴³ WSV, 2020

Durch die Initiative des BMVI wurde in Deutschland, anders als in anderen Ländern, die Einführung von BIM von staatlicher Seite zunächst sehr stark im Infrastrukturbau forciert und nicht wie andernorts üblich zunächst im Hochbau. Lange Zeit verhielt sich das Bundesbauministerium vergleichsweise zögerlich und gab lediglich grundlegende Studien in Auftrag.³⁴⁴ Auch der im Jahr 2017 veröffentlichte BIM-Erlass („BIM-Prüfverpflichtung“) des Bundesbauministeriums³⁴⁵ wurde nur sehr eingeschränkt umgesetzt. In jüngster Zeit sind aber eine Zunahme von Aktivitäten und eine Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen den beiden Ministerien zu verzeichnen, die eine baldige Verstärkung des BIM-Einsatzes im Bundeshochbau erwarten lassen.

Unabhängig von staatlichen Initiativen gibt es zahlreiche private Auftraggeber, die zunehmend den Einsatz der BIM-Methodik fordern. Stellvertretend sei hier die Siemens Real Estate genannt, die Neubauprojekte ausschließlich nach der BIM-Methodik durchführt und hierfür einen eigenen Standard herausgebracht hat.³⁴⁶ Weitere Beispiele sind die Automobilhersteller Volkswagen, BMW und Tesla, die BIM für die Planung und den Betrieb von Produktionshallen einsetzen.

Vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) wird seit 2014 im Rahmen der Richtlinienreihe 2552 eine Serie von Richtlinien für die Abwicklung von BIM-Projekten in Deutschland entwickelt. Bislang sind zehn Blätter verabschiedet worden, unter anderem zu den Themen Grundlagen, Begriffe, Datenaustausch, Datenmanagement, Prozesse, Klassifikation, Qualifikation, Mengenermittlung, Betrieb sowie Informationsanforderung, AIA und BAP.³⁴⁷

Daneben existiert beim Deutschen Institut für Normung (DIN) seit 2015 der Arbeitsausschuss „Building Information Modeling“, der sich der Aufgabe widmet, deutsche Interessen in die internationale und europäische Normierung einzubringen und die entstehenden Standards anschließend in deutsche Normen zu überführen. Infolge des großen Umfangs der anfallenden Standardisierungsarbeiten ist der Arbeitsausschuss im Jahr 2020 zu einem eigenen Fachbereich aufgewertet worden.³⁴⁸ Daneben ist durch die DIN Bauportal GmbH die BIM-Cloud in Entwicklung, die den am Bau Beteiligten für die Recherche und Abstimmung standardisierter Bauteileigenschaften dienen soll. Dafür beinhaltet die DIN-BIM-Cloud eine BIM-Content-Bibliothek mit klassifizierten mensch- und maschinenlesbaren Inhalten. Die DIN-BIM-Cloud ist verknüpft mit STLB-Bau und mit weiteren externen Klassifikationen wie z. B. DIN 276 und IFC.

³⁴⁴ Egger et al., 2013; BBSR, 2014; Helmus et al., 2019

³⁴⁵ BMUB, 2017

³⁴⁶ Siemens, 2017

³⁴⁷ VDI, 2020

³⁴⁸ DIN, 2020

Kasten 21

Innovationsfeld: Building Information Modeling (BIM) für Bauherren

Als Methode wird Building Information Modeling (Bauwerksdatenmodellierung) definiert durch einen durchgängigen Einsatz entlang des gesamten Wertschöpfungsprozesses im Lebenszyklus eines Bauwerks – vom Planen über den Bau und den Betrieb bis hin zu Sanierung, Umbau oder Abriss. BIM wäre demnach als Arbeitsmethode auch von allen beteiligten Akteuren in dieser Wertschöpfungskette einzusetzen. Diesem Anspruch wird aktuell in der Praxis jedoch kein Bauprojekt gerecht. Die Gründe dafür liegen jedoch nicht im Fehlen technischer Möglichkeiten, sondern vielmehr in strukturellen, organisatorischen und kulturellen Aspekten. In Planung und Ausführung kommt BIM zwar bereits vermehrt zum Einsatz – Bauherren profitieren bislang allerdings nur indirekt von BIM und könnten für sich mit einem zielgerichteten Einsatz einige Potenziale erschließen.

Als Beispiel für die Nutzung von BIM bei der Akteursgruppe der Bauherren hat die Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) als einer der größten Bauherren im öffentlichen Forschungsbau in Deutschland in den letzten Jahren intensiv an der Einführung von BIM in ihrer Bauabteilung gearbeitet und dabei vor allem die eigenen Anforderungen an BIM aus den internen Prozessen ermittelt. Diese Transformation innerhalb der Bauabteilung muss als stetiger Prozess verstanden werden, der immer wieder an geänderte Randbedingungen angepasst und optimiert wird. Hierfür wurden eine Transformationskultur etabliert, Prozesse adaptiert, Werkzeuge eingeführt und sogar neu entwickelt, Verträge und Leitlinien formuliert und Personal qualifiziert. Das Ziel war dabei, die Aufgaben eines Bauherren im öffentlichen Forschungsbau mit digitalen Werkzeugen und Prozessen so zu unterstützen, dass eine maßgeschneiderte BIM-Infrastruktur sowohl Qualität als auch Effizienz steigert: von der Anforderungserfassung an neu zu errichtende Gebäude über die FhG-spezifischen BIM-Vertragsdokumente (BIM-Handbuch, Auftraggeber-Informationsanforderungen AIA und weitere) bis hin zur Etablierung eines BIM-Labs mit Visualisierungstechniken (VR, AR) und Hard- und Software für Qualitätskontrolle der Planungsstände. So wurde für die Bauabteilung beispielsweise als neues BIM-Werkzeug das Digitale Raumbuch der FhG entwickelt.³⁴⁹ Es unterstützt die Baubeauftragten der Institute bereits in einer frühen Phase der Projektierung bei der Raum- und Budgetplanung und verwendet als Kosten-Referenz Bauvorhaben, die in der FhG bereits umgesetzt worden und im digitalen Raumbuch dokumentiert sind. Die sich so von Projekt zu Projekt aufbauenden Erfahrungswerte verkürzen und präzisieren die Kostenplanung gerade im öffentlich geförderten Forschungsbau erheblich und ersparen Bauherren und Planern manche Kostenanpassungsrunde.

Das oben aufgeführte Beispiel legt nahe, dass eine gezielte Unterstützung der Bauherren in Bayern – sowohl im öffentlichen als auch im privaten Bauen – dabei helfen würde, noch ungenutzte Potenziale von BIM für Bauherren zu erschließen und einen wesentlichen Beitrag dafür zu leisten, dass die Bauwerke noch optimaler für die spätere Nutzung geplant werden könnten und Vorteile wie Kostentransparenz, Qualitätskontrolle oder Effizienzsteigerung auch bei Bauherren in den internen Prozessen zum Tragen kommen.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die BIM-Einführung in Deutschland zwar beginnt, an Fahrt aufzunehmen, eine Beschleunigung des Prozesses und eine Verstärkung der Anstrengungen aber durchaus angezeigt sind. Seit der Verabschiedung des BIM-Stufenplans im Jahr 2015 wurden zwar Fortschritte erzielt, dennoch ist die Etablierung von BIM, insbesondere was die zeitlichen Abläufe betrifft, hinter den Erwartungen zurückgeblieben. Die flächendeckende Einführung von BIM, die für das Jahr 2020 vorgesehen war, verschiebt sich wohl um ein halbes Jahrzehnt. Nichtsdestotrotz lässt sich festhalten, dass immer mehr Planungsbüros und Bauunternehmen mit der Methode BIM vertraut sind und sie zunehmend in Projekten eingesetzt wird. Auch auf Auftraggeberseite ist ein Kompetenzgewinn zu verzeichnen. Nun gilt es, durch einen weiteren Hochlauf von Projekten die Erfahrungen und das aufgebaute Wissen in die Breite zu tragen.

06.2.2 Automatisierte Baufortschrittsüberwachung**06.2.2.1 Motivation**

Große Bauprojekte erfordern bei der Ausführung eine Vielzahl von Fachkräften aus unterschiedlichen Gewerken (z. B. Maurer-, Beton- und Metallbau, HLK). Ein wichtiges Ziel für den Hauptauftragnehmer ist es, den Überblick über die von den Unterauftragnehmern ausgeführten Aufgaben und den allgemeinen Zeitplan zu behalten. Im Baugewerbe ist die Prozessüberwachung und -kontrolle immer noch eine meist analoge und manuelle Aufgabe. Um nachzuweisen, dass alle Arbeiten wie vertraglich festgelegt ausgeführt wurden, müssen sämtliche ausgeführten Aufgaben überwacht und dokumentiert werden. Der Bedarf an umfassenden und detaillierten Überwachungstechniken steigt bei Großbaustellen, wo der gesamte Baubereich zu groß wird, um von Hand überwacht zu werden, und die Zahl der Subunternehmer steigt. Hauptauftragnehmer, die die Arbeit ihrer Unterauftragnehmer kontrollieren, müssen den Überblick über den aktuellen Bauzustand behalten. Zusätzlich gibt es diverse Anforderungen an normgerechtes Bauen, die regelmäßig geprüft werden müssen.

Die fortschreitende Digitalisierung und die Etablierung von Building-Information-Modeling (BIM)-Technologien bei der Planung von Bauprojekten können den Einsatz digitaler Methoden in der gebauten Umwelt erleichtern. Bei einer idealen Umsetzung des BIM-Konzepts sind alle semantischen Daten zu Materialien, Bauverfahren und sogar der Ablaufplan miteinander verbunden, sodass Aussagen über die Kosten und den voraussichtlichen Projektabschluss gemacht werden können. Mögliche Abweichungen vom Zeitplan können erkannt und die nachfolgenden Prozesse entsprechend angepasst werden.

Ein Bauwerksmodell ist eine reichhaltige Informationsquelle für die Durchführung einer automatisierten Fortschrittsüberwachung. Es beschreibt die Bauwerksform im Planzustand in Form einer 3D-Geometrie und kombiniert sie mit dem Bauzeitenplan im Planzustand. Das resultierende 4D-Modell enthält alle relevanten Informationen für den gesamten Bauprozess. So kann der geplante Zustand zu jedem beliebigen Zeitpunkt abgeleitet und mit dem tatsächlichen Baufortschritt verglichen werden. Jede Prozessabweichung kann durch die Identifizierung fehlender oder zusätzlicher Baukomponenten erkannt werden.

Um den Ist-Zustand des Bauprojekts automatisiert zu erfassen, können verschiedene Methoden eingesetzt werden. Neben digitalen Bautagebüchern oder automatisierten Liefererfassungen (z. B. Auto-ID-Techniken wie RFID und QR-Codes), kann auch das Gebäude selbst geometrisch erfasst werden. Dies kann mit verschiedenen Methoden erfolgen, z. B. Laserscanning oder photogrammetrische Verfahren. Beide Methoden erzeugen Punktwolken, die die Koordinaten von Punkten auf der Oberfläche der Bauelemente, aber auch von allen Objekten, die das Bauwerk verdecken, enthalten. Andere Verfahren werden für die Erkennung des Baufortschritts im Innenausbau verwendet. Während z. B. Laserscanning hier eine untergeordnete Rolle spielt, kommen häufiger bild- und videobasierte Verfahren zur Verortung und zur Objekterkennung zum Einsatz.

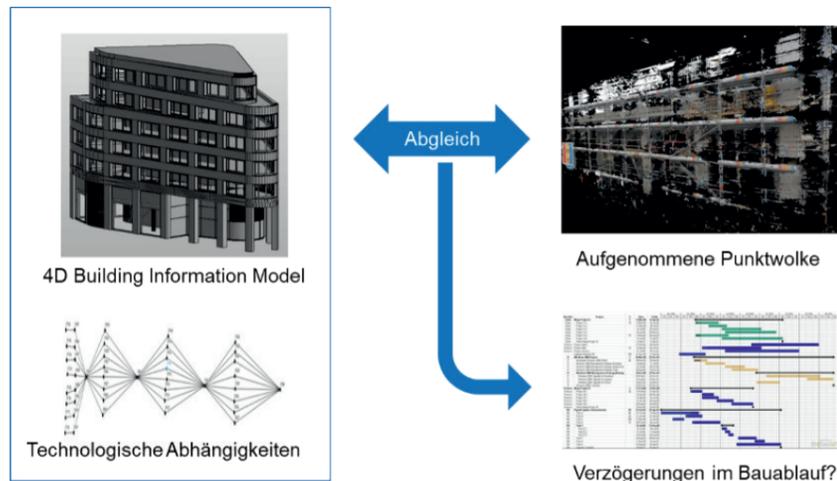
06.2.2.2 Ansatz

Der übliche Ansatz zur BIM-basierten Fortschrittsüberwachung ist in Abbildung 54 dargestellt. Einerseits wird ein Bauwerksmodell benötigt, das nicht nur geometrische und semantische Informationen, sondern auch zeitliche Daten (Prozesspläne) enthält. Dieses 4D-BIM verknüpft die 3D-Geometrie mit dem geplanten Bauablauf. Zum anderen ist ein Monitoring mit unbemannten Luftfahrzeugen (engl. Unmanned Aerial Vehicle, UAV) oder ähnlichen kamerabasierten Systemen zur photogrammetrischen Erzeugung von As-Built-Punktwolken zur Darstellung des As-Built-Zustandes erforderlich.

Während der Entwurfs- und Planungsphase werden das Gebäudemodell und der Ablaufplan modelliert und in einem 4D-Modell zusammengefasst. Während der Bauphase wird die Baustelle kontinuierlich durch die Erfassung von Bildern des Ist-Zustandes überwacht. Diese werden zu Punktwolken verarbeitet, die mit dem As-Planned-4D-Modell verglichen werden (As-Built-As-Planned-Vergleich).

Abbildung 54

Konzept zur automatisierten Baufortschrittskontrolle durch Abgleich eines 4D-Bauwerksmodells mit einer Punktwolke



Quelle: Alexander Braun, TUM

06.2.2.3 Datenerfassung und Punktwolkenerzeugung

Die Erzeugung der Punktwolke besteht aus vier Schritten: Datenerfassung, Orientierung der Bilder, Bildanpassung und Ko-Registrierung.

Für die Datenerfassung stehen zwei grundsätzliche Methoden zur Verfügung:

- Laserscanning
- Photogrammetrische Verfahren

Während Laserscanning-Verfahren in der Regel deutlich höhere Genauigkeiten und dichtere Punktwolken liefern, zeichnen sich photogrammetrische Verfahren insbesondere durch preisgünstige Hardware und deutliche flexiblere Erfassungsmethoden aus, da hier Bilder mit herkömmlichen Kameras aufgenommen werden und diese eine Vielzahl unterschiedlicher Träger haben können. So können Handkameras, UAVs (Drohnen) oder Krankameras zum Einsatz kommen, die jeweils wieder einzelne Vor- und Nachteile haben.

06.2.2.4 Soll-Ist-Abgleich

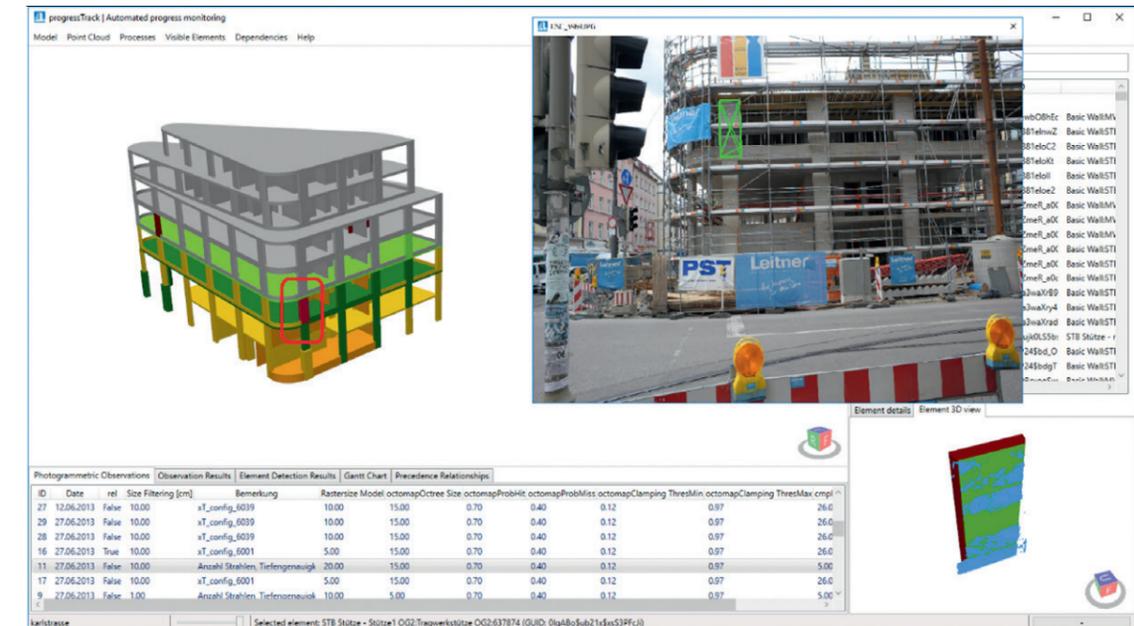
Der Soll-Ist-Vergleich kann in mehrere Phasen unterteilt werden. Dazu gehören die direkte Verifizierung von Bauwerkskomponenten auf der Grundlage der Punktwolke und die indirekte Ableitung der Existenz von Komponenten durch Analyse des Modells und der Prioritätsbeziehungen, um Aussagen über verdeckte Objekte zu treffen.

Für den Verifikationsprozess, der im ersten Schritt nur auf geometrischen Bedingungen basiert, wird eine Dreiecksnetzdarstellung des Modells verwendet. Jedes Dreieck wird individuell behandelt. Es wird in zweidimensionale Rasterzellen aufgeteilt. Für jede Rasterzelle wird unabhängig entschieden, ob die As-Built-Punkte die Existenz dieses Teils der Dreiecksfläche bestätigen.

Zur Visualisierung der Ergebnisse aus dem Soll-/Ist-Vergleich wurde ein 4D-BIM-Viewer entwickelt, der alle Daten aus verschiedenen Beobachtungen einbezieht und auch Punktwolkendaten und entsprechende Bilder anzeigen kann (Abbildung 55).

Abbildung 55

Vergleich des Soll-Ist-Zustandes einer Baustelle anhand eines visualisierten Gebäudes. Die korrespondierende Punktwolke wird unten rechts dargestellt. Zusätzlich ist ein Foto des Aufnahmezeitpunktes hinterlegt.



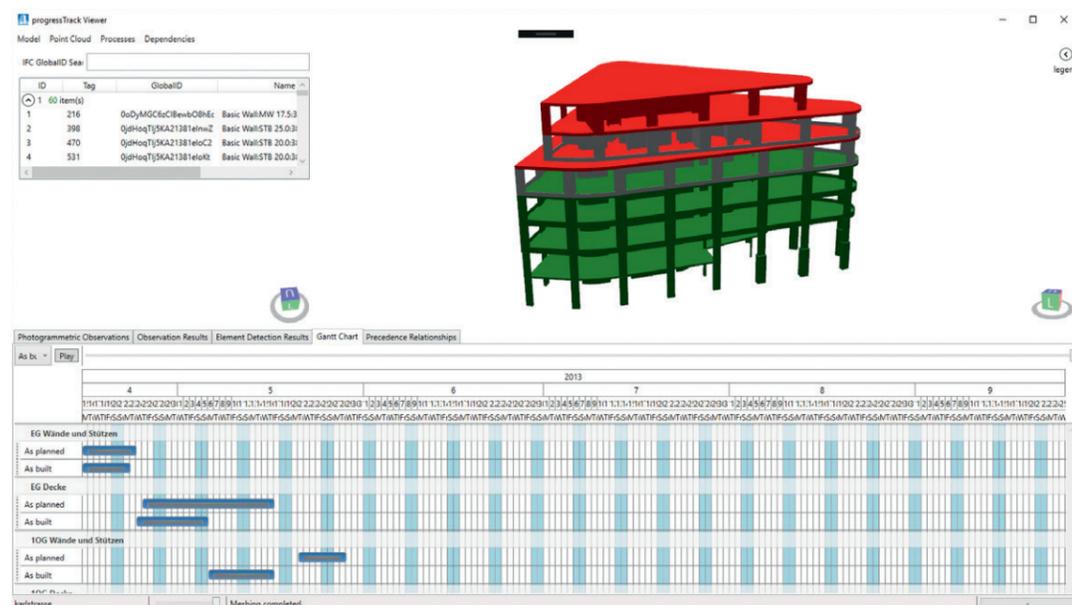
Quelle: Alexander Braun, TUM

06.2.2.5 Prozessvergleich

Nach erfolgreicher Erfassung gebauter und nicht gebauter Elemente für jede einzelne Beobachtungszeit können die gesammelten Ergebnisse mit dem entsprechenden Ablaufplan der Baustelle kombiniert werden (4D-BIM). Die detektierten Elemente (As-Built) einer Beobachtung werden mit den erwarteten Elementen (As-Planned) zum gleichen Zeitpunkt verglichen. Auf der Grundlage des Zeitplans können Vorhersagen darüber getroffen werden, ob der Baufortschritt vor, im oder hinter dem Zeitplan liegt (Abbildung 56). Diese Informationen können dann von den Zeitplanern verwendet werden, um den Zeitplan entsprechend anzupassen.

Abbildung 56

Finaler Soll-Ist-Vergleich. Grün markierte Elemente wurden vor dem geplanten Zeitpunkt fertiggestellt, rot markierte Elemente zu spät.



Quelle: Alexander Braun, TUM

06.2.2.6 Bewertung

Die Kombination von moderner Sensorik und digitalen Bauwerksmodellen erlaubt eine weitgehend automatisierte Baufortschrittserfassung. Einige innovative Bauunternehmen setzen diese Technologie bereits ein, andere planen dies für die nahe Zukunft. Für die weitere Verbreitung dieser Technologie sind eine Zunahme an Robustheit und Genauigkeit sowie die Verringerung der Eingangshürden durch intuitiv verwendbare Softwareanwendungen. An dieser Stelle setzen eine Reihe von Start-ups an, die sich eine zunehmend größere Anwenderschaft erschlossen haben.

06.2.3 Robotik auf der Baustelle

Die Automatisierung verändert nicht nur die Produktion in Fabriken, sondern auch die Arbeitswelt auf Baustellen. In Einrichtungen der Industrie und Forschungsinstitutionen werden beispielsweise robotische Systeme entwickelt und erprobt, die Ziegelmauern errichten, Hebeprozesse erleichtern, Bewehrungen schweißen oder andere Arbeiten erledigen, für die bisher Bauhandwerker erforderlich sind. Ziel ist die (teil-)automatisierte Baustelle.

06.2.3.1 Stand der Technik

Die Baurobotik steht seit fast einem halben Jahrhundert im Fokus von Forschung und Industrie. Frühe In-situ-Roboterbausysteme für Hochhäuser wurden in den 1980er-Jahren in Japan eingeführt.³⁵⁰ Diese großen, sich vertikal bewegenden Roboterbausysteme boten einen vollständig geschlossenen, gut definierten und systematisierten Arbeitsbereich. Mehrere andere Vor-Ort-Implementierungen wurden seitdem von akademischen und kommerziellen Parteien demonstriert³⁵¹ sowie an europäischen (Bots2ReC, P2Endure) und anderen internationalen Forschungsprojekten (ROCCO, ESPRIT, BRONCO). Weitere akademische und industrielle Forschungsanstrengungen, von denen einige in Tabelle 11 zusammengefasst sind, konzentrieren sich auf die Automatisierung einzelner isolierter Produktionsschritte wie Graben, Fügen, Beschichten oder Spritzen³⁵² durch mobile Robotersysteme. Bock z. B. listet etwa 400 Demonstratoren für spezifische Zwecke auf.³⁵³

Tabelle 11

Aktuelle Beispiele für robotergestützte Prototypen von Bauarbeiten, die in der Wissenschaft entwickelt wurden

Einsatzgebiet	Bezeichnung des Arbeitsbereichs	Quelle
Renovierung/Wartung	Schneidroboter für die Stilllegung und Instandhaltung von kontaminierten Bauwerken	Matteucci & Cepolina, 2015
	Roboterspritzen von Außendämmung für die energieeffiziente Gebäudesanierung	Cebollada et al., 2018
	Robotergerüsteter Rückbau von mehrschichtigen Fassadenkonstruktionen	Lublasser et al., 2017
Lackierung und Endbearbeitung	Lackierroboter für dekorative Elemente	Seriani et al., 2015
	Konturbearbeitungsroboter für Wände	Omid Davtalab et al., 2018
	Robotische Applikation von Schaumbeton	Lublasser et al., 2018
Wandaufbau	Drohnenbasiertes Roboter-Mauerwerk	Latteur 2016; Bonwetsch 2016
	Automatisierte unilaterale Wände	Więckowski, 2017
	Robotische Konstruktion von doppelt gekrümmten Stahlbetonwänden	de Soto et al., 2018
Additive Fertigung	Betondruck	Bos et al., 2016
Vorbereitung zur Inbetriebnahme	Bodenreinigungsroboter zur Vorbereitung von Gebäuden für die Inbetriebnahme	Prabakaran, 2018
Erd- und Baustellenarbeiten	Robotischer Aushub	Kim et al., 2018

350 BIM4INFRA, 2019

351 Arai et al., 2011; Haschke et al., 2016; Detert et al., 2017; Charaf Eddine et al., 2017; Bruckmann et al., 2016; Bruckmann et al., 2018; Sousa et al., 2016; Pinto et al., 2016; Keating et al., 2017; Doerfler et al., 2019

352 Siciliano, 2008

353 Bock, 2006

Viele der frühen praktischen Versuche, die Robotik in die Bauindustrie zu integrieren, führten zu teuren fabrikähnlichen Baustellen mit eingeschränkter Flexibilität oder hochspezialisierten Robotern für einzelne Aufgaben, die schließlich von den Industrien kaum angenommen wurden. Dabei sagen Forscher längst voraus, dass das Bauen durch Flotten von selbst produzierenden Robotern vollautomatisiert werden wird.³⁵⁴ Fachleute der Bauautomatisierung sind sich darin einig, dass eine alleinige Automatisierung isolierter Prozesse nicht zielführend ist.³⁵⁵

Stattdessen müssen mehrere Bauaufgaben in einer wohldefinierten räumlich-zeitlichen Reihenfolge ausgeführt werden, was eine komplexe Koordination erfordert.³⁵⁶ Bauroboter werden mobil sein,³⁵⁷ sie müssen komplexe temporäre Abhängigkeiten berücksichtigen und sie müssen sich an Veränderungen anpassen können.³⁵⁸ Am wichtigsten ist jedoch, dass Roboter und Menschen in Anbetracht der Tatsache, dass einige Aufgaben immer noch von Menschen vor Ort ausgeführt werden, sicher, produktiv und kollaborativ zusammenarbeiten und eine hybride Mensch-Roboter-Belegschaft bilden.³⁵⁹

Viele frühe Projekte hatten nicht nur die Roboterbaustelle im Visier, sondern auch ein integriertes System von der Planung bis zum Bau, um den Arbeitsablauf zu erleichtern. Dieses integrierte Informationsmanagementsystem – das sogenannte Computer-Integrated-Construction-(CIC)-Konzept³⁶⁰ – beinhaltet die Planung der Logistik in Bezug auf alle Ressourcen (z. B. Materialversorgung, Robotermaschinen, Bediener), die Einrichtung der Maschinen auf der Baustelle sowie die Entwicklung von Bedienerschnittstellen (z. B. Planung und Simulation von Roboteraktionen, Steuerung der Roboterprozesse auf der Baustelle). In jüngster Zeit haben mehrere Studien damit begonnen, einige dieser früh angedachten Aspekte zu beleuchten. So haben Forscher, aufbauend auf den oben beschriebenen Arbeiten, gezeigt, dass Roboter direkt aus CAD- und BIM-Umgebungen heraus gesteuert werden können³⁶¹ und bereits in die frühen Phasen der Entwurfsmodellierung integriert werden können.³⁶²

Neue computergestützte Werkzeuge wie COMPAS, ein Framework für computergestützte Forschung in Architektur und Tragwerken, zielen darauf ab, Aspekte des Designs, der Tragwerksplanung und der digitalen Fertigung in ein einheitliches Planungswerkzeug zu integrieren.³⁶³ Um Roboter einem breiteren Anwenderspektrum zugänglich zu machen und direkt auf die Baustelle zu bringen, wurden verschiedene Mensch-Roboter-Kollaborationsszenarien für individualisierte Montageaufgaben erforscht³⁶⁴ und konzeptionelle Studien zu Themen der fortgeschrittenen Robotersteuerung, wie z. B. der haptischen Programmierung, durchgeführt.³⁶⁵ Wie viele der frühen Bemühungen, isolierte Roboter auf Baustellen zu implementieren, fokussieren diese Studien jedoch noch hauptsächlich auf spezifische Aufgaben oder Bauverfahren. Dies gilt auch für die Forschungsaktivitäten im Rahmen des Exzellenzclusters EXC 2120, bei denen erste Untersuchungen zum cyber-physischen Bauen durchgeführt werden, allerdings nur für ausgewählte Fertigungsverfahren wie den Holzbau³⁶⁶ und nicht für die Baustelle als Ganzes. Dennoch betonen aktuelle Analysen die Bedeutung eines dedizierten Koordinationssystems.³⁶⁷ Eine übergreifende Erforschung von Konzepten des cyber-physischen Bauens und des zugrunde liegenden Informationsrückgrats ist nach wie vor dringend erforderlich, um eine solide Grundlage für zukünftige Entwicklungen in diesem Bereich zu schaffen.

³⁵⁴ Campa et al., 2019

³⁵⁵ Linner, 2013; Helm, 2012

³⁵⁶ Petersen et al., 2019

³⁵⁷ Dörfler et al., 2016; Gifftthaler et al., 2017; Buchli et al., 2018

³⁵⁸ Vasey et al., 2014; Dörfler et al., 2019

³⁵⁹ Roboter-Mensch Interaktionen waren Gegenstand der Studie des Zukunftsrats 2019 (Prognos / vbw, 2019b).

³⁶⁰ Gambao, 2000

³⁶¹ Brell-Cokcan / Braumann, 2011; Dörfler et al., 2012; Menges, 2015

³⁶² Gramazio et al., 2008; Menges, 2012; Gramazio et al., 2013

³⁶³ Van Mele et al., 2017

³⁶⁴ Stumm et al., 2016; Kyjanek et al., 2019

³⁶⁵ Stumm / Brell-Cokcan, 2019

³⁶⁶ Wagner et al., 2020

³⁶⁷ Melenbrink et al. 2020

Jüngste Fortschritte in den Bereichen der Roboter-Roboter-Kollaboration, der Bauinformatik und der industriellen Produktion ermöglichen es, einige der früheren Probleme zu überwinden, mit denen man im Bereich der automatisierten Konstruktion im Hinblick auf eine ganzheitliche Unterstützung integrierter Produktionsaufgaben konfrontiert war. Es ist zu erwarten, dass diese Fortschritte die Entwicklung ganzheitlicher computerbasierter Verfahren ermöglichen, die erforderlich sind, um die Arbeit auf der Baustelle durch groß angelegte Roboterautomatisierung zu revolutionieren. Diese Revolution wird sich dann auf viele, der seit Jahrzehnten bestehenden Prämissen des Bauens auswirken, in Bezug auf Bauformen, verwendete Materialien, Aspekte der Wiederverwendbarkeit und zirkulären Wiederverwendung von Bauprodukten, nachhaltige Gebäude und vieles mehr. Es sind jedoch gezielte Forschungsanstrengungen erforderlich, um die oben genannten Bereiche sinnvoll miteinander zu verbinden und die Einschränkungen der eher isolierten früheren Studien zu überwinden. Um dieses Argument zu unterstreichen, werden in den folgenden Abschnitten die oben vorgestellten neueren Entwicklungen in jedem der oben genannten Bereiche zusammengefasst.

Mensch-Roboter- und Roboter-Roboter-Interaktion

In vielen Branchen werden Roboter zunehmend zu flexiblen Mitarbeitern, die Menschen verstehen, unterstützen und manchmal sogar in Echtzeit zu einem gemeinsamen Ziel führen.³⁶⁸ Um eine hohe Robustheit im Austausch, eine geringere Einrichtungs- und Programmierzeit und eine verbesserte direkte Interaktion zu erreichen, sind verschiedene Kommunikationsmodalitäten ein aktueller Forschungsgegenstand. Roboter verlassen sich mehr und mehr auf fortschrittliche Sensorsysteme, die es Robotern, zusammen mit sich schnell entwickelnden Rechenkapazitäten, ermöglichen, komplexe Umgebungen wahrzunehmen, diese Umgebungen zu interpretieren, daraus Schlüsse zu ziehen, Aktionen entsprechend gegebener Ziele zu planen und schließlich die Leistung, basierend auf vergangenen Erfahrungen, kontinuierlich zu verbessern, wie in Pionierprojekten wie dem DFG SFB 360 „Situating Artificial Communicators“³⁶⁹ und dem EU-Projekt „SMERobotics“³⁷⁰ gezeigt wurde.

Mit den Fortschritten der KI-Technologien werden kooperative Systeme in der Werkstatt zur Ausführung begrenzter, fester und vordefinierter Aufgaben, wie z. B. gemeinsames Heben oder Tragen, zur gängigen Praxis. Fortschritte gibt es auch im Bereich der selbstorganisierenden Teams von Robotern, die komplexe sequenzielle Aufgaben durch gemeinsames Handeln ausführen können. Diese Teams von Robotern können gemeinsam ihre Ziele innerhalb der durch kognitive und manipulative Fähigkeiten definierten Grenzen festlegen. Grundlegende Forschungsergebnisse in dieser Richtung, wurden in den EU-Projekten „RoboE-arth“³⁷¹, „Robohow“ und „JAST: Joint Action Science and Technology“³⁷² erarbeitet.

Während flexible Robotersysteme schnell voranschreiten, werden geeignete IT-Strukturen benötigt, sowohl für den Echtzeit-Datenaustausch zwischen eng kooperierenden Robotern als auch für die Vernetzung zwischen einzelnen IT-Komponenten zur Produktionssteuerung, die zunehmend parallelisiert sind und zur Laufzeit interagieren müssen. Die technologischen Herausforderungen werden im Bereich der Cyber-Physical Systems (CPS) untersucht, die mechatronische Produktionssysteme um verteilte Datenverarbeitungs-, Vernetzungs- und Steuerungsmöglichkeiten erweitern.³⁷³ CPS ermöglichen eine hochreaktive, dynamische Produktionssteuerung und -überwachung in großem Maßstab und über lokale Kommunikationsnetzwerke hinaus.

Produkt- und Prozessmodellierung im Bauwesen

Zusammen mit den Fortschritten bei KI- und Robotertechnologien wurden erhebliche Fortschritte bei der Digitalisierung der Bauindustrie erzielt. Eine wichtige Rolle bei der Digitalisierung spielt das Konzept des Building Information Modeling (BIM), das in Kapitel 06.2 ausführlich besprochen wurde.³⁷⁴ Die deutsche Bauinformatik-Community hat maßgeblich zu diesen Entwicklungen beigetragen, indem sie im Rahmen des DFG-PP 694 „Objektorientierte Modellierung und Planung im Bauwesen“ und des DFG-PP 1103 „Netzwerk-basierte kooperative Planungsprozesse im Bauwesen“ die methodischen Grundlagen gelegt hat. Die Ergebnisse haben direkt zur Entwicklung der ISO 16739 beigetragen, die den Austausch von digitalen Gebäudemodellen in einem herstellerneutralen Format standardisiert.³⁷⁵ Während die Bauindustrie die

³⁶⁸ Haddadin et al., 2011

³⁶⁹ Knoll et al., 1997

³⁷⁰ Perzylo et al., 2016

³⁷¹ Perzylo et al., 2012

³⁷² Giuliani et al., 2010

³⁷³ Lee et al., 2015

³⁷⁴ Sacks et al., 2018; Borrmann et al., 2018; Azhar, 2011

³⁷⁵ Borrmann et al., 2018

BIM-Technologie schnell annimmt, haben sich die Forschungsaktivitäten auf fortgeschrittenere Themen verlagert, darunter die Nutzung von semantischen Webtechnologien für ontologische Beschreibungen und Schlussfolgerungen³⁷⁶, geometrisch-topologische Modellanalyse³⁷⁷, Modellsynthese auf Basis der Graphentheorie³⁷⁸, automatisierte As-Built-Rekonstruktion³⁷⁹ und automatisierte Fortschrittskontrolle³⁸⁰.

Ausgehend von der Möglichkeit, Bauprodukte gemeinsam zu beschreiben, wurden die Baustelle und Methoden zur Optimierung ihres Layouts untersucht.³⁸¹ Insgesamt haben diese Fortschritte zur Entwicklung neuer Methoden zur Simulation und Optimierung von Bauprozessen unter Verwendung von Constraint-basierter diskreter Ereignissimulation und Multi-Agenten-Systemen geführt,³⁸² die Bauprozesse berücksichtigen können, die im Vergleich zu stationären Produktionsprozessen in kontrollierten Fabrikumgebungen dynamischerer Natur sind.³⁸³ Um die Diskussion von der Planungs- und Entwurfsphase auf die Echtzeitsteuerung vor Ort zu verlagern, wurden zunehmend Ansätze untersucht und mathematische Formalismen entwickelt, um cyber-physikalische Systeme konzeptionell zu beschreiben und mit einem Building-Information-Modeling-Ansatz praktisch zu validieren.³⁸⁴ Dezentrale datengetriebene Modelle wurden in intelligente Sensorsysteme eingebettet, um die Zuverlässigkeit sowie die Genauigkeit und Ressourceneffizienz der Sensorsysteme zu erhöhen.³⁸⁵

Die oben skizzierten Errungenschaften in der Produkt- und Prozessmodellierung bilden eine gute Grundlage für die robotergestützte Automatisierung von Bauprozessen. In der Tat wurden BIM-Modelle als Informationsgrundlage für die Steuerung von Produktionsmaschinen verwendet,³⁸⁶ meist für die Herstellung einzelner Gebäudekomponenten aus Stahl, Beton oder Holz. Allerdings beschränkten sich die Automatisierungsbemühungen entweder auf den Vorfertigungsprozess außerhalb der Baustelle oder auf hochspezifische Prozesse auf der Baustelle – die im folgenden Abschnitt diskutiert werden – und in beiden Fällen auf einzelne Maschinen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Grundlagenforschung erforderlich ist, um allgemeinere Ansätze für die Steuerung einer Flotte von koordinierten Robotern zu ermöglichen, die sicher mit dem Menschen zusammenarbeiten und gleichzeitig Designaspekte integrieren, die komplex sind und sich flexibel ändern.³⁸⁷

Automatisierung in der industriellen Produktion

Automatisierte Prozesse sind ein wesentlicher wirtschaftlicher Erfolgsfaktor für Hochlohnländer wie z. B. Deutschland. Hier wurde die Umstellung der Produktionsprozesse von manueller Handarbeit auf eine effiziente automatisierte und robotisierte Massenproduktion schon vor Jahrzehnten vollzogen. Diese Entwicklung wurde von den globalen Märkten getrieben, wobei die billigeren Löhne in Asien bis heute eine Herausforderung darstellen.³⁸⁸ Es ist klar, dass diese Erfolgsgeschichte nicht nur auf den Ersatz menschlicher Arbeiter durch Roboter zurückzuführen ist. Da Roboter spezifische Stärken in der Präzision, aber Schwächen in der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit haben, änderten sich im Laufe der Jahre die Paradigmen der Produktgestaltung: Heutzutage berücksichtigt das Design von Massenprodukten strikt die Anforderungen der automatisierten Produktion mit höchster Priorität. Die meisten Designansätze, wie z.B. „Design to cost“, materialisieren diese Überlegungen.

376 Beetz, 2009

377 Preidel et al., 2017

378 Vilgertshofer / Borrman, 2017

379 Brilakis et al., 2010; Dai et al., 2012; Bosché 2010

380 Turkan et al., 2012; Tuttas et al., 2017; Kropp et al., 2018; Franz et al., 2017

381 Jahr / Borrman, 2018; Schwabe et al., 2016

382 Liang et al., 2016

383 König et al., 2007; König / Beißert, 2009

384 Theiler / Smarsly, 2018

385 Smarsly / Law, 2014; Dragos / Smarsly, 2016

386 Ding et al., 2014; Tibaut et al., 2017

387 Reichert et al., 2014

388 Brecher et al., 2017

Während automatisierte Prozesse für die Massenproduktion schon vor Jahren etabliert wurden, zielen neue technologische Trends, wie Industrie 4.0, auf die Automatisierung der Produktion individualisierter Güter ab,³⁸⁹ was eine Schlüsselkomponente für die Automatisierung von Bauarbeiten darstellt, die von Natur aus auf hoch individualisierte Produkte ausgerichtet sind. Neben den bereits beschriebenen flexiblen Robotern³⁹⁰ werden neue IT-Architekturen eingeführt, um die Flexibilität von Produktionsanlagen zu erhöhen. Cyber-physische Systeme müssen eingeführt werden, um Produkte und Prozesse durch verteilte Datenverarbeitung und Steuerungsmöglichkeiten weiterzuentwickeln.³⁹¹ Die Einführung von cyber-physischen Systemen ermöglicht eine dynamische Produktionssteuerung und -überwachung innerhalb verteilter Kommunikationsnetzwerke, wobei Roboter beziehungsweise Maschinen als Schnittstelle zwischen der physischen Welt und dem digitalisierten Cyberspace fungieren.³⁹² Die für die Implementierung von cyber-physischen Systemen erforderlichen Technologien und Werkzeuge befinden sich im Bereich der industriellen Produktion in der Entwicklung und bieten methodische Ansätze, die die letzte fehlende „Zutat“ zu sein scheinen, um vollautomatisierte Baustellen zu ermöglichen. Um diese Lücke zu schließen, ist eine konzertierte Forschungs- und Entwicklungsanstrengung in enger Zusammenarbeit von Industrie und Forschungsinstitutionen erforderlich.

Robotik-Simulation

Im Bereich des Maschinenbaus wurden bereits vor mehr als 30 Jahren Simulationsumgebungen für Roboter und automatisierte Systeme eingeführt, die zu einer Vielzahl von Werkzeugen geführt haben, die heute verfügbar sind. Diese Werkzeuge sind teilweise recht allgemein gehalten, wie z. B. MATLAB/Simulink oder Scilab. Hier werden Simulationsmodelle auf Gleichungsebene abgeleitet, was eine breite Anpassungsfähigkeit in multidisziplinären Bereichen ermöglicht. Bemerkenswert ist, dass es für diese Programmierungsumgebungen eine Vielzahl von Bibliotheken und Toolsets gibt, die eine schnelle Implementierung von Robotikanwendungen ermöglichen.

Um die Simulation von Robotern zu vereinfachen, wurden sogar spezialisierte Robotersimulationsumgebungen sowohl von kommerziellen Unternehmen als auch von Communitys entwickelt, die freie Open-Source-Lösungen implementieren: So bietet heute fast jeder Robotersystemanbieter eine Simulationsumgebung an, die die Produktpalette des jeweiligen OEMs beinhaltet. Die Simulation von Roboter-Produktionsumgebungen ist dabei einfach und intuitiv. Natürlich ist der Umfang der angebotenen Modelle typischerweise begrenzt, was die Flexibilität und Anwendbarkeit des Systems einschränkt.

Auf der anderen Seite sind Community-getriebene Tools zu leistungsfähigen Alternativen geworden. Hier ist vor allem das Robot Operating System (ROS) ein sehr populärer Satz von Werkzeugen für die Modellierung, Simulation, Animation und Bedienung von Robotersystemen. Schnittstellen ermöglichen den Import und Export von Daten, und zahlreiche wissenschaftliche und ingenieurwissenschaftliche Programme bieten eine Anbindung an ROS. Für eine praktische Anwendung ist insbesondere Transferforschung mit starker industrieller Unterstützung erforderlich.

389 Brettel et al., 2014

390 Detert et al., 2018; Lorenz et al., 2017

391 Lee et al., 2015

392 Stumm et al., 2017

06.2.3.2 Zusammenfassung und Ausblick

Obwohl die Idee, Bauprozesse mithilfe von Robotern zu automatisieren, schon vor mehr als 20 Jahren aufkam, sind nachhaltige Lösungen bis heute nicht erreicht worden. Vielmehr sind isolierte Systeme mit einem begrenzten Reifegrad entwickelt worden. Die derzeit existierenden Robotersysteme haben die seit der industriellen Revolution bestehenden Paradigmen für Baustelleneinrichtung und Bauprozesse nicht in Frage gestellt. Die meisten Projekte zur Baustellenautomatisierung zielten darauf ab, den Bauprozess unverändert zu belassen, indem lediglich Arbeiter durch Roboter Maschinen ersetzt wurden. Die Maschinen arbeiten jedoch nur unter bestimmten Bedingungen und nur für einzelne isolierte Schritte gut. Offensichtlich führte dieser Ansatz nur zu begrenzten Ergebnissen, da der Lösungsraum, den die Prinzipien der Automatisierung bieten, nicht vollständig ausgeschöpft werden konnte. Ein wirklicher Durchbruch wurde nicht erreicht, vor allem wegen fehlender ganzheitlicher digitaler Planungs- und Steuerungsmethoden sowie begrenzter Möglichkeiten zur systemübergreifenden Zusammenarbeit.

Dank der erheblichen Fortschritte in der Robotik, der Produkt- und Prozessmodellierung im Bauwesen und der industriellen Produktionsautomatisierung in den letzten Jahren ist die Integration der oben genannten Bereiche nunmehr möglich. Computersimulationen können das Potenzial der automatisierten Konstruktion validieren und gleichzeitig bereits die erforderliche digitale Umgebung für die Planung robotisierter Aktivitäten bereitstellen. Darüber hinaus ermöglichen Simulationsansätze die Erforschung der Machbarkeit von Konstruktionsparadigmen, um die Vorteile der Bauautomatisierung voll auszuschöpfen, die durch die jüngsten Entwicklungen in der Sensorik, der dynamischen Produkt- und Prozessmodellierung und der Mensch-Roboter-Interaktion ermöglicht werden. Mit der erfolgreichen Einführung der Robotik im Bauwesen werden erhebliche Vorteile einhergehen, insbesondere in Hinblick auf die Effizienz des Produktionsprozesses, die Qualität der produzierten Bauwerke und die Sicherheit der menschlichen Akteure. Die größte Herausforderung liegt in den vergleichsweise langen Return-of-Invest-Zyklen, die zunächst signifikante Investitionen erfordern, die sich erst nach vielen Jahren amortisieren. Dieser in anderen Branchen übliche und mehrfach erfolgreich beschrittene Weg wird in der Bauindustrie bislang häufig nicht begangen, da die erzielbaren Margen vergleichsweise niedrig sind und der Wirtschaftszweig stark fragmentiert ist.

06.2.4 Digitale Vorfertigung und 3D-Druck / additive Fertigung

06.2.4.1 Überblick

In einem Drittel aller deutschen Kommunen ist ein Mangel an bezahlbarem Wohnraum zu verzeichnen, nicht nur in Metropolregionen.³⁹³ Der aktuelle Bedarf an günstigen und flexiblen Strukturen, Konstruktionen und Bauformen ist hoch, besonders im Wohnungsbau, aber auch im Objektbau. Um eine Steigerung der Fertigstellungszahlen im Wohnungs- und Objektbau zu erreichen, bieten Fertigungsmethoden wie serielles Bauen bzw. Modulbauweise mit traditionellen oder neuartigen Baumaterialien und Bauweisen sowie additive Fertigungsmethoden (3D-Druck) große Potenziale.

Der Einsatz von Bauverfahren unter Verwendung von vorgefertigten Bauteilen bei der Errichtung von Gebäuden und baulichen Anlagen hat in Europa eine lange Tradition. Bereits im Mittelalter wurde auf sakralen Baustellen auf die serielle Vorfertigung von Steinen und eine ausgereifte Planung und Logistik gesetzt. Die Notwendigkeit einer zeichnerischen Darstellung der Planung entstand etwa in der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts im Zusammenhang mit dem gotischen Gliederbau und der seriellen Vorfertigung von Bauteilen. Bei Holzdachtagwerken³⁹⁴ dienten Abbundzeichen³⁹⁵ der Zuordnung einzelner Elemente an einen bestimmten Platz innerhalb des Dachwerks. Bei zimmerhandwerklichen Dachwerken

³⁹³ Prognos, 2017

³⁹⁴ Holzdachtragwerk: Dachkonstruktion, statisches Gesamtsystem der Tragglieder, die maßgeblich für die Standsicherheit eines Dachwerkes verantwortlich sind.

³⁹⁵ Abbundzeichen: Buchstaben, Ziffern, Symbole und Muster der Zimmerleute, die zum schnellen und sicheren Zuordnen und Zusammensetzen der Bauteile im Verbund (oder Verband) für Fachwerk, Dachstuhl und Dachwerk sowie andere technische Fachwerke dienen.

wurden aufgrund meist beengter Platzverhältnisse auf den Baustellen die einzelnen Elemente der Binder³⁹⁶ vorgefertigt. Auf Abbundplätzen, die teilweise außerhalb der Ortschaften lagen, wurden die einzelnen Knotenpunkte eines Binders vorab ausgearbeitet und „auf Probe“ zusammengesetzt.

Die Vision einer „Hausfabrik“ hatte der Leiter des Bauhauses Walter Gropius, die er in Dessau erstmals realisieren wollte.³⁹⁷ Der Wohnungsbau sollte industrialisiert werden. Häuser sollten nicht mehr traditionell gebaut werden, sondern in einer Fabrik entstehen und auf der Baustelle montiert werden. Diese Vision konnte aufgrund von fehlender finanzieller Unterstützung nur teilweise umgesetzt werden. Zwischen 1926 und 1928 realisierte Walter Gropius aber den ersten Bauabschnitt einer Versuchssiedlung in Dessau-Törten und erprobte das serielle Bauen sowie den Einsatz neuer Baustoffe und Konstruktionen im Wohnungsbau. Umsetzungsversuche im modularen Bauen sind beispielsweise die Weißenhofsiedlung in Stuttgart. In den 1960er-Jahren entstanden in großem Maßstab und unter Einsatz von Typung und Normung, in Verbindung mit industrieller Vorfertigung, zahlreiche Großwohnsiedlungen in beiden Teilen Deutschlands. Inbegriff der seriellen Bauweise ist die Wohnbauserie WBS 70, die Plattenbauten in der DDR. Noch heute wird serieller Wohnungsbau mit negativen Assoziationen zur „Platte“ in Verbindung gebracht. Spätestens ab den 1980er-Jahren kam der Serienbau nicht zuletzt auch aufgrund baukonstruktiver Probleme und des Trends zur Individualisierung aus der Mode. In den letzten

Jahren erleben das serielle Bauen und der Modulbau eine Renaissance. Der weltweite Markt für modulares Bauen betrug im Jahr 2020 72,11 Mrd. US-Dollar. Für 2021 werden 75,89 Mrd. US-Dollar und 2028 114,78 Mrd. US-Dollar prognostiziert, das ist eine jährliche Wachstumsrate von 6,1 % im Zeitraum von 2021 bis 2028.³⁹⁸ International agierende Unternehmen in diesem Segment sind unter anderem Guerdon Modular Buildings (USA), Laing O'Rourke (Großbritannien), ATCO (Canada), Red Sea International Company (Saudi-Arabien), Bouygues Construction (Frankreich), VINCI Construction Grands Projets (Großbritannien), Skanska AB (Schweden), Katterra (USA), Lendlease Corporation (Australien) und KLEUSBERG GmbH & Co. KG (Deutschland). Serielles Bauen und Modulbau werden heute weltweit bei Büroimmobilien, über öffentliche Gebäude bis hin zum Geschosswohnungsbau, eingesetzt, wobei im Modulbau Gewerbebauten, Krankenhausbauten und zunehmend Schulbauten den Hauptanteil bilden.³⁹⁹ Im asiatischen Raum hingegen wird im Hochhausbau schon seit Längerem auf Modulbauten gesetzt. Die teilweise identischen Nutzungseinheiten und Grundrisse können mit einem Vorfertigungsgrad von bis zu 90 Prozent in Werks hallen vorproduziert und zusammengesetzt werden.⁴⁰⁰

In Deutschland wurden in den letzten Jahren Bauvorhaben wie die Wissens- und Erlebniswelt experimenta in Heilbronn oder das innovative Stadtquartier FOUR in Frankfurt modular realisiert, die demonstrieren, dass, durch digitale Planungskonzepte unterstützt, individuelle Gestaltungsansätze systemkonform umgesetzt werden können.

06.2.4.2 Serielles Bauen – Elementbau und Modulbau

Für „serielles Bauen“ gibt es keine einheitliche Begriffsdefinition. Beim seriellen Bauen werden weitgehend standardisierte Gebäude mit seriellem oder industriell vorgefertigten Teilen errichtet. Einerseits definiert sich serielles Bauen in der Planung durch Typisierung und andererseits durch das „Bauen in Serie“. Serielles Bauen setzt nicht zwangsweise eine industrielle Vorfertigung von Bauelementen bzw. fertigen Raummodulen voraus, wird aber meist mit dem Begriff „Prefab“ (Prefabrication) gleichgesetzt.

Prinzipiell kann unter seriellem Bauen ein standardisiertes Bauverfahren verstanden werden, das durch Wiederholungen und Mengeneffekte Baukosten senkt sowie Produktivität und Qualität erhöht:

– Elementbau

Nutzung eines Baukastenprinzips aus vorgefertigten konstruktiven Bauteilen wie Wand-, Decken-, Treppen- und weiteren Elementen, die zusammengefügt werden.

– Modulbau

Serielle Herstellung ganzer Modulräume, bei denen Teile des Bauwerkes wie etwa Decken, Wände, Fassaden, Balkone und Ähnliches aus vorgefertigten Bestandteilen, den Modulen, nach definierten Prinzipien zusammengesetzt werden. Auf diese Weise verkürzen und vereinfachen sich Planungs- und Errichtungsprozesse.

³⁹⁶ Dachbinder ist ein vertikales großflächiges tragendes und aussteifendes Bauteil eines Dachstuhles. Dachbinder mit parallelen oder annähernd parallelen Ober- und Untergurten werden auch als Träger bzw. Fachwerkträger bezeichnet.

³⁹⁷ Scheiffele, 2003

³⁹⁸ www.guerdonmodularbuildings.com/why-guerdon/benefits-of-modular, aufgerufen am 05.06.2021

³⁹⁹ www.mordorintelligence.com/industry-reports/modular-construction-market, aufgerufen am 05.06.2021

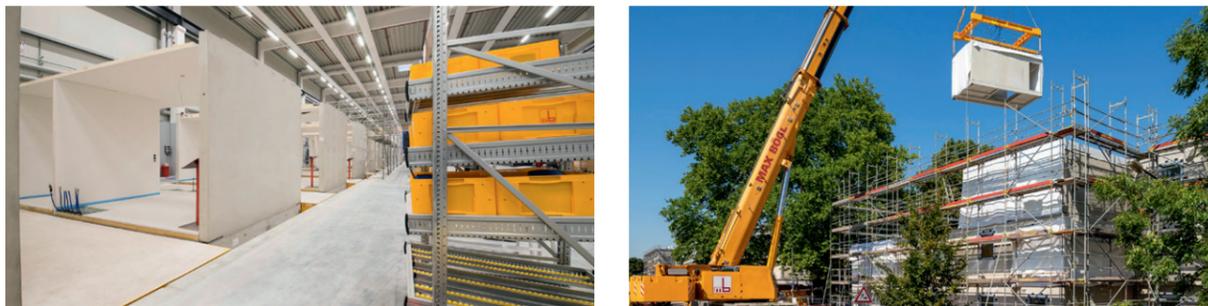
⁴⁰⁰ www.reportsanddata.com/report-detail/modular-construction-market, aufgerufen am 05.06.2021

Seriell Bauen bedeutet Bauen in Serie. Die serielle Bauweise orientiert sich an industriellen Herstellungsprozessen. Für die Planung bedeutet dies, dass Gebäude oder Gebäudeteile (Module) zunächst als Prototypen entworfen werden inkl. der gesamten Planungs- und Fertigungsschritte sowie der Bauprozesse, um sie dann später in Serie zu bauen. In der aktuellen Praxis überwiegen nicht komplette Typengebäude, die in Serie gebaut werden, sondern die Nutzung von einzelnen Gebäudemodulen, z. B. Badzellen oder Balkone, die standardisiert in Werken vorgefertigt werden. Das volle Potenzial der seriellen Bauweise wird erst durch industrielle Vorfertigung von Bauelementen bzw. fertigen Raummodulen in einer digitalen Prozesskette erreicht. Im Folgenden werden diese Aspekte näher betrachtet.

Die Vorfertigung von Bauteilen im Elementbau erfolgt (heute meist) vollautomatisch im industriellen Maßstab und die Produktion von Serien- und Einzelelementen innerhalb einer digital gestützten Fertigungskette. Neben Betonfertigteilen kommen weitere Materialien zur Anwendung z. B. Blähton, die Vorfertigung von Elementen in Holzweise oder Ziegelbauweise, wie z. B. die Redbloc-Systemwände der Firma Schlagmann Poroton GmbH & Co KG⁴⁰¹. Die Herstellung von Schlitz- und Aussparungen bei vorgefertigten Elementen erfolgt meist bereits im Werk.

Der Modulbau ist ein weiterer Schritt in der Industrialisierung des Bauens, bei dem Raumeinheiten unter kontrollierten Bedingungen in einer stationären Fertigungsstätte vorgefertigt (einschließlich Elektroinstallation, Wasserinstallation usw.) und in mehreren Abschnitten, Modulen, auf der Baustelle endmontiert werden.

Abbildung 57
maxmodul der Max Bögl Modul AG



Quelle: Max Bögl Modul AG

Modulbau kann in verschiedenen materiellen Ausprägungen erfolgen. Beim maxmodul⁴⁰² der Firma Bögl werden Raumeinheiten in Holz-Beton-Verbundbauweise oder als Hybrid-Gebäude (Stahlbetonwände, -boden und Holzbalkendecke) seriell hergestellt und im Werk weitgehend komplett ausgebaut. Planung, Produktion, Transport und Montage erfolgen nach einer genau strukturierten Vorgehensweise. Prozesse und Abläufe werden durch BIM- und Lean-Methoden⁴⁰³ unterstützt (Abbildung 57). Ein Beispiel für industrielle Modulfertigung in Massivholzbausystemen ist VARIAHOME⁴⁰⁴ der Geiger Holzsystembau Wangen GmbH & Co. KG (Abbildung 58).

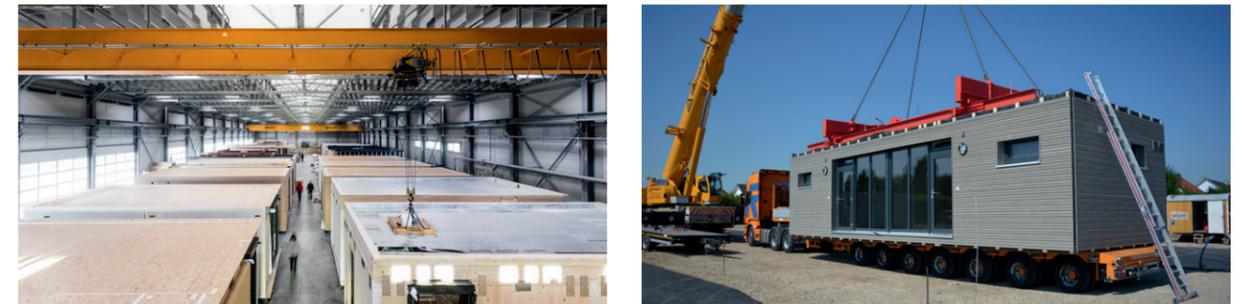
401 www.schlagmann.de, aufgerufen am 12.04.2021

402 www.maxmodul.de, aufgerufen am 28.04.2021

403 Lean Management (dt.: Schlankes Management) bezeichnet die Gesamtheit der Denkprinzipien, Methoden und Verfahrensweisen zur effizienten Gestaltung der gesamten Wertschöpfungskette industrieller Güter.

404 www.variahome.de, aufgerufen am 12.04.2021

Abbildung 58
VARIAHOME der Geiger Holzsystembau Wangen GmbH & Co. KG



Quelle: Geiger Holzsystembau Wangen GmbH & Co. KG

Vorteile des Modulbaus sind ein hoher Vorfertigungsgrad, die Werkstattfertigung ohne Witterungseinflüsse, maßhaltige industrielle Fertigung, werkstattseitige Qualitätsüberwachung und Funktionskontrolle sowie kurze Bau- und Montagezeiten auf der Baustelle und daraus resultierende Reduktionen von Lärm und Emissionen, da beispielsweise bei VARIAHOME die Module zu 98 Prozent im Werk vorgefertigt und die Bauzeiten vor Ort um 80 bis 90 Prozent zu herkömmlichen Bauweisen reduziert werden.⁴⁰⁵ Beim Modulbau wird mit einem Gesamteinsparungspotenzial von bis zu 20 Prozent gerechnet.⁴⁰⁶ Modulbau stellt erhebliche Anforderung an die Prozesse, erfordert einen hohen Abstimmungsgrad der beteiligten Fachplaner und Gewerke und einen Planungsprozess in hoher Detailtiefe, gekoppelt mit Transport- und Montage Logistik.

Industriell gefertigten Bauteile und Module werden in automatisierten und qualitätsüberwachten Prozessen in einer geschlossenen digitalen Kette hergestellt, die von Medienbrüchen gekennzeichnet ist. Ein neues Konzept zur optimalen Unterstützung der BIM-Prozesse wird im buildingSMART-Arbeitskreis IFC4precast⁴⁰⁷ entwickelt. Die Digitalisierung der Fertigteilindustrie schreitet rasant voran, mit dem Ziel, die beteiligten Softwaresysteme wie BIM-Authoring-Tools⁴⁰⁸ und PPS⁴⁰⁹ durch Integration und Vernetzung zu unterstützen. Für den vorgefertigten Holzbau wurde bei buildingSMART die Fachgruppe „BIM und Holzbau“⁴¹⁰ initiiert.

405 www.variahome.de, aufgerufen am 12.04.2021

406 www.polis-magazin.com/2019/08/schneller-hoch-hinaus-neue-potentiale-fuer-den-modulbau, aufgerufen am 29.05.2021

407 www.buildingsmart.de/arbeitsgruppe/pg-ifc4precast bzw. www.ifc4precast.de, aufgerufen am 12.05.2021

408 Software-Anwendungen zum Erstellen eines BIM-Modells und zum Export in offenen oder proprietären Dateiformaten

409 Computergestützte Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme, die die Aufgabe haben, den Ablauf eines Produktionsgeschehens in einem Industriebetrieb zu planen und zu steuern

410 www.buildingsmart.de/node/208, aufgerufen am 12.05.2021

06.2.4.3 3D-Druck und additive Fertigung

Additive Fertigungsverfahren (AM, engl. Additive Manufacturing), auch als 3D-Druck bezeichnet, stellen einen weiteren Aspekt in der Industrialisierung des Bauens dar. Additive Fertigungsverfahren werden bereits in verschiedenen Industriebereichen erfolgreich eingesetzt, um sowohl physische Prototypen als auch Endprodukte zu produzieren. In der Architektur werden AM-Verfahren bereits seit mehreren Jahren für die Erstellung von Architekturmodellen eingesetzt.

AM ermöglichen unter anderem, geometrisch komplexe Strukturen herzustellen, Materialien innerhalb eines Bauteils entsprechend der Funktionen zu variieren und den Bauprozess, basierend auf digitalen BIM-Modellen, zu automatisieren. Diese Vorteile können genutzt werden, wenn druckbare Bauelemente und AM-Prozesse in der Entwurfs- und Planungsphase entsprechend modelliert und direkt Maschinen angesteuert werden sowie der Druck überwacht wird.

AM werden in der internationalen Norm DIN EN ISO/ASTM 52900 / ISO/ ASTM 52900⁴¹¹ als ein Prozess definiert, der durch Verbinden von Material Bauteile aus 3D-Modelldaten, im Gegensatz zu subtraktiven und umformenden Fertigungsverfahren, üblicherweise Schicht für Schicht herstellt.

Im Bereich des additiven Bauens sind partikelbasierte Materialien wie Beton am weitesten verbreitet. Dabei werden meist Extrusionsverfahren, Partikelbettverfahren, Spritzbetonverfahren und Gleitschalungsverfahren eingesetzt.

Partikelbettverfahren

Beim Partikelbettverfahren werden die Materialkomponenten erst während des Prozesses zusammengeführt. Dabei werden dünne aufgetragene Partikelschichten punktuell mit einem Zement-Wasser-Gemisch getränkt. Überschüssige Partikel werden nach dem Abbinden der getränkten Schichten entfernt und das fertige Bauteil freigelegt. Nachbearbeitungsprozesse wie Wärmebehandlung können die Festigkeit und Haltbarkeit der gedruckten Struktur erhöhen. In Lowke⁴¹² werden drei Arten von Partikelbettverfahren beschrieben:

- Selektive Zement-Aktivierung
- Selektive Leim-Intrusion
- Binder Jetting

Extrusionsverfahren

Beim Extrusionsverfahren werden Zuschlagstoff, Bindemittel und Aktivator wie Sand, Zement bzw. Wasser vor der Ablagerung vorab gemischt und das Bauteil durch das Ablegen von schmalen Frischbetonsträngen gedruckt. In den letzten Jahren wurden mehrere verschiedene Betonextrusionsverfahren entwickelt. Nach Mechtcherine et al.⁴¹³ lassen sie sich in drei Typen einteilen:

- Ablagerung von dünnen Filamenten mit einem Durchmesser kleiner als ein Zentimeter, beispielsweise das an der Universität Loughborough entwickelte Concrete Printing (3DCP), bei dem ein 3-Achsen-Portalroboter eingesetzt wird⁴¹⁴
- Ablagerung von mittleren Filamenten mit einem Durchmesser bis zu einigen Zentimetern, beispielsweise Contour Crafting der University of Southern California⁴¹⁵ und 3DCP an der Eindhoven University of Technology⁴¹⁶
- Ablagerung von größeren Filamenten mit einem Durchmesser bis zu einigen Dezimetern, wie beispielsweise CONPrint3D von der Technischen Universität Dresden⁴¹⁷

⁴¹¹ ISO 52900

⁴¹² Lowke et al., 2018

⁴¹³ Mechtcherine et al., 1995

⁴¹⁴ Lim et al., 2012

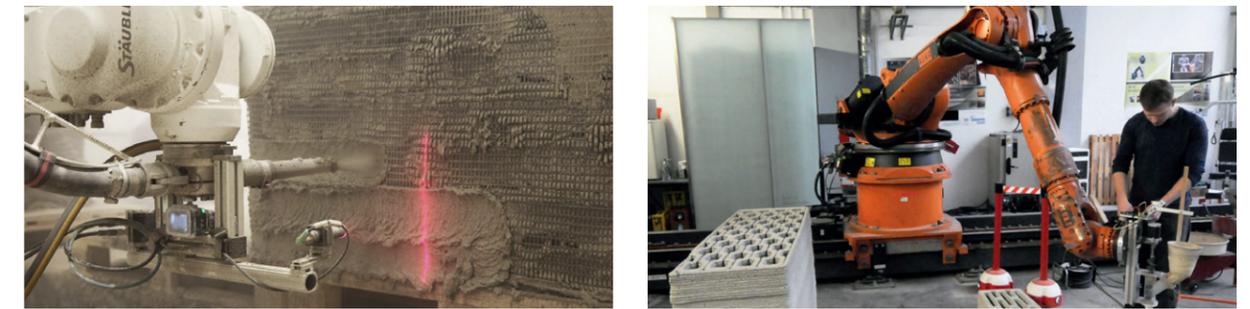
⁴¹⁵ Khoshnevis, 2006

⁴¹⁶ Salet, 2017

⁴¹⁷ Schach et al., 2017

Abbildung 59

SC3DP-Roboterarm, ausgestattet mit Kamera und Lasermesseinheit, um Unebenheiten beim Spitzten auszugleichen (links), und Extrusionsverfahren – 3D-Druck von Holzleichtbeton (rechts)



Quelle: TU Braunschweig, ITE (links), TUM, Henke (rechts)

Spritzbetonverfahren

Im Spritzbetonverfahren wird hingegen der Beton als Spritzbeton lagenweise aufgebracht.⁴¹⁸ Shotcrete 3D Printing (SC3DP, Abbildung 59 links) ist ein an der Technischen Universität Braunschweig entwickeltes Verfahren, das die Grundprinzipien des Spritzbetonverfahrens mit den Möglichkeiten der robotergestützten digitalen Fertigung kombiniert.⁴¹⁹

Gleitschalungsverfahren

Das robotergesteuerte adaptive Gleitschalungsverfahren Smart Dynamic Casting (SDC) wurde 2012 an der ETH Zürich entwickelt.⁴²⁰ In Vorfabrikation werden materialoptimierte, individuelle, tragende Betonbauteile mit kleineren Querschnitten produziert.

Detaillierte und weitere Informationen zu beispielsweise Bewehrung und weiteren Materialien wie 3D-Metalldruck oder 3D-Druck mit Holzleichtbeton (Abbildung 59 rechts) sind unter anderem in Paolin⁴²¹ beschrieben.

Ergebnisse der Forschung in den letzten Jahren auf den Gebieten der Verfahrenstechnik, der Materialwissenschaften, der Robotik und insbesondere der Druckverfahren für Bauelemente bilden die Basis für die Umsetzung erster Bauprojekte unter Anwendung von AM-Verfahren.

In Deutschland wurden erste Prototypen – ein zweigeschossiges Einfamilienhaus und das erste Mehrfamilienhaus – mittels 3D-Betondruckern inklusive aller Schächte und Kanäle für Elektro- und Sanitärleitungen, Anschlüsse oder Deckenrandschalungen umgesetzt. Gedruckt wurden diese von der Firma PERI⁴²² mit einem 3D-Betondrucker des Typs BOD2 (Abbildung 60). Die FIT AG, als Dienstleister für additive Fertigung im industriellen 3D-Druck, adressiert mit ihrem Tochterunternehmen Additive Tectonics GmbH⁴²³ die Herstellung individueller 3D-gedruckter Bauteile.

⁴¹⁸ Buswell et al., 2018

⁴¹⁹ Kloft et al., 2019

⁴²⁰ Fritschia et al., 2017

⁴²¹ Paolin et al., 2019

⁴²² www.peri.com, aufgerufen am 12.04.2021

⁴²³ www.fit.technology, aufgerufen am 12.04.2021

Abbildung 60

3D-Betondruck auf der Baustelle

Quelle: PERI GmbH

Durch eine digitale Fertigungskette von einfachen bis hin zu komplex geformten multifunktionellen Bauteilen bzw. Gebäuden oder Gebäudeabschnitten werden große Potenziale in der Steigerung der Effizienz gesehen. Die Herstellung individueller Einzelobjekte oder Kleinserien erfolgt in Fabrikanlagen oder direkt vor Ort, teilweise mit robotischen Anlagen.

Im Bereich von Brückenbauwerken wurden ebenfalls erste Projekte umgesetzt. Realisiert wurde beispielsweise eine zwölf Meter lange Fußgängerbrücke in Amsterdam, bei der Schicht für Schicht geschmolzener Stahl durch Roboter der Firma MX3D aufgetragen wurde.⁴²⁴ Aktuell wird in Nijmegen nahe der deutsch-niederländischen Grenze eine 30 Meter lange Fußgängerbrücke in Beton, die aus ca. 30 separaten gedruckten Teilen besteht, realisiert.⁴²⁵ Mit den Projekten sollen die Potenziale, insbesondere die Herstellung komplexer Geometrien, aufgezeigt werden.

Die wirtschaftlichen Einsparpotenziale des 3D-Drucks im Bauwesen im Hinblick auf Kosten- und Zeitersparnis sind aktuell nicht umfassend untersucht, da sich der 3D-Druck im Bauwesen noch im Forschungsstadium und in ersten Pilotumsetzungen befindet. Einige Untersuchungen gehen von einem Kosteneinsparungspotenzial von rund 30 Prozent im Vergleich zum traditionellen Mauerwerksbau aus,⁴²⁶ andere Untersuchungen haben ergeben, dass durch den 3D-Druck 70 Prozent an Zeit sowie 60 Prozent Material und 80 Prozent Arbeitskräfte im Vergleich zum „normalen“ Hausbau eingespart werden können.⁴²⁷ Erst als Teil einer kompletten digitalen Bauprozesskette kann eine Steigerung der Effizienz erreicht werden. Die Entwicklung zementgebundener Materialien für den 3D-Druck ist eine große Herausforderung, da diese beispielsweise bei Extrusionsverfahren gut pumpbar und extrudierbar sein müssen. Durch die Integration weiterer Materialien, wie Holzfaserbeton (Abbildung 59) oder Leichtschaubeton⁴²⁸, können beispielsweise Steigerungen der Wärmeisolierung und der Schallabsorption erreicht werden.

Die digitale Fertigungskette ist momentan durch Medienbrüche gekennzeichnet, da die Ansteuerung von Maschinen meist durch spezifische Dateiformate realisiert wird. BIM-Methodik, direkt gekoppelt mit der digital gestützten Fabrikation, ist Gegenstand aktueller Forschungsprojekte, beispielsweise im Teilprojekt „Integrating Digital Design and Additive Manufacturing through BIM-Based Decision Support and Digital Twin Methods“ des SFB / TRR 277 „Additive Manufacturing in Construction“.⁴²⁹

424 www.mx3d.com/industries/infrastructure/mx3d-bridge, aufgerufen am 03.05.2021

425 www.bridgeproject.nl, aufgerufen am 03.05.2021

426 www.immobiliemanager.de/beton-aus-dem-3d-drucker/150/57054, aufgerufen am 29.05.2021

427 www.houzz.de/magazin/3d-druck-in-der-architektur-zukunft-oder-sackgasse-stsetivw-vs-57024598, aufgerufen am 29.05.2021

428 www.3druck.com/forschung/forscher-entwickeln-hochfeste-leicht-zement-mischung-fuer-den-3d-druck-von-beton-0494105, aufgerufen am 29.05.2021

429 www.tu-braunschweig.de/trr277, aufgerufen am 20.04.2021

06.2.4.4 Zusammenfassung und Forschungslücken

Das Wachstum der Bevölkerung und der Anzahl an Haushalten und der damit verbundene Bedarf an (bezahlbarem) Wohnraum – insbesondere in städtischen Ballungsräumen – sind eine der Herausforderungen unserer Gesellschaft. Hinzu kommen der zunehmende Fachkräftemangel und der Zeitdruck im Bauwesen sowie eine geringe Produktivität und Effizienz. Vor diesem Hintergrund sind serielles Bauen und der Einsatz von Modulbausystemen mit besserer Planbarkeit, einer geprüften Ausführung der Vorfertigung im Werk und kurzen Montagezeiten auf der Baustelle und die damit verbundene Minderung der Staub-, Schmutz- und Lärmbelastung sowie Reduktion der Verkehrseinschränkungen eine Alternative zu herkömmlichen Bauweisen.

Modular und seriell zu bauen, bedeutet eine Abkehr von der Einzelfertigung und eine Zuwendung hin zu einer Industrialisierung des Bauens in einer vernetzten digitalen „Häuserfabrik“ im Sinne der Industrie 4.0. Es bedeutet aber nicht die Ersetzung konventioneller Bauweisen, sondern eine Ergänzung bei Bauprojekten, die dafür prädestiniert sind. Teilweise werden heute Mischbauweisen eingesetzt, d. h., wenn zumeist zwei unterschiedliche Bauweisen miteinander verbunden werden und somit verschiedene Baustoffe bei der Errichtung eines Rohbaus zum Einsatz kommen.

Die Vorteile im Element- und Modulbau sind ein hoher Vorfertigungsgrad, die Werkstattfertigung ohne Witterungseinflüsse, maßhaltige industrielle Fertigung, werkstattseitige Qualitätsüberwachung und Funktionskontrolle sowie kürzere Bau- und Montagezeiten auf der Baustelle und daraus resultierende Reduktionen von Emissionen vor Ort. Die Prozesse in der seriellen Fertigung und in der Modulbauweise erfordern eine ausgereifte Planung und Logistik, da bei der Fertigung in Werken und auf den Baustellen verschiedene Disziplinen beteiligt sind. Der Transport ist der limitierende Faktor beim Elementbau und insbesondere beim Modulbau.

Der Produktionsprozess in der Fertigung ist heute bereits (semi-)automatisiert und qualitätsüberwacht, in einer meist geschlossenen digitalen Kette. Automatisierte oder robotische Fertigung von seriellen oder individuellen Bauprodukten bis hin zu (semi-)autonomen Baustellen setzt digitale Informationsmodelle auf Grundlage der BIM-Methodik voraus, um die Potenziale der Methodik, wie Erkennung von Konflikten und verbesserte Koordination, vollumfänglich zu nutzen.

430 www.ar.tum.de/bimwood, aufgerufen am 20.04.2021

431 www.intcdc.uni-stuttgart.de, aufgerufen am 12.04.2021

432 www.sfb1244.uni-stuttgart.de, aufgerufen am 12.04.2021

433 www.sfbtrr280.de, aufgerufen am 12.04.2021

434 www.ruhr-uni-bochum.de/spp2187, aufgerufen am 12.04.2021

435 www.tu-braunschweig.de/trr277, aufgerufen am 12.04.2021

436 www.advanceaec.net, aufgerufen am 12.04.2021

Die Betrachtung der gesamten Kette, vom Entwurf über die Planung bis hin zur Produktion, basierend auf Bauwerksmodellen, dem offenen BIM-basierten Datenaustausch (Big Open BIM) und der BIM-basierten Ansteuerung der Maschinen, beispielsweise im industriell vorgefertigten Holzbau, wird aktuell im Forschungsprojekt BIMwood⁴³⁰ an der TU München mit Partnern aus der Praxis behandelt.

Beim 3D-Drucken ergeben sich weitere Vorteile. Autonomes 3D-Drucken ermöglicht eine 24-Stunden-Produktion, sieben Tage die Woche und unter anderem die Herstellung komplexer Formen und die Integration multifunktionaler Eigenschaften. Aktuell werden erste Prototypen von Gebäuden und baulichen Anlagen „gedruckt“. Wirtschaftlich ist derzeit der 3D-Druck im Bauwesen nicht konkurrenzfähig gegenüber „etablierten“ Baumethoden. Erst als Teil einer kompletten digitalen Bauprozesskette können Steigerungen der Effizienz und Reduktion der Kosten erreicht werden.

Aktuelle Herausforderungen im Einsatz von additiven Fertigungsverfahren im Bauwesen sind neben der großen Skala, z. B. die Integration multifunktionaler Eigenschaften in gedruckte Bauelemente, wechselnde Bedingungen vor Ort und automatisiertes bzw. autonomes robotisches Bauen. Basis für die Vernetzung ist eine durchgängige BIM-gestützte Kette, vom Entwurf über die Planung bis hin zum Drucken inkl. der automatischen Qualitätsprüfung.

Im Rahmen von interdisziplinärer Grundlagenforschung und anwendungsorientierten Fragestellungen werden spezifische Aspekte in Deutschland in folgenden Forschungsinitiativen bearbeitet:

- Exzellenzcluster 2120 „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur (IntCDC)“⁴³¹ und
- Sonderforschungsbereich 1244 „Adaptive Hüllen und Strukturen für die gebaute Umwelt von morgen“⁴³² der Universität Stuttgart,
- Sonderforschungsbereich / Transregio 280 „Konstruktionsstrategien für materialminimierte Carbonbetonstrukturen“
- Grundlagen für eine neue Art zu bauen⁴³³ der TU Dresden und RWTH Aachen,
- DFG-Schwerpunktprogramm „Adaptive Modulbauweisen mit Fließfertigungsmethoden“⁴³⁴ und
- Sonderforschungsbereich / Transregio 277 „Additive Manufacturing in Construction – The Challenge of Large Scale“⁴³⁵ der TU Braunschweig und der TU München, die sich unter „Research Network for Advancing Architecture, Engineering and Construction – AdvanceAEC“⁴³⁶ zusammengeschlossen haben, um den Austausch von Forschungsergebnissen und den Transfer in die Unternehmen im Bauwesen zu fördern.

06.2.5 Künstliche Intelligenz im Bauwesen

06.2.5.1 Überblick

Künstliche Intelligenz (KI, engl.: Artificial Intelligence, AI) durchdringt immer mehr Bereiche des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Lebens. KI-basierte Systeme im Alltag unterstützen und assistieren bereits in vielen Bereichen, z. B. automatische Verkehrsschilderkennung und automatische Einparkhilfen beim Autofahren oder die Anpassung der Lichtverhältnisse und der Temperatur im Smart Home mittels natürlicher Sprache, wie Alexa, Siri oder Cortana, sowie Sprachübersetzung, wie deepL⁴³⁷ oder Google Neural Machine Translation (GNMT).

Der Begriff Künstliche Intelligenz ist in der Literatur nicht eindeutig definiert. Das Oxford Dictionary definiert Künstliche Intelligenz als Theorie und Entwicklung von Computersystemen, die in der Lage sind, Aufgaben auszuführen, die normalerweise menschliche Intelligenz erfordern, wie z. B. visuelle Wahrnehmung, Spracherkennung, Entscheidungsfindung und Übersetzung zwischen Sprachen.

Der Begriff Künstliche Intelligenz wurde 1956 auf der Dartmouth Conference (Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence) im US-Bundesstaat New Hampshire von John McCarthy vorgeschlagen. Während der Konferenz wurde das erste KI-Programm der Welt „Logic Theorist“ geschrieben. Damit gilt die Konferenz als Geburtsstunde des akademischen Fachgebietes. In den nächsten Jahrzehnten wurden auf der einen Seite theoretische Grundlagen gelegt und auf der anderen Seite sowohl experimentelle als auch kommerzielle Anwendungen umgesetzt, wie „ELIZA“⁴³⁸, das heute als eines der ersten Chatbots angesehen wird. Seit den 70er-Jahren sind erste kommerzielle Anwendungen verfügbar, wie R1 (intern XCON, eXpert CONfigurer).⁴³⁹

Ein großer Durchbruch von KI-Anwendungen ist etwa seit dem Jahr 2000 zu verzeichnen, getrieben durch die Verfügbarkeit von Rechenleistung, Algorithmen und vor allem verfügbaren Datensätzen. Seit etwa 2010 beginnt die Kommerzialisierung von KI-Anwendungen. KI-Systeme etablieren sich in alltäglichen Anwendungen, z. B. die Veröffentlichung von Siri (Speech Interpretation and Recognition Interface) im Jahr 2011, einem virtuellen Assistenten auf Apple-iOS-Betriebssystemen.

Für ein einheitliches Verständnis im VDI wurde folgende Definition für KI zugrunde gelegt: „Künstliche Intelligenz erweitert technische Systeme um die Fähigkeit, Aufgaben selbstständig und effizient zu bearbeiten. Auf Basis Maschinellen Lernens erweitern technische Systeme ihr Potenzial, indem sie eigenständig Modelle entwickeln und so hochkomplexe Aufgaben lösen können. Mithilfe von KI können Analysen und Vorhersagen genauer und schneller getroffen, Empfehlungen und Entscheidungen zielgerichteter vorbereitet werden.“⁴⁴⁰ Maschinelles Lernen (ML) sind in Anlehnung an Gabler⁴⁴¹ „Verfahren, durch die Computersysteme befähigt werden, selbstständig Wissen aufzunehmen und zu erweitern, um ein gegebenes Problem besser lösen zu können als vorher“.

In der VDI-Definition wie auch in vielen Medienberichten wird Künstliche Intelligenz mit Machine Learning (ML) bzw. Deep Learning (DL) gleichgesetzt, die aber nur Teilgebiete der Künstlichen Intelligenz umfassen. Bezieht man „klassische“ Methoden – auch als GOFAI (Good Old-Fashioned Artificial Intelligence) bezeichnet – mit ein, so sind unter anderem regelbasierte Expertensysteme Bestandteile von KI.

437 www.deepL.com, aufgerufen am 11.04.2021

438 Weizenbaum, 1966

439 McDerrott, 1980

440 VDI, 2018

441 Gabler, 2018

KI

KI-Ansätze lassen sich prinzipiell in starke KI und schwache KI unterscheiden. Schwache KI (engl.: weak AI oder narrow AI) befasst sich mit der Lösung, die in der Regel für bestimmte Anwendungsdomänen entwickelt bzw. genutzt werden. Schwache KI umfasst zum Beispiel Gebiete wie Expertensysteme, Navigationssysteme, Spracherkennung und Zeichenerkennung. Starke KI (auch Superintelligenz, engl.: strong AI oder general AI) ist die Form der Künstlichen Intelligenz, die die gleichen intellektuellen Fertigkeiten wie Menschen hat oder sie darin sogar übertrifft. Derzeit gibt es keine allseits anerkannte Definition, aber es besteht ein Konsens, dass eine wirkliche Intelligenz die folgenden Fähigkeiten beherrschen muss:^{442, 443, 444}

1. Logisches Denkvermögen
2. Entscheidungsfähigkeit auch bei Unsicherheit
3. Planungs- und Lernfähigkeit
4. Fähigkeit zur Kommunikation in natürlicher Sprache
5. Kombinieren aller Fähigkeiten zur Erreichung eines übergeordneten Ziels

Künstliche Intelligenz kann in vielen verschiedenen Anwendungen und Domänen eingesetzt werden, wie Fertigungsroboter, intelligente Assistenten, automatisierte Geldanlage, Überwachung von sozialen Medien, teamübergreifende Chat-Tools, konversationsfähige Marketing Bots und Verarbeitung natürlicher Sprache (engl.: Natural Language Processing, NLP).

06.2.5.2 Potenzielle Anwendungsfelder

Der Einsatz von KI-Methoden im Bauwesen ist in verschiedenen Bereichen möglich, um Baustellen sicherer zu machen, Abfall zu reduzieren und die Effizienz und Arbeitsproduktivität zu steigern. Die Potenziale von KI im Bauwesen werden in der Praxis erkannt und aktuell in Pilotvorhaben eingesetzt. Eine Umfrage vom Oktober 2020 in Österreich⁴⁴⁷ ergab, dass 31 Prozent der Befragten sich den Einsatz von KI im Planungs- und Bauprozess vorstellen können, aber vorerst Erfahrungsberichte abwarten, 31 Prozent befassen sich aktiv mit dem Themenfeld, 24 Prozent gaben an, dass der Einsatz von KI mehr Herausforderungen bringt, und 14 Prozent haben sich mit dem Thema noch nicht befasst.

Neueste KI-Methoden erlauben es, maschinelles Lernen mit analytischen Strukturen zu kombinieren, z. B. Differentialgleichungen, Navier-Stokes-Gleichungen oder Hamilton'sche Dynamiken. Mit diesem Ansatz werden die Vorteile aus beiden Welten kombiniert – präzise Modelle durch effiziente Nutzung von Daten und Expertenwissen.

Die Bundesregierung veröffentlichte im November 2018 eine nationale Strategie für Künstliche Intelligenz (KI) unter dem Titel „Artificial Intelligence – Made in Germany“⁴⁴⁵ und hat einen politischen Rahmen für die umfassende Entwicklung von Künstlicher Intelligenz und ihren Anwendungsfeldern geschaffen. Die Strategie umfasst zwölf Handlungsfelder und 14 Zielstellungen.

Die Bayerische Staatsregierung hat in den letzten Jahren eine Vielzahl von Maßnahmen beschlossen, mit denen der Freistaat zu einem international führenden Standort im Bereich der KI entwickelt werden soll. Beispiele sind die Gründung der Munich School of Robotics and Machine Intelligence (MSRM, TU München), des Center for Artificial Intelligence Data Science (CAIDAS, JMU Würzburg) sowie weitere Maßnahmen im Rahmen der Hightech Agenda Bayern⁴⁴⁶.

In Deutschland werden im Bauwesen Ansätze von KI-Lösungen in den Unternehmen untersucht, Anwendungsfelder identifiziert und erste Lösungen befinden sich im operativen bzw. experimentellen Betrieb. Auf dem Treffen des Arbeitskreises Informationsmanagement⁴⁴⁸ (AKIM) des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie im November letzten Jahres wurden potenzielle Einsatzfelder diskutiert und erste experimentelle Anwendungen vorgestellt, wie z. B. AI-basiertes automatisiertes E-Mail-Routing (AUG. PRIEN Bauunternehmung GmbH & Co. KG oder KI-Chatbots in Kombination mit Image Segmentation von Situationen auf der Baustelle (Wolff & Müller GmbH & Co. KG Bauunternehmung).

442 Russell / Norvig, 2003

443 Luger, 2005

444 Poole, 1998

445 www.ki-strategie-deutschland.de, aufgerufen am 12.04.2021

446 www.bayern.de/politik/hightech-agenda, aufgerufen am 11.04.2021

447 www.handwerkundbau.at/bauen/kuenstliche-intelligenz-haelt-einzug-ins-bauwesen-14836, aufgerufen am 11.04.2021

448 www.bauindustrie.de/themen/innovation-und-digitalisierung, aufgerufen am 12.05.2021

KI-Methoden sind eng mit Schlüsseltechnologien in Bauen 4.0 gekoppelt. Anwendungsbereiche sind beispielsweise:

- Generatives Entwerfen⁴⁴⁹ (engl.: Generative Design) und Konstruieren (Abschnitt KI-basierte Anwendungen in Architektur und Stadtplanung)
- Predictive Analytics (Abschnitt KI-basierte Anwendungen für Sicherheitsmonitoring und -prävention)
- KI-basiertes Projektmanagement (Abschnitt KI-basierte Anwendungen im Bereich Projekt- und Prozessmanagement)
- Robotik (siehe Kapitel 06.2.3 Robotik auf der Baustelle)

Die Erschließung potenzieller Anwendungsfelder hängt neben kommerziell verfügbaren Hard- und Softwarelösungen vor allen von verfügbaren Datenbeständen ab. Erste kommerzielle Softwarelösungen im Bauwesen sind verfügbar, eine Reihe von Start-ups entwickeln Lösungen und in der Forschung wird in grundlagenorientierten und anwendungsbezogenen Projekten gearbeitet. Auf ausgewählte Anwendungsfelder wird im Folgenden näher eingegangen.

KI-basierte Anwendungen in Architektur und Stadtplanung

KI-basierte Anwendungen ermöglichen es, automatisch Entwurfslösungen zu generieren und den Lösungsraum zu erweitern oder Teilaspekte zu untersuchen. Entwurfsziele und -kriterien können beispielsweise beim generativen Entwerfen durch den Nutzer eingegeben werden. Die Softwareapplikationen nutzen KI-Algorithmen, die eine Vielzahl von Varianten erzeugen und untersuchen, um die besten Optionen zu ermitteln, aus denen Architekt*innen und Stadtplaner*innen auswählen und diese weiterentwickeln. In der Forschung wird z. B. an Assistenzsystemen im Entwurfsprozess⁴⁵⁰ oder zur Analyse urbaner Strukturen gearbeitet.⁴⁵¹

Erste kommerzielle Applikationen sind im internationalen Kontext verfügbar. TestFit⁴⁵² ist beispielsweise eine KI-gestützte Lösung für Standort-Machbarkeitsstudien, Gebäudekonfigurationen bis hin zur Unterstützung bei der Konfiguration von Pkw-Stellplätzen. Ein anderes Beispiel ist Spacemaker AI⁴⁵³ für die Unterstützung der frühen Phasen im architektonischen Entwurfsprozess. Spacemaker ist eine Cloud-basierte KI-Software, die unter anderem mehrere Standorte vergleicht und optimale Optionen, basierend auf nutzerdefinierten gewichteten Kriterien wie Tageslicht, Wind und Bauvorschriften, vorschlägt. Mit der Softwarelösung können z. B. verschiedene Gebäudehöhen und mögliche Gebäudestrukturen effizient getestet und insbesondere in der Akquisitionsphase Zeit eingespart werden. Quantifizierbare Berechnungsergebnisse und visuelle Darstellungen können zu einem besseren und effizienteren Dialog beispielsweise in Partizipationsprozessen (siehe Kapitel 05.2.2 Öffentlichkeits- und Bürgerbeteiligung) beitragen. Im Kontext der energetischen Raumplanung können KI-Methoden beispielsweise die Klassifikation des Gebäudebestandes auf Quartiersebene vornehmen (siehe Kapitel 03.2.2 Anforderungen an das klimaangepasste Planen und Bauen von Gebäuden).

KI-basierte Anwendungen im Bereich Projekt- und Prozessmanagement

Im Bereich des Projektmanagements, das in großen Teilen auf Datenmaterial basiert, kann mittels KI-Methoden eine Steigerung der Effizienz erreicht werden. In Hinblick auf Aspekte wie Zeit, Kosten und Qualität können KI-Algorithmen Daten analysieren, eigenständige Schlüsse ziehen und als Ergebnis Optimierungsvorschläge und Handlungsempfehlungen unterbreiten, wann Aufgaben optimal abgearbeitet werden können. Im Projektmanagement im Bereich des Bauwesens sind Herausforderungen regional unterschiedliche Regel- und Normenwerke sowie verfügbare valide Datenbestände, sodass KI-Methoden mittelfristig nur in Teilbereichen assistierend unterstützen werden.^{454, 455}

⁴⁴⁹ Generatives Entwerfen bezeichnet eine Entwurfsmethode in der Architektur. Wesentlich dabei ist, dass das architektonische Modell durch ein Regelwerk bzw. einen Algorithmus erzeugt wird.

⁴⁵⁰ Langenhan, 2019

⁴⁵¹ Ojha, 2019

⁴⁵² www.testfit.io, aufgerufen am 11.04.2021

⁴⁵³ www.spacemakerai.com, aufgerufen am 11.04.2021

⁴⁵⁴ Eber, 2020

⁴⁵⁵ Pan / Zhang, 2021

Ein Beispiel für einen assistierenden Ansatz ist generatives Entwerfen, in Kombination mit Daten zu Kosten und Terminen ähnlicher Projekte. Maschinelle Lernalgorithmen analysieren Daten aus ähnlichen Projekten, um vorläufige Kosten- und Zeitplanschätzungen zu ermitteln. In der Kombination aus KI mit BIM-Modellen werden genauere Schätzungen in kürzerer Zeit ermittelt. Alice Technology⁴⁵⁶ ist beispielsweise eine KI-basierte Plattform für Bauplanung und -management, bei der aus BIM-Modellen ein 4D-Zeitplan sowie KPIs (Key Performance Indicator, dt.: Leistungskennzahl)⁴⁵⁷, Kosten und andere Angaben abgeleitet werden.

Ein weiteres Feld ist das Monitoring von Aktivitäten auf der Baustelle, um beispielsweise den Baufortschritt mittels autonomer Geräte wie Drohnen, Sensoren und Kameras zu überwachen. KI-basierte Anwendungen wie Doxel⁴⁵⁸ nutzen Daten, um die Menge der eingebauten Bauteile und Materialien zu messen, indem die Baustelle dreidimensional analysiert wird. KI-Algorithmen verfolgen den Fortschritt in Echtzeit gegenüber der ursprünglichen Planung, dem ursprünglichen Budget und Zeitplan. Im Projektmanagement können diese Informationen genutzt werden, um den Arbeitsfortschritt zu verfolgen und Anpassungen vorzunehmen, um ein Projekt im vorgegebenen Zeitplan zu realisieren. Eine weitere Lösung ist Nucon⁴⁵⁹, die Daten von Baustellen analysiert und unter anderem Maßnahmen zur Qualitätskontrolle, Sicherheit und der damit verbundenen Rentabilität vorschlägt.

KI-basierte Anwendungen für Sicherheitsmonitoring und -prävention

Die Erhöhung und Verbesserung der Sicherheit auf Baustellen und die Vorhersage von potenziellen Sicherheitsrisiken in Projekten können durch den Einsatz von KI-Methoden unterstützt werden. In der Forschung gibt es hierzu zahlreiche Ansätze, wie z. B. die Kombination von KI mit Computer-Vision-basierten⁴⁶⁰ Ansätzen^{461, 462}, die Erkennung von Personen mit Sicherheitswesten⁴⁶³ oder die Bewertung der Sicherheit⁴⁶⁴.

KI-basierte Anwendungen wie Smartvid.io⁴⁶⁵ oder Construction IQ | BIM 360 der Firma Autodesk⁴⁶⁶, die automatisierte Bilderkennung (engl.: Image Recognition) und Predictive Analytics nutzen, sind ein wichtiger Bausteine zur Risikoüberwachung und -prävention für das Sicherheitsmanagement. Fotos und Videos von der Baustelle werden auf Sicherheitsrisiken analysiert, z. B. Arbeiter, die keine angemessene persönliche Schutzausrüstung (PSA) entsprechend der PSA-Benutzungsverordnung tragen, um die Erkenntnisse in Sicherheitsprotokollen festzuhalten.

⁴⁵⁶ www.alicetechnologies.com, aufgerufen am 11.04.2021

⁴⁵⁷ Kennzahlen, anhand derer der Fortschritt oder der Erfüllungsgrad hinsichtlich wichtiger Zielsetzungen oder kritischer Erfolgsfaktoren innerhalb des Projektes gemessen und / oder ermittelt werden kann.

⁴⁵⁸ www.doxel.ai, aufgerufen am 11.04.2021

⁴⁵⁹ Cwww.nucon.io, aufgerufen am 11.04.2021

⁴⁶⁰ Computer Vision (dt.: computerbasiertes Sehen) bezeichnet Systeme, die Objekte in digitalem Stand- und Bewegtbildmaterial erkennen und entsprechend verarbeiten.

⁴⁶¹ Fang et al., 2020

⁴⁶² Neuhauser et al., 2020

KI-basierte Anwendungen für autonome Baustellen

Ein weiteres Einsatzgebiet sind autonome Fahrzeuge, die in der Lage sind, selbstständig Materialien zur Baustelle zu transportieren oder bestimmte Tätigkeiten (z. B. Aushubarbeiten) nach Konstruktionsvorgaben beispielsweise aus BIM-Modellen auszuführen. Autonome Baufahrzeuge können nicht nur die Arbeitsbedingungen verbessern, sondern 24 Stunden am Tag Arbeiten durchführen, was die Effizienz deutlich verbessern und Kosten senken kann. Im Rahmen des Forschungsprojektes „digiBauHoy“ der TU Dresden werden ferngesteuerte und autonom agierende Baufahrzeuge, wie Radlader und Raupenbagger der neuesten Generation, auf einem Erprobungsfeld evaluiert. Das Forschungsprojekt ist Teil des Forschungsfeldes Lausitz, das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert wird.⁴⁶⁷ Ein ähnlich gelagertes Projekt ist der Closed-Loop Systems Engineering Demonstrator – Autonome Baustelle an der TU Kaiserslautern.⁴⁶⁸ In der Automobilbranche wurden erste autonome Baustellenfahrzeuge entwickelt, z. B. der Muldenkipper Scania AXL⁴⁶⁹.

KI-basierte Anwendungen für Abfallrecycling

Das Bauwesen ist eines der größten Material- und Energieverbraucher. Mengenmäßig stellen die Bau- und Abbruchabfälle die größte Gruppe am gesamten Abfallaufkommen in Deutschland dar (Kapitel 02.5). Das effizientere Recycling großstückiger Abfälle, vor allem im Bereich der Bauwirtschaft, lässt einen signifikanten ökologischen Nutzen erwarten. Dabei spielt die Sortierung der Abfälle für die Erhöhung der Ressourceneffizienz eine entscheidende Rolle. Je nach Zusammensetzung werden beispielsweise Altbetone von den übrigen Bauschuttmassen bereits ab Abbruchbaustelle getrennt gehalten. Die Aufbereitung verfolgt das Ziel, einen Recyclingbaustoff mit definierten Eigenschaften zu erzeugen. Die Qualität der erzeugten Recyclingbaustoffe wird durch die Zusammensetzung des Bauschutts und durch die Aufbereitungstechnologie bestimmt. Je sortenreiner das Ausgangsmaterial bereitgestellt werden kann, desto hochwertiger kann es aufbereitet und verwertet werden. Bauabfälle, die aus unterschiedlichen Materialien bestehen, sind ebenso eine noch oftmals unerschlossene Ressourcenquelle. Durch den Einsatz moderner Sensorik, KI-Methoden und Robotik soll die Sortierung von Abfällen verbessert und damit die Ressourceneffizienz erhöht werden. Mithilfe von Computer Vision werden Objekte und Materialien für das Recycling mit einer Genauigkeitsrate von bis zu 99 Prozent identifiziert.

⁴⁶³ Seng et al., 2018

⁴⁶⁴ Ayhan et al., 2019

⁴⁶⁵ www.smartvid.io, aufgerufen am 11.04.2021

⁴⁶⁶ www.autodesk.de/bim-360/construction-management-software/construction-data-analytics-reporting/machine-learning-construction-management/features-supporting-machine-learning, aufgerufen am 11.04.2021

⁴⁶⁷ www.tu-dresden.de/tu-dresden/newsportal/news/tu-dresden-errichtet-digitale-baustelle-in-hoyerswerda, aufgerufen am 11.04.2021

⁴⁶⁸ http://vpe.mv.uni-kl.de/forschung/forschungsdemonstratoren/closed-loop-systems-engineering-demonstrator-autonome-baustelle, aufgerufen am 11.04.2021

⁴⁶⁹ www.scania.com/ch/de/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2019/09/scania-axl.html, aufgerufen am 11.05.2021

Beispielsweise ist es das Ziel des Projektes „Smart Recycling – KI und Robotik für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft“⁴⁷⁰ des DFKI (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz), in Kooperation mit anderen Einrichtungen, durch den Einsatz moderner Sensorik, KI-Methoden und Robotik die Sortierung von Abfällen zu verbessern und damit die Ressourceneffizienz zu erhöhen, um das Sustainable Development Goal „Nachhaltiger Konsum und Produktion“ sowie die im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm festgelegten Ziele zur Steigerung der Recyclingrate bei Siedlungsabfällen auf über 65 Prozent des Recyclinganteils von Kunststoffabfällen und des Einsatzes von Recycling-Baustoffen zu unterstützen.

06.2.5.3 Zusammenfassung und Forschungslücken

Künstliche Intelligenz ist eines der Zukunftsfelder. Mit Kameras ausgestattete Kräne überwachen den Baufortschritt. KI wird eingesetzt, um die Verlegung von Elektro- und Sanitäranlagen in Gebäuden zu planen. Die Unternehmen nutzen KI, um die Interaktion zwischen Arbeitern, Maschinen und Objekten auf der Baustelle zu tracken und Verantwortliche über potenzielle Sicherheitsrisiken, Baufehler und Produktivitätsprobleme zu benachrichtigen.

Im Bauwesen werden die Potenziale erkannt, Anwendungsfelder sondiert und erste experimentelle Schritte unternommen, aber der operative Einsatz von KI steht noch bevor. Es wird erwartet, dass KI unter anderem Fehler in der Planung und Ausführung signifikant verringert, Baukosten senkt, Unfälle auf der Baustelle reduziert und den Baubetrieb produktiver gestaltet.

In einigen Bereichen sind zwar erste Softwarelösungen verfügbar, aber die Anwendungsfelder von KI im Bauwesen sind bei Weitem noch nicht erschlossen. Ein essenzieller Baustein sind Grundlagenforschung und angewandte Forschung in interdisziplinären Teams. In Deutschland gibt es dazu bereits eine Reihe von Forschungsprojekten und -verbänden, beispielsweise die Forschungsinitiative „BIM meets KI“⁴⁷¹.

An der TU München wurde im letzten Jahr das Munich Data Science Institute (MDSI)⁴⁷² als ein Kernelement der TUM AGENDA 2030 gegründet, mit dem Ziel, durch die Integration der Datenwissenschaften in spezifische Anwendungsfelder neue Innovationspotenziale zu nutzen. Im Bereich des Bauwesens wurde durch die Nemetschek Innovationstiftung das TUM Georg Nemetschek Institute of Artificial Intelligence for the Built World (GNI)⁴⁷³ unter dem Dach des MDSI und der TUM School of Engineering and Design gegründet. Ziel des Institutes ist es, als zentrale Schnittstelle für Forschung, Lehre und Innovation zur Anwendung von KI und Maschinellen Lernen in den inhaltlich ineinandergreifenden Sektoren Planen, Bauen und Nutzung den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden und Infrastrukturbauwerken zu agieren.

Der Einsatz von KI birgt aber auch Risiken, insbesondere müssen Haftungsfragen und ethische Fragen geklärt und in entsprechenden Vorschriften verankert werden. Dieses Themenfeld und weiteren Fragen widmen sich die von der Bundesregierung initiierte Initiative „AI made in Germany“.

470 www.dfki.de/web/forschung/projekte-publikationen/projekte-uebersicht/projekt/smartrecycling, aufgerufen am 11.04.2021

471 www.kimeetsbim.org, aufgerufen am 11.04.2021

472 www.mdsi.tum.de, aufgerufen am 11.04.2021

473 www.gni.tum.de, aufgerufen am 11.04.2021

06.2.6 Internet of Things (IoT) in der Gebäudetechnik

Gebäudetechnik

Der Begriff Gebäudetechnik umfasst die installations- und maschinentechnischen Einrichtungen und Ausstattungen von Gebäuden, welche die Nutzung eines Gebäudes unterstützen bzw. möglich machen. Hierzu gehören u.a. die Elektroinstallation, Wasserver- und -entsorgung, Gasversorgung und Versorgung mit Fernwärme sowie Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungsanlagen und Sanitäreinrichtungen oder Aufzugsanlagen.

Gebäudeautomation

Die Gebäudeautomation ist ein Teil der Gebäudetechnik, der die ganze Topologie von der Rechnebene über die Automationseinheiten in der Zentrale und im Raum bis hin zu intelligenten Aktoren und Sensoren umspannt. Die Gebäudeautomation umfasst sämtliche Überwachungs-, Steuer-, Regel- und Optimierungseinrichtungen in Gebäuden als Teil des technischen Facility-Managements. Im Gebäude verbaute oder in Geräten integrierte Sensoren registrieren und kontrollieren Messwerte, wie z. B. zur Bestimmung des Innenraumkomforts, oder Zustände, wie z. B. den Stand von Sonnenschutzvorrichtungen sowie die Funktionsfähigkeit von Zugangsbeschränkungen, um damit gebäudetechnische Anlagen gemäß den Nutzervorgaben einzusetzen.

Internet of Things

Unter dem Begriff Internet of Things (IoT) werden Technologien zusammengefasst, die es ermöglichen, physische und virtuelle Objekte auf der Basis des Internets miteinander zu vernetzen und sie durch entsprechende Informations- und Kommunikationstechniken interagieren zu lassen.

Gebäudeautomation und Smart Building

Die Erfindung des Thermostats Anfang des 17. Jh., des Lichtschalters Ende des 19. Jh., die beginnende Elektrifizierung von Privathaushalten ab ca. 1920 und die erste kommerziell verfügbare digitale Steuerung von Geräten und Maschinen in den späten 1960er-Jahren sind lediglich vier von vielen Meilensteinen, die den Weg von einer rein mechanisch gesteuerten Gebäudetechnik⁴⁷⁴ hin zu einer zunächst rein elektrisch gesteuerten Gebäudetechnik ab den 1980er-Jahren andeuten.⁴⁷⁵ Die Gebäudeleittechnik diente zunächst vor allem dazu, die verschiedensten dezentralen Überwachungs-, Regel- und Steuereinheiten mit einer oder mehreren Zentraleinheiten zu verbinden und zu steuern.⁴⁷⁶

Neben den technologischen Fortschritten und den sich hieraus ergebenden Möglichkeiten der Optimierung der Steuerung führten politische und ökologische Herausforderungen, wie die beiden Ölkrisen 1973 und 1979, und das zeitgleich zunehmende Umweltbewusstsein zu einer Erweiterung der Anforderungen. So musste beispielsweise der Umgang mit Energie im Gebäudesektor grundlegend überdacht werden.

Mit der Erfindung des Mikroprozessors und der ersten Personal Computer in den 1970er-Jahren konnten in den frühen 1980er-Jahren erste „intelligente“ rechnergesteuerte und damit automatisierte Gebäudeleittechniksysteme entwickelt werden⁴⁷⁷. Dies bildete die Grundlage für die Entwicklung des Konzepts des „Smart Building“⁴⁷⁸, das bis heute Anwendung findet.

474 www.boschbuildingsolutions.com/de/de/news-und-events/geschichte-gebaeudeautomation, aufgerufen am 17.04.2021

475 Banham, 1984

476 Pistohl, 2002

477 www.boschbuildingsolutions.com/de/de/news-und-events/geschichte-gebaeudeautomation, aufgerufen am 18.04.2021

478 blog.wiredscore.com/uk/history-of-smart-buildings, aufgerufen am 17.04.2021

Die rechnergesteuerte Gebäudetechnik von „intelligenten Gebäuden“ wird durch Einzel- und Multifunktionssysteme automatisiert und erlaubt durch die Integration von neuen Informationstechnologien die anlagenübergreifende Integration vielfältiger Funktionen, wie z. B.:

- Heizen, Kühlen, Lüften sowie Be- und Entfeuchten (Klimatechnik)
- Beleuchtung und Notbeleuchtung
- Brandschutz
- Förderanlagen (Aufzüge, Rolltreppen etc.)
- Zugangskontrolle und Sicherheitsüberwachung (Fenster, Türen etc.)
- Telekommunikation
- Datentransfer im Gebäude
- Service- und Wartungsfunktionen

Neben der Optimierung des Innenraumkomforts und der Berücksichtigung der aktuell stark angestiegenen Anforderungen an die Innenraumluftqualität bestehen weitergehende vielfältige Potenziale zur Optimierung von Gebäudefunktionen, wie z. B. die Minimierung des Energiebedarfs⁴⁷⁹ oder die umgehende Identifikation von Fehlfunktionen im Bereich der Gebäudetechnik, um einen reibungslosen Betrieb des Gebäudes sicherzustellen.

Beispielhaft sei hier das am 01.01.2020 in Kraft getretene Gebäudeenergiegesetz (GEG)⁴⁸⁰ genannt, das neben der Umsetzung von Niedrigstenergiegebäuden mit einem gegen null tendierenden Verbrauch an fossilen Brennstoffen den Einsatz von erneuerbaren Energien in Gebäuden verbindlich vorschreibt. Während der durchschnittliche Primärenergiebedarf für das Heizen eines Einfamilienhauses in den vergangenen 40 Jahren durch die Verbesserung der Gebäudehülle und Heiztechnik von über 250 kWh/m²*a auf rund 25 kWh/m²*a gesenkt werden konnte,⁴⁸¹ bedarf es weitergehender Schritte, um die vom Gesetzgeber im Rahmen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)⁴⁸² vorgegebene Umsetzung von Niedrigstenergiegebäuden zu erreichen. Hier ist vor allem der Einsatz von Technologien zur Nutzung von Umweltenergien erforderlich, wie die Gewinnung von elektrischem Strom durch Photovoltaik oder der Einsatz von Wärmepumpen.

Die durch den „Green Deal“ der EU⁴⁸³ angeregte Diskussion zur Umsetzung eines klimaneutralen Kontinents rückt die bereits 2018 von der Bundesregierung unterstützte Initiative zur Umsetzung eines sogenannten „Effizienzhaus-Plus“-Niveaus in den Vordergrund. Hierbei sollen gegenüber dem derzeit gesetzlich vorgegebenen Niedrigstenergie-

standard, der einen maximalen Primärenergiebedarf von rund 25 kWh/m²*a vorschreibt, künftig sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf erreicht werden.⁴⁸⁴ Die umfassende, durchgängige Umsetzung des „Effizienzhaus Plus“-Niveaus oder vergleichbarer Konzepte im Gebäudesektor würde die Umsetzung der Ziele des „Green Deal“ und die Umsetzung klimaneutraler zukunftsorientierter Bauweisen vollständig unterstützen.

Zum Erreichen dieser Ziele ist neben einer in bauphysikalischer Hinsicht hervorragenden Gebäudehülle und einer auf der Nutzung von Umweltenergien sowie Wärmerückgewinnung basierenden Gebäudetechnik vor allem auch eine entsprechende Steuer- und Regelungstechnik (Gebäudeautomation) notwendig, um unter Berücksichtigung der Witterungsbedingungen und des Nutzerverhaltens durch Wärmespeicherung und -rückgewinnung den Innenraumkomfort zu optimieren und den Einsatz von fossilen Brennstoffen weitgehend zu eliminieren.

Neben der Umsetzung der genannten Anforderungen ermöglicht der Einsatz einer „intelligenten“ Steuer- und Regelungstechnik („Smart Building“) als Teil der Gebäudeautomation u. a. die direkte Einbindung des Nutzerverhaltens im Rahmen der Steuerung der gebäudetechnischen Systeme. Beispielsweise ermöglicht präsenzgesteuerte Klimatechnik, das Raumklima an die jeweiligen Nutzererwartungen anzupassen oder auch die Klimatechnik auf ein Minimum herunterzufahren, falls kein Nutzer präsent ist. Aus den erhobenen Daten lassen sich durch Einsatz von Machine-Learning-Algorithmen Informationen über zukünftiges Nutzerverhalten (z. B. Verhalten zu Fensteröffnung) ableiten, das zu weiteren energetischen Einsparpotenzialen führt.⁴⁸⁵

Internet of Things und Gebäudeleittechnik

Die Einführung und rasante Ausbreitung des Internets gegen Ende des 20. Jahrhunderts und die sich daran anschließende weltweite Vernetzung von Informationssystemen zu Beginn des 21. Jahrhunderts bilden die Grundlage für das „Internet of Things“ bzw. das „Internet der Dinge“. Hierunter versteht man ein System von mit dem Internet verbundenen Objekten („Dingen“), die in der Lage sind, Daten über ein Netzwerk ohne menschliches Eingreifen zu sammeln und zu übertragen. Neben der weitergehenden Miniaturisierung und Erhöhung der Rechenleistung von Computern sowie Erweiterung der Informationsübermittlungsverfahren, wie die drahtlose Übertragung von Daten (WiFi, Blue-

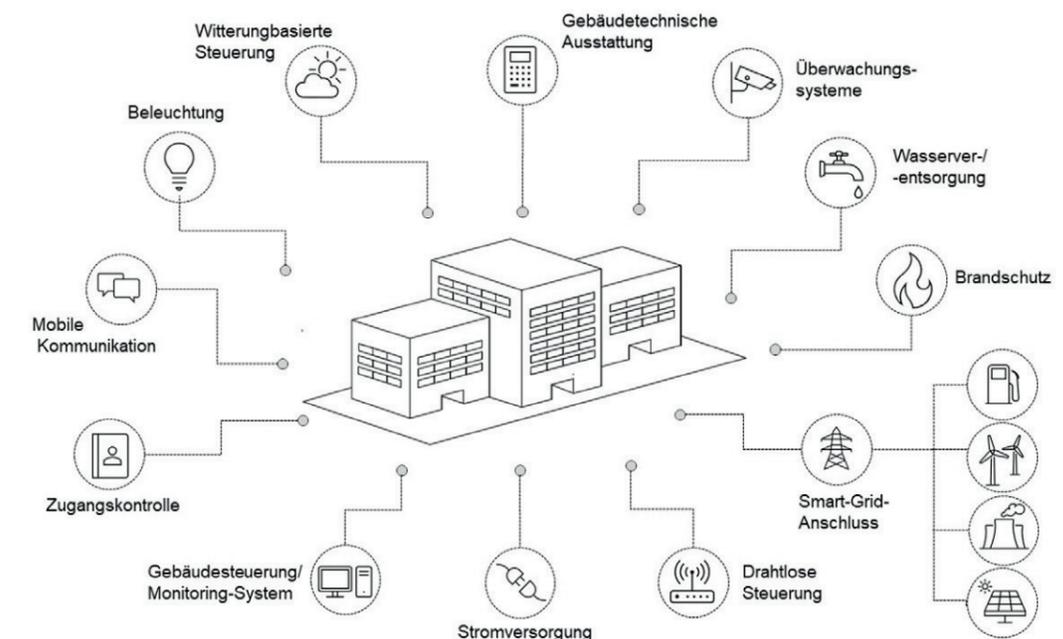
tooth etc.), spielt die Entwicklung der sogenannten „RFID- Technologie“ (Radio Frequency Identification) für die Funckerkennung von Daten ohne Sichtkontakt zur automatischen und berührungslosen Lokalisation und Identifikation von „Dingen“ eine maßgebliche Rolle.

In Bezug auf die sich ergebenden Möglichkeiten und Potenziale im Bereich der nunmehr vollständig digitalisierten Mess-, Steuer- und Regelungstechnik bedeutet dies vor allem im Neubaubereich, dass die bereits im Rahmen des „Smart Building“ realisierten Kontroll- und Steuerungsmöglichkeiten durch neue Kommunikations- und Vernetzungsmöglichkeiten grundlegend erweitert werden können.

Über die entsprechende wechselseitige Übertragung der Signale durch eine Gebäudeautomation werden die verschiedenen Anlagensysteme zielgerichtet und aufeinander abgestimmt betrieben. Innenraumkomfort und Energieeffizienz lassen sich durch intelligente anlagenübergreifende Funktionen für z. B. Heizung, Beleuchtung und Belüftung optimieren.⁴⁸⁶ Monitoring-Services – etwa zur vorausschauenden Wartung von Anlagen – unterstützen die Instandhaltung. Während sich die erforderlichen technischen Rahmenbedingungen für den Einsatz von IoT vornehmlich im Neubaubereich einsetzen lassen, ist es auch im Bereich der Generalsanierung von Gebäuden, bei der in der Regel auch die Elektroversorgung sowie Mess-, Steuer- und Regelungstechnik erneuert werden, denkbar, IoT als Teil der Gebäudeautomation zu integrieren.

Die sich durch die Nutzung des Internets ergebenden weltweit verfügbaren Zugriffsmöglichkeiten bieten die enorme Chance der Kontrolle, Steuerung und Optimierung der Gebäudetechnik mittels verschiedenster Eingabesysteme (z. B. Smartphone) von (fast) jedem Standort aus.

Abbildung 61
Vernetzungsmöglichkeiten von gebäudetechnischen Komponenten



Quelle: TUM, Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen

479 Vollmer et al., 2019

480 <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/bauen-wohnen/bauen/energieeffizientes-bauen-sanieren/energieausweise/gebäudeenergiegesetz-node.html>, aufgerufen am 14.05.2021

481 BMI, 2018, S. 5

482 GEG, 2020

483 Europäischer Grüner Deal, 2020

484 BMI, 2018

485 Vollmer et al., 2020

486 Vollmer et al., 2019

Zudem ermöglicht IoT die Einbindung und Nutzung zusätzlicher interner sowie externer Daten. Hierzu gehören beispielsweise Nutzerdaten, wie Anwesenheit und Komfortbedarf, aber auch wetterprognose gesteuerte Daten zur optimierten Nutzung von Umweltenergien im Bereich von Niedrigtemperatursystemen in Gebäuden und zum Schutz vor Schäden bei Extremwetter.

Eine weitere große Chance bietet das nutzernahe Verhaltens-Monitoring, das detaillierte Informationen in der Interaktion zwischen Gebäude und Nutzern liefern kann. Ein optimiertes Zusammenspiel aus Anlagen- und Gebäudetechnik, Baukonstruktion und Nutzer bietet, wie vorhergehend bereits dargestellt, ein erhebliches energetisches Einsparpotenzial. Im Rahmen der Nutzung dieser Potenziale müssen jedoch auch immer die Grenzen der Privatheit mitdiskutiert werden, da detaillierte Informationen zum Nutzer vor allem im beruflichen Umfeld in der Regel mit Auflagen verbunden sind. Wenn durch Einsatz Künstlicher Intelligenz das Nutzerverhalten in naher Zukunft vorhergesagt werden kann, können aus gebäudetechnischer Sicht über die bereits genannten Energieeinsparmaßnahmen hinausreichende Potenziale genutzt werden. Beispielsweise können jegliche Wärme- oder Kälteübergabesysteme in dem Raum heruntergefahren bzw. abgeschaltet werden, wenn die Wahrscheinlichkeit einer zeitnahen Fensteröffnung bevorsteht.⁴⁸⁷

Auch die Erfassung von Verbrauchsdaten in großen Datenbanken sowie deren Auswertung und Interpretation liefern genaue Informationen über den Ist-Zustand von Gebäuden und Liegenschaften. Je mehr die Digitalisierung und IoT Anwendung in Gebäuden finden, desto detaillierter können Gebäude erfasst und bewertet werden. Auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand sind diese Daten von großer Bedeutung, da intelligente Sensoren eine Live-Ist-Bewertung ermöglichen, die darüber hinaus direkt die zeitliche Auswirkung auf das Ziel der Klimaneutralität aufzeigen kann. Da meist Verbrauchsdaten über mehrere Jahre bereits vorliegen, können Einsparentwicklungen dargestellt sowie Schwachstellen identifiziert werden.

Durch belastbare Kenntnis über den baulichen Zustand und Betrieb des Gebäudebestands kann die Energieversorgung von Gebäuden besser an das energetische Angebot im Hinblick auf Umweltenergien, wie z. B. Solar- und Windenergie, oder auf nutzbare Abwärme aus benachbarten Liegenschaften angepasst werden. So können Lastmanagementpotenziale einzelner Gebäude und Liegenschaften bedarfsgerecht abgedeckt werden.^{488, 489} Auch gebäudeintern können thermische Speichermöglichkeiten, z. B. im Zusammenhang mit einer Massivbauweise oder Warmwasser- oder Eisspeicher, einen „intelligenten“ Gebäudebetrieb bei niedrigem Energieverbrauch unterstützen. Abstimmung und Zusammenspiel von Energieangebot und -nachfrage bieten das Potenzial zur Verringerung des Energieverbrauchs und damit der Betriebskosten⁴⁹⁰. Beispiele hierfür sind aktuelle Entwicklungen im Bereich von Niedrig-Exergie Wärme- und Kälteversorgungskonzepten für Gewerbegebäude⁴⁹¹, bei denen die Nutzung von Abwärme aus Produktionsprozessen im Vordergrund steht.⁴⁹² Als interessante Fallstudie für einen gemischt genutzten Gebäudebestand kann der Campus Höggerberg der ETH Zürich herangezogen werden, bei dem Gebäude des Campus mittels eines Nahwärme- bzw. -kältenetzes sowohl mit einer Heiz- und Kältezentrale als auch drei Erdsondenfeldern miteinander verbunden sind. Durch ein übergeordnetes Energiemanagementsystem soll sichergestellt werden, dass bis 2040 mindestens 80 Prozent der CO₂-Emissionen oder 8.000 Tonnen CO₂ pro Jahr gegenüber dem Ausgangsjahr 2006 eingespart werden.⁴⁹³

Neben dem Konzept des „Smart Building“ hat sich nahezu parallel das Konzept der Smart City etabliert. Auch hier zeigen sich durch den Einsatz des „Internet of Things“ große Potenziale für die Optimierung der Energieversorgung, Wasserver- und -entsorgung, Abfallentsorgung, Energieeffizienz und Mobilität.⁴⁹⁴

487 Vollmer et al., 2019

488 Pinter et al., 2020

489 Ehlers et al., 2020

490 LfU, 2012

491 Fraunhofer ISI, 2019

492 Wärmenetz GSG, 2021: Fallstudie Ernst Sutter AG, St. Gallen, CH

493 Anergienetz Campus Höggerberg, 2019

494 Ehlers et al., 2020

Stellvertretend werden die folgenden Smart-City-IoT-Anwendungsfälle genannt:⁴⁹⁵

- Mikroklimatische Wettervorhersagen durch stadtweite Sensornetzwerke
- Verbesserter Verkehrsfluss und Kraftstoffeinsparung durch intelligente Ampelsteuerung
- Intelligentes Parkraummanagement
- Überwachung der Nutzung und Abnutzung von Brücken, Straßen und Infrastruktur, um Langlebigkeit und Service zu verbessern
- Energieeffizienz durch anwesenheitsgesteuerte Straßenbeleuchtung
- Intelligente Bewässerung von Parks und öffentlichen Plätzen, abhängig vom Wetter und von der aktuellen Nutzung
- Kostenminimierung durch optimierten Abfallmanagement-Service

Neben den zahlreichen Vorteilen auf Gebäude- und Stadtebene⁴⁹⁶ ergeben sich jedoch auch neue Herausforderungen, wie eine zunehmende Komplexität der Hard- und Softwarekomponenten und Vulnerabilität der Systeme durch mögliche Sicherheitsdefizite⁴⁹⁷ und unerwünschten externen Zugriff. Hinzu kommen Gefahren durch witterungsbedingte Einflüsse oder Gewaltanwendung.

Zudem ist zu hinterfragen, ob und gegebenenfalls in welchem Umfang die Energie- und Ressourcenverbräuche der Digitalisierung die Vorteile und Potenziale der Digitalisierung in Frage stellen.⁴⁹⁸

IoT und Industrie 4.0

Von besonderer Bedeutung für die Nutzung des „Internet of Things“ und der Potenziale von Industrie 4.0 zur Realisierung von automatisiert und vernetzt ablaufenden virtuellen sowie realen Prozessen ist die Entwicklung von entsprechenden IoT-Plattformen bzw. -Kommunikationstechnologien und -Standards, wie z. B. cloudbasierte offene IoT-Betriebssysteme.

Aufgrund der großen Komplexität derartiger Systeme sind in der Regel entsprechende Dienstleister zur Umsetzung im Zusammenhang mit dem Planungs- und Umsetzungsprozess in einem sehr frühen Planungsstadium einzubinden. Hierbei ist nach Möglichkeit in enger Abstimmung aller an der Planung beteiligten Akteure zu klären, welche Vorteile der Digitalisierung in Bezug auf die Planung und die Errichtung, den Betrieb, die Nutzung, den Erhalt und gegebenenfalls den Rückbau und die Wiederverwendung bzw. das Recycling ausgeschöpft werden sollen. Zudem muss geklärt werden, welche Ressourcen zur Erstellung der IoT-Plattform verfügbar sind und ob offene Standards unterstützt werden sollen, um die Abhängigkeit von einem bestimmten Hersteller zu vermeiden.

Desweiteren sind bereits in der Konzeptionsphase derartiger IoT-basierter Betriebssysteme sowohl die Investitions- als auch laufenden Betriebskosten zu klären. Dies gilt sowohl für die Aktualisierung der Soft- als auch der Hardware. In analoger Weise sind die im Hinblick auf die für die Bedienung, Kontrolle und Anpassung der Gebäudeautomation erforderlichen Kompetenzen des entsprechenden Personals zu klären.

In Anlehnung an Kapitel 04.3 sollte auch hier zur Entscheidungsfindung im Hinblick auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis der gesamte Lebenszyklus betrachtet werden, um Investitions- und Betriebskosten einer IoT-basierten Gebäudeleittechnik bereits in frühen Planungsphasen bestimmen zu können. Den ermittelten Kosten stehen mögliche Komfort- und Produktivitätsgewinne im Hinblick auf die Zufriedenheit der Gebäudenutzer sowie potenzielle Energie- und CO₂-Einsparungen gegenüber. In Abwägung von Kosten und Nutzen können so informierte und ganzheitliche Planungs- und Investitionsentscheidungen getroffen werden.

495 Lea, 2020

496 Urbane Energiesysteme und Ressourceneffizienz – ENsource, 2021

497 Lage IT-Sicherheit, Deutschland, 2020

498 Köhler / Gröger / Liu, 2018

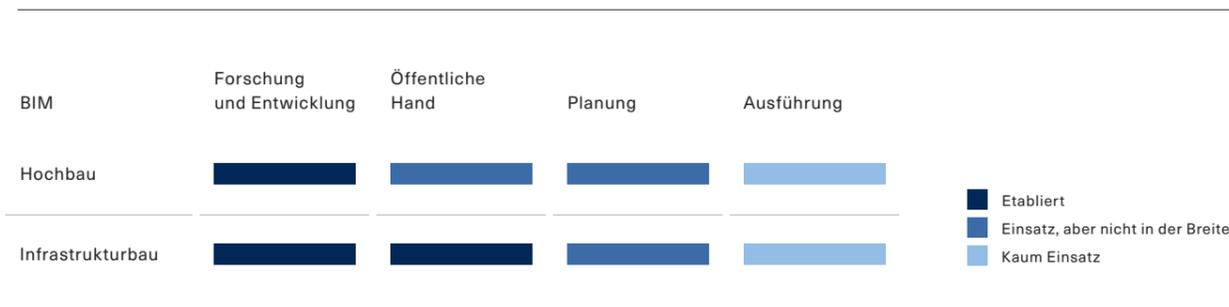
06.3 Zwischenfazit

Im Vergleich zur stationären Industrie grenzt sich das Bauwesen vor allem durch technisch anspruchsvolle, in oft kurzer Bauzeit zu realisierende einmalige und höchst individuelle Projekte mit wechselnden Rahmenbedingungen ab. Die stationäre Industrie hingegen, mit standardisierten und wiederholenden Prozessen, eigenständig entworfenen Produkten und begrenzten individuellen Anpassungen für Endkunden, hat deutlich einfachere Möglichkeiten für eine effiziente Digitalisierung und Vernetzung der Planungs- und Fertigungsprozesse.

Die Fragmentierung und Kleinteiligkeit der Unternehmen im Bauwesen (Kapitel 02.2.3.2) ist eine spezifische Charakteristik und stellt spezielle Anforderungen an die Digitalisierung der Prozesse, der eingesetzten Methoden und Werkzeuge.

Die Industrialisierung des Bauens im Sinne von Industrie 4.0 steht erst am Anfang. Ein wichtiger Impulsgeber für die Digitalisierung im Bauwesen ist Building Information Modeling (BIM). Alle Phasen im Lebenszyklus eines Bauwerks oder einer baulichen Anlage werden dabei in digitalen Modellen abgebildet. Vom Entwurf über die Planung und Bauausführung bis hin zur Verwaltung und Nutzung dient das Datenmodell als gemeinsame Basis aller Projektbeteiligten. In der Praxis ist in den letzten Jahren ein Paradigmenwechsel zu erkennen. Immer mehr Unternehmen setzen BIM in Teilbereichen ein und haben ihre Kompetenzen stark ausgebaut. Verpflichtend ist die Nutzung der Methodik in Deutschland noch nicht in vielen Bereichen. Auf Bundesebene sind im Infrastrukturbereich die Weichen dafür gestellt. Im Bereich des Hochbaus und bei Bauvorhaben auf Landesebene sind hier noch Potenziale vorhanden. Die öffentliche Hand muss die entsprechenden Voraussetzungen dafür bereitstellen und Anreize schaffen, z. B. über die BIM-basierte Einreichung von Baugenehmigungen, BIM-basierte Wettbewerbe etc. (Abbildung 62). Wesentlich ist aber insbesondere die Förderung von BIM-Pilotvorhaben in der Breite, um den Kenntnisstand auch in kleinen und mittleren Unternehmen zu erhöhen und im großen Umfang vertiefte Erfahrungen auf allen Seiten sammeln zu können. Die stark fragmentierte Bauwirtschaft kann die notwendigen zeitlichen, organisatorischen und finanziellen Investitionen nicht alleine stemmen, sondern braucht die Begleitung und Förderung durch die Auftraggeberschaft.

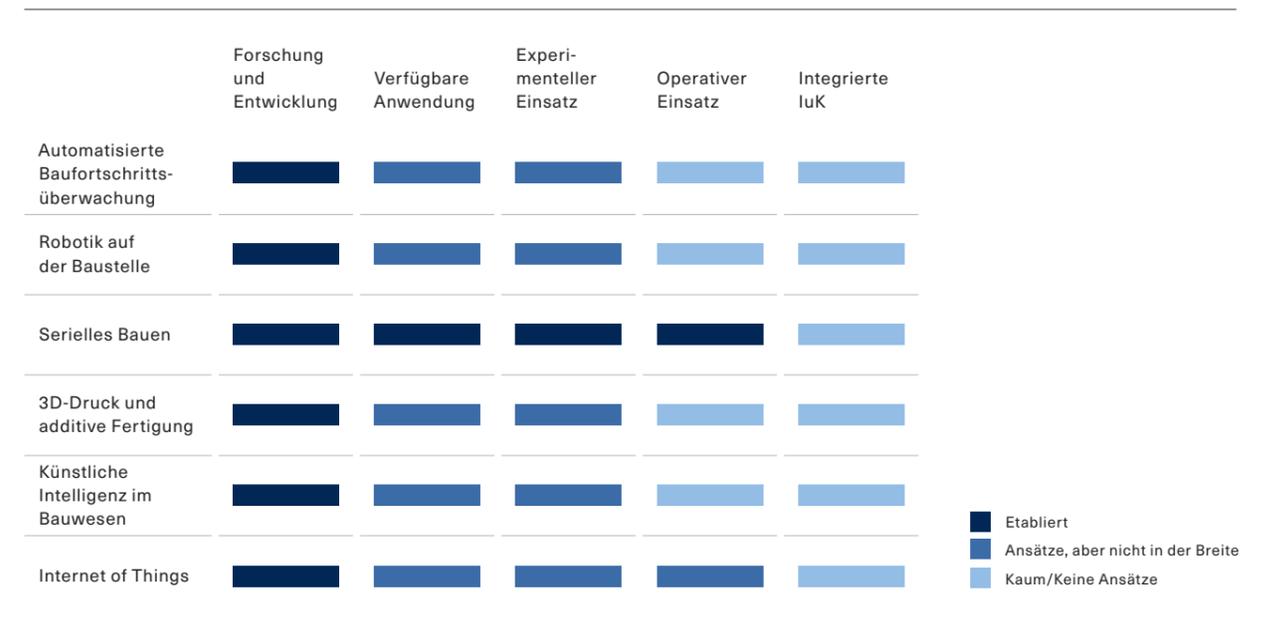
Abbildung 62
Etablierungsgrad von BIM in Deutschland



Quelle: Dr.-Ing. André Borrmann

Die Baubranche zeigt sich gegenüber weiteren Schlüsseltechnologien in der Strategie Bauen 4.0 aufgeschlossen, aber in der Breite werden diese noch nicht eingesetzt. Serielles Bauen ist bislang noch eine Ausnahme. In Abbildung 63 ist der Etablierungsgrad der Schlüsseltechnologien differenziert dargestellt in Forschung und Entwicklung, Verfügbarkeit von Anwendungen, experimenteller Einsatz, operativer Einsatz in den Unternehmen und integrierte vernetzte IKT (Informations- und Kommunikationstechnologien) im Sinne von Industrie 4.0.

Abbildung 63
Etablierungsgrad in Deutschland



Quelle: Dr.-Ing. André Borrmann, Prof. Dr.-Ing. Frank Petzold, Prof. Dr.-Ing. Werner Lang

Ein spezifisches Beispiel für die Digitalisierung der Bauausführung mit einem sehr guten Aufwand-Nutzen-Verhältnis liegt in der automatischen Baufortschrittsüberwachung, bei der moderne Sensorik wie Photogrammetrie und Laserscanning mit der reichen Informationsbasis von BIM-Modellen kombiniert werden, um ein präzises Abbild des Baufortschritts als transparente Entscheidungsgrundlage für das Baumanagement zu erzeugen.

Einsatz von Robotern

Eine eher langfristige Entwicklung liegt im Einsatz von Robotern auf der Baustelle. Zwar sind in jüngster Zeit unter dem Begriff Cyber-Physical-Systems erhebliche Fortschritte bei autonomen Systemen in der stationären Industrie erzielt worden. Das unbestimmte und dynamische Umfeld einer Baustelle stellt aber nach wie vor eine enorme Herausforderung dar. Hier sind noch weitere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung notwendig, um entsprechend robuste und wirtschaftliche Lösungen zu erarbeiten. Gleichzeitig steht außer Frage, dass mit der erfolgreichen Etablierung der robotisierten Baustelle enorme Potenziale hinsichtlich Effizienzerhöhung, Kostensenkung, Qualitätssteigerung und Senkung der traditionell hohen Unfallrate auf Baustellen einhergehen. Bei Zwischenschritten wie der Entwicklung (halb-)autonomer Einzelmaschinen (z. B. Turmdrehkränen) konnten bereits vielversprechende Fortschritte erzielt werden.

Seriellles Bauen

Im Bereich des seriellen Bauens kann auf eine lange Tradition zurückgeblickt werden. Serielles Bauen wird in Teilbereichen des Bausektors bereits erfolgreich eingesetzt. Der Modulbau ist ein weiterer Schritt hin zur Industrialisierung des Bauens. Der Produktionsprozess in der Fertigung ist heute bereits (semi-)automatisiert und qualitätsüberwacht, in einer meist geschlossenen digitalen Kette. Automatisierte oder robotische Fertigung von seriellen oder individuellen Bauprodukten bis hin zu (semi-)autonomen Baustellen setzt digitale Informationsmodelle auf Grundlage der BIM-Methodik voraus, um die Potenziale dieser Methodik, wie Erkennung von Konflikten und verbesserte Koordination, nutzen zu können.

Additives Fertigungsverfahren

Mittels additiver Fertigungsverfahren wurden erste Prototypen realisiert, aber im Vergleich zu etablierten Bauweisen sind diese aktuell noch nicht konkurrenzfähig. Die Potenziale der additiven Fertigung werden erkannt, wie beispielsweise die Herstellung komplexer geometrischer Formen und multifunktionaler Bauelemente sowie die robotische Produktion. Erst als Teil in einer kompletten digitalen BIM-basierten Bauprozesskette, von der Planung bis zum 3D-Drucker, können Steigerungen der Effizienz und Reduktion der Kosten erreicht werden.

KI

Künstliche Intelligenz ist eines der Zukunftsfelder. Zukünftig werden auf Baustellen KI-Systeme vollautomatisch den Baufortschritt überwachen. KI wird eingesetzt werden, um die Verlegung von Elektro- und Sanitäranlagen in Gebäuden zu planen. Unternehmen werden KI künftig nutzen, um die Interaktion zwischen Arbeitern, Maschinen und Objekten auf der Baustelle zu tracken und Verantwortliche über potenzielle Sicherheitsrisiken, Baufehler und Produktivitätsprobleme zu benachrichtigen. Aktuell werden im Bauwesen die Potenziale erkannt, Anwendungsfelder sondiert, verfügbare Softwarelösungen getestet und erste experimentelle Schritte unternommen, aber der operative Einsatz von KI im Bauwesen steht noch bevor. Es wird erwartet, dass KI unter anderem Fehler in Planung und Ausführung signifikant verringert, Baukosten senkt, Unfälle auf der Baustelle reduziert und den Baubetrieb produktiver gestaltet. Die Anwendungsfelder von KI im Bauwesen sind bei Weitem noch nicht erschlossen. Hier bedarf es grundlegenden und anwendungsbezogener Forschung sowie die Stärkung des Wissenstransfers, um Forschungsergebnisse in kommerzielle Lösungen umzusetzen.

Bereits heute ermöglicht eine rechnergesteuerte Gebäudetechnik den weitgehend automatisierten Betrieb von Gebäuden, um beispielsweise den Innenraumkomfort vor dem Hintergrund der witterungsbedingten Einflüsse möglichst CO₂-neutral sicherzustellen. Die Integration neuer Informationstechnologien, wie z.B. von cloudbasierten offenen IoT-Betriebssystemen, ermöglicht neben der Regelung des Innenraumklimas eine anlagenübergreifende Integration vielfältiger Funktionen, wie z.B. Betriebszustandskontrolle und Energieverbrauchsmonitoring, Service- und Wartungsfunktionen, Zugangskontrolle und Sicherheitsüberwachung oder Datentransfer im Gebäude.

IoT-basierte Gebäudeautomation

Um die Vorteile einer durchgängigen Digitalisierung der Planung, Herstellung und des Betriebs von Gebäuden auch im Hinblick auf eine IoT-basierte Gebäudeautomation künftig verstärkt nutzen zu können, sind die Potenziale dieser noch relativ neuen Technologie weiterhin intensiv auszuloten und zu erforschen. Zudem muss im Rahmen der technologischen Entwicklung des IoT auch die Weiterentwicklung der Gebäudetechnik berücksichtigt werden. Hier sind Anpassungsfähigkeit, Kompatibilität und Robustheit der Systeme von ausschlaggebender Bedeutung.

Die Nutzung und Erschließung der Potenziale der Schlüsseltechnologien, wie KI, IoT und additive Fertigung (3D-Druck), wird das Bauwesen in den nächsten Jahren prägen und verändern, neue Geschäftsfelder und -modelle sowie Wachstumschancen ermöglichen; dabei sind jedoch sind noch zahlreiche Herausforderungen zu meistern. Diese umfassen nicht nur die Anpassung von Verordnungen und die Digitalisierung von Behördenprozessen, sondern in vielen Bereichen sind grundlegende Fragestellungen noch wissenschaftlich zu bearbeiten. Zudem besteht in der Praxis ein großer Informations- und Schulungsbedarf zu den Einsatzmöglichkeiten, Herausforderungen und Lösungsansätzen sowie Kosten-Nutzen Relationen im Bereich digitaler Technologien und Methoden. Dies betrifft besonders den Bereich des Life Long Learning und der Fortbildung in der gesamten Baubranche, um die Digitalkompetenz in den Unternehmen zu stärken und damit die breite Anwendung der Schlüsseltechnologien mit den vorhandenen Potenzialen voranzutreiben. In der Lehre an Universitäten und Hochschulen sowie der beruflichen Ausbildung müssen die notwendigen digitalen Kompetenzen fest verankert werden.

Durch die meist kleinteilige Struktur der Unternehmen im Bauwesen gibt es in Bayern bis auf wenige Ausnahmen keine Forschungs- und Entwicklungsabteilungen in den Unternehmen. Grundlagenforschung, angewandte Forschung und wissenschaftliche Begleitung von Pilotprojekten sind jedoch essenziell, um den Herausforderungen der Digitalisierung zu begegnen. Hier sind die Zusammenarbeit mit der akademischen Welt und insbesondere die Möglichkeiten des Transfers von Ergebnissen aus der Forschung in die Industrie bzw. Start-ups zu unterstützen. Schritte dazu wurden beispielsweise an der TUM unternommen, wie die Etablierung von Venture Labs und die enge Zusammenarbeit mit Industriepartnern, Verbänden, öffentlichen Institutionen und der Politik, z. B. das Leonhard Obermeyer Center⁴⁹⁹, das Georg Nemetschek Institut⁵⁰⁰, die Projektplattform Energie + Innovation⁵⁰¹, das Building Lab⁵⁰² an der OTH Regensburg und das Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Planen und Bauen⁵⁰³. Weitere Beispiele der Kooperation zwischen Forschung und Wirtschaft sind beispielsweise das Mixed Reality und IoT Experience Lab⁵⁰⁴ und die MEGA-Plattform (Modulplattform Energieeffiziente Gebäude-Ausrüstung)⁵⁰⁵ der Fraunhofer-Gesellschaft.

499 www.loc.tum.de, aufgerufen am 11.04.2021

500 www.gni.tum.de, aufgerufen am 20.05.2021

501 www.ppe.tum.de, aufgerufen am 11.04.2021

502 www.bauindustrie-bayern.de/building-lab, aufgerufen am 05.05.2021

503 www.kompetenzzentrum-planen-und-bauen.digital, aufgerufen am 01.06.2021

504 www.iem.fraunhofer.de/de/ueber-uns/labore-pruefeinrichtungen/ar-vr-lab.html, aufgerufen am 01.06.2021

505 <https://www.kompetenzzentrum-planen-und-bauen.digital/kos/WNetz?art=News.show&id=368>, aufgerufen am 01.06.2021

07

Neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten als Treiber des Planens und Bauens

Das Zusammenspiel aus Wohnen, Arbeiten und Mobilität nimmt maßgeblich Einfluss auf die bauliche Umgebung und Infrastruktur. Das Planen und Bauen wird somit durch Politik, Wirtschaft und Gesellschaft direkt und indirekt gestaltet.

Kapitel in der Übersicht

07.1	Ausgangssituation – Planen und Bauen bis 2030 im Kontext von Mobilität, Arbeiten und Lebensraum	190
07.1.1	Einführung	190
07.1.2	Wohnen, Arbeiten und Mobilität als Gestaltungsrahmen für Lebensräume	193
07.2	Daseinsvorsorge, Stadt- und Regionalentwicklung	196
07.2.1	Daseinsvorsorge als Grundlage zur Transformation von Lebensräumen	196
07.2.2	Politische Handlungsfelder und -bedarfe aus Sicht der bayerischen Unternehmen und Haushalte	201
07.2.3	Zwischenfazit	204
07.3	Flächenbedarfe und -nutzungen	205
07.3.1	Impulse aus einer Meta-Analyse für eine integrierte Siedlungs- und Verkehrsplanung	205
07.3.2	Ergebnisse der Haushalts- und Unternehmensbefragung zu Flächenbedarfen für eine integrierte Siedlungs- und Verkehrsplanung	208
07.3.3	Zwischenfazit	216
07.4	Bedeutung einer klimaneutralen Wirtschaft und Gesellschaft aus Sicht der bayerischen Unternehmen und Haushalte	219
07.4.1	Impulse aus einer Meta-Analyse für eine klimaneutralere Wirtschaft und Gesellschaft	219
07.4.2	Ergebnisse der Haushalts- und Unternehmensbefragung hinsichtlich einer klimaneutralen Wirtschaft und Gesellschaft	222
07.4.3	Zwischenfazit	226
07.5	Infrastrukturelle Veränderungen durch den technologischen Wandel in der Mobilität	228
07.5.1	Impulse aus einer Meta-Analyse im Hinblick auf Mobilitätstrends und neue Infrastrukturbedarfe	228
07.5.2	Ergebnisse der Haushalts- und Unternehmensbefragung hinsichtlich infrastruktureller Anforderungen aufgrund sich ändernder Mobilität	234
07.5.3	Zwischenfazit	241

07.1 Ausgangssituation – Planen und Bauen bis 2030 im Kontext von Mobilität, Arbeiten und Lebensraum

07.1.1 Einführung

Die Bauwirtschaft schafft durch ihr Kerngeschäft die physischen Voraussetzungen für das gesellschaftliche Zusammenleben und für weite Teile der wirtschaftlichen Aktivität in Bayern, Deutschland und weltweit. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, muss die Branche stets neue soziale, technologische, unternehmerische und auch ökologische Veränderungen antizipieren oder sich auf neue politische und regulatorische Maßnahmen einstellen, die sich aus diesen Veränderungen ergeben. Während bei Bau- und Infrastrukturprojekten zumeist von einer sehr langfristigen Nutzung und einem Betrieb über viele Jahre ausgegangen wird, haben sich Innovations- und Entwicklungszyklen in anderen Wirtschaftsbereichen über die letzten Jahre deutlich verkürzt.

Die zunehmende Digitalisierung vieler Lebensbereiche und der drängende politische Handlungsbedarf zur volkswirtschaftlichen Dekarbonisierung (Kapitel 03.1.1) nehmen Einfluss auf langfristige Strategien und erfordern die Antizipation von Marktdynamiken, was sich insbesondere bei Unternehmen aus traditionelleren Branchen und Bereichen bemerkbar macht.

Corona-Pandemie

Mit dem Ausbruch der Corona-Pandemie wurden weitere gesellschaftliche Transformationsprozesse beschleunigt, deren langfristige Wirkungen noch offen sind. Neue Arbeits- und Mobilitätsroutinen führen zur Neubewertung von individuellen Wohnbedarfen und Lebensentwürfen mit mutmaßlich anhaltenden Auswirkungen auf die Anforderungen an Gebäude und Quartiere sowie die Entwicklung von Städten und Regionen. Dies bedeutet auch, dass sich Standortfaktoren und Ansprüche an die Daseinsvorsorge verändern. Sichtbar wird dies beispielsweise in Ortskernen und Innenstädten. Diesen kommt traditionell eine lokale und überregionale, über den täglichen Bedarf hinausgehende Versorgungs- und Handelsfunktion zu, die über viele Jahre hinweg als Anziehungspunkt und Alleinstellungsmerkmal fungierte. Unter anderem durch die Digitalisierung und den Onlinehandel hat die Innenstadt in den vergangenen Jahren einen Wandel erlebt und Handlungsbedarfe offengelegt, mit denen sich nicht nur der Einzelhandel, sondern auch Kommunen eingehend auseinandersetzen müssen. Obgleich die Transformation deutscher Innenstädte kein neues Phänomen darstellt, bleiben die damit einhergehenden Herausforderungen längerfristig bestehen. Die Pandemie und die dadurch bedingte temporäre Schließung des Einzelhandels, der Gastronomie sowie darüber hinausgehend auch der Kunst- und Kulturbetriebe beschleunigt den Transformationsprozess. Die Wechselwirkungen der Corona-Pandemie verdeutlichen die enge Verflechtung von Einzelaspekten der gebauten Umwelt.



Der Bau und der Betrieb der gebauten Umwelt lässt sich als Ergebnis eines räumlichen Wertschöpfungs- und Gestaltungsprozesses aus Bauwirtschaft, Immobilienwirtschaft und Siedlungsentwicklung verstehen. Dieser lässt sich im 21. Jahrhundert nur noch integriert betrachten, auch wenn in vielen Bereichen noch stark verinselte Betrachtungsweisen vorherrschen. Die Bedeutung einer integrierten Raum-, Orts-, Regional- und Stadtentwicklung im Zuge der großen gesellschaftlichen Herausforderungen⁵⁰⁶ sind nicht von der Hand zu weisen. Die Energiewende, die Verkehrswende, die Bauwende als Zielbild einer ressourcenschonenden Bau- und Immobilienwirtschaft oder der Wandel hin zu ei-

ner klimaneutralen Gesellschaft lassen sich nur dann erreichen, wenn die Ebene einzelner Gebietskörperschaften als zentrale Orte für Leben, Wohnen und Arbeiten innovationspolitisch integriert ist.

Neben der Bewältigung großer gesamtgesellschaftlicher Herausforderungen hat eine nachhaltige Stadtentwicklung auch immer mehr die Aufgabe, moderne, teils auch technisch getriebene Ansätze wie „Smart Cities“ sachlich zu reflektieren und konsistente Strategien und Maßnahmen aufzuzeigen.⁵⁰⁷ Der teilweise reflexhafte Ruf nach Suffizienz und nachhaltigem Konsum, der als „Denkfigur“ seit den

80er-Jahren starker Bestandteil der Nachhaltigkeitsdiskussion ist, wird allein den Anforderungen nicht gerecht. Darüber hinaus sind technische und organisatorische Lösungen zu entwickeln und umzusetzen. Grundsätzlich gilt es, neue und regional differenzierte Rahmenbedingungen für die „Reprogrammierung“ der gebauten Umgebung von der hochverdichteten Innenstadt einer Metropole wie München bis zum unterfränkischen Gemeindeverbund zu finden und vor allem die Wechselwirkungen und Zielkonflikte zwischen den Subsystemen und Funktionen der Daseinsvorsorge aktiv zu gestalten.

Ein Umdenken muss sowohl bei der Planung als auch bei der Umsetzung zukunftsfähiger Stadtkonzepte ansetzen, in denen sich verschiedene Teilsysteme wie Energie, Gebäude, Infrastruktur, Mobilität, Logistik, Versorgung, Sicherheit, Gesundheit oder Verwaltung eng miteinander verzahnen.⁵⁰⁸ Stadtentwicklung, technischer Fortschritt und Innovationsforschung stellen bisher weitgehend getrennte Domänen der heutigen Wissenschaft und Praxis dar, die es somit zu überbrücken gilt.

Relevanz von Stadt und Lebensraum

Die Relevanz von Stadt und Lebensraum wurde im letzten Jahrzehnt auf politischer Ebene mehrfach mit hoher Sichtbarkeit adressiert. Hervorzuheben ist dabei, dass trotz meist interdisziplinärer Agendaprozesse der Aspekt einer ganzheitlichen Betrachtung von Planung, Bau und Betrieb rückblickend nur unzureichend berücksichtigt wurde.

National

Bereits 2010 hat die Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft Eckpunkte für das Zukunftsprojekt „CO₂-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt“ formuliert. 2012 hat die Bundesregierung dann mit dem „Aktionsplan für die Hightech-Strategie 2020“ die Weichen für die Umsetzung als eines von zehn Zukunftsprojekten gestellt. Zu einem der wichtigsten politischen Zukunftsthemen zählte dabei die Bewältigung der zentralen Herausforderungen für das System Stadt, z. B. die Sicherung gleichwertiger Lebensverhältnisse und der Daseinsvorsorge, als zentraler Lebensraum unserer Gesellschaft. 2013 hat das Bundesforschungsministerium BMBF unter Mitwirkung des Bundesumweltministeriums (BMU) die Nationale Plattform Zukunftsstadt (NPZ) initiiert. In ihren Ergebnissen wurden konkrete Forschungsempfehlungen für die Bundesregierung mit Bezug zu Planen, Bauen oder Mobilität formuliert, z. B.

- Strategisches Leitthema 3 | Stadt – Quartier – Gebäude: Die Forschung soll Instrumente und Verfahren entwickeln, die den nachhaltigen Stadtbau qualifizieren und beschleunigen.
- Strategisches Leitthema 6 | Mobilität und Warenströme: Die Forschung soll die Anforderungen der zukunftsfähigen Mobilitäts- und Logistikkonzepte im Gesamtstadtkontext erarbeiten und dabei ihre Vernetzung mitberücksichtigen.

Ebenso wurde auch der dringende Bedarf neuer Formate für Forschung und Innovation für die Transformation unserer gebauten Umgebung (z. B. Städte und Stadtquartiere als Experimentierfelder) sowie transdisziplinärer Zusammenarbeit von Forschung, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft definiert. 2015 resultierte daraus die Leitinitiative bzw. Innovationsplattform Zukunftsstadt mit teilweise ressortübergreifenden Förderprogrammen (z. B. Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt, BMWi).⁵⁰⁹ In dieser Entwicklung ist auch die Dialogplattform Smart Cities zu nennen, welche 2017 die Smart City Charta zur nachhaltigen Gestaltung der digitalen Transformation in den Kommunen veröffentlicht hat. Dies führte zum Förderprogramm „Modellprojekte Smart Cities“ (MPSC) des Bundesinnenministeriums mit einem Etat von 820 Mio. Euro bis 2022.⁵¹⁰ In seinem aktuellen Innovationsprogramm „Zukunft Bau“ adressiert das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) seit 2021 Forschungsförderung, Ressortforschung und Modellvorhaben, um neue Impulse für das Bauwesen entlang von Handlungsfeldern wie dem Klimaschutz, der Energie- und Ressourceneffizienz, dem bezahlbaren Bauen, den Gestaltungsqualitäten im (städte-)baulichen Kontext oder der Bewältigung des demografischen Wandels zu erhalten. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf dem Erkenntniszuwachs und dem Wissenstransfer von technischen, baukulturellen und organisatorischen Innovationen. Hinter diesen Maßnahmen steht der Anspruch, eine nachhaltige Entwicklung des Gebäudesektors insgesamt zu befördern.⁵¹¹

Damit lassen sich durchaus umfassende Förderaktivitäten auf Bundesebene feststellen, die aber nur zu einem kleinen Teil die Bau-/Immobilienwirtschaft als Zielgruppe und die integrierte Betrachtung von Planen, Bauen und Betrieb, d. h. der zukunftsweisenden Transformation der gebauten Umgebung adressieren. Viele der Projekte aus den genannten Programmen haben die partizipative Entwicklung von Zukunftsvisionen, die Erstellung umsetzungsreifer Planungskonzepte und schließlich die beispielhafte und experimentelle Umsetzung vielversprechender Konzepte in urbanen Reallaboren oder ganzen Stadtquartieren ergeben, beispielsweise in Bayern die beiden „Zukunftsstädte“ im Markt Bad Hindelang und im Landkreis Rottal-Inn.⁵¹² In der Bauforschung entstanden oft Modellprojekte, Werkzeuge und Prototypen im Einzelfall, die allerdings selten den Sprung in die breite Praxis schaffen.

⁵⁰⁸ Bullinger / Röthlein, 2012

⁵⁰⁹ BMWi, 2016

⁵¹⁰ in Bayern bisher ausgezeichnet bis 2020: Stadt München, Landkreis Hof, Landkreis Wunsiedel, Stadt Bamberg, Kirchheim b. München, Gemeinde Fuchstal, Stadt Haßfurt

⁵¹¹ BMI, 2021

⁵¹² aus: BMBF-Zukunftsstadt-Wettbewerb (2015–2021)

⁵⁰⁶ Die Bundesregierung, 2021

⁵⁰⁷ Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung / Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2017

Bayern

Auf Ebene des Freistaats Bayern sind in den letzten Jahren auch verstärkte innovationspolitische Maßnahmen zu benennen, die die bereits erwähnten Leitthemen teilweise übernehmen und fortführen. Bereits 2015 wurde das Bayerische Energieforschungsprogramm⁵¹⁵ aufgelegt, das die Erforschung, Entwicklung und Anwendung neuer Energie- und Energieeinspartechnologien ermöglicht. Über den Einzelfall hinaus wurden damit insbesondere Beiträge zur Erreichung der nationalen und internationalen Ziele zur Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen – auch für den Gebäudesektor – geleistet. Das 2019 formulierte „Bayerische Verbundforschungsprogramm⁵¹³“ (BayVFP) für Unternehmen und Forschungspartner fördert über mehrere Jahre Forschung, Entwicklung und Innovation (FuEul)⁵¹⁴ für neue Schlüsseltechnologien in LifeSciences, Digitalisierung, Mobilität, Materialien und Werkstoffe.⁵¹⁵ Hierbei ist festzustellen, dass die Bau- und Immobilienwirtschaft keine direkte Erwähnung findet. Zwar bestehen im Kontext der Energiewende zahlreiche Förderinstrumente des Freistaats Bayern, die für kommunale und private Gebäudebestände von Relevanz sind (z. B. 10.000-Häuser-Programm, Energieeffizienz und erneuerbare Energien in Unternehmen, kommunale Energieeinsparkonzepte). Die Transformationsprozesse und strukturelle Veränderung der Bauwirtschaft erfordern trotz der Vielzahl von Initiativen mit Blick auf neue Geschäftsmodelle und Services Weiterentwicklungen. Innovationspolitisch gilt es hier für die Zukunft, den Fokus auf Technologie-Innovationen zunehmend um Geschäftsmodell- und System-Innovationen zu ergänzen, die auch durch neue innovationsförderliche Rahmenbedingungen (z. B. Experimentierklauseln, Testfelder) flankiert werden sollten.

Bereits 2016 hat das Bayerische Wirtschaftsministerium das Projekt eDorf (Digitale Dörfer) mit fünf Pilotregionen ins Leben gerufen mit dem Ziel, die Versorgung ländlicher Räume durch digitale Angebote zu verbessern, z. B. bei Handel, medizinischer Versorgung, aber auch bei Mobilitätslösungen. Ebenfalls auf kommunaler und städtebaulicher Ebene hat das Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr 2020 das Modellprojekt „Smart Cities Smart Regions“ initiiert, das in zehn ausgewählten bayerischen Kommunen eine auf ihre Bedürfnisse zugeschnittene Digitalisierungsstrategie mit räumlichem Bezug fördert. Der Fokus liegt dabei auf den Bereichen Städtebau und Mobilität.⁵¹⁶

Im Vergleich zu der oben skizzierten nationalen und landesbezogenen Innovationspolitik im Themenfeld zeigt sich durchaus der Handlungsbedarf und das Potenzial einer gezielter Förderung von Planen, Bauen und Betreiben im Lebenszyklus von Immobilien zwischen Digitalisierung und Klimawandel. Insgesamt ist oft eine Lücke zwischen Forschung und Entwicklung von Technologie- oder Material-Innovationen und der praktischen und vor allem marktgerechten Anwendung festzustellen, beispielsweise in städtebaulichen Ausschreibungen. Hier besteht für Bayern zukünftig die Chance, bei Planen und Bauen sektorübergreifend zu handeln und vor allem die Wertschöpfungskette und den Lebenszyklus Bau zu erfassen. Hierbei können auch besonders öffentlich-private Kooperationen zwischen Kommunalverwaltungen und der Immobilienwirtschaft, z. B. im Bereich datenbezogener Betreibermodelle, zielführend sein. Als neues Format sind Reallabore als Testräume für Innovation und Regulierung von Vorteil, wie sie das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi seit 2019 vorantreibt. Diese erproben unter realen Bedingungen innovative Technologien, Produkte, Dienstleistungen oder Ansätze, die mit dem bestehenden Rechts- und Regulierungsrahmen nur bedingt vereinbar sind, wie z. B. der DHL Paketkopter 3.0 oder das Reallabor für Wasserstofftechnologie in Oberfranken.⁵¹⁷ Für die performante Transformation der gebauten Umgebung und der darin ablaufenden Prozesse wie Mobilität und Arbeiten in Bayern sollten somit auch die Rahmenbedingungen für neue Lern- und Innovationsprozesse politisch berücksichtigt werden – sowohl für Unternehmen wie auch für die öffentliche Hand.

513 StMWi, 2015

514 StMWi, 2019

515 StMWi, 2019

516 StMB, 2020

517 BMWi, 2019, BDS, 2021

07.1.2 Wohnen, Arbeiten und Mobilität als Gestaltungsrahmen für Lebensräume

07.1.2.1 Integrierte Betrachtung von Wohnen, Arbeiten und Mobilität

Mit dem vorliegenden Kapitel werden die wechselseitigen Zusammenhänge der Handlungsdimensionen Wohnen, Arbeit und Mobilität, die bereits während der Corona-Pandemie deutlich zum Vorschein getreten sind, eingehend untersucht, um räumliche Effekte und Entwicklungsperspektiven für das Planen und Bauen in Bayern zu erhalten. Die einzelnen Themenfelder werden jeweils entlang von sozialen und planerischen (Kapitel 07.2), räumlichen (Kapitel 07.3), ökologischen (Kapitel 07.4) sowie unter infrastrukturellen und technologischen (Kapitel 07.5) Gesichtspunkten behandelt. Die einzelnen Teilkapitel innerhalb eines Themenfelds bestehen jeweils aus zwei Bereichen:

- Zunächst werden mittels einer Metastudien-Analyse aus einschlägigen Fachinformationen und wissenschaftlicher Literatur thematische Bezüge hergestellt und die Ausgangssituation in Bayern dargelegt.
- Im zweiten Teil werden die vertieften Erkenntnisse aus den im Rahmen der Studie durchgeführten Erhebungen mit 1.100 bayerischen Haushalten und 292 Unternehmen sowie aus qualitativen Experteninterviews (Anhang 10.1) zusammengefasst.

Als Synthese der einzelnen Kapitel werden abschließend mehrere mögliche Entwicklungsperspektiven skizziert (Kapitel 08). Zudem werden über eine Cross-Impact-Matrix wesentliche Wirkzusammenhänge aus den anderen Kapiteln zusammengeführt (Kapitel 08.1.5), um übergreifende Handlungsempfehlungen ableiten zu können (Kapitel 08.2).

Basis der tiefergehenden Erkenntnisse bilden die erfassten Daten von zwei durchgeführten Befragungen. Die Unternehmens sowie Haushaltsumfrage wurden im April 2021 in einem Zeitraum von zwei Wochen anonym durchgeführt und richteten sich explizit an Unternehmen mit Standort in Bayern und bayerische Haushalte. Weitere Hinweise zur Durchführung der Befragungen können dem Anhang entnommen werden (Anhang 10.1).

Auswahl eines Lebensraums

Für die Auswahl eines Lebensraums sind unterschiedliche Kriterien⁵¹⁸ von Bedeutung, die Einfluss auf Planungs- und Bauaktivitäten haben wie z. B. Ruhe und Sicherheit, Pkw-Erreichbarkeit, familiengerechte nahe Infrastruktur, grundlegende Infrastruktur, Baulandpreise, Immobilienpreise und Höhe der Miete. Dazu wurden in der nahen Vergangenheit verschiedene Studien durchgeführt, die die Themen Leben und Wohnen aus einer räumlichen und infrastrukturellen Perspektive betrachteten.⁵¹⁹ Um vor dem Hintergrund einer komplexen, unzureichenden Datenlage strukturelle Zusammenhänge zu identifizieren, warum private Haushalte bestimmte Lebensräume bevorzugen und welche Motive für eine Veränderung des Lebensraums privater Haushalte ausschlaggebend sind, ist es notwendig, zwischen Push- und Pull-Faktoren zu unterscheiden.⁵²⁰

Push-Faktoren

Push-Faktoren bewegen Menschen zu einer Veränderung ihres Lebensraums und umfassen z. B. einen Wechsel des Arbeitgebers oder Arbeitsplatzes sowie den Wunsch nach Veränderung der Wohnsituation, was sich beispielsweise als Folge aus einem Wandel im individuellen Lebensstil oder der Lebenssituation (z. B. erwachsen gewordene Kinder, pflegebedürftige Eltern) und den damit einhergehenden Lebensverhältnissen ergibt.

Pull-Faktoren

Pull-Faktoren ziehen Menschen an und hängen häufig mit der Attraktivität eines Standorts bzw. Lebensraums zusammen. Auf der Makroebene spielen Kaufpreise, Marktmieten, Bevölkerungsstruktur und -entwicklung eine Rolle. Die Mikroebene wird vom unmittelbaren Umfeld eines Grundstücks dominiert und bezieht sich auf Eigenschaften und Ausstattungsmerkmale des Wohngebiets.⁵²¹

518 Bauer et al., 2005

519 Jarass, 2012; Schiller et al., 2009; Gutsche / Kutter, 2006; Scheiner, 2008

520 Lee, 1966

521 Isenhöfer et al., 2008

Push- und Pull-Faktoren können eine wichtige Orientierung für standortpolitische und planerische Entscheidungen geben, allerdings lassen sie sich nicht getrennt voneinander betrachten oder beeinflussen, da sie in systemischen und wechselseitigen Abhängigkeiten zueinander stehen.

Technologische Fortschritte können beispielsweise Präsenzzeiten in der Büroarbeit durch Homeoffice-Lösungen verringern, was auch eine Reduzierung des Pendelverkehrs bedeuten kann. Bei einer Etablierung dieser Arbeitsweise, wie es jüngste Entwicklungen während der Corona-Pandemie nahelegen, erfolgen Fahrten zum Arbeitsplatz deutlich seltener, könnten dabei allerdings auch wesentlich länger ausfallen, sodass die ausgelösten Verkehrsmengen ähnlich blieben.⁵²² Längerfristig könnten durch entsprechende Wandlungsbewegungen ins nähere oder weitere Umland von Städten sowohl mehr individuell motorisierte Verkehrsleistungen und höhere Fahrzeugbestände als auch weniger resultieren. Je nach längerfristiger Veränderung könnten auch mehr oder weniger Individualverkehre und Fahrzeugbestände folgen. Ein Umzug in sehr ländliche Strukturen würde zu mehr und längeren Alltagswegen (z. B. zum Arzt, zum Einkaufen oder zu Schule und Ausbildung) führen, die mit dem Auto erledigt werden müssten. Andererseits könnten sich in Klein- oder Mittelstädten mit Zuganbindung, ÖV und kürzeren Wegen Möglichkeiten ergeben, Wege anders zurückzulegen und ggf. sogar den privaten Pkw abzuschaffen.

Dazu können perspektivisch auch neue und komfortable Mobilitätsangebote wie autonome Fahrzeuge oder Lufttaxis beitragen. Mögliche Rebound-Effekte in Bezug auf vordergründig positive Nachhaltigkeitseffekte oder gewünschte verkehrliche Entlastungen illustrieren die Notwendigkeit einer integrierten Betrachtung der Themenbereiche Arbeiten und Mobilität.

07.1.2.2 Neue Ausgangslage in der Mobilität

Durch die eingangs skizzierten Entwicklungen auf der Makroebene verändert sich auch die zukünftige Ausrichtung von Mobilitätsangeboten und -infrastrukturen. Die zunehmend fließende Grenze zwischen Arbeiten und Wohnen durch mobiles Arbeiten bzw. Homeoffice-Lösungen verändert derzeit das bisherige Verständnis von Mobilität bzw. vor allem der Pendlermobilität. In der Vergangenheit fungierte das Themenfeld des Pendelns als Bindeglied zwischen den Feldern Wohnen und Arbeiten. Vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen und perspektivischer Pfade bis zum Jahr 2030 muss dieses Verständnis der Mobilität im Sinne von Pendlermobilität jedoch neu gedacht werden. Im Rahmen dieser Studie sollen dabei hauptsächlich die Implikationen und sich ergebenden Anforderungen dieses neuen Mobilitätsverständnisses auf die Planung und den Bau zukünftiger Infrastrukturen betrachtet werden. Dabei stehen gleichermaßen städtischer wie ländlicher Raum im Fokus.

Die genannten neuen Anforderungen an das Planen und Bauen der Zukunft ergeben sich beispielsweise aufgrund neuer Entwicklungen im Bereich des Technologie- und Innovationsmanagements. Das Aufkommen und Verbreiten von Innovationen am Markt verändern die Bedarfe, sowohl an Infrastrukturen als auch an interdisziplinäre Querschnittsthemenfelder. Daher sollen in der vorliegenden Studie, aus Perspektive der Mobilitätsforschung, zunächst aktuelle Trends und Treiber der Mobilität von morgen auf-

gezeigt werden. In Kombination mit den Erkenntnissen zu neuen Formen des Wohnens, Arbeitens und Städtebaus werden nachfolgend Maßnahmen künftiger Infrastrukturplanungen vor dem Hintergrund der Mobilität 2030 erarbeitet.

Als Beispiel für die Veränderung der Mobilitätsstrukturen kann unter anderem die Elektromobilität genannt werden. Seit der erhöhten Sichtbarkeit der Elektromobilität im Jahr 2009 durch die Fahrzeuge wie den Tesla Roadster oder auch die elektrifizierten Minis der BMW Group sowie den zunehmenden wachsenden Markt für Elektromobilität ist gleichermaßen z. B. das Thema der Ladeinfrastrukturplanung in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt. Die Notwendigkeit einer ausreichenden Anzahl an Lademöglichkeiten gilt ebenso als Schlüsselfaktor für eine breite Akzeptanz dieser neuen Mobilitäts- bzw. Antriebsform wie eine Verbesserung der Reichweite. Im weiteren Verlauf der Entwicklungen ergab sich die Erkenntnis, dass Ladeinfrastrukturen nicht nur im Außenraum platziert werden sollten, sondern auch im Gebäudeinnenraum (z. B. Parkhäuser und private Garagen) relevante Ladeplätze vorgesehen werden müssen. Aus planerischer und baulicher Sicht entwickelten sich so Anforderungen an den Gebäudenetzanschluss und Brandschutz und viele mehr. Weiter erkannte man, dass ein Hochlauf dieser neuen Technologie eine entsprechende Flexibilität bei der Gebäudeplanung erfordert. Hierdurch fand letztlich das Vorhalten von Leerrohren und

spezifischen Ladeanschlussplätzen je Gebäudegröße in diversen Bauverordnungen (z. B. Gebäude-Elektromobilitätsinfrastrukturgesetz – GEIG) Berücksichtigung.⁵²³

Durch das Aufkommen automatisierter und autonomer Fahrzeuge, neuer Fahrzeugklassen und Mikromobilitätsformen oder auch urbaner Flugtaxis sollten mögliche Infrastrukturauswirkungen ebenfalls frühzeitig bedacht werden. Daher werden im weiteren Verlauf dieser Studie diese Trendfelder skizziert und mögliche planerische Implikationen vor dem Hintergrund fließender Formen von Arbeiten und Wohnen andiskutiert.

07.1.2.3 Neue Ausgangslage in der Arbeitswelt

Auch die Arbeitswelt veränderte sich bereits vor der Corona-Pandemie mit zunehmender Geschwindigkeit. Treiber der Veränderung sind vor allem die Digitalisierung im Allgemeinen, die Entwicklung neuer Informations- und Kommunikationstechnologien und die Automatisierung von Prozessschritten.

Flexibilisierung der Arbeitswelt

Die digitale Transformation in Unternehmen sowie die weltweiten Lieferketten und Wertschöpfungsprozesse beeinflussen unter anderem die Arbeitsweise in Unternehmen. Vor allem in der Büro- und Wissensarbeit wird die Flexibilisierung der Arbeitswelt weiter zunehmen. Traditionelle räumliche, zeitliche und organisatorische Grenzen von Arbeit reduzieren sich bei gleichzeitig zunehmenden individuellen Entscheidungsmöglichkeiten über Arbeitsort und Arbeitszeit. Wo früher eine rigide „Nine-to-five-Mentalität“ herrschte, wird nun viel häufiger auf individuelle Bedürfnisse und Lebensumstände der Mitarbeiter eingegangen.⁵²⁴ Gleichzeitig werden auch die Orte der Leistungserbringung immer vielfältiger. Die Entscheidung über die Lage des eigenen Wohnortes kann aufgrund der Möglichkeit des räumlich verteilten Arbeitens vermehrt unabhängiger vom Unternehmensstandort getroffen werden. Dementsprechend haben die aktuellen Veränderungen in der Büro- und Arbeitswelt nicht nur einen Einfluss auf Unternehmensorganisationen,- kultur- und -standorte, sondern auch auf individuelle Mobilitätsmuster sowie die Entwicklungen auf dem Wohnungsmarkt.

07.1.2.4 Die Corona-Pandemie als Möglichkeitsfenster für die Transformation von Lebensräumen

Die Corona-Pandemie wirkte in den letzten Monaten als massiver Transformationsbeschleuniger in der Büro- und Arbeitswelt sowie im Mobilitätssektor, auf dessen Struktur und Nutzung die Veränderungen der Büro- und Arbeitswelt einen großen Einfluss haben. Während der Lockdowns veränderte sich die Art der Zusammenarbeit innerhalb kürzester Zeit massiv. Viele Arbeitnehmer sowie Arbeitgeber sammelten erste umfassende Erfahrungen mit dem Modell des räumlich verteilten Arbeitens. Ein Großteil der Büroarbeitenden wurde ins Homeoffice geschickt, der Geschäftsreiseverkehr kam zum Erliegen und die Zusammenarbeit innerhalb und zwischen Organisationen war fast nur noch virtuell möglich. Dies zeigt sich nicht zuletzt in den (temporären) Verschiebungen in der Personenmobilität über nahezu alle Verkehrsträger hinweg. Von dem Nachlassen geschäftlicher Mobilität betroffen sind beispielsweise inländische Flugreisen, wohingegen Shared-Mobility-Angebote eher aufgrund von Hygienebedenken und Ansteckungsgefahren gemieden werden. Individuell nutzbare Verkehrsmittel, wie der Privat-Pkw oder das private Fahrrad, erfahren hingegen einen teils starken Bedeutungszuwachs.

⁵²³ Hinsichtlich der Chancen, die sich bieten, wenn Simulationen der Mobilität mit Planungen der Ladeinfrastruktur und des Stromnetzes verbunden werden, bietet es sich an, die Erfahrungen aus dem Forschungsprojekt TUM Create der Technischen Universität München mit der Nanyang Technology University (NTU) in Singapur zu nutzen. Vgl. TUMCREATE, 2021

⁵²⁴ Bauer et al., 2017

Die Veränderungen in der Art und Weise der Zusammenarbeit führt zu einer kritischen Reflexion des Büroflächenbedarfs. Wenn man davon ausgeht, dass sich der Homeoffice-Anteil von Büro- und Wissensarbeitern in Zukunft deutlich verändert, kann dies sowohl eine Reduktion als auch eine veränderte Gestaltung der Büroflächen zur Folge haben. Eine attraktive Raumgestaltung, etwa durch großzügigere Flächen sowie mehr Platz für Aufenthaltsräume, Kommunikationszonen und Freizeitgestaltungsmöglichkeiten, könnte an Bedeutung gewinnen (Kapitel 07.3). Darüber hinaus wird das Angebot an sogenannten „Dritten Arbeitsorten“ wie beispielsweise Coworking-Spaces im urbanen sowie ländlichen Kontext zunehmen. Dieser Aspekt betrifft in erster Linie bestimmte Branchen der Büro- und Wissensarbeit, nicht aber Arbeitnehmer*innen der verarbeitenden Branche oder beispielsweise der Pflegeberufe. Da der Aspekt physische Nähe zwischen Wohn- und Arbeitsstätte bei vielen Arbeitsplätzen weiter an Bedeutung verliert, kann hiermit auch die Inkaufnahme verlängerter Pendeldistanzen durch die Arbeitnehmer*innen einhergehen. Dies hat wiederum zur Folge, dass die effiziente Nutzung des Arbeitsweges deutlich an Relevanz gewinnt. Vor allem in der momentanen schlagartigen Veränderung durch die Corona-Pandemie ist es noch nicht möglich, verbindliche Aussagen zu zukünftigen Entwicklungen der Arbeitswelt abzuleiten. Aktuell absehbare Zukunftsperspektiven basieren auf Studienergebnissen und Entwicklungen der letzten Jahre, die eindeutige Tendenzen hin zu einer steigenden Flexibilität abbilden. Dennoch sind große branchenspezifische Unterschiede in der Veränderung von Arbeitsprozessen denkbar und wahrscheinlich.

Die Trennung zwischen Arbeitsort und privatem Umfeld wird langfristig an Intensität verlieren. Vielmehr müssen sowohl das Flächenangebot also auch die Raumstruktur von Wohneinheiten weiterentwickelt werden. Zusätzlich ist die Etablierung weiterer Funktionsbausteine in Wohnquartieren, wie beispielsweise das Angebot an Nachbarschafts-Coworking-Flächen oder ausgelagerten Satellitenbüros vorstellbar, sofern dies rechtlich möglich ist. Die Entwicklung von alternativen Arbeitsorten ist nicht auf den urbanen Raum begrenzt. Aktuell entwickeln sich gemeinschaftlich nutzbare Arbeitsflächen auch in peripheren Räumen. Durch die räumliche Entgrenzung hat die Arbeitswelt der Zukunft einen massiven Einfluss auf Regionalentwicklungen, Innenstadtgestaltung und Mobilitätsstrukturen.

07.2 Daseinsvorsorge, Stadt- und Regionalentwicklung

07.2.1 Daseinsvorsorge als Grundlage der Transformation von Lebensräumen

Viele Gestaltungsoptionen innerhalb des Wirkungsgefüges zwischen Wohnen, Arbeiten und Mobilität mit Relevanz für das Planen und Bauen lassen sich unter dem Begriff der Stadt- und Regionalentwicklung zusammenfassen. Die Stadt und Regionalentwicklung ist eine gemeinwohlorientierte Planungsaufgabe zur Herbeiführung gleichwertiger Lebensverhältnisse und zur Sicherung der Daseinsvorsorge. Die Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse und Arbeitsbedingungen wird auf politischer Ebene in vier sogenannte Gerechtigkeitsdimensionen unterteilt: Verteilungs-, Chancen-, Generationen- und Verfahrensgerechtigkeit, die im Folgenden speziell aus Sicht des Bayerischen Landtags beleuchtet werden.⁵²⁵

Im Fokus der Verteilungsgerechtigkeit steht eine angemessene Grundversorgung in guter Qualität, mit der die individuelle Persönlichkeitsentwicklung und -entfaltung in der Gesellschaft gewährleistet wird. Damit verbunden sind in erster Linie die Sicherstellung der wohnortnahen Grundversorgung sowie die Erreichbarkeit zentraler Orte. Handlungsbedarfe bestehen unter anderem bei der Qualität des direkten Wohnumfelds (saubere Luft, geringe Lärmbelastung), der Nahversorgung mit Gütern des täglichen Bedarfs sowie den Zugängen zu öffentlichen Verkehrsangeboten. Daneben werden Dienstleistungen der Gesundheitsvorsorge, grundlegende Bildungsangebote, die Möglichkeit zu differenzierten Wohnmöglichkeiten sowie Kultur- und Freizeitgestaltung eine wichtige Rolle zugeschrieben.

Im Kontext der Verteilungsgerechtigkeit werden vor allem im Bereich eines differenzierten, erschwinglichen Wohnungsangebots Erwartungen an das Land Bayern gestellt (Kapitel 05.1). In den Verdichtungsräumen fehlt es vermehrt an bezahlbarem preisgünstigem Wohnraum, in den peripheren Räumen fehlen insgesamt Angebote an Mietwohnungen. Gerade für zunehmend ausdifferenzierte Lebensentwürfe, Familien- und Sozialstrukturen fehlen die Möglichkeiten passender Wohnangebote. Dem könnte durch den Ausbau des öffentlich geförderten Wohnungsbaus sowie die wirksame Förderung von neuen Wohnprojekten entgegengewirkt werden. Von besonderer Bedeutung ist hier ebenfalls die Sicherung einer Perspektive für junge Menschen, mit der sie Wohneigentum z. B. zum Vermögensaufbau als Säule der Altersvorsorge schaffen können.

Hohen Erwartungen muss das Land Bayern auch im Bereich der öffentlichen Verkehrsangebote nachkommen. Ein dichtes ÖPNV-Angebot ist die Grundvoraussetzung zur Teilhabe und sozialen Inklusion.⁵²⁶ Als Teilbereich des öffentlichen Personenverkehrs dient der öffentliche Straßenpersonenverkehr zur Sicherung der Daseinsvorsorge zur Bedienung der Bevölkerung mit Verkehrsleistungen.⁵²⁷ Darüber hinaus ist ein attraktives Angebot an öffentlichem Verkehr eine Voraussetzung zum Umstieg auf umwelt- und klimafreundlichere Mobilität – eine Reduktion der Pkw-Fahrleistungen kann nur erfolgen, wenn entsprechende Alternativen bereitstehen. Klassische regionale Bussysteme sind für die Personenbeförderung gerade in ländlichen Räumen von hoher Wichtigkeit, doch sorgen strukturelle Veränderungen im Zuge des demografischen Wandels (Kapitel 02.1) zu großen Rückgängen der Beförderungszahlen und somit auch der Rentabilität der Systeme. Gerade die Abwanderung von jüngeren Personen und die damit zusammenhängende Überalterung der Gesellschaft in bestimmten Regionen führt zu einem starken Einbruch an Schülerzahlen, deren Beförderung häufig als Basis eines wirtschaftlichen Betriebes des Omnibus-Verkehrssystems gilt.⁵²⁸ Als Beispiel ist hier der Landkreis Tirschenreuth aus der Oberpfalz zu nennen. Zum einen besteht dort eher eine demografische Abwanderung und Überalterung. Auf der anderen Seite wird dort als positives Beispiel der benötigte Wandel im ÖPNV durch die bedarfsgesteuerte On-Demand-Lösung des „Baxi“-Rufbusses adressiert.

Kasten 22

Mobilität und Daseinsvorsorge im ländlichen Raum (Ausschnitt aus Experteninterview)

„Welche Herausforderungen sehen Sie hinsichtlich Planung und Bau neuer Mobilitätsangebote im Rahmen der Daseinsvorsorge im ländlichen Raum?“

„Zukünftige Mobilitätsangebote im ländlichen Raum sollten eine Ergänzung zu bestehenden öffentlichen Verkehrsangeboten darstellen. Beispielsweise kann ein ÖPNV-Netz in weniger dicht besiedelten Gebieten durch On-Demand-Busservices und innovative Lösungen für die letzte Meile sinnvoll erweitert werden. Hier ist jedoch zu bedenken, dass gerade für größere Vorhaben im ländlichen Raum die Planungsverantwortlichkeiten und Pflichten zur Daseinsvorsorge bei den Kommunen und dem Kreis liegen können. Beispielsweise sind bei der Planung von Haltestellen einer überregionalen Buslinie innerorts die Kommunen und außerorts der Landkreis zuständig, was die Abstimmung und Planung erschweren kann.“

526 Bayerischer Landtag, 2018

527 Resch, 2015

528 Resch 2015

Bei der Herstellung von Chancengerechtigkeit liegt ebenso wie bei der Verteilungsgerechtigkeit eine wichtige Gestaltungskompetenz bei den Kommunen. Jede Person soll die gleichen Chancen zur gesellschaftlichen Teilhabe besitzen. In diesem Zusammenhang gilt es, sogenannte „Chanceninfrastrukturen“ auf unterschiedlichen Ebenen bereitzustellen. Dazu gehören neben der Verkehrsinfrastruktur, dem Internet oder Mobilfunk auch die Gesundheits- und Schulversorgung. Letzteres ist die Grundlage eines chancengerechten Arbeitsmarkts ohne Diskriminierung hinsichtlich des sozioökologischen Hintergrunds und der Möglichkeit eines gleichberechtigten Entfaltungspotenzials.

Die flächendeckende Verfügbarkeit einer digitalen Infrastruktur umfasst die Glasfaser- und Mobilfunkversorgung sowie im erweiterten Sinne auch öffentliche WLAN-Zugangspunkte. Im bundesweiten Vergleich sowohl in Städten als auch im peripheren Raum ist Bayern überdurchschnittlich gut mit leistungsfähigen Breitbandanschlüssen versorgt. Zum Ende des Jahres 2019 konnten 96,2 Prozent der bayerischen Haushalte mit mindestens 30Mbit/s versorgt werden. Ein größerer Handlungsbedarf besteht hingegen beim Glasfaserausbau. 15,3 Prozent der Haushalte im Freistaat verfügen über einen FTTH/B-Anschluss, was im bundesweiten Vergleich immer noch Rang drei bedeu-

tet. Während der Anteil der LTE-Mobilfunk (4G) erschlossenen Haushalte inzwischen bei 97 Prozent liegt, erfolgt derzeit ein flächendeckender Aufbau des Mobilfunkstandards 5G-Netz in Deutschland.⁵²⁹ Zeitgleich werden bereits ausgewählte zivilgesellschaftliche und industrielle Anwendungsfälle für die Verwendung von 5G bundesweit erprobt und verstetigt. Im 5G-Innovationswettbewerb des BMVI wurden auch zehn bayerische Gebietskörperschaften ausgewählt, um gemeinsam mit Industrie- und Forschungspartner*innen bis zum Jahr 2024 spezifische Anwendungen zu erproben, beispielsweise in den Themenfeldern Industrie 4.0 (Landkreis Rhön-Grabfeld), Verkehrssteuerung (Stadt Ingolstadt, Stadt Landshut), Gesundheits- und Daseinsvorsorge (Landkreis Regen, Landkreis Rottal-Inn) oder in der Inter- und Intra-Logistik (Schwabenbund e. V.).⁵³⁰ Die infrastrukturellen Gegebenheiten, wie die zuvor genannte digitale Infrastruktur, sowie der Wissensanteil, unter anderem das Innovationsumfeld, zählen insgesamt zu den größten Stärken der industriellen Standortqualität Bayerns.⁵³¹ Zur Entwicklung nachhaltiger Gestaltungsoptionen im Sinne der Herbeiführung gleichwertiger Arbeits- und Lebensverhältnisse gilt es, die aufgeführten Stärken weiter zu fördern, Schwächen zu beheben sowie Risiken und mögliche Gefahren abzuwägen.

Kasten 23

Best Practice: Landkreise Wunsiedel und Hof als „Smart Regions“ in Oberfranken

Noch vor wenigen Jahren war der Nordosten Bayerns stark geprägt durch einen Strukturwandel und den Rückgang einer traditionsreichen Textil- und Porzellanindustrie. Mehrere Zehntausend Arbeitsplätze mussten damals aufgegeben werden, was zu einem Wegzug vieler Arbeitnehmer*innen führte. Durch die erforderliche Neuorientierung setzte die Region seither auf Gesundheitszentren, umgebaute Industriebrachen, die Nutzung natürlicher Ressourcen und eine wirtschaftliche Wende – auch durch die Chancen der Digitalisierung: In 2019 und 2020 konnten sich die Landkreise Wunsiedel im Fichtelgebirge und Hof (je 105–120 Einwohner/km²) im Bundeswettbewerb „Modellprojekte Smart Cities“ (MPSC) des Bundesinnenministeriums erfolgreich durchsetzen. Die Vorhaben sind mit einer Laufzeit von sieben Jahren angelegt und gliedern sich in eine zweijährige Strategiephase sowie eine fünfjährige Umsetzungsphase.

Grundlage des Smart-Regions-Ansatzes, mit dem sich die Landkreise für die Zukunft positionieren, ist beispielsweise die Schaffung eines datenschutzkonformen Daten-Pools

(Data Lake) und der freie Zugang dazu. Aufbauend auf dem Open Data Pool wird ein digitaler Zwilling (Kasten 20 auf Seite 162) der Region entwickelt, um die Bürger*innen besser in Entstehungs- und Entscheidungsprozesse einzubeziehen. Digitalisierung bedeutet dabei mehr als den reinen Ausbau der Infrastruktur. Ob digitale Bildung und Verwaltung, Mobilität oder Telemedizin: Die Landkreise gehen als „Smart Region“ in Oberfranken voran und bietet Anreize für die Wirtschaft, zum Beispiel für neu erstarkte Kreativbranchen, aber auch als lebenswerte Wohnräume mit Zukunft.

Für die Umsetzung spielen auch öffentlich-private Partnerschaften für die Umgestaltung der Daseinsvorsorge eine verstärkte Rolle. Die Landkreise setzen gezielt auf Innovationen im ländlichen Raum, um im Zusammenhang – verstärkt auch durch die Corona-Pandemie – mit Standortfaktoren wie Vereinbarkeit von Arbeit und Familie, Umweltbewusstsein und gesellschaftliche Solidarität gegenüber den Ballungsräumen zu überzeugen.

529 vbw, 2020a

530 BMVI, o. J.

531 vbw, 2015

Kasten 24

Definition: Smart Building, Smart City, Smart Region

Smart Building

Ein Smart Building ist ein Gebäude, in dem Konzepte zur intelligenten Vernetzung und Automatisierung von Gebäudeinfrastrukturen zur Steigerung des Wohlbefindens und der Klimaeffizienz zum Einsatz kommen.

Smart City

In einer Smart City werden Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und Daten mit bestehenden und neuen Infrastruktursystemen auf der einen Seite und Bedarfen von Städten und Bürgerinnen und Bürgern auf der anderen Seite intelligent integriert. Eine Smart City strebt ein Maximum an urbaner Lebensqualität, Ressourceneffizienz, Resilienz und Zukunftsfähigkeit an, indem Technologien gezielt eingesetzt werden, um eine Vielzahl von urbanen Prozessen zu optimieren. Im Mittelpunkt stehen die Senkung von Emissionen durch intelligente, dezentrale Energiesysteme und die Verschaltung von (E-)Mobilität, Gebäuden und Energiesystemen, der Einsatz nutzerorientierter Dienstleistungen, die sich an Echtzeit-Informationen (Umwelt, Verkehr, Energieverbrauch etc.) orientieren, die Integration einzelner Technologien in intelligente Systeme (IoT), die eine Sharing Economy ermöglichen, sowie die datenbasierte Optimierung des Managements und der Steuerung der Stadt auf Politik- und Verwaltungsebene.

Smart Region

Eine Smart Region ist eine Region, die zukunftssicher und widerstandsfähig gegenüber verschiedensten Außeneinwirkungen ist und die digitalisierte Bereiche aus Kommunen, der (lokalen) Wirtschaft und der Zivilgesellschaft als regionaler Verbund umfasst. In einer Smart Region werden Anwendungen, Dienste und Daten aus mindestens zwei Domänen systematisch digital vernetzt und es wird besonderes Augenmerk auf die Erfassung, Analyse und Nutzung von (Sensor-)Daten gerichtet. Durch die tendenziell größere Vielschichtigkeit der Beteiligten in einer Smart Region kommt der Kooperation der Akteure einer Smart Region eine besondere Bedeutung zu.

Chancengerechtigkeit, als dritte Säule der räumlichen Gerechtigkeit, kann unter anderem durch Arbeitsmarktintegration erreicht werden. Mittels einer aktiven und integrierenden Beschäftigungspolitik können die Ungleichgewichte am Arbeitsmarkt durch die Erhaltung und Schaffung von zusätzlichen Arbeitsplätzen reduziert werden. Auch die Entwicklung einer nachhaltigen Wirtschafts- und Arbeitsmarktpolitik können zur Herstellung und Sicherung gleichwertiger Lebensverhältnisse und Arbeitsbedingungen in Bayern beitragen. Die Corona-Pandemie wird derzeit vermehrt als Chance gesehen, die Chancengerechtigkeit zwischen Männern und Frauen in Familienkonstellationen auf dem Arbeitsmarkt zu stärken. 63 Prozent sehen die Möglichkeit der mobilen Arbeit als Chance für mehr Chancengerechtigkeit, vorausgesetzt, Future Skills, vor allem das technologische Verständnis, werden gefördert.⁵³²

Andererseits kann die Möglichkeit des mobilen Arbeitens auch zu einer neuen Spaltung der Erwerbstätigen führen. Die Flexibilisierung der räumlichen und zeitlichen Dimension betrifft in erster Linie Büro- und Wissensarbeiter*innen. Fachkräfte in anderen Branchen, beispielsweise in Pflegeberufen, können von den Vorteilen der neuen Mobilität in der Arbeitswelt nicht profitieren. Diese Ungleichheit der Berufsgruppen könnte den Fachkräftemangel zukünftig weiter verschärfen und die Entwicklung eines chancengerechten Arbeitsmarkts aufgrund ungleicher Rahmenbedingungen einschränken.

532 Initiative Chefsache, 2020

Der Begriff der Generationengerechtigkeit greift die zeitliche Dimension auf und unterstreicht die Notwendigkeit der Nachhaltigkeit bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Herstellung räumlicher Gerechtigkeit. Die zentralen Handlungsbedarfe liegen dabei einerseits in der Umstellung der Energiesysteme (Kapitel 03.1) und andererseits in der Etablierung einer nachhaltigen Form der Mobilität und des Siedlungswesens. Handlungsansätze gilt es somit auf allen politischen Ebenen umzusetzen, von den Kommunen bis zur Landes- und Bundesebene.

Die letzte Dimension der räumlichen Gerechtigkeit adressiert die Gewährleistung der demokratischen Teilhabe und Mitgestaltung (Verfahrensgerechtigkeit) bei den erforderlichen gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen und Maßnahmen. Da räumliche Gerechtigkeit keine vollständige Gleichheit in der Daseinsvorsorge bedeutet und somit Unterschiede in der Ausgestaltung bestehen, sind solche gesellschaftlichen Prozesse unentbehrlich und müssen auf allen politischen Ebenen präsent sein.⁵³³ Ungeachtet ihrer demokratischen Bedeutung ermöglichen Partizipationsformate auch die Einbindung von lokalem Know-how und Erfahrungswerten in die Gestaltung der Transformation.⁵³⁴

Kasten 25

Best Practice: Quartier U1 – Stadt gemeinsam gestalten! Beispiel für partizipative Quartiersentwicklung⁵³⁵

Im Rahmen der nationalen Stadtentwicklungspolitik wurden in Nürnberg mit dem Projekt „Quartier U1 – Stadt gemeinsam gestalten! Neue Modelle der Quartiersentwicklung“ entlang des Verlaufs der U-Bahn-Linie 1 neue partizipative Quartiersentwicklungsansätze erfolgreich erprobt. Kern des Konzepts des Nürnberger Experimentier-Stadtteil (Quartier U1)-Konzepts ist die Idee einer lernenden Stadtgesellschaft, die selbst Hand an die Dinge legt, die als veränderungswürdig angesehen werden, und die mit viel Neugier Lösungen findet und umsetzt. Interessierte Akteure des Quartiers U1 werden dabei unterstützt, aus einer Idee ein Konzept zu erstellen und dieses Konzept im Rahmen

eines Projekts zu realisieren. Alle Einreichenden von Ideen entscheiden gemeinsam, welche Ideen mit einer kleinen finanziellen Förderung als Projekt umgesetzt werden. Im Mittelpunkt standen dabei die Leitlinien der „Neuen Leipzig Charta“ der nationalen Stadtentwicklungspolitik, die die Gemeinwohlorientierung (verlässliche öffentliche Dienstleistungen der Daseinsvorsorge sowie die Verringerung und Vermeidung von neuen Formen der Ungleichheit in sozialer, wirtschaftlicher, ökologischer und räumlicher Hinsicht) bei der Stadt-/Quartiersentwicklung in den Fokus rückt und dafür die transformative Kraft der Städte und ihrer Bürger*innen nutzt.⁵³⁶

Kasten 26

Best Practice: Autonomer Shuttlebus in Bad Birnbach – Automatisierung als Chance für den ÖPNV im ländlichen Raum

Durch die Pflicht zur Daseinsvorsorge liegt die Bereitstellung von öffentlichen Mobilitätsangeboten bei der öffentlichen Hand, den kommunalen Verwaltungen und letztlich den kommunalen Verkehrsbetrieben. Ein wirtschaftlicher Betrieb dieses öffentlichen Verkehrsangebots hängt dabei stark von den vorhandenen Nutzer- bzw. Passagierzahlen ab.

nologiebasierter Weg, um die Betriebskosten eines ÖV-Angebots zu reduzieren und dennoch flexible Routen und ein attraktiveres Gesamtangebot im Sinne der Daseinsvorsorge zu schaffen, können autonome On-Demand-Busse sein. Durch den Wegfall des Fahrers und die an die reduzierten Passagierzahlen angepasste Fahrzeuggröße lassen sich die Betriebskosten optimieren. Ein Beispiel dieser Vision ist in Bad Birnbach zu erleben, wo ein solcher autonomer Shuttle bereits in Erprobung ist, ein anderes Beispiel ist in Hof, Kronach und Rehau zu finden, mit der Shuttle-Modellregion Oberfranken. Dort sind seit November 2020 sechs automatisierte Shuttlebusse im Einsatz, aufgrund der Corona-Hygieneregeln bisher allerdings ohne Fahrgäste; der Realbetrieb soll so bald wie möglich umgesetzt werden (letzter Stand: April 2021).

Gerade in ländlichen Gebieten ist jedoch die Auslastung der ÖV-Angebote oftmals nicht hoch genug, um kostendeckend zu arbeiten. Dies kann mehrere Gründe haben. Bevölkerungsdichte und geografische Distanzen, Taktzeiten und Routenführung oder auch die Vorteile des eigenen Pkw sind hier als Beispiele zu nennen. Oft bedingen sich diese Gründe gegenseitig und verstärken sich teilweise. Ein tech-

533 Bayerischer Landtag, o. J.
534 STMB, 2019

535 Quartier U1, 2021
536 BMI, 2020; BMUB, 2007

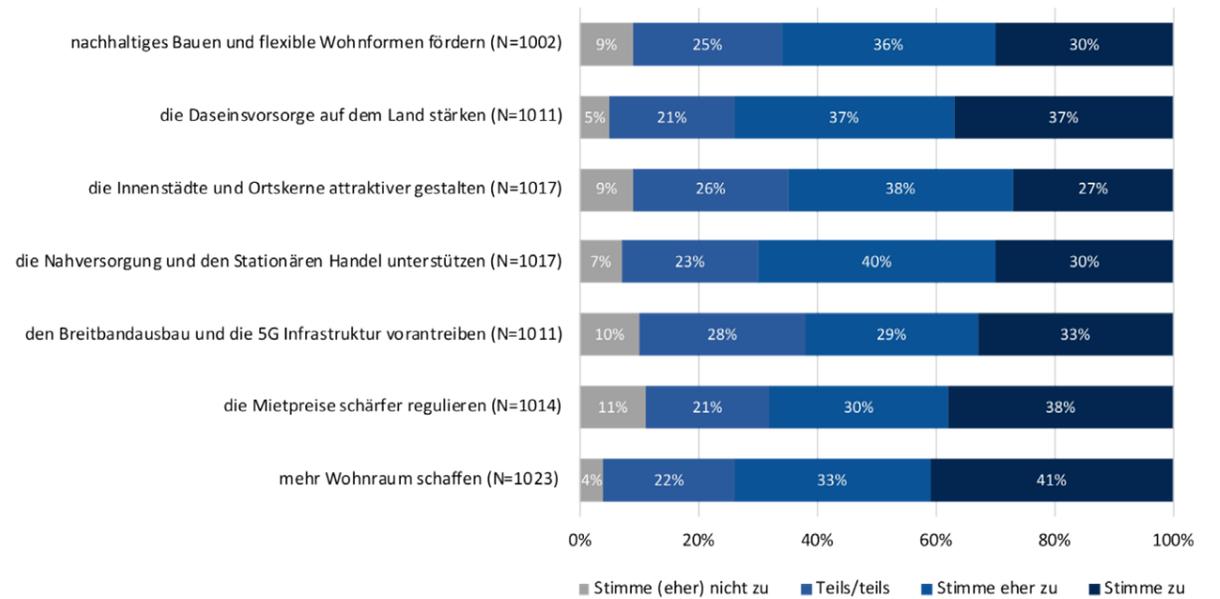
07.2.2 Politische Handlungsfelder und -bedarfe aus Sicht der bayerischen Unternehmen und Haushalte

Im Rahmen der empirischen Erhebungen in bayerischen Haushalten wurde ein Meinungsbild zu ausgewählten Thesen eingeholt, die in Form von Forderungen an die Landespolitik formuliert wurden. Die zur Abstimmung gestellten Aussagen umfassten die Priorisierung der Daseinsvorsorge und des Infrastrukturausbaus, die Revitalisierung von Ortskernen und Zentren, eine gezielte Unterstützung des Einzelhandels, aber auch Maßnahmen zur Schaffung von Wohnraum und zu einer verstärkten Regulierung von Mietpreisentwicklungen. Auch wenn die formulierten Forderungen überwiegend auf Zustimmung stießen, zeigten sich durchaus Unterschiede in den einzelnen Positionen, aus denen sich politische Aufgaben und Prioritäten ableiten lassen und die auch Implikationen für das Themenfeld Planen und Bauen sichtbar machen.

Das Thema der Daseinsvorsorge ist demnach für die Menschen in Bayern von sehr großer Bedeutung. Insgesamt 74 Prozent der Befragten stimmen der Aussage (eher) zu, dass die bayerische Politik mehr für die Daseinsvorsorge und die Gewährleistung vergleichbarer Lebensverhältnisse im Freistaat zwischen Stadt und Land tun sollte (Abbildung 64). Keine andere Aussage zu politischen Handlungsbedarfen trifft in den teilnehmenden Haushalten auf größere Zustimmung. Dieses Stimmungsbild ist sowohl in kleineren Kommunen (78 Prozent), als auch in Großstädten (77 Prozent) besonders ausgeprägt.

Abbildung 64
Haushaltsumfrage: Politischer Handlungsbedarf

Die Politik in Bayern sollte ...



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

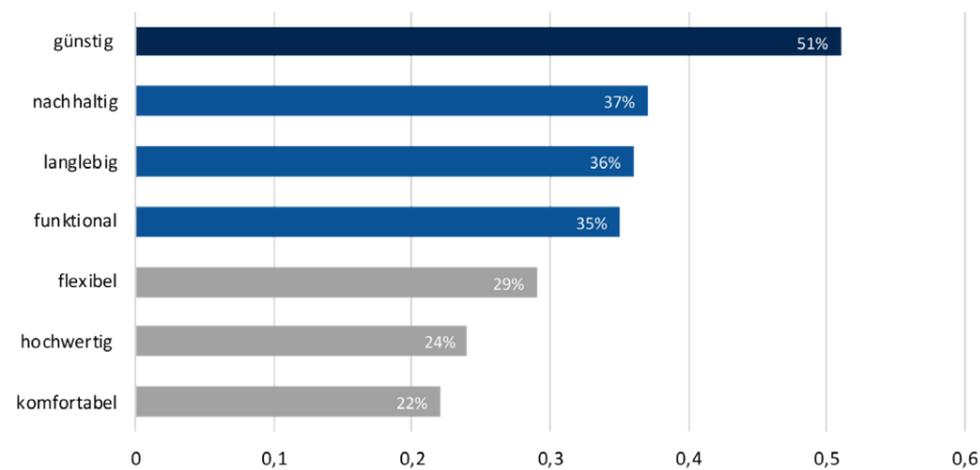
Ähnlich hohe Zustimmung wie das Thema der Daseinsvorsorge erhalten Maßnahmen, die die Schaffung zusätzlichen Wohnraums unterstützen sollen. Knapp 74 Prozent der Befragten stimmen dieser Aussage zu oder eher zu. Vielen Teilnehmer*innen ist wichtig, dass Wohnraum zukünftig erschwinglich ist. Denn auch bei der Frage, nach welchen

Grundsätzen Wohnen zukünftig geplant werden soll, haben 51 Prozent das Attribut „günstig“ gewählt (Abbildung 65). Günstiges Wohnen wurde somit deutlich höher priorisiert als die Attribute „nachhaltig“ (37 Prozent) und „langlebig“ (36 Prozent), die am zweit- bzw. dritthäufigsten gewählt wurden.

Abbildung 65

Haushaltsumfrage: Ansprüche an zukünftiges Wohnen

Nach welchen drei Attributen sollte Wohnraum in den kommenden Jahren geplant und gebaut werden? Wohnen sollte zukünftig ___ sein. (N = 1043)



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Dass die Verfügbarkeit und der wirtschaftliche Zugang zu Immobilien ein Problem darstellen, zeigt sich auch unternehmensseitig. Die Entwicklung von Immobilienpreisen und Baukosten wird von 71 Prozent der Unternehmen als große oder eher große Hürde bezeichnet. Hinzu kommt im gewerblichen Kontext auch noch die Verfügbarkeit von qualifizierten Fachkräften oder Dienstleistern, die als herausfordernd empfunden wird. 57 Prozent der Unternehmen

teilen die Sicht auf diese Problematik. Lediglich 16 Prozent scheinen darin keine Herausforderung zu sehen.

Des Weiteren zeigen sich deutliche Handlungsfelder im Bereich der Verfügbarkeit von geeigneten Flächen sowie im Baugenehmigungsverfahren. 52 Prozent der Unternehmen sehen in diesen Themenbereichen große oder eher große Herausforderungen. Nur knapp 24 Prozent scheinen von diesen Problemen nicht betroffen.

Geringe Kosten, Arbeitskräfte und digitale Infrastruktur sind relevanteste Standortfaktoren für bayerische Unternehmen

Die wesentlichen Faktoren, die auf Basis der Unternehmenserhebung für die Standortauswahl von Unternehmen zukünftig ausschlaggebend sein werden, sind die Standortkosten mit 73 Prozent (Abbildung 66). Zu diesen zählen beispielsweise Preise für Flächen und Mietaufwendungen, aber auch das Lohn- und Gehaltsniveau. Des Weiteren besitzt die Verfügbarkeit digitaler Infrastruktur (Breitband und Glasfaser) eine hohe Relevanz (68 Prozent). Das Ergebnis bekräftigt somit auch die jüngste Standortfaktor-Erhebung der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft im Rahmen der

Unternehmensperspektiven 2020. Gerade auch mit Blick auf den betrieblichen Personen- sowie Wirtschaftsverkehr wird die hohe Verfügbarkeit digitaler Infrastrukturen als sehr relevant eingestuft. Daneben stellt auch die Arbeitskräfteverfügbarkeit mit 73 Prozent ein wichtiges Kriterium in der zukünftigen Standortwahl von Unternehmen dar. Je nach Branche der Unternehmen können die Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeiter unterschiedlich sein. Sie konkurrieren um die Arbeitskräfte, die auf dem Arbeitsmarkt verfügbar sind. Auch hier zeigen sich Parallelen zu einer Studie der vbw, die die Fachkräfteverfügbarkeit als maßgeblichen Faktor bei der Standortwahl von Unternehmen ausweist.⁵³⁷

537 vbw, 2020a

Fachkräfteverfügbarkeit als große Herausforderung

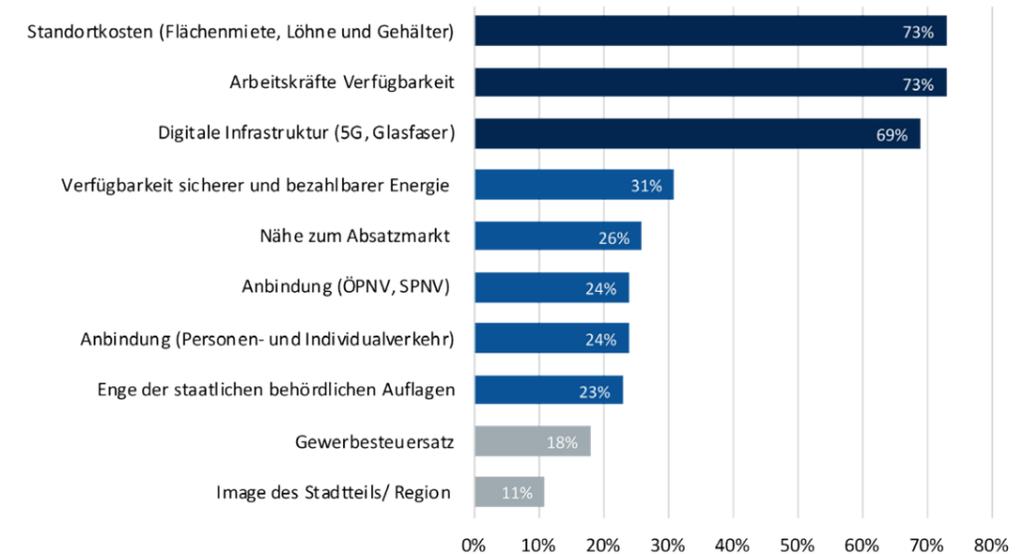
Die Ergebnisse zu den relevantesten Standortfaktoren verdeutlichen unter anderem die verschärfte Problematik der Fachkräfterekrutierung in bayerischen Unternehmen (zum allgemeinen Fachkräftemangel siehe Kapitel 02.2.2). Zur Bewältigung der Herausforderung reflektieren Unternehmen nicht nur interne Prozesse zur Steigerung der eigenen Reputation durch eine Zunahme an Attraktivitätsfaktoren, sie sind darüber hinaus sogar bereit, ihren Unternehmensstandort durch Betriebsflächen an weiteren Standorten innerhalb und außerhalb Bayerns zu ergänzen, um stark nachgefragte Fachkräfte zu rekrutieren. Knapp 31 Prozent können sich eine Flächenverlagerung, das heißt das Anmieten von zusätzlichen Betriebsflächen an Standorten innerhalb und außerhalb Bayerns, grundsätzlich vorstellen.

Vor allem Vertretende der Baubranche bestätigten, dass sie aufgrund eines Mangels an Fachkräften an ihrem derzeitigen Unternehmensstandort in Bayern kaum noch wachsen können. Neben einem branchenspezifischen Unterschied zeigen die Ergebnisse der Unternehmensumfrage auch einen signifikanten Unterschied in der Unternehmensgröße: Je kleiner ein Unternehmen, desto eher ist es der Ansicht, dass es nicht mehr wachsen kann, weil keine Fachkräfte vorhanden sind. Durchschnittlich nehmen 54 Prozent der Befragten aller Branchen an, dass sie in Zukunft Schwierigkeiten haben werden, erforderliche Kompetenzen kurzfristig zur Verfügung gestellt zu bekommen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass vor allem kleine- und mittelständische Unternehmen zukünftig Unterstützung benötigen werden. Die Bildung einer Fachkräftebasis zur Bewältigung von Transformationsprozessen in Unternehmen ist zur langfristigen Sicherung der deutschen Wirtschaft unumgänglich.

Abbildung 66

Unternehmensumfrage: Die zehn wichtigsten Standortfaktoren für Unternehmen (Mehrfachauswahl von bis zu drei Antworten war möglich)

Was sind aus Ihrer Sicht die wichtigsten Standortfaktoren in den kommenden Jahren?



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

07.2.3 Zwischenfazit

Die Befragungsergebnisse illustrieren und bekräftigen den Stellenwert der Daseinsvorsorge und heben die Notwendigkeit hervor, das Planen und Bauen mit den politischen Gerechtigkeitsdimensionen abzustimmen. Diese erstrecken sich über Fragestellungen des Wohnens (z.B. Verfügbarkeit von bezahlbarem Wohnraum), der Arbeit (z.B. Fachkräfte- und Arbeitsplatzverfügbarkeit) sowie der Mobilität (Bereitstellung von öffentlichem Verkehrsangebot unter Ausnutzung neuer technologischer Möglichkeiten) und können nur in einer gesamtsystemischen Betrachtung erschlossen und gelöst werden.

Kasten 27

Innovationsfeld: Neue Bau- und Wohnformen

Während in den letzten Jahrzehnten eine hohe Wertstabilität in eher konservativen Wohnungsgrößen lag (3ZKB = 3 Zimmer, Küche, Bad) lag, entstehen seit Kurzem auch neue Formen, die auf gesellschaftliche Veränderungen und auch (zumindest teilweise) auf veränderte Anforderungen in der Zukunft bei Demografie und Standort reagieren. Ein erwähnenswerter und feststellbarer Trend für Bayern sind dabei Mikrowohnungen, die eine relativ kleine Wohnfläche, aber oft zusätzliche wohnungsnaher Dienstleistungen (z.B. in einer Gemeinschaft) aufweisen. Dies ist besonders in sogenannten Schwarmstädten mit einem hohen Anteil an Studierenden oder spezialisierten Fachkräften als neue „Nische“ und Immobilienklasse festzustellen.⁵³⁸ Umgekehrt entstehen in der Fachwelt ähnliche Konzepte im Bereich des altersgerechten Wohnens, die dem steigenden Bedarf und der Anpassbarkeit von Wohnungen im Alter (z.B. für unterschiedliche Pflegestufen) entsprechen. International gibt es bereits Anbieter (u.a. IKEA), die mit robotischen Möbeln unterschiedliche Wohnszenarien ermöglichen.⁵³⁹

In beiden genannten Fällen ist die intelligente Kombination von Gebäudearchitekturen und -grundrissen, dem Nahumfeld (Quartier), Mobilitätsangeboten, Smart-Home- & Living-Technologien und datenbasierten Dienstleistungen von zentraler Bedeutung. Dies setzt wiederum neue Investitions- und Finanzierungsmodelle voraus, die teilweise bereits in der B-Planung von neuen Flächen zu berücksichtigen sind und ein erhöhtes Technologieverständnis und -akzeptanz bei allen Prozessbeteiligten voraussetzen. Diese Konzepte sind auch im Bereich „Smarte Quartiere“ für Bauträger, Investoren, Wohnungsverwalter und Anbieter

urbaner Lösungen bzw. Technologien (z.B. Smart Home, Smart Lighting, Mobility-on-Demand, Smart Energy Grids, Home Consumer Electronics, digitale Kommunikation etc.) relevant, um Innovationen für smarte und nachhaltige Stadtquartiere aktiv zu gestalten.⁵⁴⁰

Neben dem Trend zu „Serviced Micro Housing“ werden sogenannte „Tiny Houses“ als klimagerechtes Wohnen verstanden, die ebenfalls eine minimale Wohnfläche aufweisen und besonderen Fokus auf einen hohen Grad an Selbstversorgung (z.B. Energieautarkie) legen. Dieser Ansatz setzt sich vermehrt in dezentralen Siedlungsstrukturen, oft im eher ländlichen Raum, fort (u.a. KoDörfer⁵⁴¹), die dies mit einem integrierten Ansatz für Leben, Arbeiten und Gemeinschaft verbinden. Seit der Corona-Pandemie ist dies auch öfters als Gegenmodell zum urbanen Leben und eine erhöhte Vereinbarkeit von Familie und (digitaler) Arbeit definiert. In vielen Fällen spielen klimagerechte Bauweisen, z.B. durch modernen Holzbau, eine übergeordnete Rolle.

Generell wird das Experimentieren mit und das Skalieren von neuen Bau- und Wohnformen – gerade angesichts des anhaltend hohen Pro-Kopf-Verbrauchs bei der Wohnfläche – eine wichtige Zukunftsaufgabe für Planen und Bauen darstellen. Entscheidend ist hier eine innovationsförderliche Regulierung, die beispielsweise (als Idee) innovative Wohnformen als Aufstockungen von innerstädtischen Gewerbebauten ermöglichen oder zumindest erproben (bisher gesetzlich nicht möglich).

Mit Blick auf die Daseinsvorsorge kann das Planen und Bauen demnach eine gestaltende und unterstützende Funktion einnehmen, beispielsweise durch die Bereitstellung von Infrastruktur und Wohnraum im Sinne der Chancen- und Verteilungsgerechtigkeit. Die Gewährleistung der Generationengerechtigkeit erfordert hingegen

einen bedachten Umgang mit Flächen (Kapitel 07.3) und einen möglichst emissionsarmen Bau und Betrieb von Gebäuden (Kapitel 07.4). Diese Wechselwirkungen müssen durch einen sinnvollen politischen Rahmen miteinander in Einklang gebracht werden.

⁵³⁸ Graft Architekten, Schuldt (2021)

⁵³⁹ Ori, 2021

⁵⁴⁰ Fraunhofer-Gesellschaft Morgenstadt-Initiative, 2021

⁵⁴¹ KoDorf, 2021

07.3 Flächenbedarfe und -nutzungen

07.3.1 Impulse aus einer Meta-Analyse für eine integrierte Siedlungs- und Verkehrsplanung

Einer zukunftsorientierten Siedlungs- und Verkehrsplanung, welche die sozialen und wirtschaftlichen Anforderungen einer Gesellschaft mit den ökologischen und natürlichen Funktionen eines Raums verknüpft, liegen eine vorausschauende Flächenerschließung sowie eine bedachte Flächennutzung zugrunde. Flächen und Boden gelten als zunehmend knappe und auch endliche Ressourcen, die nur eingeschränkt für Planungs- und Bautätigkeiten zur Verfügung stehen können (zur Flächennutzung in Deutschland siehe Kapitel 02.4).

Über zwölf Prozent der Fläche Bayerns wird für Siedlungs- und Verkehrszwecke genutzt. Rund 36 Prozent der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Bayern stehen für den Wohnbau sowie für Industrie- und Gewerbeflächen zur Verfügung, knapp 39 Prozent verteilen sich auf Verkehrsflächen und 6,5 Prozent sind Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen

Der bayerische Flächenverbrauch, mit dem die Umwandlung von landwirtschaftlichen oder naturbelassenen Flächen in Siedlungs- und Verkehrsfläche im Freistaat angegeben wird, lag im Jahr 2019 bei durchschnittlich elf Hektar pro Tag. Der weitaus größte Teil der neu in Anspruch genommenen Flächen entfällt dabei auf den Bereich des Wohnens und ist nicht gleichzusetzen mit Versiegelung (z.B. durch Asphaltierung oder Betonierung), sondern beinhaltet auch Grün-, Erholungs- oder Freiflächen für die Siedlungs- und Verkehrsplanung. Die Bayerische Staatsregierung hat sich allerdings dazu verpflichtet, den Flächenverbrauch bis zum Jahr 2030 auf fünf Hektar pro Tag zu senken.⁵⁴² Dies geht einher mit dem Ziel der Bundesregierung, die im gleichen Zeitraum eine Reduktion der bundesweiten Flächenverbrauchs von derzeit 52 Hektar auf unter 30 Hektar am Tag anstrebt.⁵⁴³

Spannungsfeld zwischen ökologischer, wirtschaftlicher und sozialer Entwicklung

Während eine kontrollierte Flächeninanspruchnahme die Erhaltung von natürlichen Bodenfunktionen und des Ökosystems sichert und auch negativen sozialen Effekten, etwa aus Zersiedlungsentwicklungen, vorbeugt, kann ein zu restriktives Vorgehen, das nur auf einen statistischen Flächenverbrauch ausgerichtet ist, auch die Erreichung von weiteren Zielen von gesamtgesellschaftlicher Tragweite erschweren. Daher ist auch eine Flächeneffizienzpolitik erforderlich, die z.B. auch eine landes- und regionalplanerische Abwägung von Verwendungen und qualifiziertes Flächenmonitoring und -management oder die Flächenrestriktionen vorsieht, die Gestaltungsspielräume einengen und damit auf einen zielgerichteten, aber ausreichend flexiblen Ordnungsrahmen setzt.⁵⁴⁴

Über die letzten Jahrzehnte zeigt sich eine kontinuierliche Zunahme des Wohnflächenbedarfs pro Einwohner*in (Kapitel 02.3.2), auch durch die Abnahme der Haushaltsgrößen (Kapitel 02.1) sowie ein konstantes Bevölkerungswachstum⁵⁴⁵ in Bayern (Kapitel 02.1.2), das durch die Corona-Pandemie voraussichtlich nur kurzzeitig unterbrochen wurde.⁵⁴⁶ Diese Entwicklungen, in Verbindung mit einer weiterhin hohen Nachfrage nach Immobilien als attraktive Investitionsalternative im Fall eines langfristig anhaltenden Niedrigzinsumfelds (Kasten 3 auf Seite 20), dürften in Teilmärkten zu einem hohen Bedarf an zusätzlichem Wohnraum führen. Die Schaffung weiterer Wohnungen, insbesondere als Reaktion auf regionale Verknappungen durch Bevölkerungskonzentrationen, wird auch in den kommenden Jahren notwendig sein und eine langfristige Aufgabe für die Politik wie auch für Bau- und Immobilienbranche darstellen (Kapitel 05.1.1).⁵⁴⁷

⁵⁴² StMUV, 2021a, StMUV, o. J., Bayerisches Landesamt für Statistik, 2020e

⁵⁴³ StMUV, 2021a, Die Bundesregierung, 2020

⁵⁴⁴ vbw, 2020b, vbw, 2020c

⁵⁴⁵ StMUV, o. J.

⁵⁴⁶ Bayerischer Rundfunk, 2020

⁵⁴⁷ Bayerische Landesbodenkreditanstalt, 2020

Neben der Bedeutung des Wohnflächenbedarfs spielt auch der Flächenbedarf der Unternehmensstandorte von Gewerbe und Industrie eine maßgebliche Rolle bei der Entwicklung einer zukunftsfähigen Flächenplanung. Zwischen 2011 und 2015 ist der Flächenverbrauch von Unternehmen in Bayern nahezu unverändert geblieben. Ein verantwortungsvoller Umgang mit Flächenressourcen ist für Unternehmen vor allem auch aus ökonomischem Eigeninteresse besonders wichtig. Ein festgelegter Richtwert, der die Inanspruchnahme neuer Flächen festlegt und so direkt oder indirekt auf Standortentscheidungen und betriebliche Erweiterungsmöglichkeiten einwirkt, wird in diesem Zusammenhang kritisch gesehen, wie z. B. vom Bayerischen Industrie- und Handelskammertag.⁵⁴⁸

Die Corona-Pandemie führt zu einem Umdenken der Gestaltung von Arbeitsorganisationen. Durch die Bereitstellung von mobilen Endgeräten sowie die Nutzung virtueller Kommunikationsplattformen ist die Arbeitstätigkeit vor allem in der Büro- und Wissensarbeit nicht mehr an den Unternehmensstandort gebunden (Kapitel 07.1.2.4). Im Zuge der corona-bedingten Zunahme der mobilen Arbeit wird der langfristige Flächenbedarf von Unternehmen derzeit kritisch hinterfragt. Ergebnisse einer repräsentativen Befragung des bayerischen Forschungsinstituts für Digitale Transformation zeigen, dass ein Großteil der Befragten, 83 Prozent der Homeoffice-Erfahrenen und 75 Prozent der Homeoffice-Neulinge, mit der aktuellen Homeoffice-Situation zufrieden waren. 68 Prozent würden sich demnach auch nach der Corona-Pandemie eine Steigerung der Homeoffice-Zeiten wünschen.⁵⁴⁹ Studienergebnisse einer von März bis Mai 2020 durchgeführten Umfrage zu individuellen Homeoffice-Erfahrungen allerdings identifizieren sowohl Vor- als auch Nachteile der räumlich verteilten Zusammenarbeit. Als vorteilhaft zeichnete sich die Bewältigung von konzentrierten Aufgaben ab, als nachteilig empfanden die Teilnehmer*innen die Bearbeitung kreativer Tätigkeitsfelder. Während der Informations- und Workflow im Homeoffice durchschnittlich als zufriedenstellend bewertet wurden, zeichnet sich – vor allem mit Voranschreiten des Lockdowns – ein Rückgang bei der Kreativität ab. Die persönliche Kommunikation im Büro ist ein Treiber für die Generierung neuer Ideen und die Steigerung von Lernprozessen. Aufgrund dessen wird davon ausgegangen, dass trotz einer allgemeinen Zunahme der Nutzung von Homeoffice auch nach der Corona-Pandemie das Büro nicht an Bedeutung verlieren wird, sondern sogar stärker in den Fokus der modernen Wissensarbeit, verbunden mit einem entsprechenden Flächenbedarf, rückt. In Zukunft wird es vor allem in der Büro- und Wissensarbeit vermehrt hybride bzw. Mischmodelle mit Homeoffice-Anteilen sowie einer physischen Präsenz der Mitarbeiter*innen geben. Für die Arbeitsorganisation und Unternehmenskultur hat diese Veränderung eine Anpassung der internen Organisationsabläufe zur Folge. Zur Vermeidung einer Entfremdung der Mitarbeiter*innen untereinander, aber auch zwischen Mitarbeiter*innen und Unternehmen kann die Einführung routinierter Präsenztermine präventiv wirken. Zudem müssen Bürostrukturen neu gedacht werden: Kommunikations- sowie Austauschplattformen sind erforderlich (z. B. großzügige Kaffee- und Pausenbereiche), zusätzlich zu technisch hochwertig ausgestatteten Besprechungsräumen zur Umsetzung hybrider und virtueller Meetings. Generell betrifft die veränderte Arbeitsweise die drei Kernbereiche Technologie, Kultur und Raum.

Entstehung alternativer Arbeitsorte (Coworking-Spaces)

Obwohl die Arbeitswelt der Zukunft trotz einer Steigerung der mobilen Arbeit auch nach der Pandemie Büroflächen benötigt, wird die Bedeutung von alternativen Arbeitsorten außerhalb der unternehmenseigenen Flächen zunehmen. Eine Studie des Bundesverbands Coworking Spaces Deutschland (BVCS) verdeutlicht die Dimension der Coworking-Entwicklung: Nach einer Markterhebung im Mai 2020 vervierfachte sich demnach die Anzahl dieser Coworking-Spaces innerhalb Deutschlands in den zurückliegenden 24 Monaten. Derzeit gibt es deutschlandweit 1.268 Coworking-Spaces, Anfang 2018 waren es nur knapp über 300.⁵⁵⁰ Es wird angenommen, dass die Beschleunigung der digitalen Transformation in Unternehmen und die damit verbundene Zunahme der räumlichen und zeitlichen Autonomie vieler Mitarbeitenden durch die Corona-Pandemie zusätzlich zur dauerhaften Etablierung von Coworking-Spaces in der Unternehmenslandschaft beitragen werden.

548 BIHK, 2018

549 Bockstahler, 2020

550 Bundesverband Coworking Spaces, 2020

Die ersten Coworking-Spaces wurden vor allem von Kreativschaffenden und Selbstständigen genutzt, um mit gleichgesinnten, aber voneinander unabhängigen Menschen zusammenzuarbeiten und so auf unterschiedlichste Weise voneinander zu profitieren. Nach einer „Sturm und Drang“-Phase, in der Coworking-Spaces schnell und chaotisch wuchsen, ist in der aktuellen Welt der Coworking-Spaces eine klare Tendenz zur Professionalisierung der Services rund um „Coworking“ zu erkennen.⁵⁵¹ Neben einer Vielzahl unabhängiger Coworking-Anbieter beeinflussen vor allem große Coworking-Anbieter mit mehreren Standorten die Landschaft von Coworking-Spaces. Die Entwicklung von dezentralen lokalen Coworking-Modellen in urbanen Quartieren als Gegenentwurf zum häuslichen Arbeiten gewinnt vor allem vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie zunehmend an Bedeutung. Aufgrund veränderter Verkehrsströme könnte sich diese Entwicklung darüber hinaus direkt auf die Verkehrswegeplanung, die Flächennutzung sowie die regionale Strukturplanung auswirken, weshalb diese weiterentwickelte Form des Coworking im weiteren Verlauf explizit untersucht werden wird.

Neben der Entwicklung von urbanen dezentralen alternativen Arbeitsorten steigt derzeit auch die Anzahl an Coworking-Spaces im ländlichen Raum. Arbeitsplatzangebote auf dem Land können zu belebenden Effekten der unmittelbaren Umgebungsstruktur führen und einen Mehrwert in Bezug auf die Entwicklung liefern.⁵⁵² Laut einer Studie zu Coworking im ländlichen Raum der Bertelsmann Stiftung können Coworking-Spaces die Attraktivität des Umfelds stärken, Pendler unterstützen sowie Landflucht verhindern und somit auch einen wertvollen Beitrag zu einer nachhaltigeren Verhaltensweise leisten. Coworking-Spaces tragen demnach zum einen maßgeblich zur Vereinbarkeit von Arbeit und Familie bei, zum anderen können sich durch die langfristige Etablierung von Coworking-Spaces lokale Synergien ergeben, die die Region stärken.⁵⁵³

Coworking-Spaces gelten durch die Bildung neuer Wissenscluster und interdisziplinärer Netzwerke als Innovationstreiber.⁵⁵⁴ Um von den neuen Impulsen und kreativen Inspirationen zu profitieren, suchen derzeit auch große Unternehmen einen Zugang zur Nutzung der temporären Arbeitsflächen für ihre Mitarbeiter*innen. Neben dem Konzept des Corporate Coworking, bei dem Unternehmen Projektteams in extern geführte oder eigens eröffnete Coworking-Spaces entsenden, integrieren andere Unternehmen bereits unternehmenseigene Coworking-Flächen, sogenannte Corporate Innovation Labs, in ihren Unternehmensstandort.⁵⁵⁵ Die Steigerung des Innovationsgrades im Unternehmen setzt dabei eine Orchestrierung der Gemeinschaft hinsichtlich Kreativität, Austausch und Kollaboration voraus. Die Entwicklung eines heterogenen Flächennutzungsplans ist unter anderem im Werksviertel München zentraler Bestandteil des Umnutzungskonzepts der ehemaligen Werke des Ostbahnhofs. Mit einer hohen Variabilität der Flächenzusammensetzungen soll ein nachhaltiges und vielfältiges Angebot an Büroräumlichkeiten geschaffen werden, die sowohl für große Dienstleister als auch für mittelständische Unternehmen sowie junge Start-ups gleichermaßen attraktiv ist und somit einen interdisziplinären Wissensaustausch im Raum fördert.

551 Bauer, Stiefel, Rief, 2017

552 Bähr et al., 2021

553 Bähr et al., 2021

554 Bauer et al., 2017

555 Stiefel, Rief, 2019

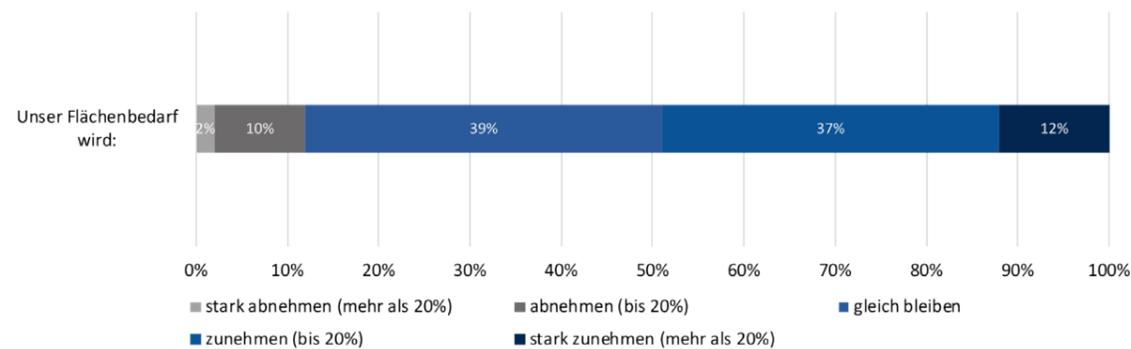
07.3.2 Ergebnisse der Haushalts- und Unternehmensbefragung zu Flächenbedarfen für eine integrierte Siedlungs- und Verkehrsplanung

Gemäß der durchgeführten Unternehmensbefragung verteilen sich gewerbliche Baubedarfe in Bayern bis zum Jahr 2030 relativ gleichmäßig auf die Erschließung neuer Flächen und Gebäude (33 Prozent), die Erweiterung von bestehenden Flächen und Immobilien (35 Prozent) sowie Revitalisierungsmaßnahmen (29 Prozent) wie den Umbau oder die Sanierung. Ein potenzieller Rückbau spielt in den baulichen Planungen hingegen keine Rolle (3 Prozent). 30 Prozent der befragten Unternehmen gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2030 keine Bauaktivitäten notwendig sind. Dennoch gibt fast jedes zweite Unternehmen an, zukünftig mehr Flächen zu benötigen. Zwölf Prozent der Befragten erwarten sogar eine Zunahme im Flächenbedarf von mehr als 20 Prozent (Abbildung 67).

Abbildung 67

Unternehmensumfrage: Veränderungen im Flächenbedarf von Unternehmen in Bayern in den kommenden 5–10 Jahren

Wie wird sich der gesamte Flächenbedarf Ihres Unternehmens (z. B. Büro, Gewerbe, Produktion, Service) vor dem Hintergrund Ihrer wirtschaftlichen Aktivitäten in den kommenden 5–10 Jahren geschätzt verändern? (N = 140)



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Die Erhebung zeigt allerdings auch, dass ein Mitarbeiterwachstum nicht unbedingt mit einer Flächenzunahme einhergehen muss. So wird angegeben, dass neu etablierte Prozesse und Möglichkeiten, wie vermehrte Homeoffice-Tätigkeiten, im Rahmen der Corona-Pandemie für Effizienzzuwächse und vorübergehende räumliche Einsparungen sorgen, womit das zukünftige Wachstum auch mit einem konstanten Flächen- und Gebäudebestand gemeistert werden kann. Insgesamt gehen 38 Prozent der Unternehmen davon aus, dass sich ihr Flächenbedarf in den kommenden fünf bis zehn Jahren nicht verändern wird.

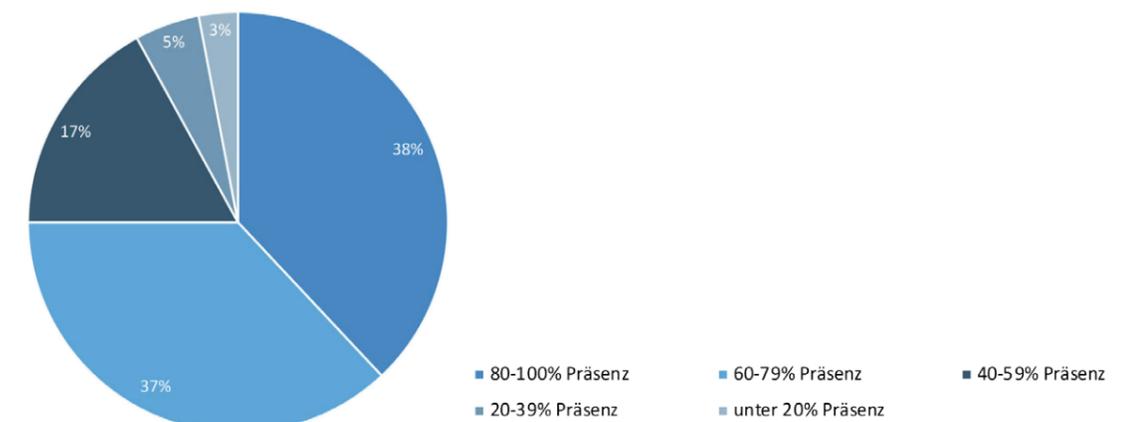
Veränderungen der sozialen Interaktionen als Basis neuer räumlicher Anforderungen

Die Etablierung mobiler Arbeitsweisen mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Autonomie der Mitarbeiter*innen nimmt in Unternehmen – vor allem im Bereich der Büro- und Wissensarbeit – rasant zu. Die Corona-Pandemie beschleunigt die Flexibilisierung der Arbeitsweise zusätzlich. Teilweise wurden seit Beginn des ersten Lockdowns im Frühjahr 2020 erste Erfahrungen im räumlich verteilten Arbeiten gesammelt und digitale Prozesse in Unternehmen angestoßen. Die Ergebnisse der Unternehmensumfrage bestätigen die Vermutung der langfristigen Nutzung alternativer Arbeitsorte und die Integration von Homeoffice

in Unternehmensorganisationen. Gemäß der durchgeführten Befragung erwarten lediglich 38 Prozent für die kommenden zwei bis fünf Jahre eine 80 bis 100-prozentige Präsenz der Mitarbeiter*innen vor Ort im Unternehmen. Weitere 37 Prozent können sich vorstellen, die Anwesenheitspflicht auf 60 bis 79 Prozent zu senken, 17 Prozent rechnen sogar mit einer Reduzierung der Arbeitszeit der Belegschaft im Bürokontext auf unter 60 Prozent (Abbildung 68).

Abbildung 68

Unternehmensumfrage: Erwartete durchschnittliche Präsenz der Belegschaft vor Ort im Unternehmen (bezogen auf die nächsten 5–10 Jahre)



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Bei der Einschätzung der zukünftigen Präsenzzeiten der gesamten Belegschaft sind deutliche Unterschiede zwischen den Branchen ersichtlich. Eine besonders hohe Präsenzpflicht auch nach der Corona-Pandemie zeichnet sich im Baugewerbe ab: 54 Prozent wünschen sich hier eine Arbeitszeit vor Ort von 80 bis 100 Prozent. Eine noch höhere Präsenzzeit erwartet die Landwirtschaftsbranche. 67 Prozent sehen demnach eine 80 bis 100-prozentige Pflichtanwesenheit als unumgänglich, gefolgt von der verarbeitenden Branche mit knapp 45 Prozent. Die Möglichkeiten des ortsungebundenen Arbeitens sind vor allem in handwerklichen Branchen stark eingeschränkt. Diese Differenz zwischen praktischen maschinen- und materialgebundenen Berufsgruppen und den Büro- und Wissensarbeitern muss bei der Überlegung zur Flexibilisierung von Arbeitsort und -zeit mit in Betracht gezogen werden.

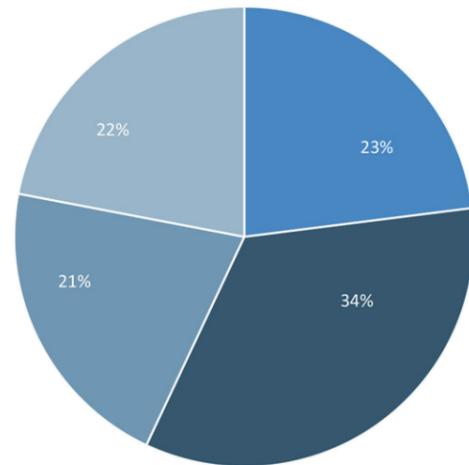
Bedeutung des autonomen Arbeitens

Die Bedeutung der Möglichkeit des autonomen Arbeitens zeigen auch die Ergebnisse der Haushaltsbefragung. Autonomes Arbeiten beschreibt einen Arbeitsalltag, der durch eine hohe räumliche sowie zeitliche Flexibilität und Entscheidungsfreiheit geprägt ist. 23 Prozent der Befragten würden es demzufolge bevorzugen, in Zukunft nur noch wenige Tage im Monat am Standort des eigenen Unternehmens zu arbeiten und der Arbeitstätigkeit die meiste Zeit von zu Hause oder von anderen Orten nachzugehen. 21 Prozent wünschen sich einen flexiblen Umgang mit der Wahl ihres Arbeitsortes und die Möglichkeit, je nach Situationen und Tätigkeit selbst zwischen Unternehmensstandort oder der Arbeit zu Hause entscheiden zu können (Abbildung 69).

Abbildung 69

Haushaltsumfrage: Mobiles Arbeiten vs. Arbeiten am Unternehmensstandort

- Ich bevorzuge es, nur noch wenige Tage im Monat am Standort meines Unternehmens zu arbeiten. Die meiste Zeit arbeite ich von zu Hause oder von anderswo.
- Ich bevorzuge es, auch in Zukunft den größten Teil meiner Arbeitszeit vor Ort am Standort meines Unternehmens zu verbringen. Dabei ist mir eine möglichst kurze und bequeme An- und Abreise wichtig.
- In Zukunft bevorzuge ich, flexibel von zu Hause oder am Standort meines Unternehmens zu arbeiten.
- Keine Antwort.

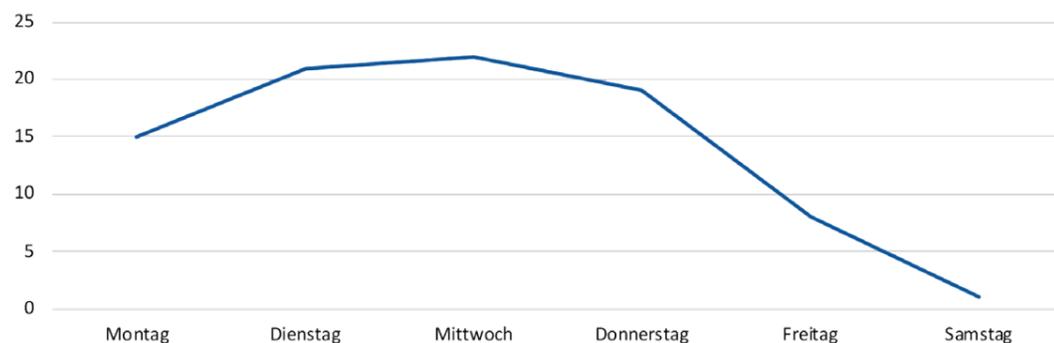


Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Als besonders beliebte Büroarbeitstage zeichnen sich insbesondere Dienstag, Mittwoch und Donnerstag ab. Montag und Freitag bieten sich für den Großteil der Befragten als „Homeoffice“-Tage an (Abbildung 70). Dies kann zum einen mit der Vermeidung eines vermutet höheren Verkehrsaufkommens von Wochenend-Pendlern an Montagen und Freitagen begründet werden, zum anderen mit einer Erwartung von mehr Präsenzterminen von Dienstag bis Donnerstag. Um einen Leerstand der Flächen und eine

möglichst gleichmäßige Auslastung der Betriebsflächen zu erzielen, muss die Möglichkeit der Entscheidung durch Führungskräfte gewahrt bleiben. Dabei besteht auch die Möglichkeit, mit neuen Organisationsstrukturen zu experimentieren. Mitarbeiter*innen, die beispielsweise in einer Woche freitags und montags zu Hause arbeiten könnten, könnten diese Tage eine Woche später für andere Mitarbeiter*innen freigeben.

Abbildung 70

Haushaltsumfrage: Bevorzugte Homeoffice-Tage**Bevorzugte Homeoffice-Tage**

Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Umstrukturierung der Bestandsflächen von Unternehmen

Die steigende Flexibilisierung der Büro- und Arbeitswelt und die Dynamik der Märkte kann zum einen zu einer neuen Flächennutzung der eigenen Unternehmensflächen und einem steigenden Einsatz von Konzepten wie der Clean Desk Policy (Desk-Sharing) führen, zum anderen können neue Betriebsmodelle, die teilweise in Unternehmen heute schon Realität sind, zunehmend an Bedeutung gewinnen. Desk-Sharing-Konzepte ermöglichen einen flexiblen Umgang mit Arbeitsplätzen durch eine Aufhebung einer personalisierten Zuweisung (keine 1:1-Belegungsrate). Dadurch können Standardarbeitsplätze reduziert und Flächen reduziert beziehungsweise umgenutzt werden. Viele Unternehmen mit einer hohen Flexibilisierung des Arbeitsortes und der Arbeitszeit etablierten Desk-Sharing-Konzepte je nach Arbeitstätigkeit abteilungs- oder unternehmensweit, um eine höhere Flächenauslastung zu erzielen. Basierend auf der Annahme, dass die Zunahme der flexiblen Arbeitsweise, beispielsweise durch eine langfristig hohe Nutzung von mobiler Arbeit auch nach der Corona-Pandemie, anhält, wurden die zeitlich begrenzte Nutzung von Zusatzflächen für Projektarbeiten sowie die gemeinschaftliche Nutzung von zentralen Infrastrukturen mit anderen Unternehmen in der Unternehmensbefragung genauer analysiert.

Die Feststellung der großen Bedeutung von Coworking-Spaces und weiterer alternativer Arbeitsorte und neuer Betriebsmodelle fand bereits in der Ausgangslage Erwähnung (Kapitel 07.1.2.4). Dieser Trend bestätigt sich nun ebenfalls bei Auswertung der Befragungsergebnisse. Die Ergebnisse der Unternehmensbefragung verdeutlichen generell ein bestehendes Interesse bei der Umnutzung von Bestandsgebäuden von Unternehmen zur Intensivierung des Wissensaustauschs und zur Steigerung von Kreativität und Innovation. 27 Prozent der Befragten sehen in der gemeinsamen Nutzung der Betriebsfläche mit anderen Organisationen, wie Unternehmen, Kommunen, Institutionen oder Hochschulen, Vorteile hinsichtlich eines intensiveren Wissensaustauschs, verbunden mit einer Steigerung der Innovationskraft. Dabei zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bedeutung von Kooperationen mit anderen Unternehmen und der Bereitschaft zur gemeinsamen Nutzung von Betriebsflächen: Je eher Unternehmen die Kooperation mit anderen Unternehmen als wichtig erachten, desto eher sind sie bereit, Betriebsflächen gemeinsam mit anderen Organisationen zu nutzen.

21 Prozent können sich sogar vorstellen, bestimmte vorab definierte Flächen dauerhaft für Freiberufler*innen (Freelancer) zu öffnen, um die Ideengenerierung voranzutreiben und gegebenenfalls neue Talente zu gewinnen. Für die Hälfte der Befragten ist diese Vorstellung zum jetzigen Zeitpunkt nicht realisierbar. Diese Ablehnung kann unter anderem auf ein Bedenken hinsichtlich der Sicherheit von beispielsweise unternehmensinternen Daten zurückgeführt werden.

Nutzung von alternativen Arbeitsorten im urbanen Kontext

Neben Umnutzungen von unternehmenszugehörigen Flächen umfasste die Unternehmens- sowie Haushaltsbefragung auch generelle Nutzungsmuster von Arbeitsorten im Stadtkontext.

Laut Umfrageergebnisse der Haushalts- sowie der Unternehmensbefragung stößt die langfristige Integration von alternativen Arbeitsorten im Arbeitsalltag im Durchschnitt auf leichtes Interesse. Demnach können sich 29 Prozent der Befragten vorstellen, ihre Büroflächen kurzfristig durch die Anmietung von temporär nutzbaren Projektflächen zu erweitern. Für 28 Prozent ist die langfristige regelmäßige Nutzung von Satellitenbüros in der Nähe des eigenen Wohnortes als temporäre Alternative zum Büroarbeitsplatz am Unternehmensstandort vorstellbar/eher vorstellbar. 24 Prozent sehen in der Nutzung von Coworking-Spaces einen direkten Mehrwert gegenüber der Büronutzung und 31 Prozent der Befragten würden die Nutzung eines Nachbarschaftsbüros in Betracht ziehen.

Kasten 28

Definition: Satellitenbüros, Coworking-Spaces, Nachbarschaftsbüros

Satellitenbüros

Unternehmenseigene Büroflächen im Stadtkontext – außerhalb des Hauptstandortes – für Mitarbeiter*innen des Unternehmens

Coworking-Spaces

Temporär nutzbare Arbeitsplätze, Räumlichkeiten und Infrastrukturen in offenen Gemeinschaftsbüros zur Förderung des Netzwerks, von Wissenstransfer und Kreativität

Nachbarschaftsbüros

Quartiersintegrierte Büroflächen zur gemeinschaftlichen temporären Nutzung

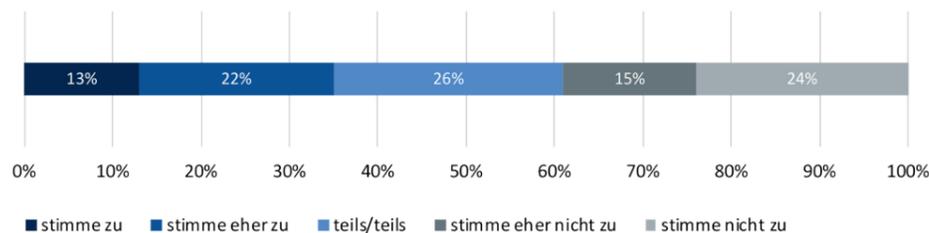
Allerdings zeigt sich hier ein deutlicher Unterschied je nach Lage des Standortes der Unternehmen: In Stadtzentren ansässige Unternehmen sehen ein weitaus höheres Potenzial in der dauerhaften Nutzung von Coworking-Flächen als Unternehmen mit Hauptstandorten am Stadtrand oder in ländlichen Räumen. Generell ist erkennbar: Mit steigender Distanz zum Zentrum sinkt das Interesse an Coworking-Modellen. Dies kann unter anderem mit einer höheren Angebotsvielfalt an Coworking-Flächen in globalen Ballungsgebieten begründet werden. Zum anderen begünstigen die hohen Mietpreise der zentrumsnahen Bereiche die Anmietung temporärer Flächen im weiteren Umland.

Generell zeichnet sich über alle Teilnehmer*innen der Unternehmens- sowie Haushaltsumfrage hinweg ein zunehmendes Interesse an der Nutzung und Bereitstellung von alternativen Arbeitsorten wie Coworking-Spaces, Satelliten- sowie Nachbarschaftsbüros ab. Der Interessensunterschied zwischen ländlichen und urbanen Bereichen kann unter anderem mit einem geringeren Angebot an temporär nutzbaren Arbeitsflächen begründet werden. Zusätzlich kann davon ausgegangen werden, dass bei den 34 Prozent der Befragten mit dem Wunsch nach einer 100-prozentigen Rückkehr zum Unternehmensstandort nach der Corona-Pandemie generell kein Interesse der Nutzung anderer Arbeitsorte besteht.

Abbildung 71

Haushaltsumfrage: Nutzung von Satellitenbüros als alternative Arbeitsorte

Ich kann mir sehr gut vorstellen überwiegend in einem Satellitenbüro meines Unternehmens in der Nähe meines Wohnortes zu Arbeiten.



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Die Umfrageergebnisse zeigen zudem einen Einfluss des Alters der Befragten auf die vorstellbare Nutzung alternativer Arbeitsorte. Vor allem die jüngeren Teilnehmer*innen (18 bis 29-Jährige) können sich vorstellen, dauerhaft Satellitenbüros, Coworking-Spaces und Nachbarschaftsbüros zu nutzen. Zusätzlich besitzt die Haushaltsgröße einen Einfluss auf die Offenheit gegenüber Coworking-Modellen. Je größer der Haushalt, desto größer ist die Bereitschaft, zeitweise in Coworking-Spaces zu arbeiten. Dies kann unter anderem mit der Lebenssituation der Personen eines größeren Haushalts begründet werden: Betreuungspflichtige Kinder im Haushalt können den Arbeitsalltag im Homeoffice belasten und vor allem die Bewältigung konzentrationsintensiver Aufgaben sowie das Abhalten von Meetings erschweren. Besonders problematisch ist die Arbeit im Homeoffice bei fehlenden zusätzlichen Arbeitsräumen mit der Möglichkeit des Rückzugs bei Stillarbeitsphasen.

Derzeit ist eine hohe Dichte alternativer Arbeitsorte vor allem in großen urbanen Zentren, beispielsweise München oder Nürnberg, ersichtlich. Laut der Haushaltsumfrage ist die Altersgruppe der 18 bis 29-Jährigen sowohl in Großstädten als auch in Mittel- und Kleinstädten ansässig. Folgende Verteilung wird aus der Haushaltsbefragung ersichtlich: 28 Prozent leben derzeit in einer Großstadt, 34 Prozent in einer Kleinstadt und 27 Prozent in einem mittelgroßen Stadtzentrum. Lediglich sieben Prozent ordnen ihren Wohnort dem Speckgürtel eines städtischen Ballungsraums zu. Auf Basis der Analysen der Haushaltsumfrage sollte die Integration von Nachbarschafts- oder Satelliten-

büros sowie Coworking-Spaces auch für die ländlichen Regionen sowie Klein- und Mittelstädte in Betracht gezogen werden. Neben der Reduzierung von Pendlerströmen können ländliche gemeinschaftliche Arbeitsortstrukturen die Attraktivität der unmittelbaren Umgebung stärken und sich aus arbeitsorganisatorischer Sicht positiv auf den Innovationsgrad des Unternehmens auswirken.

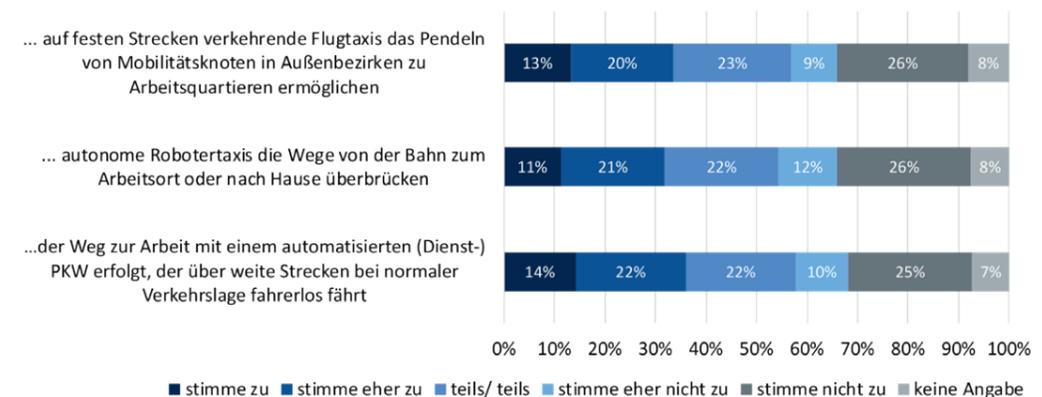
Auch die Gestaltung des Arbeitswegs und der dabei genutzten Verkehrsträger kann Auswirkungen auf den Flächenbedarf von Unternehmen haben. Beispielsweise entfallen bei mehrheitlicher ÖV-Nutzung Bedarfe für unternehmenseigene Parkplätze. Es ergeben sich jedoch neue Flächenanforderungen, wenn auch in deutlich reduziertem Ausmaß, für ÖV-Haltestellen und dergleichen.

Aus Sicht der Arbeitnehmer*innen sind, im Vergleich zu heute, künftig längere zeitliche Pendelstrecken vertretbar, sofern diese mit einem autonomen Transportmittel erfolgen und somit Nebentätigkeiten möglich sind. Dies wäre beispielsweise über einen hochautomatisierten Pkw möglich, mit dem z. B. Autobahnstrecken bei normaler Verkehrslage automatisiert zurückgelegt werden können. Die Haushaltsbefragung ergab für diesen Aspekt eine allgemeine Zustimmung von ca. 36 Prozent. Bei der Akzeptanz des Verkehrsmittels Flugtaxi kann ebenfalls ein Wert von ca. 33,6 Prozent konstatiert werden. Mit steigender Marktdurchdringung und technologischer Reife von automatisierten Verkehrsträgern sind hier mittel- bis langfristig Möglichkeiten für den zukünftigen Pendlerverkehr zu erwarten.

Abbildung 72

Haushaltsumfrage: Akzeptanz für zeitlich längere Pendlerstrecken

Ich würde in Zukunft längere zeitliche Pendelstrecken in Kauf nehmen bzw. meinen derzeitigen Wohnort zugunsten vom Arbeitsort entfernten Wohnortes eintauschen, wenn ... (N = 1019)



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Aus Sicht der Unternehmen lässt sich in Bezug auf verlängerte Pendeldistanzen und automatisierte Transportportdienste ein ähnliches Stimmungsbild festhalten. Zur Frage, ob Arbeitnehmer*innen längere Pendelstrecken in Kauf nehmen, sofern während der Fahrt effizient gearbeitet werden kann, entfallen ca. 39,8 Prozent aller Antworten auf die Kategorien „stimme zu“ und „stimme eher zu“.

Kasten 29

Zitat zum Thema Flächennutzung / Flächenbedarf aus Experteninterview ÖPNV

„Wo sehen Sie dabei Unterschiede in der Planung ländlicher Regionen gegenüber ÖPNV-Angeboten in urbanen Gebieten?“

„Aktuell ist ein Großteil der Verkehrsinfrastruktur auf den MIV (motorisierten Individualverkehr) ausgelegt, dem ÖPNV steht tendenziell weniger Verkehrsfläche zur Verfügung. Gerade im urbanen Raum gibt es eine Vielzahl von Überlegungen, MIV-Flächen zu reduzieren und beispielsweise durch weitere Busspuren mehr ÖPNV-Fläche zu schaffen. Dort kann das funktionieren, da die MIV-Flächen groß genug sind, das heißt, man kann bei einer mehrspurigen Straße durchaus eine Spur für den ÖPNV „abzwacken“. In ländlichen Regionen und Kommunen sind viele Straßen jedoch einspurig angelegt, sodass keine gesonderten ÖPNV-Spuren aus bestehender Infrastruktur geschaffen werden können. Auch sind gerade in ländlichen Regionen die Ortskerne und Stadtzentren aus der Historie heraus mit sehr schmalen Straßen verbaut. Dort kann es beispielsweise bei der Durchfahrt mit großen Bussen zu Engstellen kommen, die jedoch nicht ohne weiteres baulich verändert werden können.“

Kasten 30

Best Practice: Ideenzug der Deutschen Bahn

Auch im Regionalverkehr werden neuartige Konzepte getestet, etwa im sog. „Ideenzug“. Hierbei geht es vorrangig um die Erprobung neuer Gestaltungs- und Servicekonzepte im Bereich Sitzkomfort, Sauberkeit, Atmosphäre oder Geselligkeit. So wird Pendlern etwa die Möglichkeit gegeben, in einem eigens ausgestatteten Abteil z. B. Live-Übertragungen zu verfolgen. Durch flexibel einstellbare Sitzmodule besteht die Option, die Sitzrichtung oder die Sitzeinstellung zu ändern. Ebenfalls sind Einzelkabinen vorhanden, die z. B. als Arbeitsraum oder für Telefonkonferenzen genutzt werden können.⁵⁵⁸ Eine erste Überführung eines Ideenzuges in den Realbetrieb erfolgt im Sommer 2021 auf der Bahnlinie München – Mühldorf am Inn, nachdem der ursprünglich schon im Herbst 2020 angesetzte Termin aufgrund der Corona-Pandemie zunächst einmal verschoben werden musste.⁵⁵⁹

558 Deutsche Bahn AG, 2018
559 StMB, 2019b

Flächen- und Immobilienverfügbarkeit als Wirtschaftsfaktor in Bayern

Mit Blick auf die Zurückhaltung gegenüber Coworking-Modellen bleiben der Arbeitsweg und Pendel-Bewegungen auch in Zukunft wesentliche Bestandteile einer integrierten Betrachtung. Das bestätigt die Unternehmenserhebung auch an anderer Stelle. Denn die grundsätzliche Verfügbarkeit von eigenen Gebäuden und Flächen bleibt für betriebliche Abläufe und die unternehmerische Leistungserbringung weiterhin sehr relevant, auch abseits des produzierenden Gewerbes. 77 Prozent der Befragten sieht eine große oder sehr große Rolle bzw. einen direkten Zusammenhang in der Verfügbarkeit von Immobilien mit der betrieblichen Tätigkeit.

Unternehmen sind zudem mehrheitlich auch Eigentümer der Immobilien, die sie für ihre betrieblichen Tätigkeiten nutzen (65 Prozent). Lediglich 21 Prozent greifen größtenteils auf Mietobjekte zurück. Rund 13 Prozent der Unternehmen sind gleichermaßen Mieter und Eigentümer. Insbesondere im produzierenden Gewerbe und bei Akteuren aus dem Baugewerbe ist die Eigentümerquote mit rund 75 Prozent sehr hoch.

Im Schnitt sind zehn Prozent der Gebäude, die ein Unternehmen nutzt, in den letzten drei Jahren und rund 30 Prozent im letzten Jahrzehnt erbaut worden. Etwa jedes zweite Gebäude eines Unternehmens ist jedoch auch mehr als 20 Jahre alt. Verglichen mit Hochrechnungen zur Altersstruktur von Nichtwohngebäuden in Deutschland (Kasten 5), sind die Gebäude in Bayern gemäß der Erhebung relativ jung.

Kasten 31

Innovationsfeld: Ästhetik und Design für Planen und Bauen

Während in der breiten Masse der Neubauten und Sanierungen der letzten Jahrzehnte überwiegend funktionale Aspekte im Vordergrund standen (beispielsweise die Dominanz von Wärmedämmverbundsystemen in der Fassadengestaltung von Wohnbauten), können die Digitalisierung im Bereich der Bauproduktion oder Interaktionstechnologien sowie die Entwicklung neuer Baumaterialien und Oberflächen massive Impulse für Ästhetik und Gestaltung in der gebauten Umgebung auslösen. Nicht zuletzt wird im Automobilssektor bereits seit Langem das Design eines Fahrzeugs als wichtigster Einflussfaktor auf eine Kaufentscheidung verstanden – mit hoher Relevanz für den gesamten Entwicklungsprozess.⁵⁶⁰

In der Architektur bietet mittlerweile generatives Design, das den Einsatz künstlicher Intelligenz oder lernende Algorithmen vorsieht, die Chance, Bauprodukte, Fassaden bis hin zur Raumaufteilung ganz neu zu denken – unabhängig von den Vorgaben der Industrialisierung. Gerade im Holzbau sind hier bereits fast vollständig digitale Prozessketten von der Planung bis zur Montage mit neuen Architekturen realisierbar. Auf der Architektur-Biennale 2021 in Venedig wurde als Beispiel das weltweit erste mit Robotern faser-gewickelte mehrstöckige Bauwerk demonstriert.⁵⁶¹ Auch öffentliche Räume erhalten im Kontext der Verkehrswende oder Klimawende eine zunehmende Relevanz, wenn es um die Attraktivität für Fuß- oder Radmobilität und die Bedeutung von Plätzen als soziale Orte geht. Städte wie

560 Unger, 1998
561 Universität Stuttgart, 2021

Barcelona haben bereits begonnen, den gesamten Stadtraum neu zu gestalten, mit großem Fokus auf Ästhetik und Design – Aspekte, die auch in bayerischen Städten bereits diskutiert werden.⁵⁶² Und mit der Initiative des New European Bauhaus sind ökologische, kulturelle, bauliche und auch gestalterische Ziele verbunden, die auch eine neue Designsprache für eine klimaneutrale Welt – sowohl in Städten als auch in ländlichen Räumen Europas – sucht.⁵⁶³

Während im Bereich digitaler Produkt- und Dienstleistungsentwicklung seit längerem Aspekte wie „Gamification“, „Mensch-Maschine-Interaktion“ oder „User Experience Design“ (UX) gängig sind, sind diese Themen in der Gestaltung gebauter Räume noch kaum anzutreffen. Erste Städte experimentieren bereits mit Interaktionstechnologien wie iBeacons, QR-Codes, Augmented Reality und intelligenten Oberflächen in der Neugestaltung ihrer Stadträume. Dieses Technologiefeld für die Transformation öffentlicher Räume kann auch für Lebensräume in Bayern interessante Gestaltungsoptionen bieten, die beispielsweise zu nachhaltigerem Verhalten anregen, zum Umstieg auf Nahmobilität motivieren oder auch leerer werdende Innenstädte als Sozial- und Erlebnisräume neu beleben. Entscheidend für Ästhetik und Design als Querschnittsthema in Planen und Bauen wird es sein, dies im Lebenszyklus von Anfang an zu berücksichtigen und die passenden Rahmenbedingungen für die Werthaltigkeit guter Gestaltung und Ästhetik in der Transformation hin zur Klimaneutralität zu setzen.

562 Anlauf, 2020
563 New European Bauhaus, 2021

07.3.3 Zwischenfazit

Die dargestellten Ergebnisse der Metastudie sowie der Datenerhebung aus Befragungen und Experteninterviews skizzieren erste Entwicklungen einer resistenten und zukunftsfähigen Stadt- und Regionalentwicklung mit einer nachhaltigen Flächennutzungs- und Erschließungsstruktur. Die gesamtheitliche Betrachtung aller Teilkomponenten aus Immobilien, Lebensraum, Mobilität und Arbeitswelt spielt dabei eine wesentliche Rolle. Der allgemeine Flächenbedarf an Wohnbau- sowie Industrie- und Gewerbeflächen ist in den letzten Jahren gestiegen. Gleichzeitig sind Planungs- und Bauaktivitäten perspektivisch aufgrund der endlichen Ressourcen nur noch eingeschränkt möglich. Zum Umgang mit der Diskrepanz zwischen ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungen werden zukünftig neue Lösungen für innovative Flächennutzungen benötigt.

Die Bildung neuer Lebensstile beeinflusst das Planen und Bauen der Zukunft zusätzlich. Angetrieben durch die Zunahme persönlicher Wahlfreiheit und individueller Selbstbestimmung sowie neuer äußerer Einflüsse, wie z.B. weniger berechenbare Arbeitsverhältnisse oder Brüche in Biografien, wächst der Grad der Individualisierung mit einem vielfältigen Bedarfsprofil an Flächennutzungen und Mobilitätsstrukturen. Die Flexibilisierung der Arbeitswelt bietet durch den neuen Möglichkeitsraum des zeitlich und räumlich autonomen Arbeitens weiteren Nährboden zur Entwicklung individueller Lebens- und Arbeitsstile.

Die Veränderung der Arbeitswelt verdeutlicht den komplexen Zusammenhang der Teilbereiche Mobilität, Arbeiten und Wohnen. Denn die Verlagerung des Arbeitsortes kann nicht nur zu einer Reduzierung von Büroflächenbedarfen führen, sondern beeinflusst durch geringere Pendlerströme und den Bedarf eines alternativen Arbeitsortes oder eines privaten Heimarbeitsplatzes maßgeblich den Mobilitätssektor sowie die Gestaltung des urbanen Raumes und die Anforderungen an Wohnflächen. Diese Reduktion kann jedoch durch gegenläufige Entwicklungen, z.B. durch den Bedarf an großzügigeren Flächen, mehr Platz für Aufenthaltsräume, Kommunikationszonen und Freizeitgestaltungsmöglichkeiten, relativiert werden. Der Veränderung einer Grundkomponente folgt eine Kette verschiedener vernetzter Wirkungen mit einem gesamtheitlichen Einfluss auf alle Themenfelder.

Die Entwicklung zukunftsorientierter Flächennutzungspläne setzt zum einen die dezidierte Überarbeitung aktueller Flächennutzungen voraus. Zum anderen werden innovative Flächennutzungskonzepte benötigt, die sich an sich ändernde Umweltbedingungen anpassen sowie gesellschaftliche Verhaltensmuster auffangen können und ressourcenschonend bleiben. Beispiel eines gelungenen neuen Konzepts, das sich an die neuen Anforderungen anpasst und zudem zur Steigerung der Attraktivität in den Innenstädten beitragen kann, sind urbane Manufakturen (Kasten 32).

Kasten 32

Best Practice: Urbane Manufakturen als Beispiel für integrierte Flächennutzung

Urbane Manufakturen resultieren aus der Veränderung von Produktionsstätten. Seit Beginn der Industrialisierung entwickelten sich große Industriestandorte fernab von urbanen Zentren mit den zentralen Funktionen des Wohnens, Handelns und kulturellen Einrichtungen. Heutzutage werden Herstellungsprozesse jedoch zunehmend emissions- und lärmarm, außerdem erlauben neue Technologien und Spezialisierungen eine effizientere Raumnutzung. Die räumliche Trennung von Industrie, Wohnen, Handel und Kultur ist nicht mehr zwingend notwendig.

Die Etablierung lokalerer Wertschöpfungsketten hat sich in den letzten Jahren zu einem starken Trend entwickelt. Vereinzelt kann man vor allem in Kreativquartieren die Öffnung von kleinen Manufakturen beobachten, die sowohl aus einem Verkaufs- als auch einem Produktionsbereich bestehen. Die integrierte Flächennutzung unterstützt nicht nur ein nachhaltigeres Wirtschaften durch kurze Produktionswege, sondern bietet den Konsument*innen darüber hinaus die Möglichkeit, die Produktionsketten transparent und authentisch nachverfolgen zu können. Ein wachsendes Bewusstsein für Ökologie und soziale Gerechtigkeit schafft einen neuen Markt für Produkte aus der eigenen Region. Lokale Produkte sind gefragter denn je. Durch die Corona-Pandemie und die damit verbundene klare Sicht auf die Instabilität von globalen Wertschöpfungsketten erhielt dieser Trend nochmals Auftrieb. Urbane Manufakturen stärken die Kundennähe und verhelfen den Innenstädten zu neuen attraktiven Erlebnisräumen.

Ein Beispiel sind die aktuellen Planungen des Kreativquartiers in München auf dem Gelände der ehemaligen Luitpoldkaserne. Das Flächenkonzept sieht eine Mischnutzung aus Wohnen, Arbeiten sowie einer Integration von Kunst, Kultur und Wissensbausteinen vor und gewährleistet durch die Heterogenität und Multifunktionalität die Entstehung eines lebendigen und vielfältigen Quartiers im urbanen Kontext.

Die Integration urbaner Manufakturen in Innenstädten könnte neue Perspektiven zur Gestaltung des öffentlichen Stadtraums der Zukunft schaffen und die Identität und Authentizität durch einen transparenten Umgang mit Produkten zusätzlich stärken. In Zeiten der Orientierungslosigkeit des stationären Einzelhandels in Städten mit einer zunehmenden Konkurrenz der Digitalmärkte wird die Ergänzung der Handelsflächen von großen Unternehmen um kleine lokale Manufakturen in multifunktionalen Mischnutzungsformen mit Verkauf und Produktion als klarer Treiber der Innenstadt der Zukunft wahrgenommen und bewertet.

Zum Themenfeld der urbanen Manufakturen zählt auch die urbane Lebensmittelproduktion als großes Trendthema zur Förderung regionaler und transparenter Produktion. Als städtische integrierte Einheiten können urbane Lebensmittelproduktionen die Innenstadt von morgen bereichern und einen wertvollen Beitrag zur Lebensmittelversorgung leisten.

Kasten 33

Innovationsfeld: Urbane Lebensmittelproduktion (Vertical Farming)

Im Kontext von Planen und Bauen für die Transformation der gebauten Umgebung in Bayern ist das Thema lokaler, d.h. siedlungsintegrierter Erzeugung von Lebensmitteln zur Absicherung der Ernährungsgrundlage aus unterschiedlichen Gründen von Bedeutung: Erstens war vor der Industrialisierung die Lebensmittelerzeugung ein integrierter Bestandteil von Siedlungsstrukturen, so auch in Großstädten Bayerns wie München, Augsburg oder Nürnberg. Erst durch die Industrialisierung der Landwirtschaft und die anhaltende Urbanisierung entstand die heutige Abgrenzung. Zweitens spielt für Städte und Regionen auf dem Weg zur Klimaneutralität der Konsum eine besondere Rolle als Messgröße in der CO₂-Bilanz. Dieser ist teilweise in europäischen Städten doppelt so hoch pro Kopf wie die sonstige Versorgung (Energie, Wärme, Verkehr etc.) – und somit ein wichtiger Hebel für klimaneutrale Lebensräume. Drittens besteht mittlerweile durch technologische Fortschritte die Möglichkeit, Lebensmittel stadtintegriert, CO₂-neutral und in hoher Qualität zu produzieren. Moderne Methoden (z.B. AeroFarms, USA; Nordic Harvest, DK⁵⁶⁴) versorgen mit aeroponischen Anbaumethoden und KI-gesteuerter LED-Beleuchtung je Kubikmeter mehr als 0,8 Personen/Jahr durchgängig mit frischem Gemüse und können einen erheblichen Beitrag zur Ernährungsversorgung leisten.⁵⁶⁵

Als Vision könnten mehrere städtisch integrierte Einheiten (z. B. umgenutzte Parkhäuser, Tiefgaragen, Dachflächen) in einer Innenstadt damit einen Stadtteil durchgängig mit hochwertigem und pestizidfreiem Gemüse ernähren – ohne jegliche CO₂-Emissionen oder Flächenverbrauch in der Lieferkette wie bisher und als Kreislaufwirtschaft. Im Vergleich zu konventioneller Landwirtschaft wird nur 1/100 einer Fläche benötigt. Mehr und mehr Städte im Ausland realisieren bereits mehrere mehr als 1.000 Quadratmeter große Dachgewächshäuser. Auch im Bereich der Quartiersentwicklung und in ländlichen Regionen kann die Integration von Vertical Farming ein Zukunftsthema darstellen.⁵⁶⁶ In der bayerischen Startup-Szene gibt es erste Akteure im Bereich von AgTech (Agriculture Technology).⁵⁶⁷

Für den Freistaat Bayern könnte die Kombination aus Technologie-Know-how, nachhaltiger Siedlungsentwicklung und Wirtschaftsorientierung einen Zukunftsmarkt darstellen, der sich gerade aus der Perspektive von Planen und Bauen interessant darstellt. Beispielsweise könnten über einen Innovationswettbewerb großmaßstäbliche Demonstrationsanlagen (z.B. stadtintegrierte Dachgewächshäuser) und deren Skalierung (über geeignete (De-)Regulierung) gefördert werden. Von Bedeutung ist dabei, das Thema nicht als Konkurrenz zur heutigen Landwirtschaft zu entwickeln, sondern als technologische Ergänzung und möglichen Baustein einer Klima- und Ressourcenwende mit Blick auf neue Ernährungsstrategien.

⁵⁶⁴ Nordic Harvest, 2021

⁵⁶⁵ Padilla et al., 2018

⁵⁶⁶ ReGen Villages, 2021

⁵⁶⁷ Munich Start-up, 2021

Kasten 34

Innovationsfeld: Urbane Produktion

Im Folgenden wird beispielhaft auf siedlungsintegrierte Produktionsstätten im Kontext von Planen und Bauen eingegangen, die neue Ansätze mit ihrem jeweiligen Umfeld, z. B. durch kurze Lieferketten, lokale Verwertung oder ressourcenbezogene Austauschprozesse, repräsentieren. Für die Zukunft des Klimas und der Wertschöpfung gilt es, Wirtschaftswachstum zu erreichen, ohne dabei mehr Ressourcen zu verbrauchen, also die Entkopplung von Wachstum und Verbrauch. Dafür ist es erforderlich, dass Unternehmen ihre Wertschöpfungsprozesse effektiv und effizient gestalten, indem sie Material, Energie, Personal und Kapital optimal einsetzen. So werden auch Abfall, Abluft und Abwasser weitestgehend eliminiert – in der Forschung wird hierzu der Begriff der Ultraeffizienzfabrik verwendet.⁵⁶⁸ Eine ultraeffiziente Fabrik soll aber nicht nur negative Effekte einer Produktion minimieren. Vielmehr soll die Fabrik einen positiven Beitrag leisten, indem sie eine Symbiose mit dem urbanen Umfeld eingeht und beispielsweise überschüssige Energie an Haushalte zurückgibt.

Hier ist von einer Renaissance in der Neuentdeckung innerstädtischer, d. h. nah am Wohnort liegenden Produktionsstätten zu sprechen, die bereits vor der Industrialisierung in Manufakturen in einer Nutzungsmischung funktionierten. Erst die Fabriken erforderten damals eine funktionale Trennung von Gewerbegebieten an die Ränder von Städten und Regionen. Durch Digitalisierung, Sektorkopplung, Energiewende und neue Produktionstechnologien (z. B. Leichtbaurobotik, generative Fertigung) sind hier für die Zukunft wieder neue Konzepte möglich.⁵⁶⁹ Auch im Kontext der Fachkräftegewinnung spielt dabei der Standort zukünftiger Produktionsstätten eine zunehmende Rolle, immer näher an heutige Hochschul- und Investorenstandorte mit urbanen Qualitäten. Aber auch in größeren Regionen sollten die Potenziale siedlungsintegrierter Produktionsstätten nicht außer Acht gelassen werden. Die Fabrik von morgen kann kleiner, vernetzter, vertikaler, bedarfsorientierter und produktiver für das Nahumfeld sein.

Das übergeordnete Ziel für den Freistaat Bayern als Technologie- und Produktionsstandort kann die physische Verschmelzung von Produktionsort, Arbeits- und Absatzmarkt im Umfeld städtischer Ballungsräume sein.⁵⁷⁰ Zudem geht es um die optimale räumliche Neuverteilung kompletter Produktionsprozesse in heutigen Regionen. Dazu gehören auch neue Lösungen für stadtverträgliche Liefer- und Logistikketten sowie neue digitale Ökosysteme und Plattformen zwischen Unternehmen und Kunden. Entscheidend für die Skalierung und die Ausschöpfung des Potenzials urbaner Produktion werden dabei weniger technologische Neuerungen, sondern vielmehr Prozess-Innovationen im Planungs- und Baurecht neben einer innovationsförderlichen und klimaorientierten Regulierung sein.

Neue Flächennutzungskonzepte

Die Entwicklung neuer Flächennutzungskonzepte setzt eine intensive Auseinandersetzung mit den zukünftigen gesellschaftlichen Prozessen voraus. Zudem handelt es sich bei der Integration von Produktionsstätten in urbane Zentren um bislang wenig praktizierte Planungskonzepte, deren genaue Bedürfnisse in Bezug auf Infrastrukturen, bauliche Gegebenheiten etc. in Zukunft genauer untersucht werden müssen. Bei der Konkretisierung des Kreativquartiers in München wurde dafür ein Prozess mit einer

hohen Partizipation der Nutzer*innen gewählt. Partizipation an Entscheidungsprozessen hat nicht nur eine Steigerung der Identifikation und Nutzerakzeptanz zur Folge, sondern auch vielseitigere Handlungsvorschläge, Ideen, Meinungen und Interessensäußerungen, die letztendlich zu einer neuen Konzeptstärke führen können. Die Integration von partizipativen Ansätzen in den Planungsprozess ist daher für die Umsetzung nachhaltiger und zukunftsfähiger Konzepte gerade im Bereich neuer Funktionsmischungen wie urbaner Produktionsstätten von großer Bedeutung.

568 Fraunhofer, 2021a

569 Schwimmer et al., 2019

570 Technik in Bayern, 2019

07.4 Bedeutung einer klimaneutralen Wirtschaft und Gesellschaft aus Sicht der bayerischen Unternehmen und Haushalte**07.4.1 Impulse aus einer Meta-Analyse für eine klimaneutralere Wirtschaft und Gesellschaft**

Die starke Sensibilisierung für den voranschreitenden Klimawandel (Kapitel 02.6) hat dazu geführt, dass etablierte gesellschaftliche Praktiken wie Fern- oder Urlaubsreisen und ressourcenintensive Prozesse aus unterschiedlichen Bereichen der Wirtschaft und Gesellschaft zunehmend hinterfragt werden. Neben den zwingend erforderlichen technologischen Lösungen werden auch systemische Veränderungen im Sinne einer Neugestaltung unserer Lebens- und Arbeitsräume einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Dies wird insbesondere in sehr dicht besiedelten Gebieten und großen Metropolen deutlich, die als ökonomische und kulturelle Zentren, aber auch als große CO₂-Emittenten gelten. Weltweit gesehen sind urbane Räume für 75 Prozent aller CO₂-Emissionen verantwortlich.⁵⁷¹ Somit ist es zwar erstrebenswert, einen politischen Konsens über klimagerechteres Handeln auf globaler oder internationaler Ebene zu finden, doch es benötigt konkrete regionale und lokale Maßnahmen, um diesen Konsens auch konsequent umsetzen zu können, sowie entsprechende Rahmenbedingungen auf nationaler Ebene. Auch auf internationaler Ebene ist es erforderlich, dass Konsense in konkrete Rahmenbedingungen umgesetzt werden, z. B. wenn es um Industriebranchen im internationalen Wettbewerb sowie die Organisation der Wertschöpfungsnetzwerke geht.

Ein großer Teil des CO₂-Austoßes ist auf den Bau und Betrieb von Immobilien zurückzuführen (Kapitel 03.1.2). Gebäude waren in Deutschland im Jahr 2018 für etwa 33 Prozent des Endenergieverbrauchs und für 30 Prozent der deutschen CO₂-Emissionen verantwortlich. Zu aktivierende Effizienzpotenziale bestehen vor allem bei der Wärmedämmung (energetische Qualität der Gebäudehülle), der Effizienz und Steuerung vorhandener Heizungsanlagen, Technologienutzung zur anwesenheitsorientierten Steuerung von Beleuchtung und Raumwärme sowie der flexiblen Steuerung bestimmter Verbrauchsgeräte.⁵⁷² Außerdem müssen die Heizungsanlagen perspektivisch auf erneuerbare Technologien (v. a. Wärmepumpen, wo möglich solarunterstützt) umgestellt werden. In verdichteten Räumen sind Fern- und Nahwärmenetze erforderlich, die mittelfristig mit erneuerbarer Wärmezeugung oder mit Abwärme betrieben werden. Hinzu kommt die Notwendigkeit, mithilfe von Wärmespeichern direkt oder indirekt Flexibilität bereitzustellen.

Nachhaltigkeitsaspekte und Klimaschutzüberlegungen beginnen Unternehmensentscheidungen zu beeinflussen. Die Entwicklung eines unternehmenseigenen Prozesses zur Erreichung von Klimaneutralität mithilfe des Ausbaus von Klimamanagement-Bereichen in Unternehmen nimmt derzeit stark zu. Die größte Motivation für ein Unternehmen, in Teilen oder im Ganzen klimaneutral zu arbeiten, besteht darin, die Unternehmensphilosophie umzusetzen, das Image allgemein zu verbessern und strategische Ziele hinsichtlich der „Corporate Social Responsibility“ zu erreichen.⁵⁷³ Hinzu kommen die Auswirkungen regulatorischer Vorgaben und die Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten einschließlich der entsprechenden Zahlungsbereitschaft. Die wichtigsten und ökonomisch effektivsten Schritte zur Erreichung von Klimaneutralität sind branchenabhängige Prozessumstellungen sowie Maßnahmen zur Energieeinsparung und Energieeffizienzsteigerung (Kapitel 03.1.3). Allerdings sind diese angesichts heutiger Rahmenbedingungen häufig ökonomisch nicht attraktiv genug, sodass eher Kompensationen von CO₂-Emissionen in Betracht gezogen werden. Für die Durchführung von Kompensationsmaßnahmen wird in den meisten Fällen externe Hilfe benötigt. Laut Umfrageergebnisse der Fraunhofer-Studie „Klimaneutrale Unternehmen in Deutschland“ lassen sich 80 Prozent der befragten Unternehmen (heterogene Branchenzugehörigkeit / Unternehmensgrößen) von Beratungsunternehmen hinsichtlich der Durchführung von CO₂-Kompensationsmaßnahmen unterstützen.

571 Fraunhofer, 2021a

572 Schwimmer et al., 2019

573 Technik in Bayern, 2019

Vor allem Mitglieder der jungen Generationen legen großen Wert auf Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte. Sie befürworten die Energiewende und setzen sich aktiv für den Klimaschutz ein.⁵⁷⁴ Bei der Wahl ihres zukünftigen Arbeitgebers spielt die Konformität mit den eigenen Werten eine große Rolle. Dementsprechend ist nachhaltiges Handeln für Unternehmen nicht nur aus dem Aspekt des nachhaltigen und umweltschonenden Handelns interessant, sondern auch im Sinne der Rekrutierung von Fachkräften.

Neben der Entwicklung von zunehmend klimaschonenden Unternehmensprozessen nimmt das Interesse an einer nachhaltigen Headquarter-Architektur seit Jahren stark zu. Gerade für Unternehmen in den Bereichen Technologie, Energie und Umwelt ist das Bauen mit neuester Klima- und Gebäudetechnik und regionalen Materialien ein „Showcase“ in Sachen Corporate Responsibility, Kompetenz und Innovationskraft.⁵⁷⁵ Neben nachhaltiger und innovativer Gebäudetechnik spielt bei „grünen“ Unternehmenssitzen auch die flexible Gestaltung der Raumstrukturen eine große Rolle. Die Zunahme der Dynamik von Veränderungsprozessen setzt nicht nur eine agile Unternehmensorganisation voraus, sondern auch eine anpassbare, flexible Arbeitsumgebung. Flexible Nutzungskonzepte sowie ein möglichst stützenfreier Grundriss unterstützen die Möglichkeit der Umnutzung von Flächen und steigert dementsprechend die Wertestabilität.

Zwar können durch die Nutzung von digitalen Möglichkeiten zur Ausführung von Büroarbeit, etwa im Homeoffice, CO₂-Emissionen durch eingesparte Wegstrecken verringert werden, gleichzeitig können aber durch Videokonferenz- und Streaming-Applikationen signifikante Ressourcenverbräuche entstehen (Kasten 35).⁵⁷⁶ Zudem können sich auch gegenläufige Effekte zeigen. Pendelwege werden beispielsweise seltener zurückgelegt, fallen dafür aber länger aus. Ebenso könnten sich durch neue Wohnpräferenzen verstärkte Pendelbewegungen aus ländlicheren Räumen etablieren, für die die Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln keine attraktive Alternative bietet (Kapitel 07.5.1). Handlungsbedarf besteht sowohl im Personen- als auch im Wirtschaftsverkehr, der ungeachtet von Effizienzsteigerungen bei den Antriebstechnologien durch Steigerung der mittleren Fahrzeugmassen sowie einer Zunahme der Verkehrsleistung in den letzten Jahren für einen gestiegenen CO₂-Ausstoß gesorgt hat. In Bayern stammen 42 Prozent der CO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor (Kapitel 07.5.1).

Die Höhe von Treibhausgasemissionen im Verkehr, insbesondere im Pendel-Verkehr, kann durch politische Strategien beeinflusst werden, die mit positiven Anreizen lenkend auf eine Verkehrsvermeidung oder -verlagerung hinwirken. In diesem Zusammenhang hat beispielsweise die Stadt München ein Förderprogramm zum betrieblichen Mobilitätsmanagement aufgesetzt, das die Hauptbereiche der Mobilität – Pkw-Anreise, Dienstreisen, Fuhrpark / Logistik und ÖPNV sowie den Radverkehr in den Fokus stellt.⁵⁷⁷ Auch eine verbesserte Energieeffizienz und eine Emissionsreduktion des Verkehrssystems kann durch politische Impulse wie eine Förderung alternativer Antriebe angeregt werden. Darunter fallen beispielsweise das Bayerische Förderprogramm Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge⁵⁷⁸ oder auch die Förderung von Ladeinfrastrukturkonzepten durch das Bayerische Staatsministerium.⁵⁷⁹

42 Prozent der zurückgelegten Wegstrecken in Deutschland haben entweder einen dienstlichen bzw. geschäftlichen Bezug oder sind Fahrtwege zum Arbeits- oder Ausbildungsplatz. Somit können auch Unternehmen maßgeblich Einfluss auf eine Emissionsreduktion im Verkehr nehmen, zum Beispiel durch ein betriebliches Mobilitätsmanagement, das Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt.

Die Nachhaltigkeitstransformation ist Ergebnis einer vorausschauenden Regional- und Stadtplanung und einer langfristigen Innovations- und Klimapolitik, die eine breite Sensibilisierung in Wirtschaft und Gesellschaft voraussetzt. Zukünftige Wohnbedarfe und daraus abgeleitete bauliche Funktionen müssen ebenso betrachtet werden wie betriebliche Wertschöpfungsprozesse mit verkehrlichen oder räumlichen Auswirkungen.

574 Michelsen et al., 2015
575 Renucci, 2013
576 Purdue University, 2021

577 Stadt München, 2021a
578 Bayern Innovativ, 2021
579 Bayern Innovativ, 2021

Kasten 35 Digitalisierung und Klimaschutz⁵⁸⁰

Die Digitalisierung beeinflusst die Treibhausgasemissionen im Wesentlichen durch ihre Wirkung auf den Energieverbrauch. Diese ist dabei ambivalent: Zum einen kann die Digitalisierung in allen Sektoren (von Gebäuden über die Energiewirtschaft bis hin zu Verkehr und Industrie) deutliche Energieeinsparungen ermöglichen. Zum anderen ist die Digitalisierung selbst ein bedeutender Energie- und insbesondere Stromverbraucher. Zudem fördert die Digitalisierung als Innovationsmotor die Entstehung neuer Produkte und Geschäftsmodelle mit eigenen Energieverbräuchen. Eine sektorübergreifende Netto-Betrachtung der Effekte der Digitalisierung liegt bislang nicht vor.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geht derzeit im Rahmen des Prozesses zur Entwicklung einer Roadmap Energieeffizienz 2050 der Frage nach, wie die Digitalisierung eingesetzt bzw. ausgerichtet werden kann, um einerseits die Erreichung der übergeordneten Klimaschutzziele zu ermöglichen und andererseits die Umweltwirkungen der Digitalisierung zu minimieren. Hierzu wurde ein Input- bzw. Hintergrundpapier erarbeitet, das unter anderem Grundlage dieses Kastens bildet.⁵⁸¹

Energiebedarf der Digitalisierung

Der Energiebedarf der Digitalisierung entsteht im Wesentlichen in drei Bereichen: Rechenzentren, Datenübertragung und Endgeräte (inkl. Internet of Things, IoT).⁵⁸² Dabei ist unklar, inwieweit künftige Effizienzsteigerungen den infolge des erwarteten Anstiegs bei Datenmenge und digitalen (vernetzten) Endgeräten steigenden Energieverbrauch kompensieren können. So könnte beispielsweise die physikalische Effizienzgrenze bei Transistoren herkömmlicher Technologie zwischen 2040 und 2060 erreicht werden.⁵⁸³ Zugleich gehen Prognosen davon aus, dass sich die Anzahl netzverbundener Geräte von 15 Mrd. im Jahr 2018 auf 46 Mrd. im Jahr 2030 verdreifachen wird.⁵⁸⁴

Insgesamt zeigt sich in den letzten Jahren eine Verlagerung des IT-Energiebedarfs von den privaten Haushalten in den GHD-Sektor, was unter anderem mit der vermehrten Nutzung von Cloud-Infrastruktur und -diensten (z. B. Streaming) sowie effizienteren Endgeräten im Zusammenhang steht. Prognosen gehen davon aus, dass Videostreaming bis zu 82 Prozent des gesamten Internetverkehrs im Jahr 2020 ausmachen wird.⁵⁸⁵ Der Anteil könnte sogar noch höher ausfallen, da die gestiegene Nutzung digitaler Technologien infolge der Corona-Krise bei der Prognose noch nicht berücksichtigt wurde. Im Zuge der Krise ist insbesondere die Nutzung von Videokonferenzen rasant gestiegen. Wie eine repräsentative Umfrage unter bayerischen Unternehmen zeigt, werden Videokonferenzen derzeit von rund 64 Prozent der Unternehmen genutzt, bei 28 Prozent ist der Einsatz in Planung. Ein Jahr zuvor waren es nur 26 und 13 Prozent.⁵⁸⁶

580 Prognos / vbw, 2020, S. 309

581 Fraunhofer ISI et al., 2020

582 Kamiya, 2020

583 IEA, 2017

584 Paul et al., 2019

585 Cisco, 2018

586 vbw / GMS, 2020

Kasten 36

Innovationsfeld: Building & City Information Modeling (BIM / CIM)

Im Bereich Planen und Bauen, insbesondere unter Berücksichtigung stadtplanerischer Aspekte, wird die Einführung von City Information Modeling (CIM) ein wichtiger Bestandteil für zukünftige Stadt-, Raum- und Regionalplanung in Bayern sein. Vorbild für CIM ist Building Information Modeling (BIM), das sich vor allem mit der Gebäudeebene auseinandersetzt; dies wird durch CIM in den Stadt-, Infrastruktur- und Regionalkontext übertragen. Bisher haben weltweit nur wenige Städte in Ansätzen CIM umgesetzt; hier könnten bayerische Kommunen und Behörden zum Vorreiter zu werden.⁵⁸⁷

Als umfassende digitale Werkzeugpalette kann CIM sowohl in der Neuplanung als auch in der digitalen Bauwerks- und Infrastrukturerfassung im Bestand zukünftig immer stärker dabei unterstützen, die Komplexität der gebauten Umgebung und deren Prozesse handhabbar zu machen, Planungs- und Bauprozesse zu verbessern, Ressourcenverbräuche datengestützt zu minimieren oder auch Transparenz und Akzeptanz bei langfristigen Bauprojekten zu schaffen.

Erste Ansätze dafür bestehen bereits: Das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen und für Heimat befliegt in regelmäßigen Abständen den Freistaat und leitet aus den Aufnahmen bereits 3D-Kubaturen der Bauwerke ab, sodass ein Großteil Bayerns über den BayernAtlas als 3D-Modell bereits frei verfügbar ist.⁵⁸⁸ So hat die Kleinstadt Grafing ihr 3D-Stadtmodell schon mit weiterführenden Daten, unter anderem dem Haushaltsplan, zur Bürgerinformation hinterlegt.⁵⁸⁹ Einen Schritt weiter geht das nationale Leuchtturmprojekt „Connected Urban Twins“ (Kasten 42, Seite 298) der Städte München, Hamburg und Leipzig seit 2020. Hierbei baut jede Stadt einen digitalen Zwilling mit unterschiedlichen Schwerpunkten auf. Die bayerische Landeshauptstadt München beschäftigt sich hierbei vor allem mit innovativer integrierter Stadtentwicklung.⁵⁹⁰

In Zukunft könnte der verstärkte Einsatz von City Information Modeling unter Einbeziehung der verschiedenen urbanen Prozesse und Stoffströme, wie z. B. Abfall, Wasser, Material, es bayerischen Kommunen erleichtern, nicht nur stadtteil-, sondern auch interkommunale Planungen voranzutreiben. Beispielhaft könnten durch hinterlegte Zielkriterien bei städtebaulichen Planungen das Potenzial zur Umsetzung einer klimaneutralen Stadt steigen sowie Potenziale von nicht genutzten Dach- und Fassadenflächen für verschiedenen Anwendungsfälle, wie urbane Lebensmittelproduktion oder Solar- oder Windenergie, identifiziert werden.⁵⁹¹

07.4.2 Ergebnisse der Haushalts- und Unternehmensbefragung hinsichtlich einer klimaneutralen Wirtschaft und Gesellschaft

Das von der Politik zunehmend verfolgte Ziel einer dekarbonisierten Gesellschaft und Wirtschaft erfordert von allen Akteuren noch sehr viel Konkretisierung und Operationalisierung. Während klimagerechtes Wirtschaften und das Erreichen von definierten CO₂-Zielen aktuell für 41 Prozent der befragten Unternehmen von großer oder sehr großer Bedeutung ist, so steigt die erwartete Relevanz mit dem zeitlichen Betrachtungshorizont. 62 Prozent der Unternehmen schätzen die Bedeutung des Themas bis in fünf Jahren als groß oder sehr groß ein. Mit dem Blick auf einen Zeitraum von zehn Jahren rechnen 71 Prozent der teilneh-

587 Schwimmer, 2020

588 BayernAtlas, 2021

589 Grafing, 2021

590 LHM, 2019, LHM, 2020

591 Schaufler / Schwimmer, 2020

menden Unternehmen damit, dass klimagerechtes Wirtschaften eine hohe oder sehr hohe Bedeutung für sie haben wird. Lediglich 13 Prozent gehen davon aus, dass betriebliche Anpassungen im Sinne der Nachhaltigkeit zu Beginn des nächsten Jahrzehnts für sie keinen oder lediglich einen geringen Stellenwert haben werden.

Klimaneutralität

Bei der Erreichung der klimapolitischen Ziele leisten auch klimafreundliche Konzepte und Betreibermodelle von neu errichteten oder angemieteten Immobilien einen wesentlichen Beitrag (siehe auch Kapitel 07.3.1). 71 Prozent der Unternehmen stimmen der Aussage zu oder eher zu, dass bei Standortentscheidungen sowie bei Neubauprojekten auf entsprechende Ansätze geachtet wird. Auch einer konsequenten Weiterentwicklung der Bestandsgebäude im Sinne der Klimaneutralität und Ressourceneffizienz stehen die Unternehmen in Bayern mehrheitlich positiv gegenüber. Insgesamt stimmen 59 Prozent der Unternehmen der Aussage zu oder eher zu, solche Maßnahmen konsequent voranzutreiben, während sich lediglich 19 Prozent der Unternehmen dies nicht oder eher nicht vorstellen kann. Insgesamt zeigen sich die Unternehmensvertreter bei Klimamaßnahmen im Bestand zurückhaltender als bei neuen Immobilien. Die allgemeine Tendenz zur Beachtung klimaneutraler und ressourceneffizienter Baustrukturen von Unternehmen prägt die Bauwirtschaft der Zukunft und führt langfristig zu veränderten Nachfragestrukturen in Bezug auf Baumaterialien und Flächennutzungsmodelle (siehe 03.2.2).

Bei der Neuplanung und Nutzung von Unternehmensimmobilien, die kurzzyklisch gebaut, das heißt schnell und unkompliziert rückgebaut werden können, und ebenso maximal ökologisch rückbaubar konzipiert sind, wird im Rahmen der Erhebung kein eindeutiges Meinungsbild sichtbar. 49 Prozent geben an, diese Prinzipien in zukünftigen Bauprojekten (eher) zu berücksichtigen, während dies allerdings auch für 38 Prozent der Betriebe keine oder eher keine Rolle spielt.

Smarte Technologien

Anders verhält es sich mit der Relevanz des Einsatzes smarterer Technologien bei Anmietung oder Neubau von Unternehmensgebäuden. Sensoriken, Informationstechnologien und neue Software eröffnen in den kommenden Jahren neue Möglichkeiten, Gebäude zu betreiben, Verbräuche zu steuern und zugleich eine hohe Aufenthaltsqualität für Beschäftigte zielgenau bereitzustellen. Laut der Unternehmensumfrage teilt die Mehrheit der Befragten diese Auffassung, obwohl die Wirkungen auf die THG-Bilanz einzelfallabhängig sind. 65 Prozent der Befragten stimmen eher zu / stimmen zu, dass sie in den kommenden Jahren konsequent auf den Einsatz smarterer Technologien bei der erstmaligen Nutzung von Immobilien (Anmietung oder Neubau) achten werden. 66 Prozent werden auch bei der Nachrüstung im Bestand oder Sanierungen auf den Einsatz smarterer Technologien achten, um Nutzungskomfort, Auslastung und Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Generell spielt der Einsatz smarterer Technologien über alle Branchen hinweg eine wesentliche Rolle bei der zukünftigen Planung von Unternehmensstandorten. Unterschiede zwischen den Branchen sind aus den Umfrageergebnissen nicht ersichtlich.

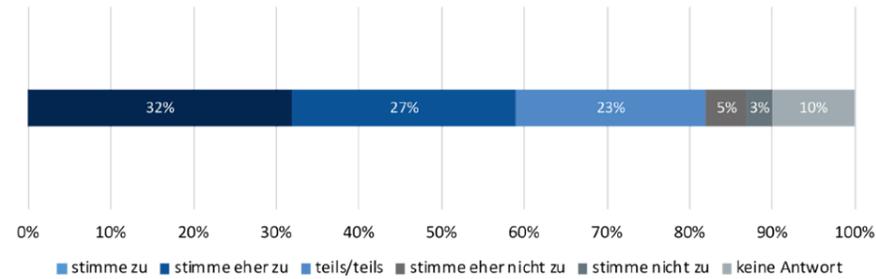
Allerdings zeigt die Unternehmensbefragung einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Unternehmensgröße und dem Einsatz smarterer Technologien bzw. weist darauf hin, dass der Einsatz eine große Rolle im Unternehmen spielt: Je größer ein Unternehmen, desto eher möchte es zukünftig auf den Einsatz smarterer Technologien achten. Mit Abnahme der Unternehmensgröße sinkt auch die Bedeutung von smarten Technologien bei Nachrüstungen oder Neuansmietungen. Dieser Zusammenhang kann unter anderem auf einen erweiterten Wissenspool über den Einsatz smarterer Technologien in größeren Unternehmen und höhere finanzielle Mittel zur Umsetzung zurückgeführt werden.

Der Einsatz smarterer Technologien setzt größtenteils digitale Planungsdaten voraus. Bislang gibt es bei der Digitalisierung und der digitalen Erfassung von Gebäuden große Unterschiede in den Unternehmen. 27 Prozent der Unternehmen geben an, dass von ihren Gebäuden keine digitalen Planungsdaten, Gebäudemodelle oder Daten aus einer Gebäudesteuerung existieren. Bei einem vergleichbaren Anteil (27 Prozent) wiederum ist über alle Gebäude hinweg eine vollständige oder zumindest teilweise Digitalisierung erfolgt (Abbildung 73).

Abbildung 73

Unternehmensumfrage: Einsatz smarter Technologien in Unternehmen

Bei Anmietung und Neubauten für unser Unternehmen achten wir in den kommenden Jahren konsequent auf den Einsatz smarter Technologien (z. B. im Facility Management).



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Auch die Haushaltserhebung bestätigt den hohen Stellenwert der Nachhaltigkeit als Anforderung für ein zukunftsorientiertes Bauen. Bei der Frage, an welchen Attributen sich Planen und Bauen zukünftig orientieren sollten, geben 37 Prozent der Befragten an, dass Wohnen zukünftig nachhaltig geplant werden sollte. Diese Anspruchshaltung und die Sensibilisierung für die klimatischen Einflüsse des Bau- und Immobiliensektors nehmen mit zunehmendem Alter der Befragten noch weiter zu. So haben in der Gruppe der 60- bis 65-jährigen Personen 45 Prozent das entsprechende Attribut gewählt.

Betriebliche Fahrten und Arbeitswege als Stellschraube für eine klimaneutralere Wirtschaft

Neben dem Einfluss von Gebäuden und der physischen Infrastruktur als Klima- und Emissionsfaktor, müssen auch räumlich wirkende betriebliche Prozesse wie Dienstreisen oder Wirtschaftsverkehre in Betracht gezogen. Zwar sagen aktuell 52 Prozent der befragten Unternehmen, dass ein Wandel hin zu einer emissionsreduzierten Mobilität heute noch keine oder nur eine geringe Rolle für sie spielt. Immerhin 39 Prozent der Unternehmen gehen jedoch davon aus, dass das Thema bis in fünf Jahren für sie relevant oder sehr relevant sein wird. Bei einem Betrachtungsraum von zehn Jahren fällt dieser Wert mit 58 Prozent noch höher aus. Gleichsam dazu gaben 56 Prozent der Unternehmen an, dass ein hoher oder eher hoher Handlungsbedarf besteht, um die betriebliche Mobilität nachhaltiger zu gestalten.

Hinsichtlich der Rolle von Dienstwägen und Geschäftsfahrzeugen zeigt sich auf Unternehmensseite die mehrheitliche Erwartung, dass diese künftig nur dann einen Anreiz für Mitarbeitende bieten, wenn sie Zugang zu neuen, nachhaltigen Antriebstechnologien ermöglichen.

Kasten 37

Best Practice: Siemens-Konzernzentrale in München – Leuchtturmprojekt für innovatives und nachhaltiges Bauen

Siemens, der führende Technologiekonzern mit Fokus auf Industrie, Infrastruktur und Mobilität, eröffnete 2016 seine neue Konzernzentrale in München. Schwerpunkt des Bauprojekts stellte die Umsetzung eines nachhaltigen und zukunftsfähigen Gesamtkonzepts mit einer flexiblen Arbeits- und Bürowelt dar.

Die Siemens AG versteht sich als Vorreiter bei der Entwicklung von Innovationen im Bereich Smart Building und Umweltschutz. Diese technischen Entwicklungen sollten sich auch in der neuen Konzernzentrale in München widerspiegeln. Das Gebäudemanagementsystem Desigo ermöglicht die Koordination von Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik und analysiert den täglichen tatsächlichen Energiebedarf durch Beleuchtung, Beschattung, Präsenzmelder, Tageslicht- und CO₂-Sensoren. Ziel ist die bestmögliche

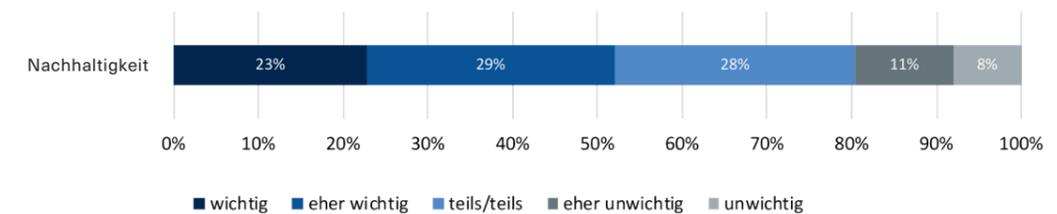
Anpassung der Infrastruktursysteme an die Arbeitsumgebung. Optimiert wird das System durch die Energieeffizienzregulation RoomOptiControl.

Zusätzlich wurde ein Gefahrenmanagementsystem in die Konzernzentrale integriert, um die Sicherheit für Besucher*innen und Mitarbeiter*innen zu erhöhen. Die Bürostruktur ist von einem hohen Maß an Funktionalität geprägt. Kreativprozesse sollen durch offene und transparente Baustrukturen gefördert und der interdisziplinäre Austausch zwischen Mitarbeiter*innen gestärkt werden. Durch die Umsetzung eines gesamtheitlichen nachhaltigen Konzepts mit dem Einsatz neuer Technologien und der Bereitstellung einer produktivitätssteigernden Arbeitsumgebung entspricht die Siemens-Zentrale in München einem Vorzeigebispiel für nachhaltiges Planen und Bauen.

Abbildung 74

Haushaltsumfrage: Relevanz des Aspekts der Nachhaltigkeit bei der Wahl der Verkehrsmittel für die Fahrt zur Arbeitsstätte

Wie wichtig ist der Aspekt der Nachhaltigkeit bei der Wahl des Verkehrsmittels für die Fahrt zur Arbeitsstätte?



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Auf Seiten der Arbeitnehmer*innen bzw. pendelnden Personen ergibt sich ein anderes Bild (Abbildung 74). Dort führten, entgegen der Sichtweise der Unternehmen, 52 Prozent der Haushalte an, dass das Thema Nachhaltigkeit bei der Verkehrsmittelwahl des Arbeitswegs eher wichtig ist. Auch gaben 30 Prozent der Befragten Pendler*innen an, weitere Strecken zwischen Wohn- und Arbeitsort in Betracht zu ziehen, wenn für diese Strecken sinnvolle und nachhaltige Mobilitätsangebote existieren würden. Aus planerischer Sicht ist hier die Radwegeinfrastruktur zu bedenken, da diese die am häufigsten genannte Bedingung für den Wechsel auf das emissionsfreie Fahrrad als Pendelmittel ist. Mit 45 Prozent gab dies die Mehrheit der befragten Personen an.

07.4.3 Zwischenfazit

Der voranschreitende Bewusstseinswandel und der parteiübergreifende politische Konsens über die Notwendigkeit der Dekarbonisierung lassen sich an konkreten umwelt-, verkehrs- und wirtschaftspolitischen Maßnahmen, an Anforderungen von Verbrauchern, aber auch an Erwartungen von Mitarbeitern gegenüber ihrem Unternehmen erkennen. Viele Unternehmen setzen ihrerseits schon seit Langem auf Nachhaltigkeit, sowohl bei den Prozessen als auch den Produkten. Für sie ist besonders relevant, dass es auf der Abnehmerseite sowie bei den Fachkräften entsprechend honoriert wird.

Einflussmöglichkeiten und Handlungsbereiche für nachhaltigeres Wirtschaften reichen von emissionsparenden Bauweisen, einer effizienten Gebäudesteuerung, einer nachhaltigeren Gestaltung der betrieblichen Mobilität bis hin zu flexibleren Arbeitsformen, die mit weniger Flächen oder örtlicher Präsenz auskommen. Ausbleibendes oder zögerndes Handeln und die unzureichende Verankerung von Nachhaltigkeitsbestrebungen in einer längerfristigen strategischen Ausrichtung können zu bleibenden Kosten- und Wettbewerbsnachteilen führen. Die Erhebungsergebnisse zeigen, dass viele der befragten Unternehmen heute schon, aber insbesondere auch langfristig klare Bezüge sehen, was eine Ausrichtung des eigenen Geschäftsmodells an Prinzipien der ökologischen Nachhaltigkeit betrifft.

Voraussetzung hierfür ist, dass die Unternehmen auf entsprechende Konzepte und Lösungen in der Bauwirtschaft zurückgreifen können und dass infrastrukturelle Gegebenheiten geschaffen werden, um alternative und klimaverträglichere Formen des Wirtschaftens und der Mobilität etablieren zu können.

Kasten 38

Innovationsfeld: Integrierte und klimaneutrale Quartiersplanung

Im Kontext von Planen und Bauen und der Erreichung der Klimaschutzziele durch Innovationen rückt die Handlungsebene des Quartiers immer stärker in den Fokus. Während die Gebäudeebene direkten Einfluss auf Energie- und Ressourcenverbräuche der Nutzer haben kann, werden funktionale Prozesse zu Mobilität, Konsum, Freizeit, Nutzerverhalten oder Ernährung in der Nutzung noch selten ganzheitlich betrachtet.⁵⁹² Gemäß den Klimaschutzziele sollten heute und zukünftig entstehende Quartiere bereits so angelegt sein, dass dort ein klimaneutrales Leben und Arbeiten möglich sein wird – nicht zwingend in der ersten Nutzungsphase, aber aufgrund der langen Lebenszyklen der gebauten Infrastruktur und Umgebung spätestens im Zeitraum bis 2050.

Eine sektorübergreifende Planung, die in frühen Phasen bereits spätere Effekte beispielsweise im Bereich einer CO₂-neutralen E-Mobilität, eines späteren dezentralen Areal Grid im Energiemanagement oder im Bereich der Versorgung, berücksichtigen und simulieren, ist dabei erfolgsentscheidend. Hierbei kann die „strategische Vorrüstung“ einer Immobilienentwicklung von den Grundrissen, der Architektur, den Fassaden, der Infrastruktur, den öffentlichen Räumen und nicht zuletzt bis hin zu neuen Geschäftsmodellen in den entwurfsbezogenen Leistungsphasen 1–3 (gemäß HOAI) von hoher Relevanz sein. Eine konkrete Fragestellung ist beispielsweise der Umgang mit Stellplätzen und Tiefgaragen angesichts der Perspektive, dass im Rahmen der Verkehrswende bis 2050 zukünftig mehr Mobilitätsdienstleistung und weniger Individualmobilität entstehen wird: Dennoch definieren starre Stellplatzschlüssel in vielen Städten und Gemeinden noch den baulichen Bedarf von kostenintensiven Tiefgaragen.

Gleichzeitig spielt dabei eine anpassbare E-Lade- und Speicherinfrastruktur, die auf steigende Lastspitzen intelligent und wirtschaftlich reagieren kann, eine wesentliche Rolle.⁵⁹³ Solche Aspekte gilt es frühzeitig im Rahmen integrierter Planungsprozesse zu berücksichtigen, was auch neue Kollaborationen zwischen Investoren, Planern, Forschung und Verwaltung erfordert. Technologien und Infrastrukturen in gebauten Umgebungen werden zukünftig flexibler, was wiederum ein Vorausdenken zukünftiger Ausbaustufen und Betriebsszenarien bedingt.

Auch der Umgang und die gemeinwohlorientierte Verwertung entstehender Betriebs- und Nutzungsdaten in zukünftigen smarten Gebäuden und Quartieren sollte zunehmend im Rahmen der Digitalisierung bedacht werden. Internationale Best Practices wie das Innovationsquartier Strijp/S⁵⁹⁴ in Eindhoven stellen vorhandene Daten zu Energie, Mobilität, Verbrauch exklusiv für ansässige Start-ups als „Open Data“ zur Verfügung, sodass durch digitale Services ein eigenes Datenökosystem entstehen kann. Ebenfalls in den Niederlanden demonstriert das Vorhaben ReGen Villages⁵⁹⁵ bei Almere, wie Plusenergiehäuser, quartiersintegrierte Lebensmittelherstellung, Kreislaufkonzepte und eine dezentrale Wasserinfrastruktur technologisch einen Paradigmenwechsel ermöglichen.

Für Bayern wegweisende Modellprojekte, entsprechenden Wissenstransfer und die passenden Rahmenbedingungen und Anreize für die Skalierung in der Praxis von Planen und Bauen zu realisieren, kann helfen, integrierte und sektorübergreifende Planungsprozesse als Schlüssel für klimaneutrale Quartiere und Lebensräume in Stadt und Land zu ermöglichen.

⁵⁹² Fraunhofer Gesellschaft Morgenstadt Initiative, 2021

⁵⁹³ Fleischmann et al., 2020

⁵⁹⁴ TU Eindhoven (2021)

⁵⁹⁵ ReGen Villages, 2021

7.5 Infrastrukturelle Veränderungen durch den technologischen Wandel in der Mobilität

07.5.1 Impulse aus einer Meta-Analyse im Hinblick auf Mobilitätstrends und neue Infrastrukturbedarfe

Mobilität ist ein Grundbedürfnis der heutigen Gesellschaft. Sie ermöglicht die Teilhabe am öffentlichen und gesellschaftlichen Leben. Die freie Erreichbarkeit von vielerlei Orten spielt eine große Rolle für den modernen Alltag. Um dieses Grundbedürfnis zu befriedigen, entstehen verschiedene Anforderungen an urbane Zentren und ländliche Räume. Wie zuvor dargestellt, ist Mobilität in ihrer Wirkung auf Planen und Bauen ein Querschnittsthema mit Bezug auf weitere Themen, wie z. B. die Infrastruktur, das Arbeiten und Wohnen (Pendeln), die Logistik, die Gestaltung von Verkehrsträgern, Fahrzeugen und Antrieben, aber auch die Stadtgestaltung, Flächennutzung und die Themenfelder der Nachhaltigkeit oder Digitalisierung.

Neue Mobilität als Treiber für infrastrukturelle Veränderungen und neue Anforderungen an das Planen und Bauen

Beim Aufkommen automatisierter und autonomer Fahrzeuge, neuer Fahrzeugklassen und Mikromobilitätsformen oder auch perspektivisch durch Flugtaxis im interurbanen Transport sollten mögliche Infrastrukturauswirkungen und Pfadabhängigkeiten in der Planung nach Möglichkeit vermieden oder reduziert werden, insbesondere angesichts einiger noch technologieoffener Entwicklungen, wie beispielsweise in der innerstädtischen Mobilität.

Innovation auf der Straße als dominantem Verkehrsträger

Der motorisierte Individualverkehr (MIV) als mit Abstand meistgewähltes Verkehrsmittel in der straßengebundenen Mobilität nimmt wesentlich Einfluss auf die infrastrukturelle und städtebauliche Gestaltung. Auch wenn zwar zunehmend mehr alternative Mobilitätsangebote bestehen, ist die MIV-Nutzung, gemessen am prozentualen Anteil zurückgelegter Personenkilometer, über die letzten Jahre weitgehend konstant geblieben. In der aktuellen Fassung der vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVi) durchgeführten Erhebung „Mobilität in Deutschland“ (MiD) aus dem Jahr 2017 hatten MIV-Fahrer und Mitfahrer einen Anteil von 57 Prozent am gesamten Modal Split. Diese Entwicklung setzt die Tendenzen aus den Erhebungen der Jahre 2002 (41 Prozent MIV-Fahrer) und 2008 (40 Prozent) fort.⁵⁹⁶ Das Automobil unterliegt dabei aktuell einem starken Wandel. Ausgehend von technologischen Entwicklungen, der Elektrifizierung, Automatisierung sowie Vernetzung zukünftiger Fahrzeuge durchläuft die globale Automobilindustrie derzeit ihre bis dato größte Transformation, an der auch zahlreiche bayerische Unternehmen teilhaben.

Mit der Elektrifizierung des Verkehrsträgers „Straße“ sind aus baulicher und planerischer Sicht vor allem notwendige Ladeinfrastrukturen zu bedenken. Die Notwendigkeit einer ausreichenden Anzahl und Dichte an Lademöglichkeiten gilt nach wie vor als Schlüsselfaktor für eine breite Akzeptanz dieser neuen Antriebsform. So sollten Ladeinfrastrukturen nicht nur im Außenraum platziert, sondern es sollten auch im Gebäudeinnenraum (z. B. Parkhäuser, private Garagen) relevante Ladeplätze vorgesehen werden. Im Kontext von Güterverkehren ist es von besonderer Relevanz, dort Ladeinfrastrukturen bereitzustellen, wo diese Verkehre vorzufinden sind. Dies betrifft in erster Linie Autohöfe und Autobahnraststätten sowie Betriebshöfe bzw. Logistikzentren in Gewerbegebieten. Da sowohl Stellplatz- als auch Ladekapazitäten auf den Betriebshöfen häufig nicht ausreichen, muss Ladeinfrastruktur öffentlich auch außerhalb der Betriebshöfe im Gewerbegebiet zur Verfügung gestellt werden.⁵⁹⁷ Im Gegensatz zur batterieelektrischen Mobilität spielt beim Langstreckengüterverkehr mit Lkw auch die Wasserstoffmobilität eine entscheidende Rolle. Dies steht in direktem Zusammenhang mit Tank- bzw. Ladezeit und Gesamtfahrzeuggewicht und Zuladung.⁵⁹⁸

⁵⁹⁶ BMVi, 2020

⁵⁹⁷ Klausmann et al., 2021

⁵⁹⁸ Vgl. diesbezüglich zu einzelnen Aspekten auch Prognos, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft, 2020

Aus planerischer und baulicher Sicht ergeben sich dementsprechend Anforderungen an den Gebäudenetzanschluss und den Brandschutz und an die gegebenenfalls noch zu schaffenden bzw. anzupassenden rechtlichen sowie energetischen Voraussetzungen. Auch im Bereich der Neubauten und Immobilienertüchtigung ist eine entsprechende Flexibilität erforderlich, beispielsweise durch das Vorhalten von Leerrohren und eines Ladeplatz-Verteilungsschlüssels nach Gebäudegröße und -nutzung. Mit Einführung des Gebäude-Elektromobilitätsinfrastrukturgesetzes (GEIG) findet dies bereits Berücksichtigung im rechtlichen Rahmen aktueller Bauvorhaben. Weitere Aspekte bei Privatimmobilien und Eigenheimen können die Kopplung der Fahrzeuge mit der eigenen Stromerzeugung und dezentralen Speichersystemen sein. Für vernetzte Fahrzeuge sind zunächst weniger bauliche und planerische Aspekte zu beachten. Eine Konnektivität mit diversen Verkehrsinfrastrukturen (z. B. Ampelanlagen, Mautstationen) sollte perspektivisch jedoch mitgedacht werden. Insbesondere im Gebäudeinnenraum und bei unterirdischen Parkanlagen kann es außerdem zusätzlich erforderlich werden, lokale Funknetze aufzubauen, welche Automotive-konformen Standards genügen. So kann es vorkommen, dass mittels gebräuchlicher Mobilfunknetze (z. B. 4G, 5G) oder anderer Fahrzeugfunknetze (z. B. ITS-G5) dort keine ausreichende Abdeckung und Bandbreite gewährleistet werden können, um alle zukünftig notwendigen Funktionen eines vernetzten Fahrzeugs zu bedienen. Möglichkeiten bieten sich hier jedoch durch gebäudeeigene Funknetze und energiesparende Technologien. Hierzu zählt beispielsweise der Datenübertragungsstandard LoRaWan, mit dem eine Vernetzung von Geräten und Infrastrukturen mit geringeren Datenraten realisiert werden kann.

Vor dem Hintergrund des Aufkommens von automatisierten und autonomen Fahrzeugen ist der Aspekt der Übertragungsraten aus infrastruktureller sowie straßen- und gebäudeplanerischer Sicht ebenfalls eher weniger zu berücksichtigen. Da autonomes Fahren perspektivisch unabhängig von der Systemumgebung ist und im Idealfall die gesamte Verarbeitung der Fahrzeugsensordaten innerhalb des Fahrzeugs funktionieren sollen, ergeben sich für die benötigte Infrastruktur weniger Implikationen, jedoch neue städtebauliche Gestaltungsoptionen, beispielsweise durch geringere Parkraumbedarfe in den Zentren oder Straßen, die nicht auf die Bedürfnisse menschlicher Fahrer*innen ausgelegt sein müssen, wie eine ausreichende Sicht in Kurven.⁵⁹⁹

Urbane Mobilität als städtebaulicher Transformations-treiber

Besonders in größeren Städten spielen die flexible Nutzung sowie die Kombination von verschiedenen Verkehrs- und Transportmitteln eine wichtige Rolle. Die Zunahme an privaten Pkw übt verstärkt Druck auf die Verkehrsinfrastruktur

sowie auf den Parkraumbedarf aus. Daneben rücken alternative Mobilitätsoptionen und Verkehrsmittel zunehmend in den Vordergrund. Innenstädte sind attraktiv, wenn sie komfortabel erreichbar sind. Dieser Komfort, der oftmals durch die Priorisierung des motorisierten Individualverkehrs entsteht, mindert allerdings die Aufenthaltsqualität und Begehbarkeit der öffentlichen Räume. In diesem Spannungsfeld prüfen Innenstädte die Entlastung des städtischen Verkehrs durch zukunftsfähige ressourcenschonende und individuelle Mobilitätskonzepte, die insbesondere darauf abzielen, ein intelligentes Mit- und Nebeneinander unterschiedlicher Verkehrsmittel zu gewährleisten.⁶⁰⁰

Sowohl das Zu-Fuß-Gehen als auch das Fahrrad sind sehr etablierte Fortbewegungsmittel und haben in den vergangenen Jahren wieder an Beliebtheit gewonnen, aber auch der Mikromobilität kommt in der Nahmobilität eine besondere Bedeutung zu. Die Mikromobilität umfasst dabei alle motorisierten Verkehrsmittel unterhalb des Kleinstwagen-Segments, zu denen beispielsweise der Smart oder der Fiat 500 zählen.

Ein prominenter und noch verhältnismäßig junger Vertreter dieser Kategorie sind die E-Kickroller im Straßenverkehr, über deren Zulassung im Jahr 2018 eine große Debatte begann. Seit Mitte 2019 besteht eine entsprechende Verordnung. Dort ist geregelt, dass die Nutzungsflächen der zulassungsfähigen Mikromobile Radwege bzw. Straßen sind.⁶⁰¹ Bundesweit erstmalig erprobt wurden die elektrisch unterstützten Tretroller im fränkischen Bamberg, wo zunächst 15 Fahrzeuge des Leih-Anbieters „Bird“ ab März 2019 in einem Forschungsprojekt der Universitäten Bamberg und Weimar getestet wurden. Die Einführung und der öffentliche Diskurs rund um die neuen Kleinstfahrzeuge versinnbildlichen die Herausforderungen von neuen Mobilitätsformen, die nicht ins Raster bestehender verkehrlicher Infrastrukturen passen und Nutzungskonflikte im öffentlichen Raum zur Folge haben können. Die Infrastrukturplanung muss sich diesen zukünftigen Unabwägbarkeiten durch eine adaptivere und flexiblere Raumgestaltung stellen.⁶⁰²

Der öffentliche Personennahverkehr steht vor einem ähnlichen Umbruch wie der motorisierte Individualverkehr. Große Potenziale zeigen sich zukünftig im Bereich autonomer Fahrdienstleistungen. In einer Studie des Digital-Branchenverbandes Bitkom wurden die Teilnehmer*innen dazu befragt, ob die Nutzung ausgewählter autonomer Fahrzeuge vorstellbar wäre. Gegenüber derselben Abfrage aus dem Jahr 2018 hat sich die Zustimmung für den Bus von 38 Prozent auf 56 Prozent erhöht.⁶⁰³ Die zukunftsweisende Rolle, die die Elektrifizierung auch im ÖPNV spielen wird, ist hingegen bereits heute sichtbar. Doch auch hier ergeben sich hinsichtlich der Elektrifizierung von Omnibusflotten noch viele Unwägbarkeiten. Seitens der Münchener

⁵⁹⁹ Stegmüller et al., 2019; Braun et al., 2019

⁶⁰⁰ Henzelmann et al., 2017

⁶⁰¹ BMJV, 2019

⁶⁰² Braun et al., 2019; Nordbayern, 2019

⁶⁰³ Rohleder, 2021

Verkehrsgesellschaft (MVG) wird angestrebt, alle Buslinien bis zum Jahr 2030 vollständig elektrisch bedienen zu können. Allerdings sind hierfür entsprechende Reichweiten von etwa 280 Kilometer auch für größere Gelenkbusse und zu allen Witterungsbedingungen vonnöten. Die MVG bringt sich über Innovationspartnerschaften mit den Herstellern aktiv in die Entwicklung ein. Auch die Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg (VAG) plant den Aufbau eines Ladehafens für 39 Elektro-Busse, um die eigene, stetig wachsende Flotte elektrischer Linienbusse zu versorgen. Das Thema Elektrifizierung spielt auch beim schieneengebundenen Verkehr für den Ausbau des Netzes mit Oberleitungen eine zentrale Rolle. Im Freistaat Bayern wurde hierzu unlängst der Streckenabschnitt zwischen München und Lindau elektrifiziert, doch trifft dies dem aktuellen Stand zufolge auf lediglich etwa 50 Prozent aller Bahnstreckenkilometer zu.⁶⁰⁴

Eine Sonderform der straßengebundenen Personenbeförderung sind betriebliche Mitfahrmodelle oder betrieblich organisierte Firmenbusse, deren Nutzung ausschließlich Mitarbeiter*innen der jeweiligen Unternehmen vorbehalten ist. Dieses Angebot dient dazu, Mitarbeitern eine komfortable, direkte und somit zeitsparende Verbindung zwischen Wohn- und Arbeitsort mit Option zur Laptoparbeit zu ermöglichen. Verkehrsbetriebe müssen das bestehende Angebot um bedarfsgesteuerte und flexibel nutzbare Angebote wie Rufbusse erweitern. Dies trifft insbesondere auf den ländlichen Raum zu.

Neben diesen grundlegenden Punkten muss auch berücksichtigt werden, dass die Verkehrsunternehmen des ÖPNV in Zukunft umfassende Mobilitätsdienstleister sein werden, die nicht nur herkömmliche Verkehrsmittel wie Busse oder Straßenbahnen betreiben, sondern auch z. B. Bike-Sharing oder Tretroller-Konzepte anbieten.⁶⁰⁵ Gerade im ländlichen Raum besteht großes Potenzial für bedarfsgesteuerte Angebote, wie z. B. Rufbusse, die bereits zum Einsatz kommen (z. B. Hofer Landbus). Dies hat zur Konsequenz, dass neue Verknüpfungspunkte geschaffen werden, die den Umstieg auf die verschiedenen Verkehrsträger innerhalb einer Reisekette erleichtern.⁶⁰⁶ Einer der Erfolgsfaktoren der intermodalen Reiseketten und damit verbunden einem entsprechenden „All-In-One“-Ticketsystem wird hierbei in Zukunft eine wichtige Rolle zukommen.

Ein weiterer Punkt ist der schienengebundene ÖV, der insbesondere auf Landes- und Kommunalebene eine Vielzahl unterschiedlicher Akteure berücksichtigt und insgesamt Raum für Innovation bietet.

Kasten 39

Exkurs: Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Nutzung von Mobilitätsangeboten

Durch die Corona-Pandemie kam es zu einem deutlichen Einbruch der Fahrgastzahlen im ÖPNV, aber auch bei der Nutzung von Sharing-Angeboten. Laut einer Umfrage des Bitkom gaben z. B. 58 Prozent der Nutzer von Bussen und Bahnen im Nahverkehr an, diese Verkehrsmittel seltener zu nutzen. Lediglich ca. ein bis fünf Prozent gaben an, das entsprechende Verkehrsmittel häufiger zu nutzen. Ähnliche Werte zeigen sich im Bereich des Sharing. 86 Prozent der Befragten gaben dabei an, Verkehrsmittel mit vielen Fahrgästen fortan meiden zu wollen. Die generelle Zufriedenheit mit den Verkehrsmitteln und Angeboten fällt aber dennoch hoch aus.⁶⁰⁷

604 Storch, 2020

605 Digital-vernetzt-mobil, 2021

606 Deutschland mobil 2030, 2021

607 Bitkom, 2021

Der Luftraum als perspektivisch weiterer Verkehrsträger in der Alltagsmobilität

Abgesehen vom klassischen Flugzeug kommen Mobilitätsangebote, die sich im Luftraum bewegen, mit verhältnismäßig wenig baulichen Voraussetzungen aus. Ein Verkehrsmittel, für das es in diesem Zusammenhang mehr und mehr alltägliche Anwendungsfälle gibt, ist die Seilbahn, nicht zuletzt auch aufgrund einer möglichen ÖPNV-Integration. Seilbahnen können dabei einen verkehrlichen Bypass, Systemerweiterung, Anbindung von Gebieten mit punktuellen Verkehrsaufkommen oder ein eigenständiges Verkehrssystem darstellen.⁶⁰⁸ Ausgehend von international bekannten und etablierten Systemen in Lateinamerika, zeigen sich auch immer mehr europäische und deutsche Beispiele. Das Beispiel des weltgrößten urbanen Seilbahnnetzes in Bolivien zwischen den Städten La Paz und El Alto zeigt, wie hoch das Potenzial von Seilbahnen ist. Die Verfügbarkeit des Seilbahnnetzes liegt bei 99,3 Prozent, es ist durchschnittlich 17 Stunden pro Tag in Betrieb. Der Energiebedarf liegt dabei bei 0,33 kWh zur Beförderung je Person. Insgesamt schaffen die Seilbahnen eine Beförderung von bis zu 3.000 Personen pro Stunde und je Richtung. An Spitzentagen transportiert die Seilbahn bis zu 80.000 Menschen. Die Zeitersparnis für regelmäßige Pendler mit der Línea Amarilla liegt bei 17 Tagen pro Jahr. Auch in Bayern, genauer in München bestehen Pläne, eine urbane Seilbahn zu errichten. Zum einen gibt es Pläne, eine Seilbahn im Norden Münchens, am Frankfurter Ring, zu errichten, um eine schnelle und umstiegsfreie Direktverbindung zwischen dem Osten und dem Westen der Stadt zu gewährleisten.⁶⁰⁹ Die Stadt München erarbeitet derzeit eine Machbarkeitsstudie, welche die Potenziale und Machbarkeit der Seilbahn aufzeigen soll.⁶¹⁰ Weiter soll in einem neu geplanten Gewerbegebiet im Osten Münchens, „Munichs Green East“ genannt, ein zukunftsfähiger Wohn-, Büro- und Hotelstandort im Grünen geschaffen werden, an dem auf motorisierten Individualverkehr verzichtet und durch Mikromobilität und Seilbahnen ersetzt wird.⁶¹¹ Auch abseits der Landeshauptstadt gibt es schon länger ähnliche Pläne. In Regensburg ist die Seilbahn im aktuell entstehenden ÖPNV-Konzept „Regensburg 2040“ bereits als alternative Option integriert.⁶¹² Verkehrsexperten erwarten einen starken Anstieg urbaner Seilbahnen, die in zehn Jahren in einer Stadt als ganz normal gesehen werden.⁶¹³

Neben Seilbahnen wird weltweit an neuen und flexiblen Transportoptionen im Luftverkehr geforscht. Diese autonomen Flugtaxis als Trend zukünftiger Mobilität stellen ein Konzept für die Personenbeförderung, insbesondere auf Kurzstrecken, dar. Diese sollen vor allem der regionalen und überregionalen Vernetzung dienen.⁶¹⁴ Zusätzlich zum Personentransport bestehen auch zahlreiche weitere Visi-

onen für einen Einsatz von Flugtaxis im Gesundheits- und Rettungswesen, in der öffentlichen Ordnung, im Umweltschutz oder in der Industrie.⁶¹⁵ Es wird weiter davon ausgegangen, dass die autonomen Flugtaxis nicht mit Kerosin, wie sonst in der Luftfahrt üblich, sondern mit elektrischer Energie betrieben werden. Dadurch können diese Konzepte als umweltschonende und lokal emissionsfreie Fortbewegungsmittel angesehen werden, die sich auch für den Einsatz in urbanen Räumen eignen.

Die Entwicklungsaktivitäten für autonome Flugtaxis werden derzeit weltweit von mehreren Firmen getrieben. Aus bayerischer Sicht ist mit dem Start-up Lilium GmbH aus Oberpfaffenhofen ein junges Unternehmen in diesem Feld vertreten, das einen vielversprechenden Ansatz verfolgt. Lilium entwickelt aktuell ein mehrstrahliges Jet-System mit schwenkbaren Tragflächen (engl.: tilt-wing).⁶¹⁶ Ein weiterer bayerischer Akteur, der auf diesem Feld aktiv ist, zunächst in Kooperation mit Audi, mittlerweile eigenständig, ist der europäische Luftfahrtkonzern Airbus mit seinem Standort in Donauwörth.⁶¹⁷ Mit dem CityAirbus hat Airbus sowohl einen Multikopter als auch mit dem Vahana-Demonstrator ein Tilt-wing-Konzept in Erprobung.⁶¹⁸

Als Zustiegspunkte für die neuen Transportmittel können bestehende Flughäfen genutzt und an die neuen Flugkonzepte angepasst werden. Lilium präsentierte unlängst eine Vision des Flughafens Nürnbergs, der um eine Sonderfläche für Start, Landung und Passagierabwicklung der Lilium-Taxis erweitert werden soll.⁶¹⁹ Auch Start- und Landeplätze in zentraleren Lagen in Städten sind denkbar, wenn die Zugänglichkeit und mögliche Einflüsse auf die urbane Umgebung (Lärm, Flächenbedarf) berücksichtigt werden können.⁶²⁰ Für den sonstigen Luftverkehr (Passagier- und Güterflugzeuge) ergeben sich aus Sicht des Trendmanagements in der Mobilität keine relevanten Neuerungen, die infrastrukturelle Änderungen nach sich ziehen würden.

Neue und alternative Mobilität abseits etablierter Verkehrsträger

Neben laufenden Experimenten und Pilotierungen mit der Magnetschwebbahntechnologie⁶²¹ befindet sich ein weiterer zukunftssträchtiger Ansatz in Bayern in einer experimentellen Forschungsphase: der Hyperloop. Das Konzept eines Hyperloops ist ähnlich einem Hochgeschwindigkeitszug, der aus kapselartigen Passagierabteilen besteht und ein abgeschlossenes Luftröhrensystem anstelle eines herkömmlichen Schienennetzes zur Fortbewegung nutzt. In diesen evakuierten, luftleeren Röhren wird der Hyperloop mittels eines Magnetschwebemechanismus durch das sehr reibungsarme Funktionsprinzip elektromagnetischer Wirbelströme auf sehr hohe, konstante Geschwindigkeiten

608 Leitner AG, 2021

609 StMB, 2018a; StMB, 2018b

610 Stadt München, 2021b, MVG, 2021

611 CV Innovation Lab, 2021

612 Bayerischer Rundfunk, 2021

613 Business Insider, 2019

614 Thippavong, 2018

615 Duwe et al., 2019; Stegmüller et al., 2019

616 Lilium, 2021

617 Wimmelbucker, 2019

618 Airbus, 2021

619 Lilium, 2021

620 Duwe et al., 2019

621 TSB, 2021, Pluta, 2018

gebracht. Hyperloops können eine umweltfreundlichere Alternative zum inländischen Flugverkehr darstellen und für Langstrecken-Reisen zwischen Metropolen eingesetzt werden.⁶²² Seit der Entstehung und Publikation der Idee zum Hyperloopkonzept gibt es lediglich eine überschaubare Anzahl relevanter Akteure, die sich mit der konkreten Entwicklung eines praxistauglichen Ansatzes beschäftigen. Darunter vertreten ist mit der TUM Hyperloop auch eine Initiative aus München. Gestartet als studentisches Projekt an der Technischen Universität München, gewann dieses Team bereits viermal in Folge den SpaceX-Hyperloop-Pod-Wettbewerb gegen die gesamte internationale Konkurrenz. Im Juni 2020 gab das Team der TUM bekannt, als eigenständige Ausgründung an einem Hyperloop in Echtgröße und an einer bayerischen Teststrecke arbeiten zu wollen.⁶²³

Da Hyperloops, wie beschrieben, ein eigenständiges Röhrennetz benötigen und konzeptbedingt nicht auf einem bestehenden Schienennetzwerk betrieben werden können, sind aus infrastruktureller und planerischer Sicht einige Aspekte zu beachten. Die Abmessungen einer Hyperloop-Strecke sind laut Angaben des amerikanischen Unternehmens Virgin Hyperloop etwas günstiger als traditionelle Schienenstrecken. Die in Nevada, USA, errichtete Teststrecke des Unternehmens hat einen Röhrendurchmesser von 3,3 Metern und steht in regelmäßigen Abschnitten auf betonierten Stützpfählen in rund fünf Metern Höhe. So können laut Virgin Hyperloop Steigungen bis zu zehn Prozent überbrückt werden und die Kurvenradien dank geringer lateraler Kräfte um bis zu viereinhalbmal enger geplant werden als bei traditionellen Schienennetzen. Durch den gekapselten Transport und die Fortbewegung mittels Magnetschwebetechnik sind, im Vergleich zu herkömmlichen Bahnstrecken weniger Geräuschentwicklungen zu erwarten. Daher könnten aus baulicher Sicht relevante Schallschutzverbauungen reduziert werden und unter Umständen deutlich platzsparender Trassenverläufe realisiert werden. Jedoch existieren weltweit bisher nur drei kurze Teststrecken, weswegen genauere Implikationen für den Bau und die Planung von praxistauglichen Strecken wohl noch zu erarbeiten sind. Durch das Erfordernis einer gänzlichen neuen Infrastruktur ist hier jedoch mit hohen finanziellen und planerischen Aufwänden zu rechnen. Neben der reinen Streckenplanung ist aus infrastruktureller Sicht für kommende Hyperloopansätze ebenfalls der Bau und die Planung von entsprechenden Bahnhöfen bzw. Zustiegsstationen zu beachten. Ob und inwiefern diese Stationen mit bestehenden Bahnhöfen zu kombinieren sind, ist zum heutigen Zeitpunkt noch zu untersuchen. Aus Sicht der niederländischen Hyperloop Firma Hardt Hyperloop sollen Hyperloop Stationen modular zu gestalten sein und sich so sowohl in Stadtzentren als auch an Flughäfen oder anderen bestehenden Infrastrukturhubs integrieren lassen. Sicherlich sind hier auch Nachhaltigkeitsaspekte zu bedenken, für genauerer Untersuchungen und Erkenntnisse hierzu sind jedoch erste Realtests abzuwarten.

Während der Corona-Pandemie hat sich zudem gezeigt, dass sich viele wirtschaftliche und gesellschaftliche Strukturen auch mit einer deutlich geringen räumlichen Personenmobilität aufrechterhalten lassen. Ein wesentlicher Grund hierfür war und ist die ausgeprägte virtuelle Mobilität im privaten und geschäftlichen Bereich.

Virtuelle Mobilität wird als neue Form der Interaktion mit anderen Personen verstanden, die physische Reisen zum Teil ersetzen kann. So lassen sich verschiedene Fahrten oder Flüge im Rahmen von Geschäftsreisen vermeiden, indem dienstliche Besprechungen virtuell stattfinden und die Teilnehmer*innen sich von jedem beliebigen Ort einwählen können. Diese neue Form der Mobilität kann sich auf den realen Verkehr mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln auswirken, indem Arbeitsweisen z. B. durch den Wegfall ungenutzter Reisezeit effizienter werden. Damit kann virtuelle Mobilität die Betrachtung des Mobilitätsverhaltens erweitern. Eine Verbreitung der virtuellen Mobilität wird erst durch aktuelle Fortschritte in Bereichen der Informations- und Telekommunikationstechnologie (IKT) sowie der Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) ermöglicht. Natürlich haben auch der durch die Corona-Pandemie beschleunigte Wandel der Arbeitswelt (Kapitel 07.2.1) und der generelle Digitalisierungstrend hier einen entscheidenden Einfluss.

Eine zunehmende Nutzung des Internets für Alltägliches wie Einkäufe, Finanzen, Unterhaltung und Kommunikation wird perspektivisch ebenfalls einen Wandel in unserem Mobilitätsverhalten bedingen. Einen Schritt weitergedacht, kann virtuelle Mobilität auch als Verbindung physischer Mobilität mit erweiterten Realitäten (z. B. Augmented Reality oder Virtual Reality) gesehen werden und beispielsweise touristischen Zwecken dienen. Dass solche Konzepte von räumlichem Mobilitätsverzicht, zu Gunsten von virtuellen Erlebnissen und Kanälen durchaus auf Interesse stoßen, zeigen Akzeptanzuntersuchungen.⁶²⁴

Aus Sicht der bayerischen Industrie hat sich beispielsweise die BMW Group bereits im Jahr 2002 mit virtueller Mobilität auseinandergesetzt.⁶²⁵ Die Firma Holoride, eine Ausgründung der Audi AG mit Unternehmenssitz in München, arbeitet darüber hinaus im Bereich der Passagierunterhaltung während der Fahrt anhand von virtuellen Realitäten.⁶²⁶ Da durch virtuelle Mobilität das Reisen und die Fortbewegung von der Überwindung räumlicher Distanzen entkoppelt wird, sind aus baulicher und planerischer Sicht eher weniger neue Infrastrukturen zu berücksichtigen. Als Implikation ergeben sich dennoch Vorgaben an die Vernetzung und gegebenenfalls Breitbandverfügbarkeit im gesamten bayerischen Raum. Da durch diese neue Form der Mobilität vor allem die virtuelle Anbindung abgelegener Gebiete an digitale Meetingräume und virtuelle Points of Interest interessant wird, sollten entsprechende Randgebiete ebenfalls mit ITK Technologien und Anschlüssen erschlossen werden.

⁶²⁴ Ruess et al., 2020

⁶²⁵ BMW, 2002

⁶²⁶ Holoride, 2021

⁶²² Werner / Albert, 2021

⁶²³ TUM Hyperloop, 2021

Kasten 40 Logistik in Bayern

Nicht zuletzt im Zuge der Corona-Pandemie zeigt der Logistiksektor „Systemrelevanz“, was sich beispielsweise an dem bereits seit Jahren ansteigenden Paketaufkommen im „Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP)“-Bereich zeigt. Gerade die starke Zunahme des Paktvolumens von Privatkunden (+8,6 Prozent 2020 im Vergleich zu 2019) stellt die Kommunen vor große Probleme.⁶²⁷ Ein erhöhtes Aufkommen an Warensendungen resultiert in mehr Lieferverkehren und auch längeren Haltedauern. Daraus ergibt sich wiederum eine höhere Belastung für Mensch und Umwelt. Bei diesem, gerade im urbanen Raum stark präsenten Trend bemühen sich die Paketdienstleister um Alternativen bei der Zustellung.

Eine Möglichkeit zur Reduzierung der Schadstoffemissionen besteht in der Elektrifizierung der Zustellflotten, womit allerdings hohe Anforderungen an die bauliche Ausgestaltung und Anschlussleistung der Betriebshöfe verbunden sind. Unter anderem aus diesen Gründen werden zunehmend hochmoderne Logistikzentren unter Einhaltung nachhaltiger Baustandards zur Senkung des Energieverbrauchs errichtet, wie unlängst durch die Inbetriebnahme eines Logistikzentrums des Dienstleisters Hermes an der A6 bei Ansbach aufgezeigt wurde.⁶²⁸

Im Stadtbereich selbst existieren ebenfalls zahlreiche Maßnahmen zur Förderung nachhaltiger Logistiklösungen. Über sogenannte Micro-Hubs werden innenstadtnahe Umschlagflächen beliefert, von wo aus die Feinverteilung auf der „letzten Meile“ zu den Kund*innen mittels emissionsarmer Kleinstfahrzeuge erfolgt.

Im ländlichen Raum mit dünner Besiedelung stoßen derartige Vorhaben durch längere Strecken schnell an natürliche Grenzen. Trotz der angesprochenen Zunahme am Gesamtpaketvolumen sind viele der in ländlichen Räumen verkehrenden Zustelltouren oftmals nicht wirtschaftlich zu betreiben. Eine Lösung könnte bei besonders abgelegenen Zustelladressen darin bestehen, kleinere Sendungen über den Einsatz boden- und luftgebundener autonomer Fördereinheiten zustellen zu lassen. Ein diesbezügliches Forschungsvorhaben umfasst das Projekt „FlowPro“ unter Beteiligung der Hochschule Würzburg-Schweinfurt und der Siemens AG.⁶²⁹

Um den überregionalen Warentransport nachhaltiger zu gestalten, wird eine Verlagerung von Güterströmen von der Straße auf die Schiene und Wasserwege angestrebt. Durch den Einsatz unterschiedlicher Verkehrsträger können Transportkapazitäten besser ausgelastet und ein wesentlicher Beitrag zur Nachhaltigkeit geleistet werden. Hier sind Investitionen in den Ausbau von Containerterminals und Güterumschlagflächen notwendig.

⁶²⁷ Bundesverband Paket & Expresslogistik BIEK, 2020

⁶²⁸ Martens, 2018

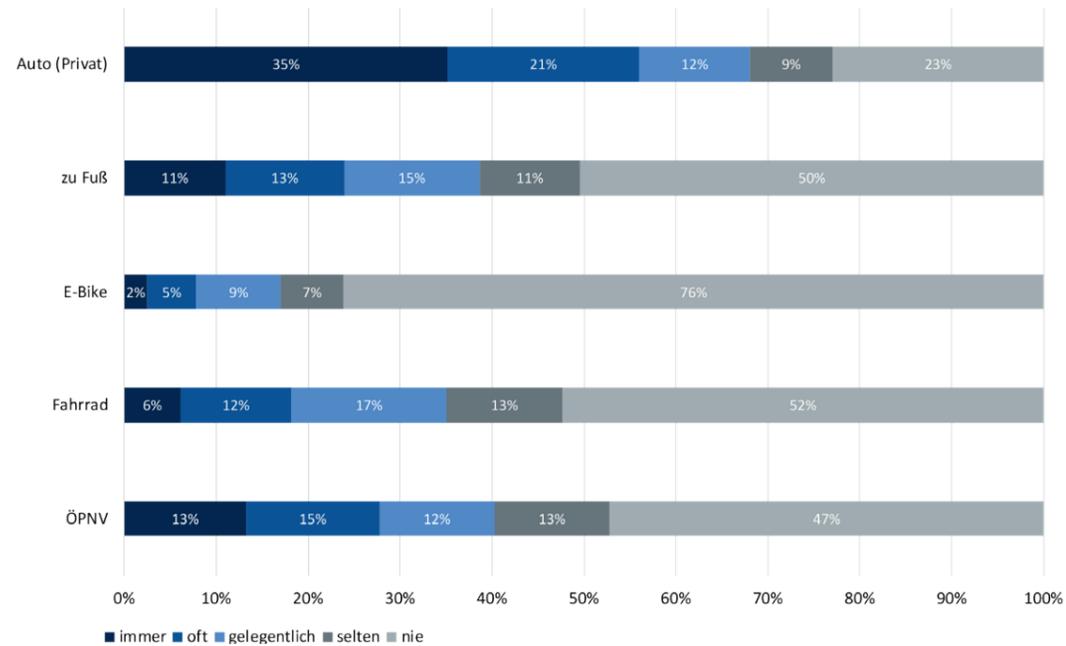
⁶²⁹ Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg Schweinfurt (2020)1

07.5.2 Ergebnisse der Haushalts- und Unternehmensbefragung hinsichtlich infrastruktureller Anforderungen aufgrund sich ändernder Mobilität

Die Haushaltsbefragung verdeutlicht, dass noch immer die Mehrheit der Befragten den privaten Pkw auf dem Weg zur Arbeit nutzt. Deutlich weniger Befragte nutzen den ÖPNV und das Fahrrad. Dies zeigt, dass sowohl der ÖPNV wie auch die Rad-Infrastruktur Potenziale einer stärkeren Nutzung bieten (Abbildung 75).

Abbildung 75
Haushaltsumfrage: Häufigkeitsverteilung verschiedener Verkehrsträger für die Wahl auf dem Weg zur Arbeit

Welche der folgenden Verkehrsträger nutzen Sie auf dem Weg zur Arbeit und wie häufig? (N = 1019)

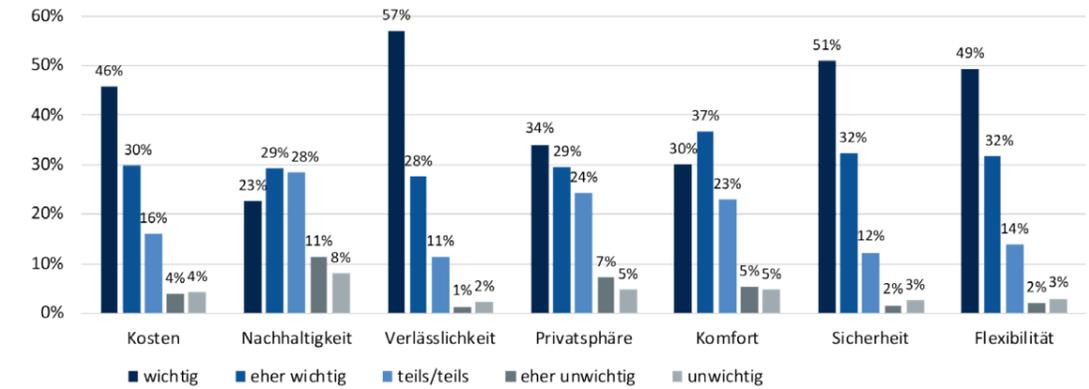


Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Für die Wahl des Verkehrsmittels sind vor allem Verlässlichkeit, Sicherheit und Flexibilität maßgeblich (Abbildung 76). Diese Faktoren stellen somit grundlegende Gestaltungsprinzipien für ein funktionierendes Mobilitätssystem dar. Welche Rolle die verschiedenen Verkehrsträger (Straße, Schiene, Luft, Wasser) in einem solchen Mobilitätssystem spielen können, hängt maßgeblich von der Infrastruktur und ihrer zukünftigen Entwicklung wie auch von politischen Rahmensetzungen ab. Für das Planen und Bauen bedeutet dies eine systemische Betrachtungsweise, in der Verkehrsmittel und Mobilitätsoptionen samt ihnen zugrunde liegenden Technologien und den grundlegenden Ansprüchen von Nutzer*innen auf das Planen und Bauen direkten Einfluss nehmen. Die von den Befragten als wichtig erachtete Sicherheit ist z. B. bei der Planung und beim Aufbau einer Verkehrsinfrastruktur, wie der Radinfrastruktur, zu berücksichtigen. Die Einschätzung der Befragten scheint auch darauf hinzudeuten, dass Nachhaltigkeit für Pendler eine kleinere Rolle spielt. Das verlässliche Ankommen wird einer nachhaltigen Fortbewegung vorgezogen.

Abbildung 76
Haushaltsumfrage: Relevanz verschiedener Aspekte bei der Wahl des Verkehrsmittels für die Fahrt zur Arbeitsstätte

Folgende Aspekte sind mir bei der Wahl des Verkehrsmittels für die Fahrt zur Arbeitsstätte wichtig (N = 1019)

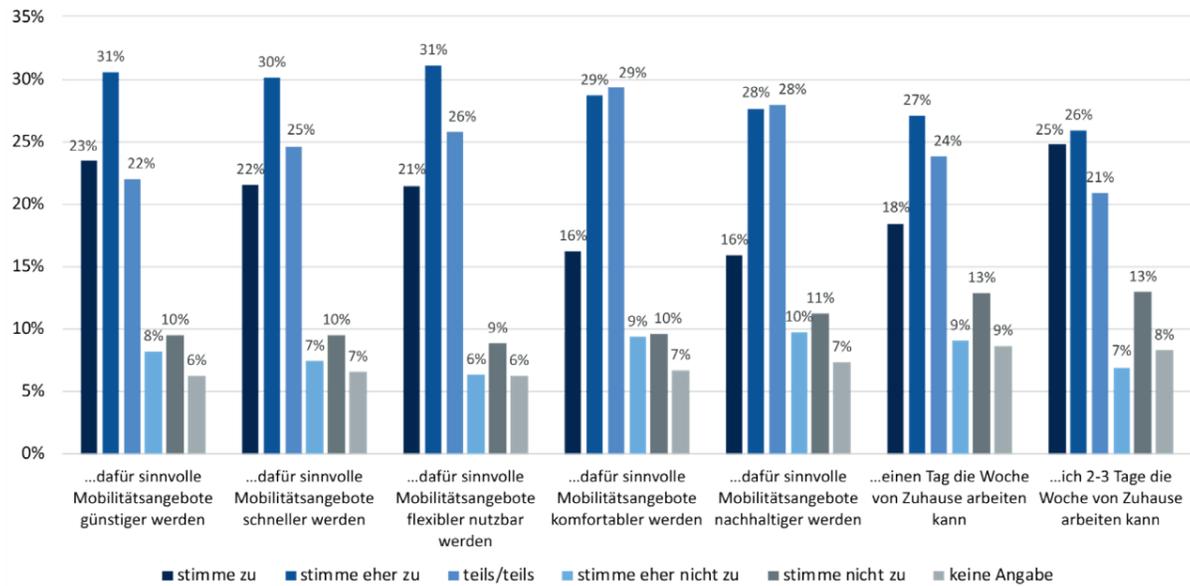


Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Ein ähnliches Ergebnis ergibt sich bei der Frage, unter welchen Umständen die Befragten eine weitere Strecke zwischen Arbeitsstätte und Wohnort zurücklegen würden. Dabei zeigt sich insbesondere dann eine hohe Zustimmung, wenn von der Möglichkeit ausgegangen wird, zwei bis drei Tage im Homeoffice arbeiten zu können (Abbildung 77). Dies ist ein weiterer Indikator für die zunehmende Bedeutung der virtuellen Mobilität in der zukünftigen Entwicklung und Ausrichtung der Arbeitswelt. Unterstützt wird dieses Pendelverhalten auch dadurch, dass für mehr als 50 Prozent der Befragten Kosten ein wichtiger Faktor bei der Wahl des Verkehrsmittels für die Fahrt zur Arbeitsstätte sind (Abbildung 78). Monetäre Anreize von Arbeitgebern oder steuerliche Mechanismen der Politik können somit wirksam Einfluss auf das Pendelverhalten nehmen und sind demnach auch für verkehrsplanerische Maßnahmen relevant. Somit stellen sie auch ein Mittel dar, um eine indirekte Lenkungswirkung erzielen zu können, für die Erreichung von Zielen, die im gesamtgesellschaftlichen Interesse liegen (z. B. Priorisierung von Nachhaltigkeit gegenüber Kosten), aber individuell nicht unmittelbar verfolgt werden.

Abbildung 77
Haushaltsumfrage: Akzeptanz verschiedener Aspekte für das Zurücklegen von weiteren Strecken zwischen Arbeitsstätte und Wohnort

Ich könnte mir vorstellen, eine weitere Strecke zwischen Arbeitsstätte und Wohnort zurückzulegen, wenn ... (N = 1019)

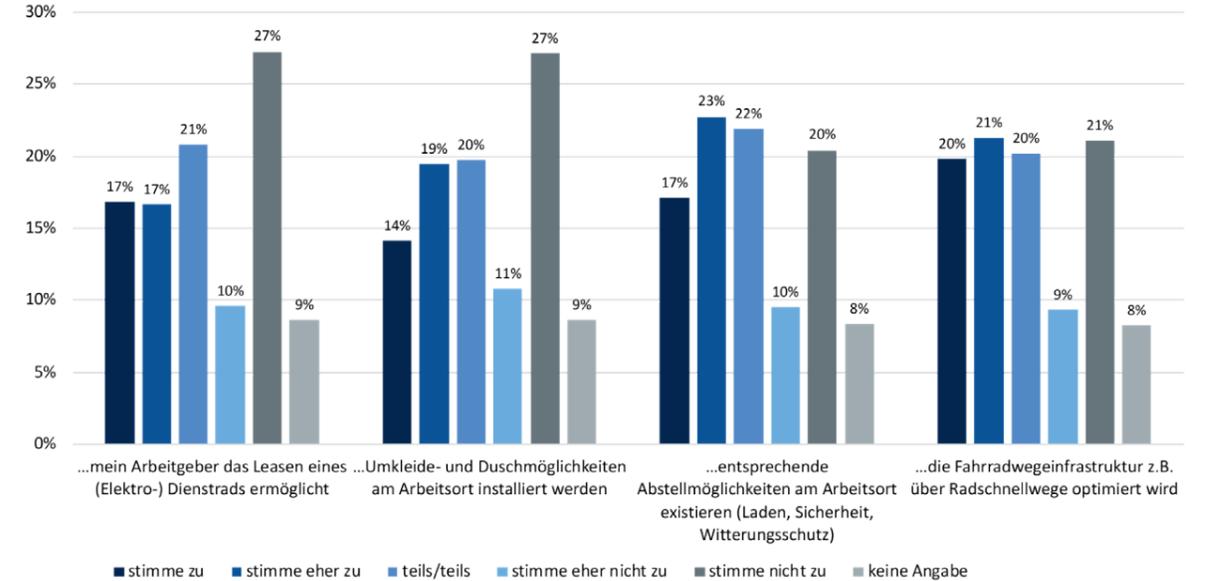


Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Um nachhaltige Mobilitätsformen zu fördern und damit einen Beitrag zur Bewältigung der großen gesamtgesellschaftlichen Aufgabe des Klimawandels zu leisten, sollte vor allem das Angebot an nachhaltigen Fortbewegungsmitteln gestärkt werden. Die Potenziale des (E-)Fahrrades als Pendelverkehrsmittel sind in der Wahrnehmung der Befragten sehr stark von der verfügbaren Infrastruktur (v. a. der Radwege per se) abhängig. Die Befragten geben an, öfter mit dem Rad pendeln zu wollen, sofern am Arbeitsort Lade- und Abstellmöglichkeiten existieren, die Sicherheit und Witterungsschutz für die Räder bieten.

Abbildung 78
Haushaltsumfrage: Kriterien für den Umstieg auf das Fahrrad zum Zurücklegen der Strecke zur Arbeitsstätte

Ich würde gerne öfters mit dem Fahrrad zur Arbeit fahren, wenn ... (N = 1019)

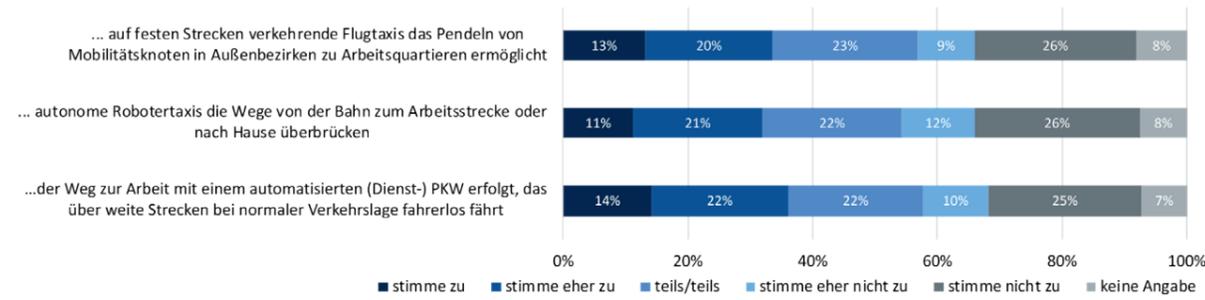


Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Knapp 40 Prozent der Befragten würden autonome Verkehrsmittel, wie Flugtaxis auf festen Strecken, Robotertaxis und autonome Pkw, für längere Pendelstrecken nutzen. Diese durchaus hohe Nutzer*innenakzeptanz für eine noch nicht marktreife Technologie (Abbildung 79) kann als Hinweis dafür gesehen werden, dass zukünftige Infrastrukturen an die Technologien der Vollautomatisierung und Flugtaxis angepasst werden müssen, um diesen Fortbewegungsmitteln in Zukunft Raum zu geben.

Abbildung 79
Haushaltsumfrage: Akzeptanz für zeitlich längere Pendlerstrecken

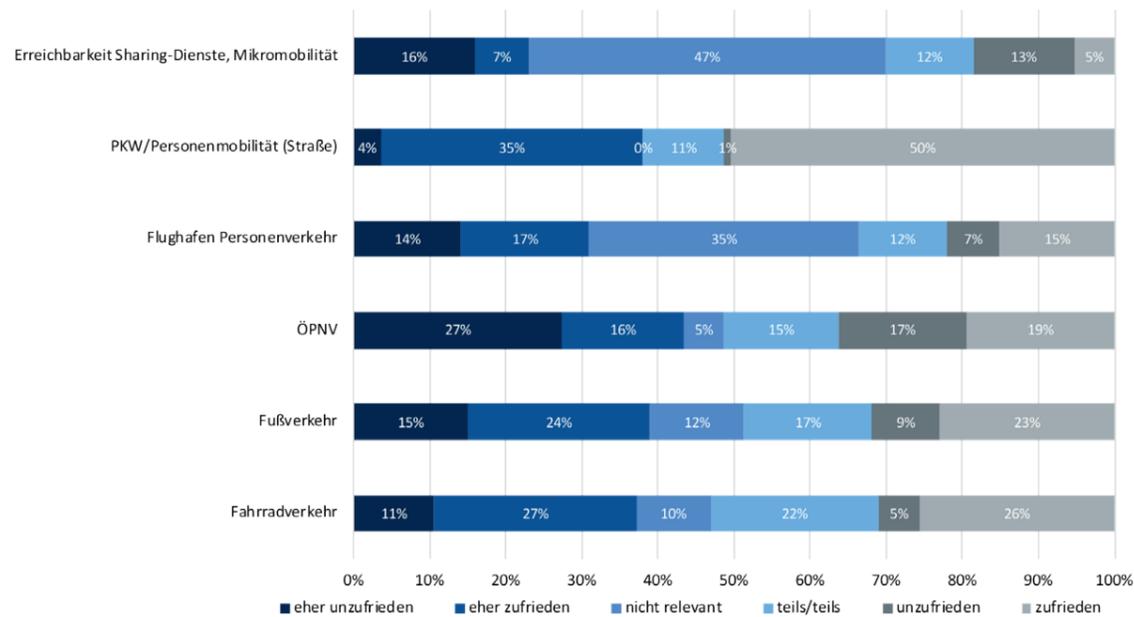
Ich würde in Zukunft längere zeitliche Pendelstrecken in Kauf nehmen bzw. meinen derzeitigen Wohnort zugunsten vom Arbeitsort entfernten Wohnortes eintauschen, wenn (N = 1019)



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Abbildung 80
Unternehmensumfrage: Zufriedenheit bezüglich der Ausstattung bzw. Anbindung des Unternehmens im Kontext des Wirtschaftsverkehrs und der Infrastruktur

Wie zufrieden sind Sie mit der infrastrukturellen Anbindung / Ausstattung Ihres Unternehmens heute bezüglich



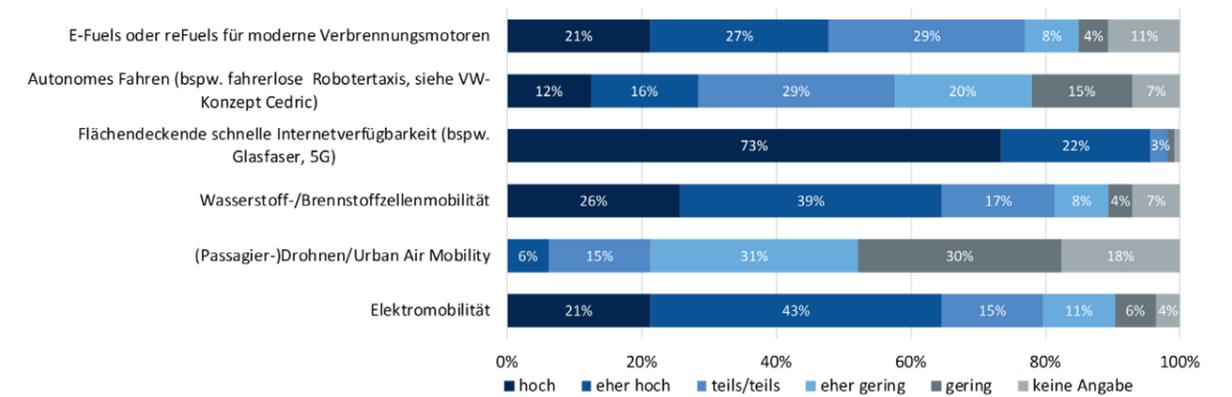
Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Bei zukünftigen innovativen Technologien sehen die Unternehmen einen sehr klaren und wichtigen Trend zur Sicherung einer flächendeckenden schnellen Internetverfügbarkeit. Dies ist nicht nur für Unternehmensprozesse wie virtuelle Meetings und Konferenzen wichtig, sondern auch für das mobile Arbeiten von Mitarbeiter*innen und Mobilitätsformen wie das autonome Fahren. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Erkenntnissen der Haushaltsumfrage, in der die virtuelle Mobilität aufgrund der steigenden Home-Office-Nutzung als zukünftiger Trend angesehen wird.

Zudem wird die Elektromobilität für zukünftige betriebliche Personen- und Wirtschaftsverkehre als wichtig angesehen. Gleiches gilt für weiterführende Antriebstechnologien der Brennstoffzellen mit Wasserstofftechnologie. Weniger wichtig wird im betrieblichen Umfeld die Flugtaxi- und Drohnentechnologie gesehen (Abbildung 81).

Abbildung 81
Unternehmensumfrage: Bedeutung von verschiedenen innovativen Technologien bezüglich des betrieblichen Personen- und Wirtschaftsverkehrs

Welche innovativen Technologien haben aus Ihrer Sicht Bedeutung für die betriebliche Personen- und Wirtschaftsverkehre der Zukunft?



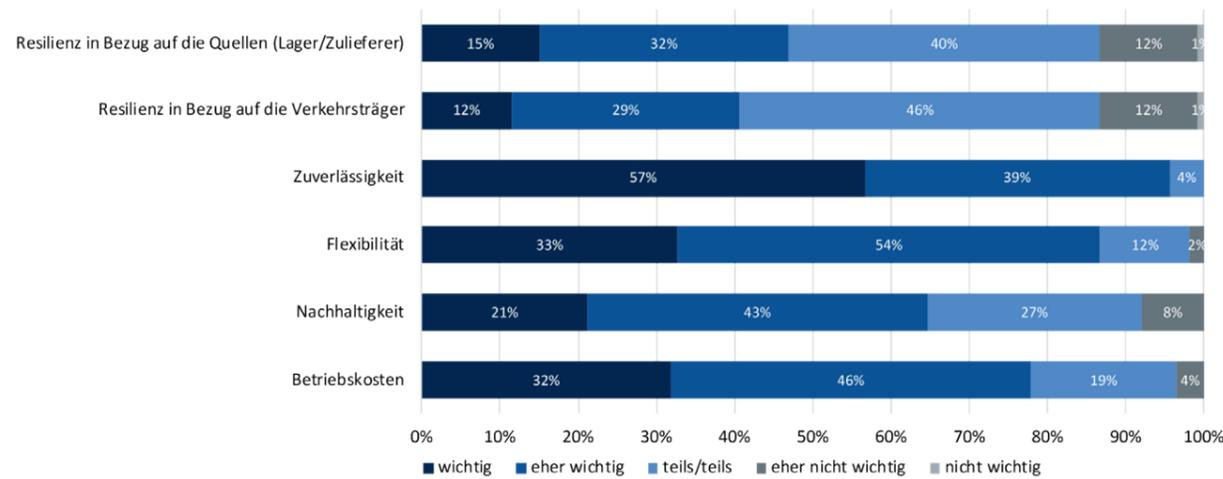
Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Bei der Betrachtung von Anforderungen in Bezug auf Lieferketten und Logistikprozesse ist für die Unternehmen Zuverlässigkeit der wichtigste Faktor. Zudem spielen die Flexibilität sowie die Betriebskosten eine wichtige oder eher wichtige Rolle (Abbildung 82). Dies verdeutlicht den Preis- und Wettbewerbsdruck im Transportsektor und bei Logistikaktivitäten. Damit Unternehmen in der Zukunft auf die zunehmende gesellschaftliche und politische Erwartungshaltung reagieren können, die über ein rein ökonomisches Fortschrittsstreben hinausgeht, muss die Infrastruktur für Logistikketten nicht nur den innerbetrieblichen Anforderungen, sondern auch den von außen gestellten Erwartungen gerecht werden. Dies bezieht sich beispielsweise auf die Schaffung von Kapazitäten in klimafreundlicheren Verkehrsträgern wie der Schiene.

Abbildung 82

Unternehmensumfrage: Relevanz verschiedener Mobilitätsaspekte in Bezug auf die Lieferketten und den Logistikprozess

Wie wichtig finden Sie folgende Mobilitätsaspekte in Bezug auf Lieferketten und Logistikprozesse?



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Kasten 41

Internationale Bauausstellung – „Räume der Mobilität“ 2022–2032, Metropolregion München⁶³⁰

Anders und besser in der Metropolregion München unterwegs sein – das will die Internationale Bauausstellung (IBA) „Räume der Mobilität“ ab 2022 in der Metropolregion München erreichen; und das gemeinsam mit Kommunen, Wirtschaft, Wissenschaft, Forschung und Zivilgesellschaft.

Ab 2022 lädt die IBA Kommunen und Akteure der Metropolregion München ein, in einem zehnjährigen Zukunftsprozess zu zeigen, wie das Mobilitätsgeschehen in der Region mit den Werkzeugen der Stadt- und Raumentwicklung positiv beeinflusst werden kann. Mithilfe konkreter Bauten, Konzepte und Programme will die IBA ein international wahrnehmbares Beispiel dafür geben, wie eine wachsende Stadtregion das Zusammenleben, Arbeiten und Unterwegssein neu denken und zugleich lebenswert und in Bewegung bleiben kann. Die IBA wird zeigen, wie gemeinsam zukunftsweisende Lösungen für die unterschiedlichen Herausforderungen der Kommunen in der Region gefunden werden können. In der Metropolregion München rückt

erstmals das Thema Mobilität in den Mittelpunkt einer IBA. Damit stellt sich die IBA in der Metropolregion München einer der zentralen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts: der Frage, wie dynamische und vernetzte Stadtregionen so gestaltet werden können, dass sie lokal lebenswert bleiben und gleichzeitig ihre globale Verantwortung für eine nachhaltige Entwicklung wahrnehmen können.

Damit eine IBA in der Metropolregion München möglich wird, braucht es aber das Miteinander als Region. Daher fand im Mai 2021 bereits das zweite digitale Treffen der AG IBA mit rund 200 Teilnehmer*innen aus der Metropolregion München statt. Hier wurde der Entwurf des IBA-Memorandums vorgestellt. Weitere Details zur Durchführung und Organisation der IBA sind derzeit noch in Klärung und werden von der Landeshauptstadt München und der Europäischen Metropolregion München gemeinsam und aktiv getrieben.

07.5.3 Zwischenfazit

Die Entwicklungen in der Mobilität und der Stadt- und Regionalplanung erfolgten bereits in der Vergangenheit stets im Gleichschritt, denn die gebauten Strukturen und die Mobilität sind stark miteinander verwoben, was sich auch in aktuellen Herausforderungen zeigt. Mit der starken Verbreitung des Automobils kam Mitte des letzten Jahrhunderts beispielsweise auch die Idee der autogerechten Stadt auf. Diese Verflechtungen lassen sich auch nicht vollständig auflösen. Die verkehrliche Erschließung und die Verfügbarkeit von Parkräumen haben beispielsweise in der Vergangenheit oftmals zu einer Verkehrszunahme und zu weiteren infrastrukturellen Bedarfen geführt. Die Stadtentwicklung und bauliche Maßnahmen schaffen jedoch allgemein Räume und definieren Funktionen für die Mobilität im Rahmen sozialer und wirtschaftlicher Systeme. Oftmals sind es technologische Fortschritte, die hierbei auch für neue Voraussetzungen gesorgt haben.

Mit Blick auf aktuelle Trends und Zukunftskonzepte aus dem Feld der Mobilität lassen sich zukünftige Anforderungen an die Infrastruktur erkennen, die auch Entwicklungsrichtungen für das Planen und Bauen aufzeigen. Beispiele wie Mikromobilitäts-Lösungen, das autonome und vernetzte Fahren oder Lufttaxis zeigen, dass sich vielversprechende technologische Innovationen über verschiedene Verkehrsträger hinweg finden lassen, für die sich, wie die Haushaltsbefragung zeigt, trotz fehlender Marktreife viele Nutzer*innen interessieren. Letztlich müssen sich auch neue Konzepte daran messen lassen, wie sie bekannte und lange etablierte Ansprüche, etwa Sicherheit oder Verlässlichkeit, erfüllen können.

Deutlich wird auch, dass Planen und Bauen als Instrument verstanden werden muss, um politische oder normative Ziele erreichen zu können, die über individuelle Einflussmöglichkeiten hinausgehen und mit etablierten Routinen brechen. So müssen für einen Systemwechsel zur Elektromobilität ausreichend Ladepunkte mit entsprechender Leistung geschaffen werden. Eine Erhöhung der Attraktivität des ÖPNV kann beispielsweise durch gut ausgebauten Fernverkehrsverbindungen oder durch eine Verbesserung der Netzabdeckung mittels der Installation von Intrain-Repeater im Zug und Mobilfunkantennen entlang der Strecke gelingen.

Beim Zusammenspiel von Push- und Pull-Faktoren, von Angebot und Nachfrage, ist es demnach die Rolle aller Beteiligten der Wertschöpfungskette des Planens und Bauens, Möglichkeiten aufzuzeigen, die über die unmittelbare Lebenswirklichkeit oder die operative Unternehmenspraxis hinausgehen und auf diese Weise auch lenkend im Sinne übergeordneter Ziele wirken können. Mit Vertrauen in die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der eigenen Logistikprozesse oder in die Sicherheit des gewählten Fortbewegungsmittels gelingt beispielsweise der Perspektivenwechsel, der zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen notwendig ist.

08

Gestaltungsfelder und Handlungsempfehlungen

Kapitel in der Übersicht

08.1	Identifizierung und Priorisierung relevanter Gestaltungsfelder	244
08.1.1	Skizzierung der Vorgehensweise	244
08.1.2	Festhalten am Status quo: „Mit Tradition Bewährtes bewahren“	245
08.1.3	Entwicklungsperspektive „Durchgängig digitalisiert und vernetzt“	246
08.1.4	Entwicklungsperspektive „Klimagerechtes Bauen durchreguliert“	247
08.1.5	Priorisierung von Gestaltungsfeldern	248
08.2	Handlungsempfehlungen	254

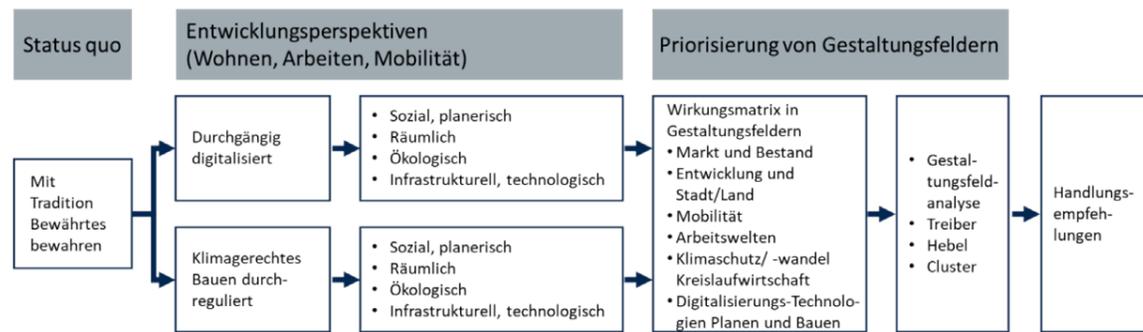
08.1 Identifizierung und Priorisierung relevanter Gestaltungsfelder

08.1.1 Skizzierung der Vorgehensweise

Die vorherigen Kapitel zeigen, dass neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten wesentliche Elemente der Daseinsvorsorge sind und einen erheblichen Beitrag zur Sicherung gleichwertiger Lebensverhältnisse leisten. Nachhaltiges visionäres Planen und Bauen benötigt als Fundament ein perspektivisches Verständnis des Wirkgefüges möglicher Gestaltungsoptionen. Besondere Bedeutung haben dabei das Zusammenspiel und die Wechselwirkungen aktueller und zukünftiger gesellschaftlicher sowie technologischer Entwicklungen einschließlich ihrer Implikationen für die Stadt- und Regionalplanung.

Gerade diese systemischen Verflechtungen zwischen unterschiedlichen Bereichen erfordern einen souveränen und vorausschauenden Umgang mit großer Komplexität und Unsicherheit.

Abbildung 83
Vorgehensweise zur Ableitung von Handlungsempfehlungen



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Im Anschluss wird zunächst kurz skizziert, wie eine Perspektive aussehen könnte, die sich an einem Festhalten am Status quo und einer stetigen Fortschreibung der aktuellen Entwicklungen im Planen und Bauen orientiert (Kapitel 08.1). Für eine geordnete Ableitung von Handlungsempfehlungen werden daher nachfolgend in Kapitel 08.1.3 und 08.1.4 darüber hinaus zwei unterschiedliche Entwicklungsperspektiven anhand der in den vorherigen Kapiteln erarbeiteten sozialen und planerischen, räumlichen, ökologischen sowie infrastrukturellen und technologischen Aspekte skizziert. Auch wenn diese Entwicklungsperspektiven nicht eindeutig voneinander abgrenzbar sind, bilden sie dennoch zwei mögliche unterschiedliche Zukunftsszenarien ab, die Bekanntes weiterdenken, den Einfluss von noch unbekanntem Zulassen und auf diese Weise

auch das Unvorhergesehene als Möglichkeit in Betracht ziehen.⁶³¹ Sie sind dabei nicht gleichzusetzen mit einer präzisen Zukunftsvorhersage oder Prognose, sondern dienen ähnlich wie Szenarien als Werkzeug zur Orientierung, aus denen sich Handlungs- und Orientierungswissen ableiten lässt.⁶³²

Anschließend werden in den fünf Gestaltungsfeldern „Wohnungsmarkt und Regulierung“, „Entwicklung & Stadt/Land“, „Mobilität“, „Arbeitswelten“, „Klimaschutz/ -wandel“, „Kreislaufwirtschaft“ und „Digitalisierung Planen & Bauen“ die wichtigsten Treiber und Hebel identifiziert. Darauf aufbauend werden abschließend Handlungsempfehlungen hinsichtlich der Gestaltung neuer Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten gegeben.

08.1.2 Festhalten am Status quo: „Mit Tradition Bewährtes bewahren“

Obwohl am Horizont Entwicklungen und Technologien absehbar sind, die das Planen und Bauen in der Zukunft verändern werden, ist es möglich, dass sich der Status quo festsetzt und mögliche Chancen nicht hinreichend genutzt werden. Daher baut diese Perspektive „Mit Tradition Bewährtes bewahren“, die das Festhalten am Status quo adressiert, auf der Wahrnehmung auf, dass die Transformationsprozesse in Bezug auf das Planen und Bauen bei der Gestaltung neuer Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten sich daran orientieren, erhaltenswerte Strukturen einer teilweise kleinteiligen Wirtschaft zu erhalten. Ein traditionsbedingter Erhalt dieser Kleinteiligkeit sowie die Pflege etablierter Traditionen könnte dazu führen, dass an existierenden Regularien festgehalten wird. Damit würden eventuell Hürden für einen schnellen technologischen Fortschritt in vielen Wertschöpfungsketten jener Branchen aufgebaut, die an der Gestaltung neuer Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten beteiligt sind. Somit würde sich technologischer Fortschritt eher in Leuchtturmprojekten etablierter Unternehmen zeigen oder darin, dass verstärkt Unternehmen von außen in den Markt eintreten und Wertschöpfungsketten verändern.

Vor diesem Hintergrund wäre es plausibel, wenn z. B. eine durchgängige Simulation von Lebenszyklusphasen nicht auf Quartiers-, Stadt- und Regionalebene möglich, sondern auf Neubauten limitiert ist. Für Bestandsgebäude würden nur wenige Daten vorliegen, sodass z. B. Initiativen im Zusammenhang mit „Kreislaufwirtschaft und Ressourcen“, die Perspektiven für den „Klimaschutz und die Bewältigung der Klimawandelfolgen“ bieten, nicht hinreichend gestartet werden. Es könnte eine Baukultur entstehen, die vor dem Hintergrund fehlender Daten und komplizierter Partizipationsverfahren klimagerechtes Bauen zumindest verzögert.

Darüber hinaus könnte mit dieser Perspektive verbunden sein, dass den Auswirkungen des Klimawandels nicht dadurch begegnet werden kann, dass Wertschöpfungsketten im Hinblick auf klimagerechtes Bauen und Planen zur Erreichung notwendiger Klimaziele transformiert werden, sondern dass zusätzliche Ressourcen für Schutzmaßnahmen verbraucht werden.

Die Risiken eines Festhaltens am Bewährten, eines Verharrens in der Tradition könnte in dieser Entwicklungsperspektive bedeuten, dass die qualifikationsbezogene Ungleichheit zwischen hochqualifizierten spezialisierten Facharbeitern und Hilfsarbeitern weiter wächst. Weiterhin fehlende Fachkräfte auf dem Arbeitsmarkt sowie der steigende Mindestlohn in Deutschland, der niedrigqualifizierte Arbeiten unwirtschaftlich macht, würde global denkenden internationalen Unternehmen einen einfacheren Markteintritt ermöglichen. Dadurch könnte es für kleine mittelständische Unternehmen, die nicht in Innovation investieren können und wollen, immer herausfordernder werden, ihre Wettbewerbsfähigkeit in den Wertschöpfungsketten hinsichtlich der Gestaltung neuer Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten abzusichern.

Da eine solche „Weiter so wie bisher“-Perspektive mit Blick auf die zu erreichenden Klimaziele und die zu hebenden technologischen und kostenorientierten Potenziale nicht zielführend ist, erfordern die in den vorherigen Kapiteln diskutierten Themen die Entwicklung der beiden nachfolgend dargestellten Perspektiven, die zwar polarisieren können, aber Pfade möglicher Gestaltungsfelder und Priorisierungen öffnen.

631 Mitzner, 2009

632 Reibnitz, 1995

08.1.3 Entwicklungsperspektive „Durchgängig digitalisiert und vernetzt“

Bei einer denkbaren Entwicklungsperspektive „Durchgängig digitalisiert und vernetzt“ wird davon ausgegangen, dass die digitale Transformation der Treiber der meisten Wertschöpfungsketten neuer Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten ist. Die Prozesse von Wertschöpfungsketten sind durchgängig digitalisiert, hochgradig miteinander vernetzt und flexibel adaptierbar.

Aus einer räumlichen Sicht wird diese Entwicklungslinie die Möglichkeit eröffnen, dass sämtliche Lebenszyklusphasen von Immobilien und Lebensräumen (Quartieren / Gebieten) schon während der Planung einer später gebauten Realität simuliert und visualisiert werden können. Die „digitale Stadt / Region“, in der der Bestand erfasst und bekannt ist, wird entstehen. Damit kann auch das Umfeld zu revitalisierender Bauwerksbestände durch digitale Gebäude- und Stadtmodelle(bzw. -modellzwillinge) stärker berücksichtigt werden. Flexible Nutzungs- und Mobilitätskonzepte, die so möglich werden, führen zu zukunftsfähigen Nachverdichtungsmöglichkeiten in agilen Lebensräumen.

Vor diesem Hintergrund kann Digitalisierung auch aus ökologischer Sicht Wirkung entfalten. Der Einsatz datenbasierter integrierter Lebenszyklus-Simulationen ermöglicht ein lokales bzw. regionales Climate Engineering. Eine dezidiert klimagerechte Gestaltung von Nachbarschaften und Quartieren wird so eher möglich. Digitalisierung führt zudem dazu, dass Unternehmen langfristig klare Bezüge der Ausrichtung ihrer Geschäftsmodelle an Prinzipien der ökologischen Nachhaltigkeit sehen. Es werden Konzepte und Lösungen des Planens und Bauens erwartet, um Gegebenheiten zu schaffen, die klimagerechtere Formen des Wirtschaftens ermöglichen.

Neben dem positiven Einfluss des klimagerechten Planens und Bauens auf Basis eines digitalisierten und vernetzten Ökosystems profitiert zunehmend auch die Gestaltung der Arbeits- und Bürowelt, insbesondere die Bürostrukturen der Unternehmensstandorte, von der Integration innovativer smarter Systeme. Kognitive Arbeitsumgebungen, die sich je nach Arbeitstätigkeit bedarfsgerecht und individuell an die jeweiligen Nutzer anpassen, bilden einen Möglichkeitsraum zur Verbesserung von Produktivität und Wohlbefinden. Intelligente KI-basierte Produkte stärken den Stellenwert des physischen Arbeitens vor Ort im Unternehmen und werden fester Bestandteil bei Neubauten und Nachrüstungen von Bestandsgebäuden. Der Einsatz smarter Technologien nimmt einen zentralen Bestandteil zur humanzentrierten Gestaltung der Büroumgebung ein.

Aus einer infrastrukturellen und technologischen Sicht können hier für bayerische Unternehmen vielfältige Entwicklungsmöglichkeiten entstehen. Eine durchgängige Digitalisierung ermöglicht mit Produkten und Services, die im Zusammenhang mit der technischen Gebäudeausrüstung bestehen, neue Steuerungs- und Betriebsmodelle von Immobilien. Insbesondere im Hinblick auf die Änderungen der Mobilität werden infrastrukturelle Anpassungen notwendig werden, z. B. Ladepunkte oder Abstellflächen für Elektrofahrzeuge.

Die zunehmende Bedeutung von Daten und Informationen in der Wertschöpfungskette wird in einer sozialen und planerischen Sicht zu einer Integration neuer Geschäfts- und Betreibermodelle sowie neuer Prozesse und neuer Akteure in den Wertschöpfungsketten neuer Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten führen. Diese sind datengetrieben und fördern flexible Nutzungs- und neue Mobilitätskonzepte. Insbesondere die Flexibilisierung der Arbeitswelt führt zu anderen Möglichkeitsräumen zeitlich und räumlich autonomen Arbeitens. Infolge einer Zunahme individueller Selbstbestimmung werden sich zum einen individuelle Lebens- und Arbeitsstile weiterentwickeln. Zum anderen steigt damit die Vielfalt von Bedarfsprofilen an Flächennutzungen sowie Mobilitätsstrukturen und beeinflusst das Planen und Bauen.

Die Digitalisierung verändert die Prozesse und Organisationen in der Arbeitswelt langfristig. Die räumliche und zeitliche Autonomie nimmt stetig weiter zu. Die Ausführung der Arbeitstätigkeiten ist nicht mehr an den physischen Unternehmensstandort gebunden, was unter anderem einen reduzierten Flächenbedarf an Gewerbeimmobilien zur Folge hat. Virtuelle Kommunikationsplattformen sowie digitale Archivierungs- und Ablagesysteme eröffnen völlig neue Möglichkeitsräume mit Herausforderungen sowie neuen Risiken. Der

Wandel der Zusammenarbeit wirkt sich auf alle weiteren gesellschaftlichen Prozesse aus: Pendlerströme werden reduziert, das eigene Zuhause nimmt einen neuen Stellenwert ein, der Bedarf an Naherholungsgebieten steigt, Bürotätigkeiten verlagern sich in private Wohnungen und Coworking-Spaces. Die Attraktivität des ländlichen Raumes könnte unter anderem durch die Förderung von Infrastrukturen wie beispielsweise kulturelle Einrichtungen und Bildungsangebote steigen und zu einer Veränderung der räumlichen Zusammenhänge führen. Allgemein beeinflussen die neuen sozialen Interaktionen zunehmend die Gestaltung der Umwelt. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Themenfelder Mobilität, Arbeit und Wohnen ist die Basis im Lernprozess der Entwicklung eines neuen agilen Ökosystems.

Kasten 42

Best-Practice-Beispiel: Digitaler Zwilling der Stadt München⁶³³

Im Rahmen des Kooperationsprojekts „Connected Urban Twins – Urbane Datenplattformen und Digitale Zwillinge für integrierte Stadtentwicklung“ (CUT) entwickeln die Städte Hamburg, Leipzig und München im Zeitraum von 2021–2025 „Digital Twins“, die zur nachhaltigen Stadtentwicklung beitragen sollen. Durch die Implementierung der „Digitalen Zwillinge“ werden neue Stadtplanungsansätze zunächst digital simuliert, bevor die Umsetzung in der realen Welt erfolgt. Ziel ist die Beschleunigung von Entwicklungsprozessen und das präventive Entgegenwirken gegen absehbare urbane Problematiken.

Die Herausforderung dieses Vorgehens liegt darin, die Stadt als komplexes System mit ihren vielzähligen Einflussfaktoren digital abzubilden. Deshalb spielt die Generierung von Sensordaten eine entscheidende Rolle. Zunächst müssen die Daten der realen Objekte erfasst werden, um diese anschließend auf das digitale Abbild übertragen zu können. Erforderlich sind lange Anpassungszyklen zwischen dem realen Objekt und dem digitalen Abbild. Durch die Analyse und Auswertung der Daten und den Erkenntnisgewinn durch simulierte Testzustände sollen städtische Prozesse langfristig optimiert werden.

08.1.4 Entwicklungsperspektive „Klimagerechtes Bauen durchreguliert“

Bei einer zweiten denkbaren Entwicklungsperspektive „Klimagerechtes Bauen durchreguliert“ wird davon ausgegangen, dass die Transformationsprozesse im Zusammenhang mit neuen Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten maßgeblich von Regulierungen getrieben werden. Die grundlegende Idee ist, dass klimaneutrales Bauen eher durch Vorgaben erreicht werden kann und Bauen im Bestand im Vergleich zum Neubau eine noch stärkere Bedeutung bekommt.

Aus räumlicher Sicht ist in dieser Entwicklungsperspektive davon auszugehen, dass trotz erhöhtem Flächenbedarf regulatorische Rahmenbedingungen dazu führen, dass weiterer Flächenverbrauch stark eingeschränkt und das Bauen im Bestand gefördert werden. Bedingt durch einen bedachteren Umgang mit Flächen und einen möglichst emissionsarmen Bau und Betrieb von Gebäuden kann davon ausgegangen werden, dass auf Basis dieser Entwicklungsperspektive deutliche Impulse für eine Generationengerechtigkeit gesetzt werden können. Dies erfordert die Entwicklung tragender Flächennutzungspläne, die auf der einen Seite gesellschaftliche Verhaltensmuster auffangen können und auf der anderen Seite ressourcenschonend bleiben.

Die Entwicklungsperspektive „Klimagerechtes Bauen durchreguliert“ erfordert komplexe Regulierungen. Aus infrastruktureller und technologischer Sicht erscheint es möglich, dass sich ausgewählte Geschäftsmodelle verändern. Es ist z. B. vorstellbar, dass die Technische Gebäudeausrüstung (TGA) einem Energieanbieter/-versorger gehört und sich ein Geschäftsmodell „TGA as a service“ etablieren könnte. Auch ist vorstellbar, dass komplexe Regulierungen eine stärkere Standardisierung erfordern und die Bedeutung industriellen Bauens, z. B. in Form vorgefertigter Plug & Play-Module steigt.

⁶³³ LHM, 2019; LHM, 2020

Mithilfe einer Regulierung ist es aus ökologischer Sicht eher möglich, den Rahmen für CO₂-Bepreisungen und -Kompensationsmaßnahmen von Gebäuden sowie die verbauten Materialien zu schaffen. In Abhängigkeit der Modelle und Regeln, die eine CO₂-Bepreisung und -Kompensationsmaßnahmen ermöglichen, ist es erforderlich, Bestandsdaten auf Basis eines digitalen Änderungsmanagement zu erfassen, zu dokumentieren und zu pflegen. Vor diesem Hintergrund ist zu erwarten, dass Marktmechanismen im Kontext einer CO₂-Bepreisung und -Kompensation dazu führen, dass der Einsatz regionaler Ressourcen zum wirtschaftlichen Faktor werden kann und die Relevanz der Rückbaubarkeit gebauter Umgebungen steigt. Damit gewinnen auch innovative Fertigungsmethoden, -technologien und -prozesse, die den Rückbau verbessern, an Bedeutung.

Aus einer sozialen und planerischen Sicht ist es denkbar, dass Menschen nicht nur einen Anspruch auf nachhaltiges Wohnen haben, sondern auch regulatorisch darauf hingewirkt wird, wie dieser Anspruch baulich und technisch realisierbar sein wird. Dies könnte bedeuten, dass Menschen weniger Möglichkeiten haben, ihre Gebäude nach Maßgabe ihrer individuellen Präferenzen gestalten zu lassen.

08.1.5 Priorisierung von Gestaltungsfeldern

Die zuvor skizzierten Entwicklungsperspektiven geben eine erste Orientierung für mögliche Gestaltungsrichtungen. Keine der beiden Perspektiven sind in ihrer Reinform geeignet, die individuell und gesellschaftlich verfolgten Ziele (Klimaschutz, bezahlbarer Wohnraum, Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse etc.) vollumfänglich zu erreichen. Es gilt daher, Elemente aus beiden Perspektiven zu kombinieren, um zu geeigneten Lösungen zu kommen. Für eine weitere Präzisierung und Ableitung möglicher Handlungsempfehlungen wurden daher in den sieben Gestaltungsfeldern „Wohnungsmarkt und Regulierung“, „Entwicklung und Stadt/ Land“, „Klimaschutz und Klimawandelfolgen“, „Kreislaufwirtschaft und Ressourcen“, „Digitalisierungstechnologien Planen und Bauen“, „Neue Arbeitswelt“ und „Mobilität“ jeweils fünf Themenkomplexe identifiziert, die im Zusammenhang mit nachhaltigem zukunftsorientiertem Bauen für das Wohnen und Arbeiten der Zukunft für Bayern von besonderer Bedeutung sind. Bei der Ableitung möglicher Handlungsempfehlungen und der Identifizierung von Themenkomplexen wird grundsätzlich davon ausgegangen, eine bedarfsgerechte, bezahlbare und nachhaltig gebaute Umwelt zu schaffen.

Im Gestaltungsfeld „Wohnungsmarkt und Regulierung“ wurden identifiziert:

- Wohnungsmarkt (IM 1)
- Bürokratie und Regulierung im Bereich Planen und Bauen von (Wohn-)Gebäuden (IM 2)
- Leit- und Exportprodukte und Player der Bauwirtschaft (IM 3)
- Erhöhung der Sanierungsquote durch industrialisiertes (modularisiertes) Bauen (IM 4)
- Sanierungsstrategien für Quartiere (Roadmaps), die neue Geschäftsmodelle in der Bewirtschaftung von Quartieren ermöglichen (IM 5)

Für das Gestaltungsfeld „Entwicklung und Stadt/ Land“ sind von Bedeutung:

- Veränderung der Innenstädte und zentraler Ortslagen (Zunahme E-Commerce, Mischnutzungen, Demografie etc.) (IL 1)
- Performative Regulierung als Antwort auf beschleunigte Innovationszyklen der gebauten Umgebung (IL 2)
- klimaneutrale Quartiers- und Stadtentwicklung (Klimanotstand, CO₂-Bilanzierung, Stadtbauphysik, ESG-/ SDG-Monitoring) (IL 3)
- Smart Cities & Regions – Digitalisierung von Infrastrukturen & Daseinsvorsorge (= Verschiebung von Standortfaktoren) (IL 4)
- Neue Lebenszyklusmodelle der Immobilienbewirtschaftung durch digitale Prozesse von Planen über Bauen bis Betreiben (IL 5)

Im Hinblick auf den „Klimaschutz und Klimawandelfolgen“ sind folgende Themen relevant:

- Maßnahmen / Technologien zur Reduktion der THG-Emissionen (KK 1)
- Investitionen zur Reduktion der THG-Emissionen (KK 2)
- Neue technische Anforderungen an Gebäude infolge des Klimawandels (Resilienz der Gebäudesubstanz) (KK 3)
- Neue qualitative Anforderungen an Gebäude infolge des Klimawandels (Bereitstellung neuer Gebäudefunktionen) (KK 4)
- Maßnahmen zur Reduktion der Klimawandelfolgen im Gebäudeumfeld (blaue/grüne Infrastruktur) (KK 5)

Im Gestaltungsfeld „Kreislaufwirtschaft und Ressourcen“ wurden identifiziert:

- Digitale Werkzeuge zur Lokalisierung, Quantifizierung und Bewertung in Gebäuden verbauter Materialien (Rohstoffe), z. B. Materialpässe (KR 1)
- Strategisches Stoffstrom- und Ressourcenmanagement im Bauwesen (KR 2)
- Rückgewinnung von Materialien aus Bauwerken (Gebäude als anthropogenes Rohstofflager) (Potenzialanalyse; „Baustoff-Kataster“) (KR 3)
- Lebenszyklusanalyse bzw. lebenszyklusorientierte Ökobilanz von Bauwerken (inkl. Simulation des Lebenszyklus in der Planung) (KR 4)
- Technologien und Infrastruktur für das Recycling verbauter Materialien / Baustoffe (KR 5)

Folgende „Digitalisierungs-Technologien Planen und Bauen“ sind besonders wichtig:

- BIM und CIM als Grundlage für Digitale Planung und Digital Twin (DT 1)
- Digital gestützte Vorfertigung und 3D Printing / AM (kostengünstige Bauweise und Wohnungsbau) (DT 2)
- Robotik (Fachkräftemangel und Verbesserung der Arbeitsbedingungen) (DT 3)
- Künstliche Intelligenz (Effizienzsteigerung der Arbeitsweise) (DT 4)
- IoT und Gebäudetechnik (Beitrag zur Klimaneutralität und Steigerung der Performanz baulicher Anlagen) (DT 5)

Hinsichtlich „Neue Arbeitswelt“ ist besonders wichtig:

- Entwicklung von Homeoffice als gleichwertig anerkannter Arbeitsort (steuerliche und gesetzliche Rahmenbedingungen) (NA 1)
- Veränderung geschäftlicher Mobilität (Vertriebsmodelle, Business-Events etc.) (NA 2)
- Umweltbewusstsein und Berücksichtigung von Ökologie-Prinzipien (z. B. Umgang mit materiellen Ressourcen) (NA 3)
- Sharing Economy – geteilte Nutzung von Ressourcen z. B. Büroflächen, Arbeitsplätze
- Verfügbarkeit von Fachkräften (z. B. Weiterbildung, Attraktivität, Zuwanderung) (NA 4)

Für das Gestaltungsfeld „Mobilität“ wurden identifiziert:

- Komfortable Individualmobilität und attraktivere längere Pendlerstrecken durch zunehmend automatisierte (Dienst-)Fahrzeuge (MO 1)
- Ausbau von Infrastrukturen von Mikromobilitätslösungen (z. B. Fahrbahnen und Stellplätze für Tretroller, Fahrräder, E-Roller, etc.) (MO 2)
- Zunehmend bedarfsgerechte Mobilität durch Mobility-as-a-Service-Angebote und intermodale Vernetzung (MO 3)
- Ausbreitung hochflexibler, schneller und teilweise automatisierter Lieferdienste für Waren und Güter (KEP, Lieferdrohnen, Zustellroboter...) (MO 4)
- Emissionsreduzierte Innenstädte (z. B. niedrige Geschwindigkeiten, verkehrsreduzierte Bereiche...) (MO 5)

Wirkungsmatrix und TOP-10-Treiber und -Hebel

In einem zweiten Schritt wurde eine Wirkungsmatrix (Abbildung 84) der Themenkomplexe erstellt. Dazu wurde jeder Themenkomplex dahingehend bewertet, wie stark sein Einfluss auf die anderen Themenkomplexe ist. Zugrunde gelegt wurde hierbei eine dreistufige Skala „kein Einfluss“, „schwacher, indirekter Einfluss“ oder „starker, unmittelbarer Einfluss“ auf den anderen Themenkomplex.

Abbildung 84
Symbolbild der Wirkungsmatrix

Wirkungs- matrix	Wohnungsmarkt und Regulierung					Entwicklung und Stadt/Land					Klimaschutz und Klimawandel- folgen					Kreislaufwirt- schaft und Ressourcen					Digitalisierungs- Technologien Planen und Bauen					Neue Arbeitswelt					Mobilität					Aktivsumme		
	IM1	IM2	IM3	IM4	IM5	IL1	IL2	IL3	IL4	IL5	KK1	KK2	KK3	KK4	KK5	KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	DT1	DT2	DT3	DT4	DT5	NA1	NA2	NA3	NA4	NA5	MO1	MO2	MO3	MO4	MO5			
Wohnungs- markt und Regulierung	IM1	0	1	0	1	2	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	21	
	IM2	2	1	2	2	0	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	43	
	IM3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	32	
	IM4	2	1	0	1	1	0	2	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0	0	2	22		
	IM5	1	0	0	2	0	1	2	1	2	1	2	0	0	1	1	2	2	1	1	0	1	2	0	1	2	2	1	0	1	0	0	1	0	0	1	33	
Entwicklung und Stadt/Land	IL1	2	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	2	2	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	2	1	2	1	0	0	22		
	IL2	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	2	2	2	1	1	2	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	38		
	IL3	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	2	1	2	0	1	1	1	0	0	1	2	0	1	1	0	1	1	1	0	2	0	0	27		
	IL4	1	1	0	1	1	1	1	2	1	0	2	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	28		
	IL5	2	1	2	2	2	1	1	1	1	0	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	39		
Klimaschutz und Klimawandel- folgen	KK1	1	2	2	0	2	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	0	2	0	0	35		
	KK2	1	1	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	17		
	KK3	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21		
	KK4	2	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18		
	KK5	1	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12		
Kreislaufwirt- schaft und Ressourcen	KR1	1	0	2	0	2	1	0	2	1	2	2	0	1	1	1	2	2	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	26	
	KR2	1	0	2	0	2	0	1	2	2	2	1	1	0	1	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	25	
	KR3	1	0	0	1	2	1	0	2	1	2	2	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	23	
	KR4	0	0	2	0	1	0	2	0	2	0	0	2	1	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	21	
	KR5	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	0	1	0	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	26
Digitalisierungs- Technologien Planen und Bauen	DT1	1	2	2	0	0	0	0	1	2	1	0	1	0	0	2	1	2	0	2	2	0	1	1	1	0	0	2	1	0	0	1	1	1	0	28		
	DT2	1	1	2	2	0	0	0	1	1	2	1	1	2	0	2	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	
	DT3	1	0	1	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13	
	DT4	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	2	2	1	1	2	2	2	2	0	2	1	2	0	0	2	1	2	2	0	0	37		
	DT5	0	1	1	1	1	1	0	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	0	1	1	0	1	1	1	1	2	1	0	0	2	1	0	0	37		
Neue Arbeitswelt	NA1	2	1	0	0	1	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	1	0	1	1	1	21		
	NA2	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	2	1	2	0	19	
	NA3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	1	0	0	0	0	1	2	1	2	2	0	1	2	1	1	2	1	2	40	
	NA4	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	2	1	0	0	0	17		
	NA5	1	2	2	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	0	2	0	0	2	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	24		
Mobilität	MO1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0	0	2	0	0	0	11		
	MO2	1	0	0	0	1	2	1	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	1	0	1	0	1	19		
	MO3	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	2	1	1	1	0	1	17	
	MO4	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	2	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	16
	MO5	0	2	0	0	0	2	0	2	0	1	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	1	2	1	1	1	0	24	
Passiv- summe		32	26	29	24	37	28	15	41	30	32	29	24	27	23	24	27	40	40	27	25	18	15	10	18	25	19	21	28	25	15	14	27	17	12	30		

Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

Mithilfe der so entstandenen Wirkungsmatrix (vergleiche Symbolbild der Wirkungsmatrix) ist es möglich, in der Horizontalen eine sogenannte Aktivsumme zu bilden. Je höher die Summe ist, umso stärker ist die mit diesem Themenkomplex verbundene Dynamik, also seine Wirkung als Treiber. Die in der Vertikalen berechnete Passivsumme lässt eine Aussage zu, mit welchem Themenkomplex die höchste Wirkung erzielt werden kann, welcher Themenkomplex als Hebel wirken kann.

Als Top-10-Treiber für nachhaltiges visionäres Bauen für das Wohnen und Arbeiten der Zukunft wurden dabei identifiziert:

1. Bürokratie und Regulierung im Bereich Planen und Bauen von (Wohn-)Gebäuden
2. Umweltbewusstsein und Berücksichtigung von Ökologie-Prinzipien (z. B. Umgang mit materiellen Ressourcen)
3. Neue Lebenszyklusmodelle der Immobilienbewirtschaftung durch digitale Prozesse von Planen über Bauen bis Betreiben
4. Performative Regulierung als Antwort auf beschleunigte Innovationszyklen der gebauten Umgebung
5. Künstliche Intelligenz (Effizienzsteigerung der Arbeitsweise)
6. IoT und Gebäudetechnik (Beitrag zur Klimaneutralität und Steigerung der Performanz baulicher Anlagen)
7. Maßnahmen / Technologien zur Reduktion der THG-Emissionen
8. Sanierungsstrategien für Quartiere (Roadmaps), die neue Geschäftsmodelle in der Bewirtschaftung von Quartieren ermöglichen
9. Leit- und Exportprodukte und Player der Bauwirtschaft
10. Smart Cities & Regions – Digitalisierung von Infrastrukturen & Daseinsvorsorge (= Verschiebung von Standortfaktoren)

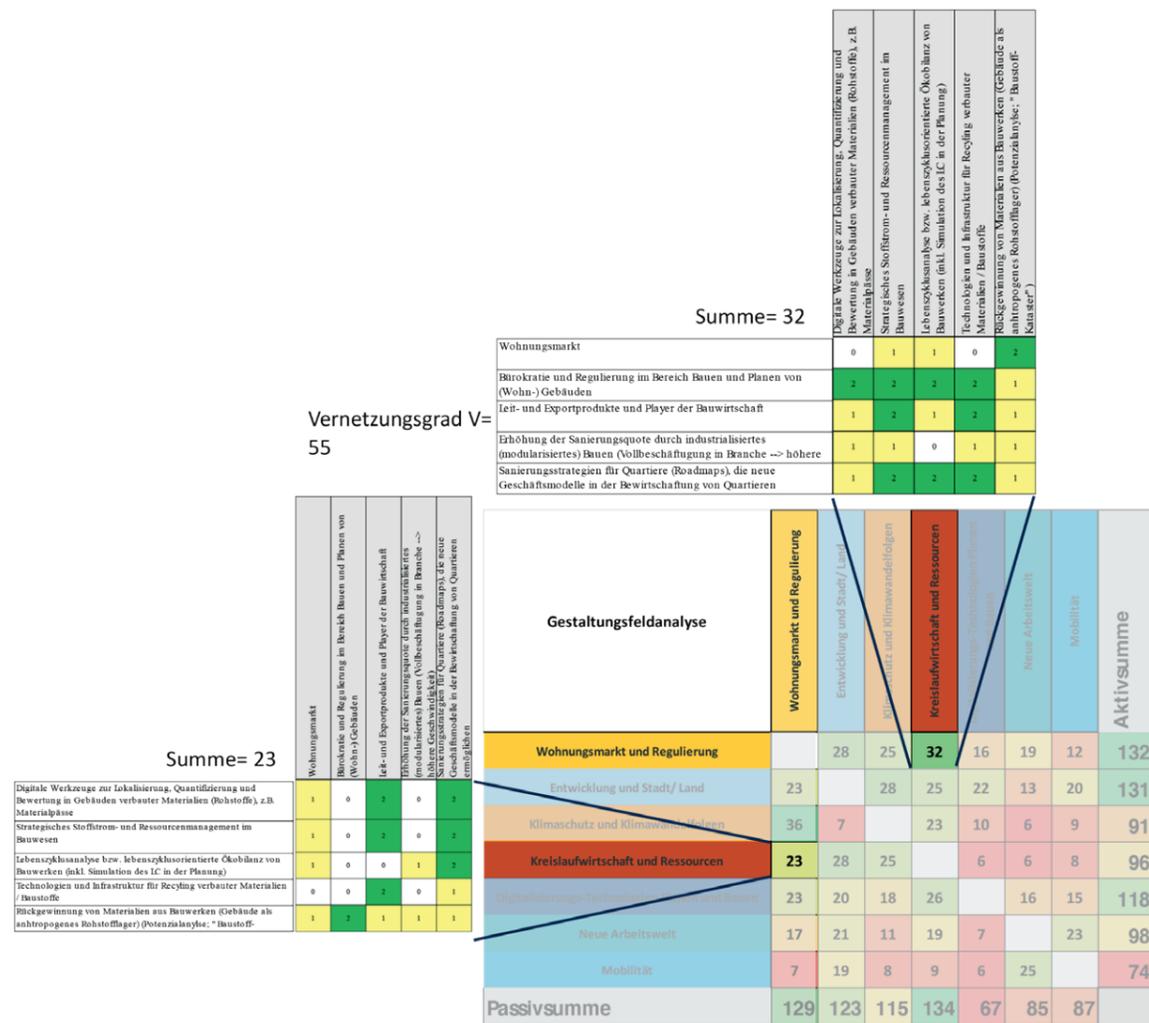
Die größte Wirkung im Hinblick auf die Zukunft des Planens und Bauens können mit den folgenden Top-10-Hebeln erzielt werden:

1. Klimaneutrale Quartiers- und Stadtentwicklung (Klimanotstand, CO₂-Bilanzierung, Stadtbauphysik, ESG- / SDG-Monitoring)
2. Lebenszyklusanalyse bzw. lebenszyklusorientierte Ökobilanz von Bauwerken (inkl. Simulation des LC in der Planung)
3. Strategisches Stoffstrom- und Ressourcenmanagement im Bauwesen
4. Sanierungsstrategien für Quartiere (Roadmaps), die neue Geschäftsmodelle in der Bewirtschaftung von Quartieren ermöglichen
5. Neue Lebenszyklusmodelle der Immobilienbewirtschaftung durch digitale Prozesse von Planen über Bauen bis Betreiben
6. Wohnungsmarkt
7. Smart Cities & Regions – Digitalisierung von Infrastrukturen & Daseinsvorsorge (= Verschiebung von Standortfaktoren)
8. Emissionsreduzierte Innenstädte (z. B. niedrige Geschwindigkeiten, verkehrsreduzierte Bereiche)
9. Maßnahmen / Technologien zur Reduktion der THG-Emissionen
10. Leit- und Exportprodukte und Player der Bauwirtschaft

Gestaltungsfeldanalyse und Vernetzungsgrad

Auf Basis der Wirkungsanalyse ist es zudem möglich, herauszuarbeiten, wie stark die einzelnen Gestaltungsfelder miteinander vernetzt sind. Dazu wurde der Vernetzungsstärke ermittelt, indem je zwei Gestaltungsfelder direkt miteinander verglichen werden.

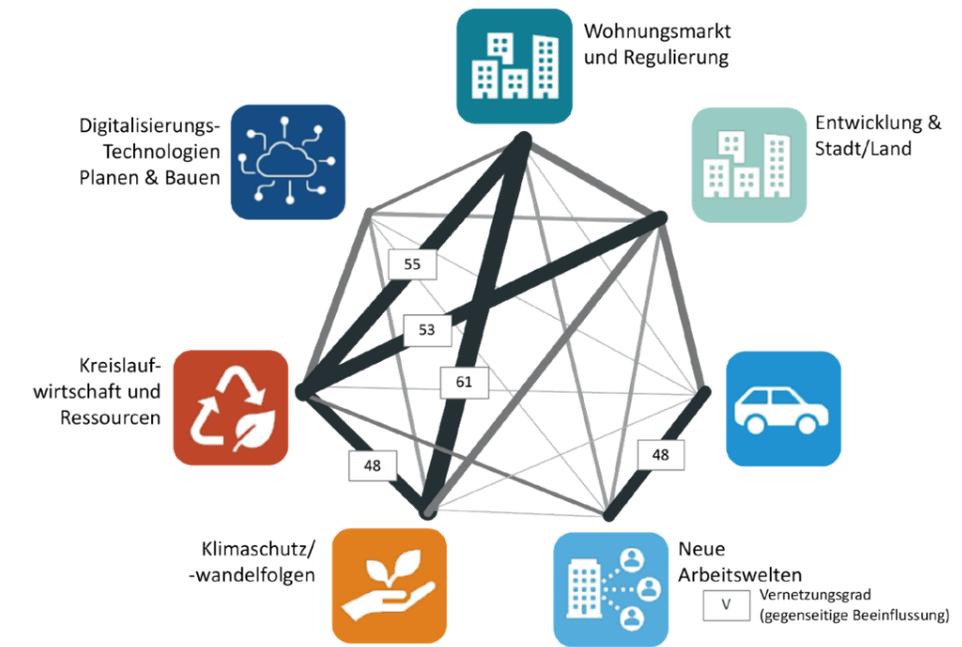
Abbildung 85
Exemplarische Darstellung der Berechnung des Vernetzungsgrads in der Gestaltungsfeldanalyse



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IAO 2021

In der vorigen Abbildung 85 wird dies exemplarisch an den beiden Gestaltungsfeldern „Wohnungsmarkt und Regulierung“ und „Kreislaufwirtschaft und Ressourcen“ verdeutlicht. Über seine Themenkomplexe beeinflusst das Gestaltungsfeld „Kreislaufwirtschaft und Ressourcen“ das Gestaltungsfeld „Wohnungsmarkt und Regulierung“ mit einer Stärke von 23. Umgekehrt beeinflusst das Gestaltungsfeld „Wohnungsmarkt und Regulierung“ das Gestaltungsfeld „Kreislaufwirtschaft und Ressourcen“ mit einer Stärke von 32. In der Summe sind diese beiden Gestaltungsfelder am stärksten (V = 55) miteinander verbunden.

Abbildung 86
Vernetzung der Gestaltungsfelder

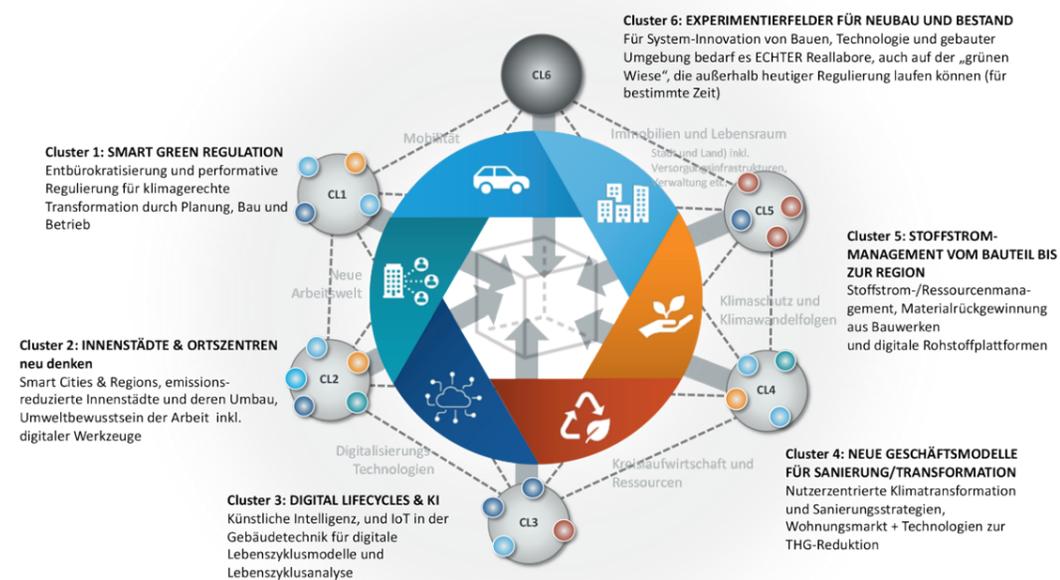


Aus dieser Analyse ergibt sich zum einen, dass das Gestaltungsfeld „Kreislaufwirtschaft“ den höchsten Vernetzungsgrad hat, insbesondere zum Gestaltungsfeld „Wohnungsmarkt und Regulierung“, „Entwicklung und Stadt/ Land“ sowie „Klimaschutz und Klimawandelfolgen“. Auch die beiden Gestaltungsfelder „Neue Arbeitswelten“ und „Mobilität“ sind eng miteinander vernetzt (Abbildung 86). Die detaillierten Vernetzungsgrade sind im Anhang 10.2 aufgeführt. Zudem fällt auf, dass das Gestaltungsfeld „Digitalisierungs-Technologien Planen und Bauen“ zwar nicht den höchsten Vernetzungsgrad hat, mit einer Aktivsumme von 114 jedoch eine treibende Wirkung entfalten kann.

08.2 Handlungsempfehlungen

Vor dem Hintergrund der im vorherigen Kapitel dargestellten Priorisierung der Gestaltungsfelder, ihrer Vernetzung und der relevantesten Treiber und Hebel im Zukunftsraum, wurden zur Strukturierung der Handlungsempfehlungen zusammengehörende Themenkomplexe zu konsistenten Clustern (Abbildung 87) gebündelt.

Abbildung 87
Systembild mit konsistenten Clustern



Quelle: Eigene Darstellung Prognos / Fraunhofer IAO 2021

Cluster 1

Smart Green Regulation

Der erste Cluster „Smart Green Regulation“ adressiert thematisch die Entbürokratisierung und performative Regulierung für klimagerechte Transformation von Planung, Bau und Betrieb.

Der fortschreitende Klimawandel wirkt sich zunehmend auf die Planung der Umwelt aus. Der Einfluss betrifft sowohl die Mobilitätsplanung als auch die Gestaltung des Lebensraums und der Arbeitswelt. Klimagerechtes Planen und Bauen wird zunehmend zum zentralen Bestandteil zukünftiger gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und politischer Handlungsentscheidungen. Die Förderung des Einsatzes von Smart-Green-Technologien sollte dauerhaft als wesentliche Aufgabe wahrgenommen und durch die Entbürokratisierung von Prozessen und performativen Regulierungen unterstützt werden, um den Transformationsprozess zu beschleunigen. Ziel sollte es sein, das Potenzial für klimagerechtes, ressourcenschonendes und bezahlbares Bauen zu erschließen.

Die Auswertung der Einflusszusammenhänge der erstellten Wirkungsmatrix verdeutlicht den hohen Einfluss der Ausrichtung und der Maßnahmen der Bürokratie sowie der Regulierung im Planen und Bauen auf die Themenfelder Mobilität und Neue Arbeitswelt. Die empfohlene Entbürokratisierung und Beschleunigung von Planungsprozessen wirkt sich dementsprechend positiv auf die zukünftige Umgestaltung von klimagerechten, ressourcenschonenden und gesamtheitlich nachhaltigen Unternehmensstandorten sowie auf die Transformation der Mobilitätsstrukturen aus.

Des Weiteren wird aus den Untersuchungen der Wirkungszusammenhänge der Matrix eine deutliche Schnittstelle zwischen dem Einsatz performativer Regulierungen als Antwort auf beschleunigte Innovationszyklen der gebauten Umgebung und den Bereichen Mobilität und Arbeitswelt sichtbar. Um zukünftig schneller und agiler auf dynamische Veränderungsprozesse reagieren zu können, wird demnach eine performative Regulierung empfohlen, die positive Anreize schaffen und flexibel auf individuelle Situationen reagieren kann. Dies ist in der heutigen starren Gesetzgebung (z. B. bei Energiestandards) kaum möglich. Beispielsweise erlauben kommunale Legislativen in anderen Ländern eine Abweichung von geltenden Baustandards, wenn dadurch besondere Vorteile beim Klimaschutz oder soziale Mehrwerte geschaffen werden (z. B. können dadurch in New York innerstädtische Dachgewächshäuser entstehen, die zulässige Gebäudehöhen überschreiten).

Zusätzlich wird durch die Gegenüberstellung der Einflussfaktoren aller Themenfelder der Zusammenhang der Etablierung neuer Lebenszyklusmodelle der Immobilienbewirtschaftung durch digitale Prozesse von Planen über Bauen bis Betreiben erkennbar. Die neue Langlebigkeit von Immobilien gilt es besonders bei der Planung von Bürogebäuden zu berücksichtigen. Ein verlängerter Lebenszyklus einer Immobilie ist zwar ressourcenschonend, allerdings sollten die Gebäudestrukturen, sowohl in der Gestaltung von Innenräumen als auch in der gesamtheitlichen Architektur, auf die dynamischen Umweltbedingungen flexibel reagieren, um den Anforderungen der Nachhaltigkeit als höchstes Ziel des zukunftsorientierten Bauens gerecht zu werden.

Die Unterstützung der steigenden Nutzung und Etablierung von Smart-Green-Technologien basiert auf einem komplexen Zusammenhang aller Themenfelder. Dennoch tritt der Einfluss von bestimmten Regulierungen im Planen und Bauen zur Entwicklung von nachhaltigen Bürogebäuden sowie bei der Umsetzung von nachhaltigen, innovativen Mobilitätssektoren in den Vordergrund. Die Nutzung der positiven Zusammenhänge wird das Vorantreiben von Smart-Green-Technologien nachhaltig begünstigen.

Cluster 2

Innenstädte und Ortszentren neu denken

Der zweite Cluster „Innenstädte und Ortszentren neu denken“ konzentriert sich auf die Themen „Smart Cities & Regions“, „emissionsreduzierte Innenstädte und deren Umbau“ sowie auf das „Umweltbewusstsein der Arbeit“ einschließlich „digitaler Werkzeuge und Versorgungsprozesse“.

Durch die vorausgehend skizzierten Veränderungsfelder im Bereich der Mobilität, Immobilien und Lebensraum sowie der Arbeitswelt wird sich auch die gebaute Umwelt langfristig wandeln. Vershobene gesellschaftliche Verhaltensmuster, wie eine Zunahme der Nutzung alternativer Arbeitsorte, aufgrund der Digitalisierung oder der steigende Einfluss klimabedingter Veränderungen der natürlichen Umgebung beeinflussen das Planen und Bauen der Zukunft. Zur Gewährleistung und Sicherung einer nachhaltig lebenswerten Umgebung ist vorerst die Entwicklung einer ganzheitlichen Betrachtung aller Themenfelder notwendig, zu deren Verständnisgrundlage die vorausgehenden Teilkapitel Einschätzungen zu thematischen Schnittstellen aufzeigten. Basierend auf den Veränderungsbereichen und Zusammenhängen der Einflussfaktoren folgen Handlungsempfehlungen zur Gestaltung einer lebenswerten, nachhaltigen und innovativen Stadt- und Regionalplanung. Dies gilt gleichermaßen für Innenstädte in Mittel- und Großstädten, deren Investitionsstabilität als Folge der durch die Corona-Pandemie verursachten Krise und der Digitalisierung des Handels längerfristig beeinflusst wird, ebenso wie für Versorgungslagen im ländlichen Raum, die mit Wegzug und Strukturwandel zu kämpfen haben. In beiden Fällen gilt es für die zentralen Lebensräume in Bayern zukunftsfähige Lösungen zu schaffen, die als „gebaute Demokratie“ Stabilität und soziale Gerechtigkeit für die Zukunft gewährleisten können.

Die Ergebnisse der skizzierten Matrix mit Zusammenhängen der Einflussfaktoren der einzelnen Themenfelder verdeutlichen einen starken Zusammenhang zwischen der Digitalisierung von Infrastrukturen und Daseinsvorsorge und den Bereichen der Neuen Arbeitswelt und der Digitalisierung und Technologien. Im Hinblick auf eine zunehmende Digitalisierung der Arbeitswelt steigt auch der Möglichkeitsraum zur Nutzung alternativer Arbeitsorte. Die Arbeitstätigkeit ist nicht mehr zwangsläufig an den Unternehmensstandort gebunden. Diese Entgrenzung der Arbeitswelt kann zukünftig einerseits zu einem gesteigerten Wohlbefinden und einer gesteigerten Produktivität aufgrund von neuen Kreativitätsprozessen durch die Nutzung vielfältiger Arbeitsorte führen, zum anderen kann durch das zeitlich und räumlich autonome Arbeiten auch eine bessere Vereinbarkeit von Familie und Beruf erreicht werden. Ersteres wurde bereits im Rahmen der Studie „Office Analytics“ des Fraunhofer IAOs in Bezug auf die Gestaltung der Büroräumlichkeiten und deren Einfluss auf Erfolgsfaktoren nachgewiesen.

Diese Entwicklungsperspektive hat einen großen Einfluss auf die Gestaltung der zukünftigen Innenstädte und der zentralen Büroflächen. Bei einer Zunahme der Homeoffice-Arbeit muss langfristig, in Anbetracht der aktuellen Kostengröße vor allem bei urbanen Standortflächen, mit einer Reduzierung der Büroflächen gerechnet werden. Die Entwicklung neuer Konzepte zur Umnutzung der Bestandsflächen ist erforderlich. Die verschobenen Verhaltensweisen der Arbeitswelt sowie der Ausbau digitaler Dienstleistungen und der Plattformökonomie wirken sich auch auf den stationären Einzelhandel aus. Zur Erhaltung der Innenstadt als Kommunikations-, Begegnungs- sowie Handelsplattform werden neue Einzelhandelskonzepte benötigt, die die Aufenthaltsattraktivität wesentlich steigern. Die Unterstützung von alternativen Lösungen, wie der Kombination von Verkaufs- und Produktionsräumen in urbanen Manufakturen, kann durch einen hohen Grad an Authentizität und Transparenz zu einer kundenfreundlichen Innenstadt beitragen.

Die Studienergebnisse verdeutlichen die Zunahme der Anforderungen von Nutzer*innen an alternative Arbeitsorte im Stadt- bzw. Nachbarschaftskontext. Vor allem die Integration von Nachbarschaftsbüros sollte bei zukünftigen Flächennutzungskonzepten in Betracht gezogen werden, ebenso wie die Etablierung zentrumsnaher Co-Working-Flächen zur temporären Nutzung durch Unternehmen oder Einzelpersonen.

Innenstädte und Ortszentren müssen, damit sie wettbewerbsfähig bleiben, mehr darstellen als eine Anlaufstelle für Konsum und Unterhaltung. Stattdessen sollten sie beispielsweise als soziale Orte und auch als Ort des Gemeinwohls und der Teilhabe am stadtgesellschaftlichen Diskurs fungieren. Dies erfolgt durch Veranstaltungsformate, digitale Schnittstellen oder Artefakte im öffentlichen Raum. Kommunale Verwaltungen und Behörden sind ungeachtet des Onlinezugangsgesetzes dazu aufgerufen, ihre Dienste maximal bürgerorientiert und unter Ausnutzung vorhandener technischer Mittel zu gestalten.

Cluster 3

Digital Lifecycles & KI

Im Zentrum des dritten Clusters „Digital Lifecycles & KI“ stehen die Themen Künstliche Intelligenz (KI) und IoT in der Gebäudetechnik für digitale Lebenszyklusmodelle und Lebenszyklusanalyse.

Künstliche Intelligenz wird sich in den kommenden Jahren zu einem leistungsstarken Werkzeug für Planung, Realisierung und Betrieb von Gebäuden entwickeln. Es ist zu erwarten, dass sie ein Treiber der digitalen Transformation in neuen Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten werden wird. Vor dem Hintergrund, dass Algorithmen der KI stetig neue Daten benötigen, ergeben sich drei zentrale Handlungsempfehlungen, um die digitale Transformation im Zusammenhang mit nachhaltigem visionärem Bauen zu gestalten. Die Datennutzung durch KI-Algorithmen erfordert eine Sicherung der Datenqualität im Rahmen einer umfassenden „Data Governance“, die unter anderem Dateneigentum, die Anonymisierung der genutzten Daten, Datenschutz, Datenintegrität und Zugänglichkeit von Daten sichert. Die Klärung der damit verbundenen Fragen ist insbesondere auch vor dem Hintergrund der steigenden Bedeutung digitaler Modelle von großer Tragweite.

Darüber hinaus ist es von Bedeutung, KI-Anwendungen zu vernetzen, sodass historische Daten in Form von trainierten KI-Modellen entstehen können. Das Sharing solcher Modelle, z. B. mithilfe von Mechanismen der IT-Sicherheit wie Trusted Data Communities oder lokale Cloud-Lösungen, kann einen wertvollen Beitrag leisten, um insbesondere mittelständischen Unternehmen den Einstieg in und die Anwendung von KI zu erleichtern.

Im Zusammenhang mit IoT ist weniger die Frage zu beantworten, wie der Zugang zu (sensorbasierten) Gebäudedaten erfolgen kann, sondern vielmehr zu klären, wie die Konsistenz der Daten, die hier generiert werden, mithilfe entsprechender Datenmodelle gesichert werden kann. Auch hier spielt Data Governance eine wesentliche Rolle. So ist zukünftig das Verhältnis zwischen Eigentümer und weiteren Akteuren (z. B. Kommunen) zu klären, inwieweit der Eigentümer eines Gebäudes der Kommunalverwaltung Gebäudedaten zur Verfügung stellen muss oder ob dazu entsprechende Anreizsysteme notwendig sind.

Die Relevanz gemeinwohlorientierter Datenstrategien für digitale Lebenszyklen unserer gebauten Umgebung ist erst im Mai 2021 erst auf dem Nationalen Stadtentwicklungskongress vorgestellt worden. Diese basieren auf der Datenstrategie der Bundesregierung vom Januar 2021 und verfolgen die folgenden Ziele auf kommunaler Ebene: Daten zielorientiert nutzen, Datenkompetenz aufbauen und weiterentwickeln, mit Daten wertorientiert umgehen, Zugang zu Daten schaffen, durch Daten kommunale Wertschöpfung schaffen, Daseinsvorsorge stärken und kommunale Geschäftsmodelle ermöglichen, durch Datenkooperationen einen Mehrwert für die gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung schaffen sowie durch Daten Transparenz herstellen, Partizipation & Ko-Kreation ermöglichen. Für Bayern besteht die Chance, hierfür zeitnah länderbezogene Rahmenbedingungen und innovationspolitische Maßnahmen zu schaffen, die digitale Lebenszyklen und übergreifende Datenökosysteme der gebauten Umgebung in Stadt und Land unterstützen.

Cluster 4

Neue Geschäftsmodelle für Sanierung / Transformation

Nachhaltiges, zukunftsweisendes Planen, Bauen und Betreiben von Immobilien muss einen besonderen Fokus auf den Cluster 4 „Neue Geschäftsmodelle für Sanierung / Transformation“ legen, in dem die Themenkomplexe „Nutzerzentrierte Klimatransformation und Sanierungsstrategien“, „Wohnungsmarkt“ sowie „Technologien zur THG-Reduktion“ adressiert werden.

Dazu ist es notwendig aktorsorientierte Strategien zu erarbeiten, wie der bayerische Gebäudestand effektiv und effizient modernisiert werden kann. Dazu sind nicht nur Kostenreduzierungspotenziale auszuschöpfen, sondern auch die Fragen zu beantworten, welche innovativen Rahmenbedingungen und Anreizsysteme aufgebaut werden, um ressourcenschonend zu modernisieren. Eine Erhöhung der Sanierungsquote bayerischer Gebäude ist insbesondere vor dem Hintergrund einer starken Auslastung der Bau- und nach aktuellem Kenntnisstand vor allem möglich, indem industrielles modularisiertes Bauen durch einen Technologie- und Innovationsschub vorangetrieben wird.

Ergänzend dazu sind Sanierungsstrategien erforderlich, die auf einer verbindlichen und sektorübergreifenden Roadmap aufbauen, um ein Modernisierungsniveau festzuschreiben, sodass große landeseigene und kommunale Liegenschaften im Gleichschritt betrachtet werden können und auf einheitlichen, verstetigten Planungsgrundlagen aufbauen. Dazu gehören auch quartiersbezogene Ansätze, die nicht nur auf Gebäudeebene ansetzen, sondern auch systemische Potenziale zwischen umbautem und öffentlichem Raum sowie zugrunde liegenden Infrastrukturen berücksichtigen.

Im Zusammenhang mit dem Wohnungsmarkt sind Wege aufzuzeigen, wie insbesondere jungen Menschen eine Perspektive geboten werden kann, sich Wohnungseigentum, auch als eine Säule zur Altersvorsorge, beschaffen zu können. Hierbei gilt es auch neue Work-Life-Dynamiken und räumliche Flexibilitäten zwischen Ballungsräumen und geringer besiedelten Lebensräumen Bayerns zu berücksichtigen und standortbezogen zu unterstützen.

Neben allumfassenden Sanierungsstrategien und neuen Konzepten zur Förderung des Angebots auf dem Wohnungsmarkt für jüngere Generationen wird die Transformation bestehender Büroflächenstrukturen zukünftig einen besonderen Stellenwert einnehmen. Zum einen ist es notwendig, bestehende Nutzungen zu berücksichtigen, um der Unterstützung veränderter Verhaltensweisen aufgrund neuer digitaler Work-Life-Dynamiken und eines hohen Flexibilisierungsgrads gerecht zu werden. Zum anderen setzt die prognostizierte Reduzierung von Büroflächen aufgrund zunehmender alternativer (dritter) Arbeitsorte die Entwicklung von flexiblen Umnutzungskonzepten voraus. Die Transformation von vor allem zentrumsnahen Bürogebäuden zu Wohnflächen oder sogar vertikalen Produktionsstätten kann die Nutzungsvielfalt in den Innenstädten unterstützen und zu einer resilienten, nachhaltig lebenswerten urbanen Innenstadt beitragen.

Bestehende Büroflächen sind oft in ihren Zuschnitten teilweise nicht mehr zeitgemäß und können die Anforderungen einer modernen Arbeitswelt nicht mehr vollständig abbilden. Durch die steigende Bedeutung von unternehmens- und branchenübergreifendem Wissenstransfer und co-kreativer Zusammenarbeit sowie eine Zunahme von Projektarbeit sind Gebäude- und Raumstrukturen notwendig, die sich flexibel anpassen lassen und in kürzeren Nutzungszyklen multifunktional nutzbar sind., Erste Praxisbeispiele in Bayern nehmen diesen Bedarf bereits konsequent auf, der bis in die Gebäudetechnik Anpassungen erfordert. Zusätzlich sollte der steigende Einsatz hybrider Kollaborationsformate bei der Planung und Umstrukturierung von bestehenden Büroflächen bedacht werden. Die Umsetzung virtueller und hybrider Arbeitsprozesse (z. B. simultanes Engineering über mehrere Standorte eines Unternehmens) setzt die Etablierung neuer technischer Ausstattungen, wie beispielsweise die Integration digitaler Whiteboards, voraus.

Zur Umsetzung von nachhaltigen und zukunftsweisenden Immobilien ist nach wie vor eine ganzheitliche Betrachtung aller Teil-Themenfelder notwendig, deren Zusammenhang das zukünftige Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden in Bayern maßgeblich beeinflusst. Dabei spielen auch Informations- und Weiterbildungsmaßnahmen für Architekten, Gebäudetechniker und nicht zuletzt Finanzierer und Bau-träger eine nicht zu unterschätzende Rolle. Begleitende Anreizprogramme, beispielsweise für die Planung und Realisierung flexibler Vario-Konzepte in Wohn-, Büro- oder Handelsimmobilien, können weitere Impulse setzen.

Cluster 5

Stoffstrom-Management vom Bauteil bis zur Region

Der Cluster 5 „Stoffstrom-Management“ adressiert neben dem Thema „Materialrückgewinnung aus Gebäuden“ die Themenkomplexe „Digitale Rohstoffplattform“ sowie „Ressourcen- und Stoffstrommanagement“. Für nachhaltiges visionäres Bauen wird der Cluster „Stoffstrom-Management“ mit seinen Themenkomplexen, insbesondere auch aufgrund des Vernetzungsgrades des Themas „Kreislaufwirtschaft“ mit anderen Themen eine übergeordnete Rolle einnehmen. Dazu ist es notwendig, einen Innovationsschub zu initiieren, durch den z. B. technologische Aufbereitungsverfahren einschließlich neuer (z. B. elektrodynamische Fragmentierung) oder energetisch effizienter Zerkleinerungs- sowie Klassier- und Sortierverfahren sich weiterentwickeln oder neue Recyclingtechnologien mit hoher Effizienz und Wirtschaftlichkeit entstehen können. Immer stärkere Bedeutung werden im Zuge regionaler Wertschöpfung und Kreisläufe auch Aspekte regionaler Stoffströme und Wiederverwertung von Baumaterialien und -produkten haben.

Im Zentrum dieses Innovationsschubs steht dabei, die Herausforderung nicht verfügbarer Deponieflächen zu überwinden. Um den Transport von recyclingfähigem Material über weite Strecken aus ökologischen und ökonomischen Gründen, insbesondere im urbanen Raum, zu vermeiden, sind Anreizsysteme sowie investitionsförderliche und regulatorische Rahmen zu schaffen, die eine regionale Verankerung des mit diesen technischen Anlagen verbundenen Know-hows ermöglichen. Auf Basis gezielter Maßnahmen wird es so möglich, die wirtschaftlichen Potenziale des „Urban Mining“ zu heben. Dabei stellen auch digitale Plattformen und Raumkataster auf offenen Daten, beispielsweise für ein möglichst regionales Management von Ressourcen und Stoffströmen in Echtzeit, eine wichtige Voraussetzung dar.

Cluster 6

Experimentierfelder für Neubau und Bestand

Für System-Innovation von Bauen, Technologie und gebauter Umgebung bedarf es eines neuen Typs von Experimentierfeldern oder Reallaboren, auch auf der „grünen Wiese“, die außerhalb heutiger Regulierung für bestimmte Zeit laufen können. Mit diesem Ansatz kann sichergestellt werden, dass nicht nur ein Innovations- und Technologieschub initiiert werden kann, sondern auch die „Keimzellen“ für Sprunginnovationen in der Bau- und Immobilienbranche geschaffen werden, die unter üblichen Marktbedingungen nicht realisierbar wären. An der Schnittstelle von Forschung, Handwerk und Ausbildung können gezielte Maßnahmen erarbeitet werden, um dem Fachkräftemangel zu begegnen und Zukunftsmärkte zu adressieren.

Im Zusammenhang mit den vernetzten Änderungen in neuen Arbeits-, Mobilitäts- und Lebenswelten können mithilfe von Reallabor-Ansätzen systemische Lösungen in ihrer Wirkung erprobt werden. Bei der Gestaltung neuer Arbeits-/Lebenswelten, sowohl in Unternehmen als auch Stadtentwicklungsprojekten, werden zunehmend partizipative Prozesse zur Umsetzung neuer Lebens- und Arbeitswelten notwendig. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass neue soziale Interaktionen durch digitale Prozesse entstehen und damit einhergehende hohe Flexibilität in Bezug auf neue Raum- bzw. Nutzungskonzepte erforderlich werden. So können z. B. in Büroimmobilien Desk-Sharing-Modelle, Integration von Corporate-Coworking-Flächen oder Kommunikationsflächen zwischen den einzelnen Bereichen das Silodenken in der Arbeitswelt aufbrechen und den Wissenstransfer im Unternehmen verbessern. Ebenso gilt es in Wohngebieten oder Innenstädten in Zukunft neue Funktionen zu berücksichtigen oder zumindest Nutzungen hierfür vorzuhalten.

Reallabore werden für den Innovationsstandort Bayern immer wichtiger. Kreative Unternehmen, Verwaltungen und Forscher testen in realen Umgebungen und Lebensräumen, was noch vor wenigen Jahren undenkbar war: zum Beispiel autonome Fahrzeuge, Drohnen, neue Lösungen für Telemedizin oder neue Kreislaufprozesse. Gleichzeitig helfen Reallabore zu verstehen, welche Regeln die digitale Welt von morgen braucht. Experimentierfelder und Reallabore können dabei helfen mit der Transformation heutiger Nutzungen und Prozesse zu experimentieren und zu erarbeiten, welche Wirkung eine Flexibilisierung der Gebäudenutzung Geschäfts- und Betreibermodelle entfalten kann. Diese Änderungen wirken unmittelbar auch auf die Lebens- und Mobilitätswelten.

Im Zusammenhang mit dem Cluster „Stoffstrommanagement“ ist es notwendig, branchenübergreifende Lösungen in Experimentierfeldern zu erarbeiten, die einen Beitrag zur Verlängerung des Lebenszyklus eines Gebäudes leisten. Hier spielen insbesondere Innovationen eine Rolle, die die Anpassbarkeit von Gebäudestrukturen adressiert.

09

Zusammenfassung und Fazit

Die Bauwirtschaft steht vor einem Wandel, der es ihr ermöglicht, einen entscheidenden Beitrag zu den großen Herausforderungen unserer Zeit zu leisten.

Kapitel in der Übersicht

09.1	Lage und Ausblick im Bausektor	262
09.2	Klimaschutz	263
09.3	Klimawandel	264
09.4	Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschutz	265
09.5	Wohnungsmarkt und Bürokratie beim Planen und Bauen	266
09.6	Digitalisierung im Bauwesen	267
09.7	Neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten als Treiber des Planens und Bauens	268
09.8	Zentrale Technologien und Konzepte für das Planen und Bauen der Zukunft	269

Das Bauwesen prägt, gestaltet und verändert unsere gebaute Umwelt. Was heute geplant und gebaut wird, ist für die nächsten Jahrzehnte gebaute Realität. Durch sein Kerngeschäft schafft es die physischen Voraussetzungen für das gesellschaftliche Zusammenleben und für weite Teile der wirtschaftlichen Aktivität in Bayern, Deutschland und weltweit. Zudem ist der Bausektor ein bedeutsamer Wirtschaftszweig der deutschen und bayerischen Volkswirtschaft. Er ist aber auch einer der größten Verbraucher von Ressourcen und Energie und trägt in bedeutendem Ausmaß zu den Treibhausgasemissionen und dem Abfallaufkommen bei. Daraus resultiert eine bedeutende Verantwortung für die Zukunftsthemen unserer Gesellschaft.

09.1 Lage und Ausblick im Bausektor

Die Auswirkungen der Corona-Krise auf die Baukonjunktur waren im letzten Jahr noch vergleichsweise gering, die Effekte können aber zeitlich versetzt auftreten. So konnte sich das Bauhauptgewerbe als einer der wenigen Wirtschaftsbereiche gegen den Einbruch 2020 behaupten. Der Umsatz im Bauhauptgewerbe erreichte 2020 sogar einen neuen Höchststand. Damit ist die Bauwirtschaft ein wirtschaftlicher Stabilitätsanker.

Das Jahr 2021 ist allerdings auch für die Bauwirtschaft mit großen Unsicherheiten verbunden. Dennoch wird erwartet, dass sich das Baugewerbe in den kommenden Jahren weiter positiv entwickeln und eine hohe Kapazitätsauslastung aufweisen wird. Bis 2030 wird die preisbereinigte Bruttowertschöpfung mit durchschnittlich 1,3 Prozent pro Jahr etwa im Branchendurchschnitt wachsen. Für Bayern wird eine ähnliche Entwicklung prognostiziert. Damit bleibt die Bauwirtschaft insgesamt ein bedeutsamer Wirtschaftszweig der bayerischen und deutschen Volkswirtschaft.

Die künftige Entwicklung des Bausektors wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, die teils gegenläufig wirken. Ein wesentlicher Einflussfaktor ist der demografische Wandel, der neben dem Fachkräftengpass bei bestimmten Berufen die Baunachfrage insgesamt dämpft. Strukturelle Verschiebungen innerhalb der Bevölkerung und privaten Haushalte (mehr kleine Haushalte mit relativ mehr Fläche) sowie eine steigende Nachfrage nach altersgerechten Umbauten wirken dem demografiebedingten Rückgang der Baunachfrage zwar entgegen, können den Effekt aber nicht vollständig kompensieren. Ein weiterhin treibender Einfluss wird hingegen von dem Niedrigzinsumfeld erwartet, der bewirkt, dass (Wohn-)Immobilien vorerst eine attraktive Anlageform bleiben. Auch die Transformation hin zur Klimaneutralität sowie Klimawandelanpassungsmaßnahmen wirken infolge der erforderlichen (Bau-)Investitionen positiv auf die Bautätigkeit.

Bausektor im Wandel

In den kommenden Jahren steht der Bausektor vor einem Wandel. Er wird in mehrfacher Hinsicht gefordert, einen Beitrag zur Bewältigung einiger der größten wirtschaftspolitischen und gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit zu leisten. Der Wandel wird vor allem durch sich verändernde und neue Anforderungen sowie notwendige Anpassungen in den Bereichen Umwelt-, Klima- und Ressourcenschutz, Klimawandel, Digitalisierung sowie Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten bewirkt.

Die Veränderungen bringen Herausforderungen für den Bausektor mit sich. Sie bergen aber auch Chancen, sich neue Export- und Wachstumsmöglichkeiten sowie neue Geschäftsfelder und -modelle im Bauwesen und darüber hinaus zu erschließen, indem relevante Technologiefelder und neue Schlüsselkompetenzen (u.a. nachhaltige Baustoffe, TGA-Module, Smart Building / BIM) besetzt werden. Dabei eröffnen sich gerade für die führenden Leitanbieter Bayerns (Hidden Champions) in den vor- und nachgelagerten Bereichen der Bauwirtschaft Chancen und Potenziale hinsichtlich der Erschließung neuer Märkte (u.a. Mittel- und Osteuropa, Asien sowie Märkte mit wachsendem Bau- und Infrastrukturbedarf). Dabei kommen insbesondere innovative Produkte, Bauteile und spezifische Lösungen aus Bayern weltweit zur Anwendung, die Bauherren und Nutzern Qualitäts- und Effizienzvorteile während der Bau- und Bewirtschaftungsphase von Gebäuden und Infrastrukturanlagen über den gesamten Lebenszyklus bieten. Die führenden Leitanbieter Bayerns (Kapitel 02.2.3.3) tragen maßgeblich zur Kompetenzentwicklung der Branche bei und unterstützen die Exportorientierung der bayerischen Bauwirtschaft.

09.2 Klimaschutz

Im Mai 2021 wurden die deutschen Klimaschutzziele verschärft. Die deutschen Treibhausgasemissionen sollen gegenüber 1990 nunmehr bis 2030 um 65 Prozent, bis 2040 um 88 Prozent und bis 2045 auf Netto-Null (Klimaneutralität) reduziert werden. Die Klimaschutzziele sind zwar ambitioniert und erfordern deutliche Umsteuerungen, sie sind aber technologisch machbar.

Einen großen Hebel zur Erreichung der Klimaschutzziele bieten Bau und Betrieb von Gebäuden und Infrastrukturen, die zusammen (direkt und indirekt) für über 40 Prozent der deutschen THG-Emissionen verantwortlich sind. Hier entstehen THG-Emissionen vor allem energiebedingt bei Nutzung der Gebäude (v.a. Heizen) und im Umwandlungssektor bei der Bereitstellung von Strom sowie energie- und prozessbedingt bei Herstellung der Baumaterialien (v.a. Eisen und Stahl, Zementklinker).

Klimaschutzmaßnahmen und -technologien

Damit bietet der Bau- und Gebäudesektor ein enormes Potenzial zur Reduktion der THG-Emissionen. Die dafür erforderlichen Klimaschutzmaßnahmen und -technologien haben einen wesentlichen Einfluss auf das Planen und Bauen der Zukunft. Das betrifft im Gebäudesektor z.B. die Nutzung von Technologien zur Reduktion des Strom-, Wärme- und Kältebedarfs sowie zum Ersatz fossiler Energien. Zudem wird die Verwendung CO₂-arm produzierter und erneuerbarer Baustoffe zunehmend an Bedeutung gewinnen (müssen).

Bereits heute sind erneuerbare Baustoffe, vor allem auf Basis von Holz, ein nennenswerter Wirtschaftsfaktor in Deutschland und Bayern. Trotz der gestiegenen Bedeutung steht der Einsatz nachwachsender Baustoffe noch oftmals vor Herausforderungen sowie bürokratischen bzw. rechtlichen Hürden (u.a. höhere Anforderungen an Holzbauten, unzureichende Standardisierungen, Fachkräftengpässe). Außerdem muss die langfristige Nachhaltigkeit der Baustoffgewinnung gesichert sein, sodass diese insbesondere keine neue Konkurrenz zur Flächennutzung der Nahrungskette aufmachen. Längerfristig könnte es bei stärkerer Nachfrage auch hier zu Knappheiten und Preissteigerungen kommen. Das Klima- und Ressourcenschutzpotenzial kann aufgrund der Hemmnisse derzeit nicht voll ausgeschöpft werden.

Investitionsbedarfe

Die Transformation in Richtung Klimaneutralität geht mit signifikanten privaten und öffentlichen Investitionsbedarfen einher – insbesondere in klimafreundliche Technologien, die die Treibhausgasemissionen und -konzentration im Zeitverlauf dauerhaft senken. Die erforderlichen Mehrinvestitionen, also Investitionen, die über die ohnehin getätigten Klimaschutzinvestitionen hinausgehen, werden im Gebäudesektor auf durchschnittlich 11,8 Mrd. Euro pro Jahr bis 2050 geschätzt. Im Industriesektor beträgt der Mehrinvestitionsbedarf in Anlagen (und Gebäude) bis 2050 im Durchschnitt 14,9 Mrd. Euro pro Jahr. Allerdings betreffen davon auch einige Investitionen Industrien, die für die Bauwirtschaft nicht bzw. nur teilweise relevant sind. Die Investitionsbedarfe geben Hinweise auf die wirtschaftlichen Chancen für ausführende (Bau-)Unternehmen, die die relevanten Technologiefelder und Schlüsselkompetenzen rechtzeitig besetzen.

09.3 Klimawandel

Die Bauwirtschaft besitzt eine hohe Exposition gegenüber Klimawandelfolgen. Sie ist daher besonders aufgefordert, vor allem vor dem Hintergrund der vergleichsweise langwierigen Anpassungsprozesse, sich bereits jetzt umfassend mit der Resilienzausbildung sowohl mit Bezug auf die Gebäudesubstanz selbst als auch mit Bezug auf die Bautätigkeiten zu befassen.

Anforderungen und Maßnahmen

Die Auswirkungen des Klimawandels variieren zwar etwas zwischen den Regionen Deutschlands und auch innerhalb Bayerns. Insgesamt sind die Anforderungen und Maßnahmen des klimaangepassten Planens und Bauens aber in allen Regionen recht ähnlich. Sie betreffen vor allem die Anpassung der Gebäudesubstanz, der Gebäudefunktion bzw. Nutzungsweise, der technischen Normen, Planungsprozesse und Bauausführungen sowie die Anpassung der gebäudeumgebenden Flächen, um die Resilienz der Gebäudesubstanz zu erhöhen bzw. die Wahrung der Gebäudefunktion zu gewährleisten.

Synergieeffekte

Die Anforderungen führen insgesamt zu veränderten Nachfragestrukturen in Bezug auf klimaangepasste Bausubstanz bzw. -materialien und Bauleistungen. Die Bauwirtschaft kann hiervon ökonomisch profitieren, wenn sie frühzeitig auf die Veränderungen reagiert. Zudem können bei einer entsprechenden Ausgestaltung der Anpassungen Synergieeffekte zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung erzielt und Beiträge zur Erhöhung des Wohnkomforts sowie zur Stadtgestalt geleistet werden. Zahlreiche Best-Practice-Beispiele demonstrieren diese Verbindung und können auf Basis ihrer Vorbildwirkung für eine breite Verankerung der entsprechenden Konzepte in der Bauwirtschaft sorgen.

09.4 Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschutz

Ziel der Kreislaufwirtschaft

Kreislaufwirtschaft im Bausektor ist für ökologische Nachhaltigkeit von großer Bedeutung. Zum einen bedingt der Bau von Gebäuden und Infrastrukturen erhebliche Umweltbelastungen (u. a. Abfälle, THG-Emissionen). Zum anderen gehört der Bausektor zu den Branchen mit dem größten Verbrauch an Primärressourcen. Die Grenzen der bisherigen linearen Bauwirtschaft zeigen sich z. B. in knapper werdenden Baumaterialien und begrenzten Kapazitäten in Bauschuttdeponien. Daher ist es das Ziel der Kreislaufwirtschaft, Materialien möglichst lange im Kreislauf zu halten und den Abriss von Bauten so weit als möglich zu umgehen. Eine lange Nutzungsdauer von Gebäuden kann durch den Einsatz langlebiger Materialien unterstützt werden. Zudem sollten Gebäude so flexibel gestaltet werden, dass sie einfach an sich verändernde Anforderungen angepasst werden können.

Urban Mining

Kommt es zum Abriss, spielt die Rückgewinnung der Rohstoffe (Urban Mining) eine zentrale Rolle beim Ressourcen- und Klimaschutz. In Deutschland sind schätzungsweise rund 40 Mrd. Tonnen Rohstoffe in Gebäuden und Infrastrukturen gebunden, die nach einem ordnungsgemäßen Rückbau entweder als Recyclingbaustoff wiedereingesetzt oder für weitere Wirtschaftszweige genutzt werden können. Das jährliche Potenzial spiegelt sich in den Bau- und Abbruchabfällen, die mit jährlich 228 Mio. Tonnen die mengenmäßig wichtigste Abfallgruppe in Deutschland bilden.

Die Bau- und Abbruchabfälle werden zwar bereits heute zu fast 90 Prozent stofflich verwertet, allerdings variiert der Anteil stark zwischen den Abfallarten und viele Verwertungsmaßnahmen sind eher niederwertig, wie die Nutzung für Verfüllungen. Zudem steht die Rückgewinnung der Rohstoffe in der Praxis oftmals vor großen Herausforderungen, wie fehlende Genehmigungen zur Errichtung entsprechender Anlagen und relativ geringe Nachfrage nach Recycling-Baustoffen, sodass die betriebswirtschaftliche Rentabilität solcher Anlagen unklar ist. Hinzu kommen Entwicklungsnotwendigkeiten bei (mobilen) Trenn- und Sortiertechniken. Dies kann unter anderem auch der Knappheit bei bestimmten Baustoffen entgegenwirken.

Lebenszyklusanalyse

Zukünftig bedarf es bereits im Planungsprozess einer gesamtheitlichen Berücksichtigung und Bewertung der Umweltwirkungen aller Stoff- und Energieströme von Bauten, um umweltbezogene Eigenschaften optimieren und kreislaufgerecht bauen zu können. Dazu dient die Methode der Lebenszyklusanalyse (LCA), die eine gleichzeitige Berücksichtigung der Investitions-, Betriebs- und Rückbaukosten erlaubt. Diese Grundlage erlaubt es allen an der Planung, Umsetzung sowie an dem Betrieb, Erhalt und Rückbau des Gebäudes Beteiligten, informierte Entscheidungen zu treffen.

Für Lebenszyklusanalysen stehen bereits heute in umfassender Weise digitale Werkzeuge und Datenbanken zur Verfügung, die in naher Zukunft weiter optimiert und ausgeweitet werden müssen, um künftig auch in sehr frühen Phasen dem Planer entsprechende Hinweise zur Optimierung von ökologischen und ökonomischen Eigenschaften alternativer Entwurfsansätze geben zu können.

09.5 Wohnungsmarkt und Bürokratie beim Planen und Bauen

Wohnungsnachfrage

In einigen Regionen Deutschlands und Bayerns ist die Nachfrage nach Wohnraum in den letzten Jahren teilweise schneller gewachsen als das Angebot, sodass sich die Lage auf den oftmals ohnehin bereits angespannten Wohnungsmärkten weiter verschärfte und erforderliche Leerstände als Fluktuationsreserve fast gänzlich abgebaut wurden. Auch in den kommenden Jahren werden die Haushaltszahlen und damit die Wohnungsnachfrage in Bayern insgesamt weiter steigen und es wird mehr Wohnraum geschaffen werden (müssen). Insbesondere an bezahlbarem Wohnraum im preisgebundenen sowie freien Mietwohnungsbau fehlt es in vielen Wohnungsmarktregionen in Bayern in hohem Maße. Die Angebotserweiterung in diesem Segment wird für die kommenden Jahre eine zentrale Aufgabe und politische Herausforderung darstellen.

Gleichwohl verläuft die Nachfrageentwicklung im Freistaat regional unterschiedlich; es gibt auch Regionen, die schrumpfen und einen Rückgang bei der Nachfrage nach Wohnraum erwarten lassen. Im Hinblick auf die regional differenzierte Nachfrageentwicklung im Freistaat müssen einerseits bedarfsorientierte Angebotserweiterungen und andererseits potenzielle Leerstände in schrumpfenden Regionen mit einem bedarfsorientierten Umbau in Richtung barrierefreien / altersgerechten Wohnraums sowie Rückbau zukünftig verstärkt in den Fokus rücken.

Bürokratie und Regulierung

Für die Schaffung von (bezahlbarem) Wohnraum bedarf es insbesondere förderlicher Rahmenbedingungen, die das Planen und Bauen beschleunigen und vereinfachen sowie zu einer Senkung bzw. Stabilisierung der Baukosten beitragen. Hierzu zählt unter anderem die Entlastung von vermeidbarer Bürokratie und Regulierung, die Vereinfachung und Beschleunigung von Genehmigungsverfahren sowie die Aufstockung von qualifiziertem Fachpersonal in den Baurechtsbehörden. Darüber hinaus kann beispielsweise eine konsequente Digitalisierung von Baugenehmigungsverfahren, ergänzt durch digitales Projekt- und Wissensmanagement, zu einer Beschleunigung von Genehmigungsverfahren beitragen.

Bodenpreise

Dabei ist auch zu beachten, dass insbesondere Bodenpreise als Kostentreiber wirken. Im Hinblick auf hohe Baulandpreise und Flächenverbrauch gilt es unter anderem bauliche Dichten zu erhöhen und neue Quartierslösungen für eine stärker verdichtete und gemischte Bauweise zu entwickeln. Hierfür können Städte und Gemeinden beispielsweise durch Anpassungen von Stellplatz- und Abstandsregelungen einen Beitrag leisten.

09.6 Digitalisierung im Bauwesen

Building Information Modeling

Im Branchenvergleich gehört das Bauwesen zu den digitalen Nachzüglern. Während die industrielle Produktion überwiegend ortsgebunden erfolgt und durch festgelegte optimierte Prozessketten geprägt ist, sind die Abläufe im Bauwesen hingegen wesentlich komplexer und individueller. Dies umfasst das örtliche Umfeld und die sich während des Baugeschehens ergebenden Veränderungen auf der Baustelle sowie die Vielzahl der am Bau beteiligten Disziplinen und Unternehmen.

Ein wichtiger Impulsgeber für die Digitalisierung im Bauwesen ist Building Information Modeling (BIM). Alle Phasen im Lebenszyklus eines Bauwerks oder einer baulichen Anlage werden dabei in digitalen Modellen abgebildet. Vom Entwurf über die Planung und Bauausführung bis hin zur Verwaltung und Nutzung dient das Datenmodell als gemeinsame Basis aller Projektbeteiligten. In der Praxis ist in den letzten Jahren ein Paradigmenwechsel zu erkennen. Immer mehr Unternehmen setzen BIM in Teilbereichen ein und haben ihre Kompetenzen stark ausgebaut.

Verpflichtend ist die Nutzung der Methodik in Deutschland noch nicht in allen Bereichen. Auf Bundesebene sind im Infrastrukturbereich die Weichen dafür gestellt. Im Bereich des Hochbaus und bei Bauvorhaben auf Landesebene sind hier noch Potenziale vorhanden. Die öffentliche Hand muss die entsprechenden Voraussetzungen dafür bereitstellen und Anreize schaffen, z. B. über die BIM-basierte Einreichung von Baugenehmigungen oder BIM-basierte Wettbewerbe. Wesentlich ist aber insbesondere die Förderung von BIM-Pilotvorhaben in der Breite, um den Kenntnisstand auch in kleinen und mittleren Unternehmen zu erhöhen und im großen Umfang vertiefte Erfahrungen auf allen Seiten sammeln zu können. Die stark fragmentierte Bauwirtschaft kann die notwendigen zeitlichen, organisatorischen und finanziellen Investitionen nicht alleine stemmen, sondern braucht die Begleitung und Förderung durch die Auftraggeberschaft.

Schlüsseltechnologien

Die Baubranche zeigt sich weiteren Schlüsseltechnologien in der Strategie Bauen 4.0 aufgeschlossen, aber in der Breite werden diese noch nicht eingesetzt. Dazu zählen z. B. die automatisierte Baufortschrittsüberwachung, Robotik und KI auf der Baustelle, additive Fertigungsverfahren (3D-Druck) sowie Internet der Dinge (IoT). Zu den Schlüsseltechnologien gehört auch serielles Bauen, das in Teilbereichen des Bausektors bereits erfolgreich eingesetzt wird. Der Modulbau ist ein weiterer Schritt hin zur Industrialisierung des Bauens. Automatisierte oder robotische Fertigung von seriellen oder individuellen Bauprodukten bis hin zu (semi-)autonomen Baustellen setzt digitale Informationsmodelle auf Grundlage der BIM-Methodik voraus, um die Potenziale dieser Methodik, wie Erkennung von Konflikten und verbesserte Koordination, nutzen zu können.

Die Schlüsseltechnologien bieten enorme Potenziale, etwa hinsichtlich Effizienzerhöhung, Kostensenkung, Qualitätssteigerung und Erhöhung der Sicherheit auf Baustellen. Sie werden das Bauwesen in den nächsten Jahren prägen und verändern sowie neue Geschäftsfelder und -modelle sowie Wachstumschancen ermöglichen. Gleichwohl sind noch zahlreiche Herausforderungen zu meistern. Diese umfassen nicht nur die Anpassung von Verordnungen und die Digitalisierung von Behördenprozessen, sondern in vielen Bereichen sind grundlegende Fragestellungen noch wissenschaftlich zu bearbeiten. Zudem besteht ein großer Informations- und Schulungsbedarf in der Praxis zu den Einsatzmöglichkeiten und Lösungsansätzen sowie Kosten-Nutzen-Relationen im Bereich digitaler Technologien und Methoden. Dies betrifft besonders den Bereich des Life Long Learning und der Fortbildung in der gesamten Baubranche, um die Digitalkompetenz in den Unternehmen zu stärken und damit die breite Anwendung der Schlüsseltechnologien mit den vorhandenen Potenzialen voranzutreiben.

Durch die meist kleinteilige Struktur der Unternehmen im Bauwesen gibt es bis auf wenige Ausnahmen in Bayern keine Forschungs- und Entwicklungsabteilungen in den Unternehmen. Grundlagenforschung, angewandte Forschung und wissenschaftliche Begleitung von Pilotprojekten sind jedoch essenziell, um den Herausforderungen der Digitalisierung zu begegnen. Hier sind die Zusammenarbeit mit der akademischen Welt und insbesondere die Möglichkeiten des Transfers von Ergebnissen aus der Forschung in die Industrie bzw. Start-ups zu unterstützen.

09.7 Neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten als Treiber des Planens und Bauens

Mit dem Ausbruch der Corona-Pandemie wurden gesellschaftliche Transformationsprozesse beschleunigt, deren langfristige Wirkungen noch offen sind. Die zunehmend fließende Grenze zwischen Arbeiten und Wohnen durch mobiles Arbeiten bzw. Homeoffice-Lösungen verändert derzeit das bisherige Verständnis von (Pendler-)Mobilität. Die neuen Arbeits- und Mobilitätsroutinen führen zur Neubewertung von individuellen Wohnbedarfen und Lebensentwürfen mit mutmaßlich anhaltenden Auswirkungen auf die Anforderungen an Gebäude und Quartiere sowie die Entwicklung von Städten und Regionen. Beispielsweise ist künftig eine stärkere Etablierung weiterer Funktionsbausteine in Wohnquartieren, wie beispielsweise das Angebot an Nachbarschafts-Coworking-Flächen oder ausgelagerten Satellitenbüros vorstellbar. Zudem führen die Veränderungen in der Art und Weise der Zusammenarbeit zu einer kritischen Reflexion des Büroflächenbedarfs sowie der Gestaltung der bestehenden Büroflächen und -strukturen.

Standortfaktoren

Dies bedeutet auch, dass sich Standortfaktoren und Ansprüche an die Daseinsvorsorge verändern. Sichtbar wird dies beispielsweise in Ortskernen und Innenstädten. Diesen kommt traditionell eine lokale und überregionale, über den täglichen Bedarf hinausgehende Versorgungs- und Handelsfunktion zu, die über viele Jahre hinweg als Anziehungspunkt und Alleinstellungsmerkmal fungierte. Unter anderem durch die Digitalisierung und den Onlinehandel hat die Innenstadt in den vergangenen Jahren einen Wandel erlebt und Handlungsbedarfe offengelegt, mit denen sich nicht nur der Einzelhandel, sondern auch Kommunen eingehend auseinandersetzen müssen. Obgleich die Transformation deutscher Innenstädte kein neues Phänomen darstellt, bleiben die damit einhergehenden Herausforderungen längerfristig bestehen.

Die aufgrund des digitalen und globalen Fortschritts, des voranschreitenden Klimawandels und nicht zuletzt aufgrund der Corona-Pandemie entstehenden gesellschaftlichen Transformationsprozesse werden zukünftige umwelt-, verkehrs- und wirtschaftspolitische Maßnahmen prägen und das Planen und Bauen der Zukunft maßgeblich beeinflussen. Das Bewusstsein der Bedeutung nachhaltigen Handelns ist bereits heute in Unternehmen etabliert und wird beispielsweise bei der Ausrichtung von Geschäftsmodellen sichtbar. Zur langfristigen und flächendeckenden Umsetzung von nachhaltigen, klimaneutralen Konzepten im Bereich des Planens und Bauens werden konkrete Entwicklungsperspektiven und Lösungsansätze für Unternehmen benötigt, die beispielsweise die Nutzung von smarten Technologien vorantreiben.

Mit Blick auf die hier diskutierten Gestaltungsfelder erscheinen zwei Entwicklungsperspektiven für neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten plausibel, die zum einen ein Spannungsfeld für Gestaltung aufzeigen und zum anderen Orientierung bieten können, sofern sich nicht doch das Festhalten am Status quo „Mit Tradition Bewährtes bewahren“ durchsetzt. Aus der Entwicklungsperspektive „Durchgängig digitalisiert und vernetzt“ lassen sich Gestaltungsoptionen ableiten, die eng mit der digitalen Transformation als Treiber der meisten Wertschöpfungsketten neuer Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten verbunden sind. Einen Punkt bildet eine Entwicklungsperspektive „Klimagerechtes Bauen durchreguliert“, die davon ausgeht, dass Transformationsprozesse im Zusammenhang mit neuen Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten initiiert werden, die maßgeblich von Regulierungen vorangetrieben werden. Aus einer systemischen Perspektive bietet es sich an, für das Planen und Bauen in die Zukunft wirkende Gestaltungsfelder vernetzt als Cluster zu betrachten, um zum einen der Vielfalt der Themen und zum anderen der ihnen inhärenten Komplexität gerecht zu werden, sodass die Wechselwirkungen hinreichend in Bezug auf Planen und Bauen berücksichtigt werden können.

09.8 Zentrale Technologien und Anwendungen für das Planen und Bauen der Zukunft

Kapitel 09.2 bis 09.7 zeigen eine Vielzahl von Themen, Trends und Entwicklungen, die den Bausektor und die gebaute Umgebung in den nächsten Jahren entscheidend prägen werden. Die veränderten und neuen Anforderungen machen das Bauen und Planen der Zukunft komplexer als bisher und bedingen einen Wandel im Bausektor.

Im Mittelpunkt stehen dabei die folgenden Anforderungen an den Bausektor:

- Klimaschutz: Reduktion der THG-Emissionen bei der Herstellung von Baumaterialien sowie beim Bau und Betrieb von Gebäuden und Infrastrukturen
- Klimawandel: Verringerung der Auswirkungen von Klimasignalen auf Substanz und Funktion von Gebäuden und Infrastrukturen sowie auf Städte, Bauarbeitende und Gebäudenutzende
- Kreislaufwirtschaft: Schonung von Umwelt und Ressourcen beim Bau von Gebäuden und Infrastrukturen (Primärressourcen, Baustoffe, Flächen, Bauabfälle)
- Wohnungsmarkt und Demografie: Bedarfsgerechte Entwicklung von Wohnraum (regionale Veränderungen Wohnraumnachfrage, altersgerechtes Wohnen, Homeoffice)
- Digitalisierung: Ausbau der Digitalkompetenzen in Unternehmen, verstärkter Einsatz der BIM-Methodik und Investitionen in digitale Schlüsseltechnologien
- Mobilität: Entwicklung emissionsarmer, (teil-)autonom, altersgerechter Mobilität.
- Arbeit: Flexibilisierung der Bürostrukturen, höherer Anteil an Kommunikations- und Austauschplattformen, Integration von smarten Technologien zur Steigerung von Wohlbefinden und Produktivität
- Stadt/ Lebensräume: Gestaltung eines resilienten urbanen Umfelds, Entwicklung neuer Innenstadtkonzepte (z. B. urbane Manufakturen) und Funktionsbausteine (z. B. Nachbarschaftsbüros)

Für den Umgang mit den Anforderungen und für den Wandel sind Technologien von zentraler Bedeutung, zumal sie oftmals erst gesellschaftliche Veränderungen ohne Einschränkung der individuellen Zufriedenheit und Lebensqualität ermöglichen. Zudem sind neue Konzepte und Ansätze erforderlich, beispielsweise um Städte und Quartiere bedarfsgerecht weiterzuentwickeln (u. a. hinsichtlich der Themen Wohnraum, alternative Arbeitsorte, Urban Production, Innenstädte) und ihren Lebenswert zu erhalten.

Tabelle 12 zeigt zentrale Technologien und Anwendungen für das Planen und Bauen der Zukunft sowie deren Problemlösungspotenziale und Wirkungen auf bestimmte Bereiche. Im Mittelpunkt stehen dabei Technologien, die den Bau und Betrieb von Gebäuden und Infrastrukturen sowie die Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten digitaler, nachhaltiger („grüner“) und resilienter machen.

Digitalisierung und digitale Trends

Die Digitalisierung und digitale Trends werden den Bausektor in diesem Jahrzehnt prägen und verändern. Insbesondere die Art und Weise der Planung, des Bauens und des Betriebs von Gebäuden und baulichen Anlagen kann durch die Digitalisierung effizienter gestaltet werden mit einem Wirkungshorizont über dieses Jahrzehnt hinaus. Bis 2030 könnten mit der BIM-Planungsmethode geplante und realisierte Projekte bereits verstärkt zur gelebten Baupraxis gehören. Dies zeichnet sich bereits durch eine breitere Anwendung in vielen Sektoren im Bauwesen ab und wird durch die verpflichtende Nutzung der BIM-Methode vorangetrieben. Mittels virtueller Realität (VR) werden beispielsweise Planungsvarianten eines Bauvorhabens immersiv in einem „begehbaren“ BIM-Modell im Maßstab 1:1 abgestimmt. Augmented-Reality- (AR)-Anwendungen unterstützen beispielsweise bei der Abnahme von Bauprojekten. Durch Blockchain-Anwendungen werden unter anderem logistische Prozesse durch „smarte“ Lieferketten effizienter gestaltet. Betreiber werden nach Fertigstellung der Gebäude bzw. baulichen Anlage "As-built Models" übergeben als erster Schritt zum digitalen Zwilling.

KI

Bisher weniger „sichtbar“ werden die Fortschritte bei der künstlichen Intelligenz (KI) im Zeitraum bis 2030 verstärkt in der Planung und auf Baustellen in Deutschland und Bayern eingesetzt werden. KI-Anwendungen werden u. a. im Entwurfs- und Planungsprozess von Gebäuden und baulichen Anlagen assistieren, die Sicherheit auf Baustellen erhöhen und den Betrieb smarter unterstützen.

Robotische Anwendungen werden zunehmend die Prozesse in der stationären Vorfertigung unterstützen. Weitaus ambitionierter ist Robotik auf der Baustelle, die auch am Ende dieses Jahrzehntes nicht den Alltag im Bauwesen prägen wird. In Forschung und Entwicklung werden aber in den nächsten Jahren die Weichen für den operativen Einsatz gestellt.

Serielles und modulares Bauen

Das serielle und insbesondere das modulare Bauen ist aktuell in Deutschland im internationalen Vergleich noch vergleichsweise wenig verbreitet. Bis 2030 wird jedoch der Trend zu vorgefertigten Komponenten zunehmen. Vernetzt mit Planung und Bau, werden in der Vorfertigung individuelle Anforderungen systemkonform bereits „ab Werk“ berücksichtigt werden können. Der 3D-Druck von Bauteilen und Komponenten wird sich stationär vermehrt etabliert haben, aber eine breite Nutzung, insbesondere der 3D-Druck von ganzen Häusern direkt auf der Baustelle, hingen noch nicht.

Gebäude werden „smarter“ und ermöglichen es, die physikalischen Eigenschaften eines Gebäudes durch intelligente Steuerungskonzepte und den Einsatz von IoT zu verbessern. So lassen sich u. a. Einsparungen an Kosten und Energie erzielen, die zum Erreichen der Klimaziele entscheidend beitragen.

Eine essenzielle Herausforderung im „digitalen Jahrzehnt“ ist es das Digitalisierungstempo zu erhöhen vor dem Hintergrund der kleinbetrieblich aufgestellten Akteure im Bauwesen, der heterogen geprägten Strukturen und noch unterschiedlichen digitalen Kompetenzen. Der Bausektor wird daher auch bis 2030 noch durch „analoges“ Planen, Bauen und Betreiben geprägt sein, aber parallel werden immer deutlicher digitale Methoden und Technologien den Alltag im Bauwesen bestimmen.

Eine vorrangige Aufgabe bleibt bis 2030, die digitale Anschlussfähigkeit im Bausektor in den einzelnen Bereichen voranzutreiben. Es ist Essential, digitale Kompetenzen zu stärken und auszubauen. Dies betrifft besonders den Bereich des Life Long Learning und der Fortbildung in der gesamten Baubranche. In der Lehre an Universitäten und Hochschulen sowie der beruflichen Ausbildung werden bis 2030 die notwendigen digitalen Kompetenzen fest verankert sein und Studiengänge an der Schnittstelle Digitalisierung und Bauwesen angeboten.

Klimaschutztechnologien

Gegenüber der Digitalisierung bewirken Klimaschutztechnologien weniger tiefgreifende Veränderungen des Bau-sektors. Sie sind aber für die Transformation hin zum treibhausgasneutralen Bauen und Betreiben von Gebäuden und Infrastrukturen unverzichtbar und gewinnen mit Verschärfungen der Klimaschutzziele zunehmend an Bedeutung – in Deutschland aber auch weltweit. Hierin liegen Chancen für (bayerische) Unternehmen, sich neue Export- und Wachstumsmöglichkeiten zu erschließen, indem relevante Technologiefelder und neue Schlüsselkompetenzen besetzt werden.

Die Klimaschutztechnologien im Gebäudesektor betreffen vor allem energetische Verbesserungen der Gebäudehülle (z. B. Wärmedämmung von Fassaden, Dächern, Kellern; hocheffiziente Fenster) sowie Erneuerbare-Energien-Heizungen (z. B. Wärmepumpen, Solarthermie). Bei Neubauten ist zudem künftig ein vermehrter Einsatz von veränderten und erneuerbaren Baustoffen (v. a. Holz) zu erwarten. Zur Emissionsreduktion in der Industrie sind weitreichende Prozessumstellungen sowie CCS erforderlich, vor allem bei der Herstellung von Stahl und Zement – zwei der wichtigsten Baustoffe. Zudem geht der zur Transformation des Umwandlungssektors (Strom- und Wärmezeugung) erforderliche Ausbau erneuerbarer Energien mit hohen Erfordernissen beim Netzausbau und -anschluss sowie bei der Entwicklung und Zurverfügungstellung von Flexibilitätspotenzialen, die für die Integration fluktuierender erneuerbarer Energien benötigt werden, einher.

Klimawandelfolgen

Viele Anpassungen an die Klimawandelfolgen bedingen weniger den Einsatz neuer Technologien als vielmehr bauliche Änderungen. Dazu zählen z. B. Frischluftschneisen, Verschattungen, Aufbordungen vor oberirdischen Gebäudeöffnungen, abgerundete Attiken bzw. Dachkanten, Anpassungen bei den Nutzungszonen von Gebäuden sowie Schutzmaßnahmen für Bauarbeitende, Baumaterial und Gerätschaften und Entsiegelungen bzw. Freihaltung innerstädtischer Flächen von Bebauung (z. B. für Frischluftschneisen zum Kaltluftaustausch oder den Erhalt von Grünqualität und Versickerungsräumen). Technologien zur Anpassung an die Klimawandelfolgen betreffen vor allem widerstandsfähige Baumaterialien, Dach- und Fassadenbegrünungen, neuartige versickerungsfähige Bodenbeläge, intelligente Kühlungssysteme und blaue Infrastrukturen sowie Sensorik und Warnsysteme.

Kreislaufwirtschaft

Bei der Kreislaufwirtschaft geht es vor allem darum, Baumaterialien möglichst lange im Kreislauf zu halten und den Abriss von Bauten so weit als möglich zu umgehen. Dazu bedarf es zum einen neuer Konzepte und Methoden wie flexible Grundrisse (zur einfacheren Anpassung an verändernde Anforderungen). Zum anderen benötigen wir die Entwicklung und den Einsatz entsprechender Bewertungsmethoden, wie z. B. die Durchführung von Lebenszyklusanalysen (LCA). Letztere erfassen die Umweltwirkungen

aller Stoff- und Energieströme von Bauten und erlauben damit, bei Planung, Umsetzung sowie Betrieb, Erhalt und Rückbau von Gebäuden informierte Entscheidungen zu treffen. Grundlage der LCA bilden digitale Technologien wie BIM (siehe oben). Zum anderen bedarf es Technologien, die eine lange Nutzungsdauer von Gebäuden ermöglichen, wie langlebigere und resistenter Baumaterialien. Zudem werden beim Rückbau sortenreine Trenn-, Sortier- und Aufbereitungstechniken zur Rückgewinnung von Rohstoffen (Urban Mining) benötigt. Hier bestehen noch Hindernisse und Entwicklungsnotwendigkeiten. Für ein flächen- und ressourcensparendes Bauen sind unter anderem Leichtbau-Lösungen (z. B. zur Aufstockung bestehender Gebäude) sowie digitale Technologien (z. B. 3D-Druck) und Verbundwerkstoffe relevant.

In Abhängigkeit von der Art und Qualität des Inputmaterials kommen bei der Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen unterschiedliche Aufbereitungstechnologien zum Einsatz. Gängige Verfahren sind hierbei Zerkleinerungs- und Klassierungsverfahren, die Magnetscheidung sowie Schwimm-Sink-Trennungs- bzw. Windsichtungsverfahren. Zudem ermöglicht z. B. die „elektrodynamische Fragmentierung“ die selektive Trennung und Rückgewinnung einzelner Komponenten von Verbundmaterialien. Um die Potenziale in gemischten Bau- und Abbruchabfällen besser nutzen und auch die notwendigen Qualitäten für einen erfolgreichen Wiedereinsatz im Wirtschaftskreislauf gewährleisten zu können, kommt sensorbasierten Sortierverfahren eine immer größere Bedeutung zu (z. B. Farbsortierungssysteme, Nahinfrarot(NIR)-Sortiertechnologien und Röntgentransmissionstechnologien). In den vergangenen Jahren wurde vom Fraunhofer IOSB ein opto-pneumatisches Sortierverfahren entwickelt, das neben Farben unter anderem auch chemische Unterschiede in der Partikelzusammensetzung erkennen und unterschiedliche Arten der Feinfraktion aussortieren kann.

Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten

Für die neuen Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten wird es von entscheidender Bedeutung sein, wie sich Kern-Technologien übergreifend nutzen lassen. Zur Sicherung der Daseinsvorsorge werden in smarten Regionen kommunale Plattformen (z. B. IoT-Plattformen), die regionale Daten bündeln, an Bedeutung gewinnen. Dies bildet das Fundament für zukunftsorientierte Systeme, wie z. B. Mobility as a Service, digitale Beteiligungsplattformen oder zum Beispiel auch CO₂-Bilanz-Feedback-Systeme/-Apps (für Bürger). Für die Regional-/Stadt- und Quartiersentwicklung entsteht aus infrastruktureller Sicht ein Bedarf an dezentralen Infrastrukturen (z. B. Micro Areal Grids) und Infrastrukturen, die emissionsfreie Lieferverkehre/-ketten sichern sowie digitales Stadtraummanagement (multifunktional für temporäre Nutzungen, Lieferzonenmanagement etc.) ermöglichen. Im Rahmen regionaler Wertschöpfungsketten werden Konzepte wie z. B. Urban / Vertical Farming ebenso wie urbane Manufakturen / urbane Produktion andere Formen des Wirtschaftens und der Versorgung ermöglichen. Langfristig werden durch diese Technologien smarte Quar-

tiere entstehen, in denen Infrastruktur gebündelt wird und Investitionen in diese Infrastruktur über neue Finanzierungsmodelle erfolgt.

Aufgrund der Vielzahl von Anforderungen und Entwicklungen, die beim Planen und Bauen zu berücksichtigen sind, bedarf es künftig verstärkt einer gesamtheitlichen Perspektive, die eine integrierte Betrachtung der verschiedenen Themen, Trends und Entwicklungen ermöglicht und potenzielle Zielkonflikte zwischen den unterschiedlichen Anforderungen aufdeckt. Beispielsweise kann die Entsiegelung bzw. Freihaltung innerstädtischer Flächen von Bebauung (z. B. für Frischluftschneisen zum Kaltluftaustausch oder den Erhalt von Grünqualität und Versickerungsräumen) im Konflikt mit dem Leitbild der ressourcen-effizienten bzw. kompakten „Stadt der kurzen Wege“ stehen.

Tabelle 12
Zentrale Technologien und Anwendungen für das Planen und Bauen der Zukunft

	Potenzial bis 2030 Beitrag zum /zur			Treiber bis 2030 Wirkung auf	
	Klimaschutz	Ressourcenschutz (Flächen-, Roh-, Baustoffe)	Resilienz ggü. Klima- wandelfolgen	Digitalisierung/ Vernetzung	Baukosten
Klimaschutztechnologien					
Energetische Verbesserung der Gebäudehülle (z. B. Wärmedämmung von Fassaden, Dächern, Kellern; hocheffiziente Fenster)	++	-	+	0	+
Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung	+	+	0	0	+
Erneuerbare-Energien-Heizungen (z. B. Wärmepumpen, Solarthermie)	++	+	0	0	+
Fernwärmesysteme auf Basis erneuerbarer Energien (z. B. Geothermie) und Abwärme	++	+	0	0	+
Einsatz von Wasserstoff im Hochofen bei der Stahlherstellung	+	0	0	0	+
Einsatz bestimmter Zuschlagstoffe bei der Zementmahlung	+	0	0	0	+
CCS bei den Prozessemissionen der Zementindustrie sowie BECCS zur Erzeugung negativer Emissionen	+	0	0	0	+
Erneuerbare Energien bei der Strom- und Wärmeerzeugung	++	+	0	0	0
Ausbau des Stromnetzes und Netzanschlusses (v. a. Höchstspannungsebene) und Zurverfügungstellung von Flexibilitätspotenzial	+	0	0	0	0
Nachwachsende Baustoffe	++	+	?	0	?
Klimawandel					
Widerstandsfähige Baumaterialien	+	+	++	0	++
Dach- und Fassadenbegrünungen	0	0	+	0	0
Rückstauklappen, Schwarze Wanne	0	0	++	0	+
Vorgehängte hinterlüftete Fassaden	0	0	+	0	0

	Potenzial bis 2030 Beitrag zum /zur			Treiber bis 2030 Wirkung auf	
	Klimaschutz	Ressourcenschutz (Flächen-, Roh-, Baustoffe)	Resilienz ggü. Klima- wandelfolgen	Digitalisierung/ Vernetzung	Baukosten
Kreislaufwirtschaft					
Sturmklammern	0	0	+	0	+
Sensorik und Warnsysteme	0	0	+	0	+
Versickerungsfähige Bodenbeläge	+	?	++	0	0
Intelligente Kühlungssysteme	0	?	++	0	+
Hochwasserschutzsysteme	0	0	++	0	+
Grün-blaue Infrastrukturen, dezentrale Regenwasserbewirtschaftungssysteme	0	0	++	0	0
Sortenreine Trenn-, Sortier- und Aufbereitungstechniken zur Rückgewinnung von Rohstoffen (Urban Mining)	+	+	0	0	0
Langlebige Baumaterialien	+	+	0	0	0
Technologien zur Herstellung materialsparender Bauteile (3D-Druck, Verbundwerkstoffe)	+	+	0	+	-
Leichtbaulösungen für flächensparendes Bauen	+	+	-	0	+
Lebenszyklusanalyse (LCA)	+	+	0	+	0
Nachwachsende und Recycling-Baustoffe	+	+	0	0	0
Weitere Konzepte: flexible Grundrisse, flächen- und ressourcensparendes Bauen	?	+	0	+	-

	Potenzial bis 2030 Beitrag zum /zur			Treiber bis 2030 Wirkung auf	
	Klimaschutz	Ressourcenschutz (Flächen-, Roh-, Baustoffe)	Resilienz ggü. Klima- wandelfolgen	Digitalisierung/ Vernetzung	Baukosten
Digitalisierung					
Building Information Modeling	+	+	+	+	-
Vorfertigung, Modulbauweise	0	0	+	+	-
Autonomes Bauen & Robotik	?	?	?	?	?
3D-Druck, additive Fertigung	+	+	0	+	?
Erweiterte Realität, Virtualisierung, AR, VR	?	0	+	+	-
Big Data, AI	?	?	?	+	-
IoT, Smart Buildings, drahtlose Überwachung	+	0	+	+	-
Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten					
Kommunale/ Regionale Daten-/ IoT-Plattformen	+	+	0	++	0
Mobility as a Service	?	?	0	+	+
Digitale Beteiligungsplattformen	0	0	0	+	0
CO ₂ -Bilanz-Feedback-Systeme/ -Apps (für Bürger)	++	0	0	0	0
Dezentrale Infrastrukturen (z. B. Micro Areal Grids)	+	0	++	+	?
Emissionsfreie Lieferverkehre/-ketten	+	0	+	+	0
Digitales Stadtraummanagement (multifunktional für temporäre Nutzungen, Lieferzonenmanage- ment etc.)	+	+	+	+	+
Urban / Vertical Farming	+	+	+	+	?

	Potenzial bis 2030 Beitrag zum /zur			Treiber bis 2030 Wirkung auf	
	Klimaschutz	Ressourcenschutz (Flächen-, Roh-, Baustoffe)	Resilienz ggü. Klima- wandelfolgen	Digitalisierung/ Vernetzung	Baukosten
Urbane Produktion	+	+	+	+	?
Smarte Quartiere (Infrastruktur- Bündelung bis hin zu neuen Finanzierungsmodellen)	+	+	+	+	+

++	Beitrag / Wirkung hoch	Bei Baukosten gilt	-	Kostensenkende Wirkung
+	Beitrag / Wirkung mittel bis gering		0	Neutrale Wirkung oder nicht relevant
0	Beitrag / Wirkung neutral oder nicht relevant		+	Kostensteigernde Wirkung
-	Beitrag / Wirkung negativ		++	Stark Kostensteigernde Wirkung
?	Beitrag / Wirkung unklar		?	Unklare Wirkung

Quelle: Eigene Darstellung Prognos 2021

10

Anhang

Kapitel in der Übersicht

10.1	Methodisches Vorgehen zur Untersuchung der Bedarfe im Kontext von Mobilität, Arbeiten und Lebensraum in Bayern in Kapitel 07	278
10.2	Wirkungsmatrix	280

10.1 Methodisches Vorgehen zur Untersuchung der Bedarfe im Kontext von Mobilität, Arbeiten und Lebensraum in Bayern in Kapitel 07

Für die Erarbeitung des Kapitels „Neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätswelten als Treiber des Planens und Bauens“ wurde ein mehrstufiges methodisches Vorgehen angewendet, um Informationen aus verschiedenen Quellen miteinander zu verknüpfen, um daraus neue Erkenntnisse ableiten und validieren zu können. Das methodische Vorgehen umfasst eine Metaanalyse zur Auswertung bestehender Literatur, zwei quantitative Erhebungen, qualitative Experteninterviews und die Entwicklung einer Wirkungsmatrix, um Empfehlungen ableiten zu können, die sich aus den Ergebnissen aus allen Teilkapiteln ergeben.

Metaanalyse einschlägiger Studien aus den Bereichen Wohnen, Arbeit und Mobilität

Mit einer Betrachtung und Analyse relevanter wissenschaftlicher Publikationen im Hinblick auf die drei Schwerpunkte Wohnen, Arbeit und Mobilität wurde die Grundlage für eine integrierte Betrachtung und eine Darstellung der gemeinsamen Schnittstellen und thematischen Verflechtungen in diesem Kapitel gelegt. Die Ergebnisse der Metaanalyse dienten somit der Vorbereitung der quantitativen Erhebungen, der Experteninterviews und auch der inhaltlichen Erschließung der folgenden Teilkapitel. Die wesentlichen Erkenntnisse der Metaanalyse geben einleitend einen Rahmen in die inhaltlichen Teilkapitel.

Quantitative Unternehmensbefragung

In einer quantitativen Erhebung (N = 292) wurden individuelle Entwicklungstrends sowie zukünftige Handlungsbedarfe aus Sicht bayerischer Unternehmen und Betriebe entlang mehrerer Schwerpunkte identifiziert. Die Umfrage befasste sich thematisch zunächst mit einer Bewertung von Standortfaktoren und Kriterien von gewerblichen Immobilien sowie geplanten baulichen Veränderungen und zukünftigen Flächenbedarfen. Des Weiteren wurden arbeitswissenschaftliche Fragestellungen platziert, um langfristige Implikationen für Plan- und Bauprozesse erkennen zu können, die aus Veränderungen in Arbeitsroutinen, neuen Arbeitsformen und technologischer Innovation in betrieblichen Prozessen resultieren. In einem dritten Schwerpunkt der Erhebung wurde der strategische Stellenwert der Mitarbeitermobilität betrachtet, einschließlich möglicher Gestaltungsoptionen sowie einer Abschätzung von zukünftigen Schlüsseltechnologien im Transportbereich.

Zielgruppe der Erhebung waren Entscheider und Führungskräfte bayerischer Unternehmen aller Größen aus allen Regierungsbezirken. Die Erhebung erfolgte anonym und wurde im April 2021 durchgeführt. Um trotz der teils sehr spezifischen Befragung eine breite Abdeckung zu erreichen, wurde auf eine Niedrigschwelligkeit bei der Teilnahme geachtet. Die Beantwortung der Fragen war daher freiwillig. Daraus ergeben sich in der Teilnehmendenzahl in verschiedenen Bereichen zum Teil deutliche Unterschiede. Aufgrund der gewählten Methodik und der variierenden Stichprobengröße können die ermittelten Ergebnisse folglich zwar nicht als repräsentativ betrachtet werden, zeigen aber dennoch wertvolle Tendenzen in Bezug auf das Planen und Bauen aus Unternehmenssicht.

Quantitative Haushaltsbefragung

Analog zur Unternehmenssicht wurden auch Haushalte in den methodischen Erhebungsrahmen der Studie miteinbezogen. In einer repräsentativen Umfrage wurden 1.100 erwerbstätige Privatpersonen aus Bayern zu den heutigen und zukünftigen Bedarfen und Präferenzen entlang der Themen Wohnen, Arbeiten und Mobilität befragt. Ausgehend von einer Darstellung der individuellen Lebens- und Wohnsituation wurden auch Ansprüche und Entwicklungen erfragt, die sich aus der individuellen Lebensplanung in der Zukunft ergeben werden. Diese betreffen den in den kommenden Jahren benötigten Wohnraum sowie präferierte Formen der Erwerbstätigkeit und der Mobilität. Gleichermaßen zielte das Erhebungsdesign auf das Zusammenspiel dieser unterschiedlichen Aspekte ab, um aus den skizzierten Lebensentwürfen unterschiedlicher Generationen und gesellschaftlicher Gruppen Anforderungen zu identifizieren, die der heimische Markt an die bayerische Bauwirtschaft stellt.

Leitfadengestützte Interviews

Mit der Durchführung von zehn qualitativen Experteninterviews konnten Hinweise aus den Ergebnissen der Unternehmensbefragungen validiert werden. Basierend auf weiteren Leitfragen wurde zudem ein Blick auf nationale und internationale Entwicklungen geworfen, die für die Zukunft des Planens und Bauens eine maßgebliche Relevanz besitzen und in die Entwicklung der Entwicklungsperspektiven einfließen. Die befragten Experten stammen aus unterschiedlichen fachlichen Bereichen, nach denen auch die Schwerpunkte der jeweiligen Interviews ausgerichtet wurden.

Die Themenbereiche im Überblick

– Planen und Bauen für die Zukunft

Welche Trends aus Industrie und Gesellschaft werden in den kommenden Jahren Einfluss auf das Planen und Bauen nehmen?

– Schlüsseltechnologien für das Planen und Bauen

Welche branchenspezifischen Schlüsseltechnologien sind relevant? Welche weiteren technologischen Entwicklungen aus angrenzenden Bereichen sind wichtig?

– Gesellschaftliche Implikationen

Wie verändern sich gesellschaftliche Strukturen (Arbeit, Wohnen, Mobilität)? Welche Bedeutung hat dies für die Stadtentwicklung und das Bauen? Wie können Veränderungen antizipiert und gestaltet werden?

– Klima und Nachhaltigkeit

Wie lassen sich bestehende Lebensentwürfe klimaverträglich gestalten? Welche Rollen können Unternehmen dabei einnehmen? Welchen Rahmen muss die Politik schaffen?

10.2 Wirkungsmatrix

Mithilfe einer Wirkungsmatrix wurden innerhalb der in dieser Studie adressierten TOP-5-Themenkomplexe in den Gestaltungsfeldern Immobilien und Lebensraum, Klimaschutz und Klimawandelfolgen, Kreislaufwirtschaft und Ressourcen, Digitalisierungstechnologien Planen und Bauen, Neue Arbeitswelt sowie Mobilität einander gegenübergestellt. Dazu wurden die jeweiligen Faktoren jedes Themenkomplexes danach bewertet, ob sie den jeweils anderen Themenkomplex stark und unmittelbar, schwach und indirekt oder nicht beeinflussen. Die Wirkungsmatrix erlaubt somit die Ableitung differenzierter Empfehlungen (Kapitel 08.2) über alle Themenkomplexe / Gestaltungsfelder hinweg.

Geordneter Vernetzungsgrad des Gestaltungsfelder

Tabelle 13

Vernetzungsgrad aller Gestaltungsfelder

	Der Vernetzungsgrad von ...	und ...	beträgt
1	Wohnungsmarkt und Regulierung	Klimaschutz und Klimawandelfolgen	61
2	Wohnungsmarkt und Regulierung	Kreislaufwirtschaft und Ressourcen	55
3	Entwicklung und Stadt / Land	Kreislaufwirtschaft und Ressourcen	53
4	Wohnungsmarkt und Regulierung	Entwicklung und Stadt / Land	51
5	Klimaschutz und Klimawandelfolgen	Kreislaufwirtschaft und Ressourcen	48
6	Neue Arbeitswelt	Mobilität	48
7	Entwicklung und Stadt / Land	Digitalisierungs-Technologien Planen und Bauen	42
8	Entwicklung und Stadt / Land	Mobilität	39
9	Wohnungsmarkt und Regulierung	Digitalisierungs-Technologien Planen und Bauen	39
10	Wohnungsmarkt und Regulierung	Neue Arbeitswelt	36
11	Entwicklung und Stadt / Land	Klimaschutz und Klimawandelfolgen	35
12	Entwicklung und Stadt / Land	Neue Arbeitswelt	34
13	Kreislaufwirtschaft und Ressourcen	Digitalisierungs-Technologien Planen und Bauen	32
14	Klimaschutz und Klimawandelfolgen	Digitalisierungs-Technologien Planen und Bauen	28
15	Kreislaufwirtschaft und Ressourcen	Neue Arbeitswelt	25
16	Digitalisierungs-Technologien Planen und Bauen	Neue Arbeitswelt	23
17	Digitalisierungs-Technologien Planen und Bauen	Mobilität	21
18	Wohnungsmarkt und Regulierung	Mobilität	19
19	Klimaschutz und Klimawandelfolgen	Neue Arbeitswelt	17
20	Klimaschutz und Klimawandelfolgen	Mobilität	17
21	Kreislaufwirtschaft und Ressourcen	Mobilität	17

Literaturverzeichnis

Abualdenien, J., et al. (2020)	Consistent management and evaluation of building models in the early design stages. ITcon, 25, 212–232.
Achenbach, H., Rüter, S. (2016)	Ökobilanz-Daten für die Erstellung von Fertighäusern in Holzbauweise. Thünen Report No. 38.
adelphi, PRC, EURAC Research (2015)	Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Climate Change 25/2015.
Agora Energiewende (2021)	Die Energiewende im Corona-Jahr: Stand der Dinge 2020. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2021.
Airbus (2021)	Airbus: Vahana Our single-seat eVTOL demonstrator. Abrufbar unter (11.05.2021): https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/vahana.html .
Anlauf, T. (2020)	Bunte Visionen statt grauem Parkraum. Abrufbar unter (08.06.2021): https://www.sueddeutsche.de/muenchen/muenchen-stadtgestaltung-zukunft-visionen-1.5135942 .
Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen, ARGE (2015)	Kostentreiber für den Wohnungsbau. Untersuchung und Betrachtung der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Gesteungskosten und auf die aktuelle Kostenentwicklung von Wohnraum in Deutschland. Kiel.
Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen, ARGE (2019)	Auswirkungen energetischer Standards auf die Bauwerkskosten und Energieeffizienz. Abrufbar uner (04.06.2021): https://www.zdb.de/fileadmin/publikationen/Weitere_Publikationen/ARGE-Studie-Gebaeudesanierung-Baukosten.pdf
Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen, ARGE (2020)	Bezahlbarer Wohnraum 2021. Kurzgutachten im Auftrag des Verbändebündnis „Soziales Wohnen“.
Augsburger Allgemeine Zeitung (2019)	Wie können Hagelkörner so groß wie Tennisbälle werden? Abrufbar unter (16.04.2021): https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Wie-koennen-Hagelkoerner-so-gross-wie-Tennisbaelle-werden-id54557716.html .
Austrian Standards (2015)	Building Information Modeling. Abrufbar unter (04.01.2021): https://www.austrian-standards.at/de/themengebiete/bau-immobilien/building-information-modeling/alles-zu-bim .
Autodesk (2002)	Building Information Modeling. San Rafael, CA, Autodesk, Inc. Abrufbar unter (04.01.2021): http://www.laiserin.com/features/bim/autodesk_bim.pdf .
Ayhan, B. U., Tokdemir, O. B. (2019)	Safety assessment in megaprojects using artificial intelligence. Safety science, 118, 273–287.
Bauer, U., et al. (2005)	Standortpräferenzen, intraregionale Wanderungen und Verkehrsverhalten. Ergebnisse einer Haushaltsbefragung in der Region Dresden. In: Raumforschung und Raumordnung, 63. Jg. (2005), Nr. 4, S. 266 – 227.
Bauer, W., et al. (2017)	Office Analytics: Erfolgsfaktoren für die Gestaltung einer typbasierten Arbeitswelt.
Bauer, W., et al. (2017)	Mikromobilität – Nutzerbedarfe und Marktpotenziale im Personenverkehr.
Bauindustrie (2020)	Pressemitteilung Bauindustrie gegen nationales Lieferkettengesetz. Abrufbar unter (27.04.2021): https://www.bauindustrie.de/media/documents/39-20_Europ_Lieferkettengesetz_auf_Basis_int_Leitprinzipien.pdf .

Baulandkommission (2019)	Empfehlungen auf Grundlage der Beratungen in der Kommission für Nachhaltige Baulandmobilisierung und Bodenpolitik. Abrufbar unter (23.04.2021): https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/nachrichten/Handlungsempfehlungen-Baulandkommission.pdf .
Baustoffwissen (2018)	Grundstoffe des Bauens. Kies und Sand für die Bauindustrie. Mitteilung vom 15.03.2018.
Bauwissen (o. J.)	Temperaturen und Wetterabhängigkeiten. Abrufbar unter (28.05.2021): https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/eigenschaften/temperaturen-und-wetterabhaengigkeiten-150946
Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung (2018)	Pflanze trifft Bauwerk. Abrufbar unter (28.04.2021): https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflge/dateien/merkblatt_kfs_in.pdf .
Bayerischer Landtag (2014)	Regierungsfraktion setzt 10H-Regel für den Neubau von Windkraftanlagen durch. Aus dem Plenum vom 12.11.2014. Abrufbar unter (25.05.2021): https://www.bayern.landtag.de/aktuelles/aus-dem-plenum/regierungsfraktion-setzt-10h-regel-fuer-den-neubau-von-windkraftanlagen-durch .
Bayerischer Landtag (2018.)	Erweiterte Handlungsempfehlungen für eine Politik zur Herstellung räumlicher Gerechtigkeit. Abrufbar unter (11.05.2021): https://www.bayern.landtag.de/fileadmin/Internet_Dokumente/Sonstiges_P/EK-Lebensverhaeltnisse-Langfassung_Handlungsempfehlungen.pdf .
Bayerischer Rundfunk (2020)	Bevölkerungszahlen: Zuzug nach Bayern halbiert sich durch Corona. Abrufbar unter (18.05.2021): https://www.br.de/nachrichten/bayern/bevoelkerungszahlen-zuzug-nach-bayern-halbiert-sich-durch-corona,SKYxWaV .
Bayerischer Rundfunk (2021)	Stadt Regensburg offen für Seilbahn-Pläne. Abrufbar unter (20.05.2021): https://www.br.de/nachrichten/bayern/stadt-regensburg-offen-fuer-seilbahn-plaene,SXksone .
Bayerisches Landesamt für Statistik (2019)	Q2400C 201651 – Entsorgung von Bauabfällen 2016, 2019. Abrufbar unter (07.04.2021): https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/veroeffentlichungen/statistische_berichte/q2400c_201651.pdf .
Bayerisches Landesamt für Statistik (2020a)	Zur Verwertung und Beseitigung eingesetzter Bauabfälle nach Abfallarten, 2020. Abrufbar unter (07.04.2021): https://www.statistik.bayern.de/statistik/bauen_wohnen/abfall/index.html#link_2 .
Bayerisches Landesamt für Statistik (2020b)	Beiträge zur Statistik Bayerns. Heft 553. Regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern bis 2039.
Bayerisches Landesamt für Statistik (2020c)	Bestand an Wohngebäuden und Wohnungen in Bayern. Stand: 31.12.2019.
Bayerisches Landesamt für Statistik (2020d)	Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes.
Bayerisches Landesamt für Statistik (2020e)	12,1 Prozent der Fläche Bayerns dient Siedlungs- und Verkehrsflächen. Abrufbar unter (18.05.2021): https://www.statistik.bayern.de/presse/mitteilungen/2020/pm274/index.html .

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2021)	Siedlungs- und Verkehrsfläche. Abrufbar unter (21.05.2021): https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/indikatoren/ressourcen_effizienz/siedlungsflaeche_verkehrsflaeche/index.html .
Bayerische Landesbodenkreditanstalt (2020)	2020 Wohnungsmarkt Bayern. Beobachtung und Ausblick. Abrufbar unter (18.05.2021): https://bayernlabo.de/fileadmin/dwn/wohnungsmarktbericht/bayernlabo-wohnungsmarktbericht-2020-doppelseiten.pdf .
Bayern Innovativ (2021)	Die Kompetenzstelle Elektromobilität fördert nachhaltige Mobilität. Abrufbar unter (11.05.2021): https://www.bayern-innovativ.de/seite/foerderung-elektromobilitaet .
BayernAtlas (2021)	Kartenviewer des Geoportal Bayerns. Abrufbar unter (08.06.2021); https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&lang=de&catalogNodes=11,122&bgLayer=atkis .
BAYSIS, Bayerisches Straßeninformationssystem (2021)	Straßennetz in Bayern. Abrufbar unter (04.04.2021): https://www.baysis.bayern.de/web/content/strassennetz/Default.aspx .
BBR, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2008)	Folgen des Klimawandels: Gebäude und Baupraxis in Deutschland. Publikation, Nr. 10/2008.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2010)	Klimaangepasstes Bauen. Kriteriensteckbrief „Widerstandsfähigkeit gegen Naturgefahren: Wind, Starkregen, Hagel, Schnee/feuchte Winter und Hochwasser“. Endbericht.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2012)	Möglichkeiten und Grenzen des Ersatzneubaus. Als Beitrag zu Energieeinsparung und Klimaschutz bei Wohngebäuden. Forschungen Heft 154.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2014)	Analyse der Verursacher von Investitions- und Betriebskosten im Wohnungsbau. Bonn.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2015)	Klimaangepasstes Bauen bei Gebäuden. BBSR-Analysen kompakt 2/2015.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2016)	Aktuelle Trends der Wohnungsbautätigkeit in Deutschland – Wer baut wo welche Wohnungen. Bonn.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2017)	Smart City Charta. Digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2019a)	Entwicklung der Marktstruktur im deutschen Baugewerbe. BBSR-Online-Publikation 19/2019.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2019b)	Faktencheck zur Wohneigentumsbildung. BBSR-Analysen KOMPAKT 09/2019.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2020a)	Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland. Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt. BBSR-Online-Publikation 17/2020.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2020b)	Langfristige Strukturentwicklungen im Baugewerbe. BBSR-Analysen KOMPAKT 09/2020.

BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2020c)	Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland. Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt. BBSR-Online-Publikation 17/2020.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2021a)	Raumordnungsprognose 2040. Bevölkerungsprognose: Ergebnisse und Methodik. BBSR-Analysen KOMPAKT 03/2021.
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2021b)	Fachbeitrag Wohnungsleerstände vom 10.05.2021. Abrufbar unter (31.05.2021): https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/fachbeitraege/wohnen-immobilien/immobilienmarkt-beobachtung/Wohnungsleerstand/wohnungsleerstand.html
BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, BMI, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2019)	Maßnahmenpaket Baukostensenkung. Abrufbar unter (23.04.2020): https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/themen/bauen/massnahmenpaket_baukostensenkung.pdf .
BCA Singapore (2013)	Singapore BIM Guide V2, Building and Construction Authority, Singapur. Abrufbar unter (04.01.2021): https://www.corenet.gov.sg/general/bim-guides/singapore-bim-guide-version-20.aspx .
BCVS, Bundesverband Coworking Spaces Deutschland (2020)	Zahl der Coworking-Spaces hat sich vervierfacht. Abrufbar unter (11.05.2021): https://www.bundesverband-coworking.de/2020/06/zahl-der-coworking-spaces-hat-sich-vervierfacht/#:~:text=Demnach%20gibt%20es%20derzeit%201.268,es%20nur%20knapp%20%C3%BCber%20300.&text=%E2%80%9EArbeitspl%C3%A4tze%20in%20Coworking%20Spaces%20anzumieten,Incentive%20f%C3%BCr%20die%20eigenen%20Mitarbeiter .
BDS, Bund der Selbständigen Gewerbeverband e.V. (2021)	Wasserstoff in Oberfranken. Abrufbar unter (08.06.2021): http://www.bds-oberfranken.de/wasserstoff-in-oberfranken/
Berg, H. (2017)	BIM for Infrastructure through the lifecycle – How governmental BIM and VDC requirement is pushing the Norwegian infrastructure business, Trimble Solutions.
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (o. J.)	Informationen zu Sonne und Hitze. Abrufbar unter (12.04.2021): https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/sonne-und-hitze/informationen-zu-sonne-und-hitze .
BIEK, Bundesverband Paket & Expresslogistik (2020)	KEP Studie 2020 – Analyse des Marktes in Deutschland.
BIHK, Bayerischer Industrie- und Handelskammertag (Hrsg.) (2018)	Standortfaktor Fläche. Flächennutzung in Bayern.
BIM Alliance (2020)	BIM Alliance Sweden Website. Abrufbar unter (04.01.2021): http://www.bimalliance.se .
BIM4INFRA (2019a)	Leitfaden und Muster für Auftraggeber-Informationsanforderungen, BIM4INFRA2020, 2019. Abrufbar unter (04.01.2021): https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil2.pdf .
BIM4INFRA (2019b)	Leitfaden und Muster für den BIM-Abwicklungsplan, BIM4INFRA2020, 2019. Abrufbar unter (04.01.2021): https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/09/BIM4INFRA_AP4_Teil3.pdf .
BIM4INFRA (2020)	Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“, ARGE BIM4INFRA2020, Berlin. Abrufbar unter (04.01.2021): https://bim4infra.de .

- BIM-D (2020)** BIM Deutschland – Das nationale Zentrum für die Digitalisierung des Bauwesens. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://bimdeutschland.de>.
- BIMForum (2020)** Level of Development Specification. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://bimforum.org/lod>.
- bitkom (2020)** Corona treibt Digitalisierung voran – aber nicht alle Unternehmen können mithalten. Abrufbar unter (15.05.2021): <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Corona-treibt-Digitalisierung-voran-aber-nicht-alle-Unternehmen-koennen-mithalten>.
- bitkom (2021)** Deutschlands Landbevölkerung will neue Mobilitätsdienste. Abrufbar unter (03.06.2021): <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Deutschlands-Landbevoelkerung-will-neue-Mobilitaetsdienste>.
- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (2020)** Industrie 4.0 – Innovationen im Zeitalter der Digitalisierung. Abrufbar unter (15.05.2021): <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html>.
- BMEL, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2012)** Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur 2012.
- BMI, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2019)** KLIBAU – Weiterentwicklung und Konkretisierung des Klimaangepassten Bauens. Endbericht.
- BMI, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2020)** Neue Leipzig Charta: Die transformative Kraft der Städte für das Gemeinwohl. Abrufbar unter (21.05.2021): https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2020/eu-rp/gemeinsame-erklaerungen/neue-leipzig-charta-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- BMI, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2021)** BMI fördert mit dem Innovationsprogramm Zukunft Bau Klimaschutzforschung im Gebäudebereich. Abrufbar unter (21.05.2021): <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/DE/2021/02/klimaschutzforschung-im-gebaeudebereich.html>.
- BMJV, Bundesministerium der Justiz und den Verbraucherschutz (2019)** Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr (Elektrokleinstfahrzeug-Verordnung-eKFV), Berlin, 2019.
- BMUB, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2017)** Runderlass des BMUB zur Prüfung des BIM-Einsatzes aller zivilen Baumaßnahmen über 5 Mio. Euro Einzelbaukosten, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2017.
- BMUB, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2007)** LEIPZIG CHARTA zur nachhaltigen europäischen Stadt. Abrufbar unter (20.05.2021): https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nationale_Stadtentwicklung/leipzig_charta_de_bf.pdf.
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015a)** Endbericht der Reformkommission Bau von Großprojekten, Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/reformkommission-bau-grossprojekte-endbericht.pdf>.
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015b)** Stufenplan Digitales Planen und Bauen, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf>.

- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020)** Mobilität in Deutschland (MiD). Abrufbar unter (10.05.2021): <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/mobilitaet-in-deutschland.html>.
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (o. J.)** 5G-Innovationswettbewerb- Projekte und Beschreibung. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/5g-innovationswettbewerb-tabelle.html>.
- BMW (2002)** BMW Group: „Virtuelle Mobilität ändert Lebensweise in privaten Haushalten“. Das Institut für Mobilitätsforschung (ifmo) gibt Antwort auf Fragen der virtuellen Mobilität. Berlin, München.
- BMWi, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016)** Bekanntmachung zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration auf dem Gebiet energieeffizienter Gebäude und Quartiere Förderinitiative „Solares Bauen/ Energieeffiziente Stadt“ im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms. Abrufbar unter (11.05.2021): https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/bmwi-bmbf-solares-bauen-energieeffiziente-stadt.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- BMWi, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019)** Reallabore – Testräume für Innovation und Regulierung. Abrufbar unter (20.05.2021): <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/reallabore-testraeume-fuer-innovation-und-regulierung.html>.
- Bockstahler, M., et al. (2020)** Homeoffice Experience: Eine empirische Untersuchung aus Nutzersicht während der Corona Pandemie.
- Brand eins (2021)** Die 60-Minuten-Stadt. Ausgabe 2021.
- Braun, S., et al. (2019)** Autonomes Fahren im Kontext der Stadt von morgen [AFKOS].
- Bringsjord, S., Schimanski, B. (2003)** What is artificial intelligence? Psychometric AI as an answer. IJCAI, 887–893.
- Bullinger, H. / Röthlein, B. (2012)** Morgenstadt: Wie wir morgen leben: Lösungen für das urbane Leben der Zukunft. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Bundesamt für Naturschutz (2017)** Bundeskonzept Grüne Infrastruktur. Grundlagen des Naturschutzes zu Planungen des Bundes.
- Bundesbank (2020)** Die Preise für Wohnimmobilien in Deutschland im Jahr 2020. Monatsbericht Februar, 61–64.
- Bundesbank (2021a)** Der lang gedehnte Preisaufschwung bei Wohnimmobilien in Deutschland aus gesamtwirtschaftlicher Sicht. Monatsbericht Oktober, 67-87.
- Bundesbank (2021b)** Indikatorensystem zum deutschen Wohnimmobilienmarkt. 05.03.2021. Abrufbar unter (06.04.2021): <https://www.bundesbank.de/de/statistiken/indikatorensaetze/indikatorensystem-wohnimmobilienmarkt/indikatorensystem-zum-wohnimmobilienmarkt-775496>.
- Bundesverband Glas (2019)** Jahresbericht 2019.
- Bundesverbands für keramische Fliesen (2018)** Marktanteile-Bodenbeläge.
- Business Insider (2019)** In 10 Jahren sind Seilbahnen in der Stadt ganz normal“: Verkehrsexperten prophezeien Revolution. 2019. Verkehrsexperten: In 10 Jahren gehören Seilbahnen zum Stadtbild - Business Insider.
- Buswell, R. A., et al. (2018)** 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. Cement and Concrete Research, 112, 37-49.

- Cabinet Office (2011)** Government Construction Strategy 2011–2015, Cabinet Office, London, Großbritannien. Abrufbar unter (04.01.2021): https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/61152/Government-Construction-Strategy_0.pdf.
- CDBB (2018)** Year One Report – Towards a digital built Britain, Centre of Digital Built Britain, Cambridge, UK. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://www.cdbb.cam.ac.uk/system/files/documents/CDBBYearOneReport2018.pdf>.
- Cerame-Unie (2019)** Unser Weg ins Jahr 2050. Fahrplan der Keramikindustrie.
- Cisco (2018)** Cisco Visual Networking Index (VNI) Complete Forecast Update (2017–2022). Abrufbar unter (28.05.2020): https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/network-intelligence/service-provider/digitaltransformation/knowledge-network-webinars/pdfs/1211_BUSINESS_SERVICES_CKN_PDF.pdf.
- CNCA, Certification and Accreditation Administration of the People's Republic of China (2018)** Adopting a Zero-Emissions Standard for New Buildings. Abrufbar unter (25.05.2021): <https://carbonneutralcities.org/adopting-a-zero-emissions-standard-for-new-buildings>.
- CV Innovation Lab (2021)** Munichs Green East. 2021. Munichs Green East – CV InnoLab. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://www.cv-innovation-lab.com>.
- Datenportal Globale Migration (2021)** Umweltmigration. Mitteilung vom 06.05.2021. Abrufbar unter (25.05.2021): https://migrationdataportal.org/de/themes/environmental_migration.
- Dauth, W., Haller, P. (2018)** Berufliches Pendeln zwischen Wohn- und Arbeitsort: Klarer Trend zu längeren Pendeldistanzen. IAB-Kurzbericht, 10/2018. Abrufbar unter (21.05.2021): <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/185845/1/kb1018.pdf>.
- DEGES (2020)** BIM bei der DEGES, DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH, Berlin, 2020. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://www.deges.de/building-information-modeling-bim>.
- Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (2021)** Klimawandel: Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten. Abrufbar unter (29.05.2021): <https://www.leopoldina.org/publikationen/detailansicht/publication/klimawandel-ursachen-folgen-und-handlungsmoeglichkeiten-2021/>.
- Deutsche Bahn (2017)** Vorgaben zur Anwendung der BIM-Methodik, Deutsche Bahn AG, 2017. Abrufbar unter (04.01.2021): http://www1.deutschebahn.com/sus-infoplattform/start/Vorgaben_zu_Anwendung_der_BIM-Methodik.html.
- Deutsche Bahn (2018)** DB Regio Ideenzug: Die Module im Überblick. Abrufbar unter (10.05.2021): <https://inside.bahn.de/ideenzug-db-regio-module>.
- Deutsche Bahn (2019)** BIM-Strategie – Implementierung von Building Information Modeling im Vorstandsressort Infrastruktur, Deutsche Bahn AG. Abrufbar unter (04.01.2021): https://www.deutschebahn.com/de/bahnwelt/bauen_bahn/BIM-1186016.
- Deutsche Bank Research (2007)** Klimawandel und Branchen: Manche mögen's heiß. Energie und Klimawandel. Aktuelle Themen Nr. 388.
- Deutsche Telekom, Corporate Communications (2020)** Digitalisierungsindex Mittelstand 2020/2021. Der Digitale Status quo des deutschen Mittelstandes. Abrufbar unter (13.05.2021): <https://www.digitalisierungsindex.de/studie/gesamtbericht-2021>.
- Deutsche Telekom, Corporate Communications (2021)** Digitalisierungsindex Mittelstand 2020/2021, Der digitale Status quo im deutschen Baugewerbe. Abrufbar unter (15.05.2021): <https://www.digitalisierungsindex.de/studie/digitale-transformation-baugewerbe-2021>.

- Deutscher Verband für Wohnungswesen (2020)** Städtebau und Raumordnung e.V., Gemeinschaftsaufgabe Neubauakzeptanz. Abrufbar unter (02.06.2021): https://www.deutscher-verband.org/fileadmin/user_upload/documents/Brosch%C3%BCren/Broschuere_Gemeinschaftsaufgabe_Nebauakzeptanz.pdf.
- Deutschland mobil 2030 (2021)** Innerstädtische Logistik mit Lastenrad und Stadtbahn. Abrufbar unter (10.05.2021): <https://www.deutschland-mobil-2030.de/>.
- Die Bundesregierung (2008)** Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel.
- Die Bundesregierung (2020)** Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Abrufbar unter (18.05.2021): <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/992814/1875176/3d3b15cd92d0261e-7a0bcd8f43b7839/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-2021-langfassung-download-bpa-data.pdf?download=1>.
- Die Bundesregierung (2021)** Leitinitiative Zukunftsstadt. Abrufbar unter (30.04.2021): <https://www.innovationsplattform-zukunftsstadt.de/de/leitinitiative-zukunftsstadt-1858.html>.
- Difu, Deutsches Institut für Urbanistik (2015)** Wie begegnen Kommunen dem Klimawandel? Beispiele aus der kommunalen Praxis.
- Difu, Deutsches Institut für Urbanistik (2017)** Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen.
- Difu, Deutsches Institut für Urbanistik (2020)** Planerische Machbarkeitsstudien zur Umsetzung blau-grün-grau gekoppelter Infrastrukturen in Berlin. netWORKS-Papers 38.
- Digital-ernetzt-mobil (2021)** Digitale Vernetzung im öffentlichen Personenverkehr. Vernetzungsleitfaden. Arbeitspapier Stand: 10.12.2020. Abrufbar unter (06.06.2021): https://www.digital-ernetzt-mobil.de/wp-content/uploads/2020/12/Vernetzungsleitfaden_Arbeitspapier_V1.0_Stand-201210.pdf.
- DIN (2020)** BIM gelingt nur mit Normen und Standards, Deutsches Institut für Normung, Berlin, 2020 <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/bim>.
- DIN EN ISO/ASTM 52900** Abrufbar unter (14.05.2021): <https://dx.doi.org/10.31030/2842544>.
- Durmisevic, E. (2018)** Reversible Building Design. Designing for the Circular Economy, London.
- Duwe D., et al. (2019)** Quo vadis 3D Mobility. Technological readiness, urban and rural use cases & urban integration of flying cars and passenger drones.
- DWD, Deutscher Wetterdienst (2011)** Klimastatusbericht 2011. Auswirkungen von Klimaänderungen für die Bauwirtschaft.
- Eastman, C., et al. (1974)** An Outline of the Building Description System. Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University. Abrufbar unter (04.01.2021): <http://eric.ed.gov/?id=ED113833>.
- Eber, W. (2020)** Potentials of artificial intelligence in construction management. Organization, technology & management in construction: an international journal, 12(1), 2053–2063.
- ECOVIS (2021)** Überbrückungshilfe 3 ermöglicht Ansetzung der Kosten für bauliche Maßnahmen. Mitteilung vom 23.04.2021. Abrufbar unter (25.05.2021): <https://www.ecovis.com/duesseldorf-koeln/blog/2021/04/23/ueberbrueckungshilfe-3-ermoeglicht-ansetzung-der-kosten-fuer-bauliche-massnahmen>.
- Egger, M., et al. (2013)** BIM-Leitfaden für Deutschland. Abschlussbericht. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Abrufbar unter (04.01.2021): http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/3Rahmenbedingungen/2013/BIMLeitfaden/01_start.html.
- Eiserbeck, L. (2019)** Platzräume zwischen Hitzeresilienz, Nutzbarkeit und ästhetischer Qualität.

- Elvidge, C. D. (2007)** Global Distribution and Density of Constructed Impervious Surfaces. *Sensors* 7, 1962–1979.
- EnergyComment (2014)** Energetische Gebäudesanierung weltweit: IEA fordert 2% Sanierungsquote. Abrufbar unter (25.05.2021): <https://www.energycomment.de/energetische-gebaeudesanierung-weltweit-iea-fordert-2-sanierungsquote>.
- Eschenbruch, K., et al. (2014)** Maßnahmenkatalog zur Nutzung von BIM in der öffentlichen Bauverwaltung unter Berücksichtigung der rechtlichen und ordnungspolitischen Rahmenbedingungen, Gutachten zur BIM-Umsetzung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Abrufbar unter (04.01.2021): http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/3Rahmenbedingungen/2014/BIMMassnahmenkatalog/01_start.html.
- EuLA, European Lime Association (2019)** A Competitive and Efficient Lime Industry. Cornerstone for a Sustainable Europe.
- Europäische Kommission (2013)** Grüne Infrastrukturen. Aufwertung des europäischen Naturkapitals. COM(2013) 249 final.
- European Parliament (2014)** Directive 2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on public procurement and repealing Directive 2004/18/EC.
- Fang, W., et al. (2020)** Computer vision applications in construction safety assurance. *Automation in Construction*, 110, 103013.
- Fleischmann, L., Horbert, C., Klausmann, F., Schnabel, F. (2020)** Elektromobilität im Handel 2020. Orientierungshilfe für den Aufbau von Ladeinfrastruktur.
- FNR, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2020a)** Absatzvolumen von Dämmstoffen in Deutschland 2019.
- FNR, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2020b)** Weg frei für mehr Natur-Dämmstoffe beim Bauen. Abrufbar unter (25.05.2021): <https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/weg-frei-fuer-mehr-natur-daemmstoffe-beim-bauen>.
- Forcael, E., et al. (2020)** Construction 4.0: A Literature Review. *Sustainability*, 12(22), 9755.
- Frankfurter Allgemeine Zeitung (2016)** Neue Wohnungen zu teuer für die Massen. Ausgabe vom 02.06.2016. Abrufbar unter (07.04.2021): <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wohnen/umweltauflagen-machen-bauen-und-wohnungen-teuer-14257698-p2.html>.
- Fraunhofer (2021a)** Ultraeffizienzfabrik. Start in die Produktion der Zukunft. Abrufbar unter (08.06.2021): https://www.ultraeffizienzfabrik.de/fileadmin/user_upload/RZ_Ultraeffizienzfabrik_Broschuere_Web.pdf.
- Fraunhofer (2021b)** Digitaler Assistent für Bauherren. Abrufbar unter (11.06.2021): <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/januar-2021/digitaler-assistent-fuer-bauherren.html>.
- Fraunhofer-Gesellschaft Morgenstadt Initiative (2021)** Smarte Quartiere. Abrufbar unter (08.06.2021): <https://www.morgenstadt.de/de/projekte/smart-quartiere.html>.
- Fraunhofer IBP (o. J. a)** Hygrothermik. Feuchte- und Wärmeschutz. Abrufbar unter (29.05.2021): <https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/de/dokumente/broschueren/ht/abteilungsbroschuere-hygrothermik.pdf>.
- Fraunhofer IBP (o. J. b)** Produktblatt elektrodynamische Fragmentierung. Abrufbar unter (28.05.2021): <https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/de/dokumente/produktblaetter/mwb/produktblatt-fragmentierung.pdf>.

- Fraunhofer ISI, Wuppertal Institut, ifeu und Prognos (2020)** Inputpapier für die AG Digitalisierung im Rahmen der Roadmap Energieeffizienz 2050, im Auftrag BMWi/BfEE, Juni 2020.
- Fritschia, E. L., et al. (2017)** Smart Dynamic Casting, Slipforming With Flexible Formwork – Inline Measurement and Control, *Proceedings of the Second Concrete Innovation Conference*.
- Gabler Wirtschaftslexikon (2018)** Abrufbar unter (27.04.2021): <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/maschinelles-lernen-38193>.
- GDV, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (2020)** Serviceteil zum GDV Naturgefahrenreport 2020.
- Gemeinsame AG der Bauministerkonferenz und Umweltministerkonferenz (2020)** Abschlussbericht zu Zielkonflikten zwischen Innenentwicklung und Immissionsschutz (Lärm und Gerüche). Abrufbar unter (27.04.2021): https://www.umweltministerkonferenz.de/documents/bericht-zu-top-26_1607084603.pdf.
- Ginga, C. P., Ongpeng, J. M. C., Daly, M. K. M. (2020)** Circular Economy on Construction and Demolition Waste: A Literature Review on Material Recovery and Production. *Materials* 13.
- Grafing (2021)** Zukunftsstadt Grafing. Abrufbar unter (08.06.2021): <https://www.grafing.de/bauen-mobilitaet-umwelt/stadtentwicklung/zukunftsstadt-grafing.html>.
- Graft Architekten, Schuldt, c. (2021)** Micro Housing: Trend oder gewachsene Notwendigkeit? Abrufbar unter (08.06.2021): <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/wohnen/micro-housing-trend-oder-gewachsene-notwendigkeit/>.
- GSA (2021)** GSA BIM Guide Series, General Service Administration, Washington, D.C., USA. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/bim-guides>.
- Gutsche, J.-M., Kutter, E. (Hrsg.) (2006)** Mobilität in Stadtregionen.
- Hafner, A., et al. (2017)** Abschlussbericht der THG-Holzbaue. Abrufbar unter (25.05.2021): https://www.ruhr-uni-bochum.de/reb/mam/content/thg_bericht-final.pdf.
- Handelsblatt (2021)** Auch für Mieter wird das Umland attraktiver. Ausgabe vom 25.01.2021, S. 33.
- Hardi, M. (2003)** Methodenentwicklung für nachhaltige Energie- und Emissionsminderungsstrategien auf der Grundlage von Lebenszyklusanalysen. S. 52.
- Hausknecht, K., Liebich, T. (2011)** BIM Richtlinie für Architekten und Ingenieure, Qualitätsanforderungen an das virtuelle Gebäudemodell in den einzelnen Planungsphasen des Entwurfs- und Bauprozesses.
- Hausknecht, K., Liebich, T. (2016)** BIM-Kompendium. Building Information Modeling als neue Planungsmethode.
- Helmus, M., et al. (2019)** BIM-Leitfaden für den Mittelstand, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn, 2019. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/zukunft-bauen-fp/2019/band-19.html>.
- Henzelmann, T., et al. (2017)** Urbane Mobilität 2030: zwischen Anarchie und Hypereffizienz. Autonomes Fahren, Elektrifizierung und die Sharing Economy bestimmen den Stadtverkehr von morgen (Roland Berger Focus). Abrufbar unter (21.05.2021):

- Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt (2020)** https://www.rolandberger.com/en/Publications/pub_urban_mobility_2030.html. Drohnen und fahrerlose Transportsysteme bestimmen die Zukunft der Logistik. Abrufbar unter (20.05.2021): <https://www.fhws.de/service/news-presse/pressemeldungen/thema/fhws-drohnen-und-fahrerlose-transportsysteme-bestimmen-die-zukunft-der-logistik/>.
- Holoride (2021)** Holoride – Turning Vehicles into moving theme parks. 2021. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://www.holoride.com/>.
- IAB, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (2021)** IAB-Stellenerhebung.
- IDMC, Internal Displacement Monitoring Centre (2020)** Global Report on Internal Displacement 2020.
- IEA, International Energy Agency (2017)** Digitalization & Energy Report.
- ifo Institut (2020)** ifo Konjunkturperspektiven. 12/2020.
- Immobilienmanager (2020)** Ausgabe 1/2 2020. Abrufbar unter (20.04.2021): <https://www.immobiliengmanager.de/mehr-konzept-weniger-preis/150/77902>. Interview mit Dr. Joachim Wieland vom 17.01.2021. Abrufbar unter (15.04.2021):
- Immobilienmanager (2021)** <https://www.immobiliengmanager.de/elon-musk-macht-das-einfach/150/81307>. Industrielle Standortqualität in Bayern im internationalen Vergleich.
- Initiative Chfesa (2020)** Jahresreport 2020. Abrufbar unter (20.05.2021): <https://initiative-chfesa.de/jahresreport2020/>.
- InWIS, Institut für Wohnungswesen, Immobilienwirtschaft, ARGE, Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen (2016)** Instrumentenkasten für wichtige Handlungsfelder der Wohnungsbaupolitik. Bauforschungsbericht Nr. 70. Bochum/Kiel.
- IÖR, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (2021)** Informationsportal zu Bauwerksdaten. Abrufbar unter (12.04.2021): <http://ioer-bdat.de>.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2014)** Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2018)** Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2019)** IPCC-Sonderbericht über Klimawandel und Landsysteme.
- Isenhöfer, B., et al. (2008)** Immobilienanalyse. In: Schulte, K.-W. (Hrsg.), Immobilienökonomie, 417–423.
- ISO (2018)** ISO 19650-1:2018 – Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze, International Standardisation Organisation (ISO), 2018.

- ISO/ASTM 52900:2015** Additive manufacturing, General principles, Terminology. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISP, Institut für Stadtforschung, Planung und Kommunikation (2019)** HeatResilientCity. Ergebnisbericht zur Befragung 2018 in Erfurt. ISP-Schriftenreihe, Band 14.
- IW Consult (2008)** Wertschöpfungskette Bau. Analyse der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Wertschöpfungskette Bau. Endbericht.
- IWU, Institut Wohnen und Umwelt (2021a)** Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist vermessen. dataNWG-Projektinfo 8.2 Stand: Februar 2021.
- IWU, Institut Wohnen und Umwelt (2021b)** Zentrale Raumluftechnik in GEG-relevanten Nichtwohngebäuden. dataNWG-Projektinfo 9.3 Stand: Februar 2021.
- Jarass, J. (2012)** Wohnstandortpräferenzen und Mobilitätsverhalten. Verkehrsmittelwahl im Raum Köln.
- Jernigan, F. E., Onuma, K. G. (2008)** Big BIM. Little Bim: The Practical Approach to Building Information Modeling: Integrated Practice Done the Right Way.
- Kamiya, G (2020)** The Carbon Footprint of Streaming Video: Fact-checking the Headlines. Abrufbar unter (28.05.2020): <https://www.iea.org/commentaries/the-carbon-footprint-of-streaming-video-fact-checking-the-headlines>.
- Kaza, S., Yao, et al. (2018)** What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development. Weltbank.
- Kenkmann T., et al. (2019)** Entwicklung des Energiebedarfs für die Wohngebäudeklimatisierung in Deutschland 2030/2050.
- KfW, Kreditanstalt für Wiederaufbau (2020)** KfW-Mittelstandspanel 2020. Corona-Pandemie trübt Erwartungen für 2020. Mittelstand vor der Krise auf solidem Fundament. KfW Research.
- Khemlani, L. (2005)** CORENET e-PlanCheck: Singapore's Automated Code Checking System, AECbytes Website. Abrufbar unter (04.01.2021): http://www.novacitynets.com/pdf/aecbytes_20052610.pdf.
- Khoshnevis, B., et al. (2006)** Mega-scale fabrication by Contour Crafting. International Journal of Industrial and Systems Engineering, 1(3), 301–320.
- Klausmann, F., Mauch, L., Klingler, A. L., Wohlhüter, M. (2021)** Anforderungen an eine elektrische Lade- und Wasserstoffinfrastruktur für gewerbliche Nutzfahrzeuge mit dem Zeithorizont 2030. FAT-Schriftenreihe 342. Abrufbar unter (01.06.21): <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/fat-schriftenreihe-342.html>.
- Kloft, H., Hack, N., Lindemann, H. (2019)** Shotcrete 3D Printing (SC3DP) – 3D-Drucken von großformatigen Betonbauteilen. Bautechnik, vol. 02/19, 54-57.
- KoDorf Wiesenburg (2021)** KoDorf Wiesenburg. Neues Leben & Arbeiten auf dem Land. Abrufbar unter (08.06.2021): <https://www.kodorf-wiesenburg.de/>
- Kompetenzzentrum für Klimaschutz in Fachwerkstädten (2021)** DAS Projekt: Klimaanpassung in historischen Stadtkernen – Weiterbildungsmodul. Abrufbar unter (12.04.2021): <http://www.klimaschutz-fachwerkstaedten.de>.
- Kreider, R. G., Messner, J. I. (2013)** The uses of BIM – Classifying and selecting BIM uses, Version 0.9, The Pennsylvania State University, 2013. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://bim.psu.edu>.
- Kreislaufwirtschaft Bau (2018)** 12. Monitoringbericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle. Abrufbar unter (02.04.2021): <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/>.

- Lang, W., Schneider-Marin, P. (2021)** Effizienz und Nachhaltigkeit von Werkstoffen und Tragkonstruktionen. In: Möller, E. (Hrsg.), Atlas Tragwerke. Detail Business Information, 150–159.
- Langenhan, C., et al. (2019)** Models of designing – Design support to steer creative wicked problem solving processes with knowledge management and artificial intelligence. Model Based Research, Model Based Research, 1.
- Lawinenwarnzentrale im Bayerischen Landesamt für Umwelt (2006)** Anleitung zum Abschätzen einer aktuellen Schneelast. Abgerufen unter (15.04.2021): https://www.lawinenwarndienst-bayern.de/download/infothek/anltg_schneelast.pdf.
- Le Quéré, C., et al. (2021)** Fossil CO₂ emissions in the post-COVID-19 era.
- Lee, E. S. (1966)** A Theory of Migration. In: Demography, 3. Jg. (1966), Vol. 1, 47–57.
- Lehner, M. (2021)** Sind die Niederlande Vorreiter des Zirkulären Bauens? Technik in Bayern 03/2021.
- Leitner (2021)** Seilbahnen im Stadtverkehr. Urbane LeitnerSeilbahnen – LEITNER. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://leitner-ropeways.com>.
- LfU, Bayerische Landesamt für Umwelt (2021a)** Trinkwasserverteilung in Bayern. Abrufbar unter (12.04.2021): https://www.lfu.bayern.de/wasser/trinkwasser_quelle_verbraucher/trinkwasserverteilung/index.htm
- LfU, Bayerische Landesamt für Umwelt (2021b)** Kanalisation in Bayern. Abrufbar unter (12.04.2021): <https://www.lfu.bayern.de/wasser/kanalisation/index.htm>.
- LHM (2019)** „Digitaler Zwilling“ in München. Ein Leuchtturmprojekt auf dem Weg zur digitalen Metropole. Abrufbar unter (25.05.2021): <https://muenchen.digital/blog/digitaler-zwilling-in-muenchen-ein-leuchtturmprojekt-auf-dem-weg-zur-digitalen-metropole/>.
- LHM (2020)** Connected Urban Twins. Neue Impulse für die digitale Stadtentwicklung. Abrufbar unter (25.05.2021): <https://www.muenchen.de/rathaus/projekte/cut.html>.
- Lilium (2021)** Lilium – München und Nürnberg sollen Lilium Hubs werden. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://lilium.com/newsroom-detail/munich-airport-and-nuremberg-airport-to-become-hubs-for-lilium-operations>.
- Lim, S., et al. (2012)** Developments in construction-scale additive manufacturing processes. Automation in Construction, 21 (1):262–268.
- Liu, B., et al. (2017)** Review and Prospect of BIM Policy in China. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 245. doi:10.1088/1757-899X/245/2/022021.
- Lowke, D., et al. (2018)** Particle-bed 3D printing in concrete construction – Possibilities and challenges. Cement and Concrete Research, 112:50–65.
- Luger, G. F. (2005)** Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving. Pearson education.
- Mader, F., Haasis, K. (2019)** Ein Bus soll junge Ingenieure anlocken. Abrufbar unter (10.05.2021): <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.bosch-in-renningen-ein-bus-soll-junge-ingenieure-anlocken.9ab9d13f-175a-4cfe-9883-edd239e08648.html>.
- Martens, M. (2018)** ECE realisiert neues Hermes Logistikzentrum für Großstücke in Ansbach. Abrufbar unter (20.05.2021): <https://newsroom.hermesworld.com/infrastruktur-ece-realisiert-neues-hermes-logistikzentrum-fuer-grossstuecke-in-ansbach-16068/>.

- Maskuriy, R., et al. (2019)** Industry 4.0 for the construction industry – how ready is the industry? Applied Sciences, 9(14), 2819.
- McDermott, J. P. (1980)** RI: an Expert in the Computer Systems Domain. AAAI Vol. 1, 269–271.
- Mechtcherine, V., Nerella, V.-N. (2018)** 3-D-Druck mit Beton: Sachstand, Entwicklungstendenzen, Herausforderungen. Bautechnik, 95(4), 275–287.
- Metals for Building (2021)** Metalle in Gebäuden – Unentbehrlich & vollständig wiederverwertbar. Abrufbar unter (07.04.2021): <http://www.metalsforbuildings.eu/publications>.
- Michelsen, G., et al. (2015)** Greenpeace Nachhaltigkeitsbarometer 2015 – Nachhaltigkeit bewegt die jüngere Generation. VAS Verlag, Bad Homburg.
- MIT (2017)** Modalità e i tempi di progressiva introduzione die metodi e degli strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture (Decreto BIM), Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Decreto Ministeriale 01/12/2017 n. 560, 2017.
- Mitzner, D. (2009)** Strategische Vorausschau und Szenarioanalysen. Methodenevaluation und neue Ansätze.
- Munich Start-up (2021)** Munich Startup Podcasts. Folge 22. Atech: Neue Lösungen für die Landwirtschaft. Abrufbar unter (08.06.2021): <https://www.munich-startup.de/72931/podcast-agtech/>.
- MVG (2021)** Die urbane Seilbahn. 2021. Seilbahn | Münchner Verkehrsgesellschaft mbH. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://www.mvg.de>.
- NBS (2020)** NBS National BIM Library, National Building Specification (NBS), Großbritannien. Abrufbar unter (04.01.2021): <http://www.nationalbimlibrary.com>.
- Neuhausen, M., Pawlowski, D., König, K. (2020)** Comparing classical and modern machine learning techniques for monitoring pedestrian workers in top-view construction site video sequences, Applied Sciences, Bd. 10, Nr. 23, 8466.
- New European Bauhaus (2021)** New European Bauhaus. Debatten von heute prägen die Welt von morgen. Abrufbar unter (08.06.2021): https://europa.eu/new-european-bauhaus/index_de. NIBS (2015): National BIM Standard United States Version 3, National Institute of Building Sciences, Washington DC, USA. Abrufbar unter (04.01.2021): <http://www.nationalbimstandard.org>.
- NIBS (2020)** The Future of the National BIM Standard – United States, National Institute of Building Sciences, Washington DC, USA. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://www.nibs.org/blogpost/1799079/363013/The-Future-of-the-National-BIM-Standard-United-States>.
- Nikolowski, J., et al. (2013)** Analysing the Vulnerability of Buildings to Climate Change: Summer Heat and Flooding. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 22, 145–153.
- Nordbayern (2019)** Nach erfolgreicher Testphase: 100 E-Scooter für Bamberg. Abrufbar unter (20.05.2021): <https://www.nordbayern.de/region/bamberg/nach-erfolgreicher-testphase-100-e-scooter-fur-bamberg-1.8806105>.
- Nordic Harvest (2021)** Nordic Harvest. Vertical Farming. Abrufbar unter (08.06.2021): <https://www.nordicharvest.com>.
- Normenkontrollrat Baden-Württemberg, Prognos (2020)** Entlastung von Bürokratie und Baukosten durch Optimierung des Brandschutzes. Stuttgart. Abrufbar unter (23.04.2021): https://www.normenkontrollrat-bw.de/fileadmin/_normenkontrollratBW/Dokumente/Brandschutzstudie_NKR_BW.pdf.
- NYC DDC (2012)** BIM Guide, New York City Department of Design and Construction, New York, USA. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://www1.nyc.gov/assets/ddc/downloads/publications/guides-manuals/bim-guide.pdf>.

- Ojha, V. K., et al. (2019)** Machine learning approaches to understand the influence of urban environments on human's physiological response. *Information Sciences*, 474, 154–169.
- Ori Design Studio (2021)** Live large in a small footprint. Space-saving, transformable furniture and architecture. Abrufbar unter (08.06.2021): <https://www.oriliving.com/>.
- Ortlepp, R., G. Schiller (2016)** Kartierung des anthropogenen Materiallagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft, Fachtagung Recycling R'16, 19. und 20. September 2016. Abrufbar unter (25.05.2021): http://www.abw-recycling.de/r16/05_Fachbeitrag_R16_OrtleppSchiller.pdf.
- Otto, F., van Oldenborgh, G., Eden, J., Stott, P., Karoly, D., Allen, M. (2016)** The attribution question. In: *Nature Climate Change* volume 6, pages 813–816 (2016).
- Padilla, M., Mok, S., Raj, H., Latypov, V., Bescansa, M. (2018)** Urban Farming in the city of tomorrow. Fraunhofer Verlag.
- Pak/Lambertz 2016** Aufwertung der Produktströme in der Bauschutttaufbereitung durch Einsatz sensorbasierter Sortierung – Beispiel Gips aus Bauschutt. Abrufbar unter (03.06.2021): https://www.vivis.de/wp-content/uploads/MNA3/2016_MNA_481-486_Pak.pdf.
- Pan, Y., Zhang, L. (2021)** Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*, 122, 103517.
- Paolini, A., Kollmannsberger, S., Rank, E. (2019)** Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods. *Additive Manufacturing*, 30, 100894.
- Paul, R., Smith, T., Wu, A. (2019)** Total Energy Model for Connected Devices. *Electronic Devices & Networks Annes EDNA*.
- PB40 (2020)** Website der planen-bauen 4.0 Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betriebens mbH. Abrufbar unter (04.01.2021): <https://planen-bauen40.de>.
- Pestel Institut (2014)** Mietwohnungsbau 2.0 – Bezahlbarer Wohnraum durch Neubau.
- Pfeiffer, M. (2019)** Vortrag am Stuttgarter Bausachverständigentag 2019 zum Thema „Lebensdauer von Bauteilen“. Abrufbar unter (25.03.2021): https://www.akbw.de/fileadmin/download/Freie_Dokumente/Fortbildung_IFBau/Bausachverstaendigentag2019/Bausachverstaendigentag_2019_Pfeiffer.pdf.
- Pfnür, A. (2014)** Volkswirtschaftliche Bedeutung von Corporate Real Estate in Deutschland.
- Pluta, W. (2018)** Max Bögl baut eine Magnetschwebbahn für den ÖPNV. Abrufbar unter (10.06.2021): <https://www.golem.de/news/bayern-max-boegl-baut-eine-magnetschwebbahn-fuer-den-oepnv-1808-136006.html>.
- Pohl, S. (2017)** Betrachtungen zur Nachhaltigkeitsqualität der Holzbauweise im Wohnungsbau.
- Poole, D., Mackworth, A., Goebel, R. (1998)** Computational Intelligence.
- Prognos (2017)** Studie Wohnungsbautag 2017 – Wohnraumbedarf in Deutschland und den regionalen Wohnungsmärkten. Abrufbar unter (12.05.2021): <https://www.prognos.com/de/projekt/wohnraumbedarf-deutschland-und-den-regionen>.
- Prognos (2018)** Fachkräftebedarf für die Energiewende in Gebäuden, im Auftrag des VdZ Spitzenverband der Gebäudetechnik. Abrufbar unter (06.04.2021): https://www.vdzev.de/wp-content/uploads/2021/01/VdZ_Prognos_Studie_Fachkraefte_Energiewende.pdf.

- Prognos (2019a)** Prognos Immobilienatlas 2019. Auswertung der regionalen Wohnungsmärkte.
- Prognos (2019b)** Wer baut Deutschland? Inventur zum Bauen und Wohnen 2019. Studie zum Wohnungsbautag 2019.
- Prognos, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung, Fraunhofer ISI (2021a)** Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Gesamtdokumentation der Szenarien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- Prognos, Nextra Consulting, Institut für nachhaltige Kapitalanlagen (2021b)** Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland. Studie im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), unveröffentlicht.
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021c)** Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung. Studie im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.
- Prognos, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2019a)** Arbeitslandschaft 2025. Studie im Auftrag der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (vbw).
- Prognos, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2019b)** TechCheck 2019. Studie im Auftrag der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (vbw).
- Prognos, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2020)** Klima 2030. Nachhaltige Innovationen. Studie im Auftrag der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (vbw).
- Purdue University (2021)** Turn off that camera during virtual meetings, environmental study says. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://www.purdue.edu/newsroom/releases/2021/Q1/turn-off-that-camera-during-virtual-meetings,-environmental-study-says.html>.
- PwC (2019)** Digitalisierung der deutschen Bauindustrie 2019. Abrufbar unter (18.05.2021): <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/studie-digitales-bauen-nimmt-fahrt-auf.html>.
- QuartierU1 (2021)** Quartier U1. Stadt gemeinsam selber machen. Abrufbar unter (21.05.2021): <https://www.quartieru1.de>.
- Ragnitz, J. (2021)** Hat die Corona-Pandemie zu einer Übersterblichkeit in Deutschland geführt? ifo Institut, Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München e.V. Abrufbar unter (12.03.2021): <https://www.ifo.de/DocDL/20210105-Ragnitz-Sterblichkeit-Zweite-Welle.pdf>.
- ReGen Villages Holding, B.V. (2021)** Technology integrated VillageOS™ software, for the future of living in resilient neighborhoods. Abrufbar unter (08.06.2021): <https://www.regenvillages.com/#>.
- Reibnitz, U. (1995)** Szenario-Technik. Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung.
- Renucci, G. (2013)** Nachhaltige Headquarter-Architektur in Europa. In: *Nachhaltigkeit – wie ein Trend die europäische Immobilienwirtschaft bewegt*. Union Investment Real Estate GmbH (Hrsg.).
- Resch, H. (2015)** Branchenanalyse: Zukunft des ÖPNV. Entwicklungstendenzen und Chancen, Study der Hans-Böckler-Stiftung, No. 302, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf.
- Rewindo (2021)** Recycling von PVC. Abrufbar unter (26.03.2021): <https://rewindo.de>.
- Rijksgebouwendients (2012)** Rgd BIM Standard, Rijksgebouwendients, Niederlande, 2012. Abrufbar unter (04.01.2021): https://english.rijksvastgoedbedrijf.nl/documents/publication/2014/07/08/rgd-bim-standard-v1.0.1-en-v1.0_2.

- RKI, Robert-Koch-Institut (2021)** COVID-19 Todesfälle nach Sterbedatum. Abrufbar unter (12.03.2021): https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/COVID-19_Todesfaelle.html.
- Röck, M., et al. (2018)** LCA and BIM: Visualization of environmental Potenzials in building construction at early design stages. *Building and environment*, 140, 153–161.
- Rohleder, B. (2021)** Smarte Mobilität in Zeiten von Corona. Abrufbar unter (10.05.2021): https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-03/bitkom-charts-smarte-mobilitat-03-03-2021_final.pdf.
- Rosling, H., Rosling Rönnlund, A., Rosling, O. (2018)** Factfulness. Berlin.
- Ruess, P., et al. (2020)** 2049: Zeitreise Mobilität. Virtual-Reality-gestützte Technologievorausschau und Akzeptanzanalyse zu urbaner Mobilität von übermorgen. Abrufbar unter (20.05.2021): <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-593491.html>.
- Sagner, P., Voigtländer, M. (2018)** IW Kurzbericht. Es geht auch günstiger: Vorbild Niederlande. Abrufbar unter (23.04.2021): <https://www.iwkoeln.de/studien/iw-kurzberichte/beitrag/pekka-sagner-michael-voigtländer-vorbild-niederlande.html>.
- Salet, T. A. M., et al. (2017)** 3D concrete printing – A structural engineering perspective. In: M. Lukovic and D.A. Hordijk, (Hrsg.), *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering*, xliii-lvii.
- Sawhney, A., Riley, M., Irizarry, J. (Hrsg.) (2020)** *Construction 4.0: An innovation platform for the built environment*. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Schach, R., et al. (2017)** CONPrint3D: Beton-3D-Druck als Ersatz für den Mauerwerksbau. *Bauingenieur*, 92(9):355-363.
- Schaufler, C., Schwimmer, E. (2020)** City Information Modeling – an expedient tool for developing sustainable, responsive and resilient cities? Abrufbar unter (08.06.2021): <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/588/3/032005>.
- Scheiffele, W. (2003)** *Bauhaus, Junkers, Sozialdemokratie. Ein Kraftfeld der Moderne*.
- Scheiner (2008)** Verkehrskosten der Randwanderung privater Haushalte. In: *Raumforschung und Raumordnung*, 66. Jg. (2008), Vol. 1, 52–62.
- Schiller, G., et al. (2009)** Von der Außen- zur Innenentwicklung in Städten und Gemeinden. Das Kostenparadoxon der Baulandentwicklung UBA-Text 21/2009 (Hrsg.: Umweltbundesamt).
- Schiller, G., et al. (2015)** Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. Dessau-Roßlau. Umweltbundesamt, UBA-Texte 83/15, 2015. Abrufbar unter (25.05.2021): <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-in-deutschland>.
- Schmid, T. (2021)** ID – Magazin des Bayerischen Bauindustrieverbandes e.V., Januar 2021.
- Schwimmer, E. (2020)** BIM to CIM – from building to city information modeling.
- Schwimmer, E., et al. (2019)** Leichtbau im urbanen System.
- Senate Properties (2007)** *Senate Properties' BIM Requirements*, Senate Properties, Finland, 2007.
- Seong, H., Son, H., Kim, C. (2018)** A comparative study of machine learning classification for color-based safety vest detection on construction-site images. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(11), 4254–4262.

- Siemens Real Estate (2017)** BIM@SRE Standard Version 2.0, Siemens Real Estate, 2017. Abrufbar unter (01.05.2021): <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:d90d97488498e68e-7332a6872cff10a29fc33f03/version:1520000436/bim-standard-siemens-real-estate-version-2-0-de.pdf>.
- Stadt München (2014)** Klimafunktionskarte der Stadt München. Abrufbar unter (23.04.2021): <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Gesundheit-und-Umwelt/Stadtklima/Stadtklimaanalyse.html>.
- Stadt München (2021a)** Städtisches Förderprogramm für Unternehmen. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Arbeit-und-Wirtschaft/Wirtschaftsfoerderung/Grundlagen/bmm.html>.
- Stadt München (2021b)** Machbarkeitsstudie: Eine Seilbahn über den Frankfurter Ring. 2021. Machbarkeitsstudie: Bekommt München eine Seilbahn? Abrufbar unter (11.05.2021): <https://www.muenchen.de/verkehr/aktuell/neue-idee-vorgestellt-eine-urbane-seilbahn-fuer-muenchen.html>.
- Stadt München (2021c)** Eine Internationale Bauausstellung (IBA) für die Metropolregion München. Abrufbar unter (25.05.2021): <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Stadtplanung-und-Bauordnung/Stadtentwicklung/Regionale-Themen/IBA.html>.
- Stadt Nürnberg (2020)** Quartierspark Eberhardshof: Quellepark. Abrufbar unter (28.04.2021): https://www.nuernberg.de/internet/stadtportal/quartierspark_eberhardshof.html.
- Stadt Nürnberg (o. J.)** Echtes Pionierstück: Nürnbergs automatische U-Bahn. Abrufbar unter (10.05.2021): https://www.nuernberg.de/internet/digitales_nuernberg/automatische_ubahn_nuernberg.html.
- Stadt Regensburg (2012)** Managementplan UNESCO-Welterbe „Altstadt Regensburg mit Stadthof“.
- Stadtwerke München (2018)** Fernkälte. Klimatisierungssystem der Zukunft. Abrufbar unter (16.04.2021): <https://www.swm.de/magazin/energie/fernkaelte>.
- Statistisches Bundesamt (2015)** Wahrnehmung von bürokratischen Belastungen durch Unternehmen in ausgewählten Situationen in Deutschland. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2017)** Aktualisierung der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung auf Basis 2015.
- Statistisches Bundesamt (2018)** Gebäude und Wohnungen: Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden. Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden. Lange Reihen ab 1969 – 2017. 2018.
- Statistisches Bundesamt (2020a)** Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff 2019.
- Statistisches Bundesamt (2020b)** Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Anthropogene Luftemissionen. Berichtszeitraum 2000 – 2018.
- Statistisches Bundesamt (2020c)** Gebäude und Wohnungen: Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden. Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden. Lange Reihen ab 1969 – 2019.
- Statistisches Bundesamt (2020d)** Wohnen in Deutschland. Ergebnisse der Mikrozensus-Zusatzerhebung 2018.
- Statistisches Bundesamt (2020e)** Umwelt. Abfallbilanz 2018.
- Statistisches Bundesamt (2020f)** Entwicklung der Privathaushalte bis 2040. Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung 2020.

Statistisches Bundesamt (2021a)	Sterbefallzahlen und Übersterblichkeit. Abrufbar unter (25.05.2021): https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Corona/Gesellschaft/bevoelkerung-sterbefaelle.html .
Statistisches Bundesamt (2021b)	Mehr Sterbefälle, weniger Geburten und Eheschließungen im Jahr 2020. Pressemitteilung Nr. 200, 26.04.2021.
Statistisches Bundesamt (2021c)	2020 voraussichtlich kein Bevölkerungswachstum. Pressemitteilung Nr. 016, 12.01.2021.
Statistisches Bundesamt (2021d)	Qualitätsbericht. Statistik der Baufertigstellungen 2020.
Statistisches Bundesamt (2021e)	Exporte von Rohholz im Jahr 2020 um 42,6 % gestiegen. Pressemitteilung Nr. N 031, 10.05.2021.
Statistisches Bundesamt (2021f)	Holzanschlag erreicht 2020 aufgrund von Waldschäden neuen Rekordwert. Pressemitteilung Nr. 192, 15.04.2021.
Statsbygg (2013)	BIM Manual V 1.2.1, Statsbygg, Norwegen. Abrufbar unter (05.01.2021): https://dok.statsbygg.no/wp-content/uploads/2020/06/statsbyggs-bim-manual-1-2-1_en_20131217.pdf .
Statusbericht (2020)	Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2020, Herausgeber: ASA, BDE, BDSAV, BDSV, bvse, DGAW, InwesD, ITAD, KdK, IFAT, PlasticsEurope, VDMA, VDM, VHI und VKU, Bearbeitung: Prognos AG, INFA GmbH, wissenschaftliche Beratung: Prof. Martin Faulstich, Abrufbar unter: www.statusbericht-kreislaufwirtschaft.de .
Stegmüller, S., et al. (2019)	Akzeptanzstudie „ROBOCAB“ - Autonome Mobilitätskonzepte aus Sicht der Nutzer.
Stiefel, K.-P., Rief, S. (2019)	Corporate Innovation Labs: Eine explorative Studie. Bauer, W. / Fraunhofer IAO (Hrsg.).
StMB, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (2018a)	Eine Urbane Seilbahn für München. Abrufbar unter (11.05.2021): https://www.bayern.de .
StMB, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (2018b)	Leitfaden für die Entwicklung von Seilbahnen an urbanen Standorten.
StMB, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (2019a)	Bürgerbeteiligung im Städtebau: Ein Leitfaden. Abrufbar unter (21.05.2021): https://www.buergerbeteiligung-staedtebau.bayern.de/assets/stmi/miniwebs/buergerbeteiligung/buergerbeteiligung_im_staedtebau_e-book.pdf .
StMB, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (2019b)	„Regionalzug der Zukunft“ rollt ab 2020 zwischen München und Mühldorf. Abrufbar unter (10.05.2021): https://www.stmb.bayern.de/med/aktuell/archiv/2019/191031ideenzug/ .
StMB, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (2020)	Große Chancen durch Digitalisierung. Abrufbar unter (20.05.2021): https://www.stmb.bayern.de/med/aktuell/archiv/2020/201002smartcityessmartregions/index.php .

StMB, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (2021a)	Straßen in Bayern. Abrufbar unter (12.04.2021): https://www.stmb.bayern.de/vum/strasse/index.php .
StMB, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (2021b)	Eisenbahn in Bayern. Abrufbar unter (12.04.2021): https://www.stmb.bayern.de/vum/schiene/index.php .
StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2018)	Folgen des Klimawandels. Strategien für das bayerische Handwerk.
StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, (2021a)	Flächenverbrauchsbericht 2020. Abrufbar unter (06.04.2021): https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/flaechensparen/verbrauchsbericht.htm .
StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2021b)	Klimareport Bayern 2021.
StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2021c)	Wassersensible Siedlungsentwicklung. Empfehlungen für ein zukunftsfähiges und klimaangepasstes Regenwassermanagement in Bayern. Abrufbar unter (28.04.2021): https://www.bayika.de/bayika-wAssets/docs/aktuelles/2021/Leitfaden_Wassersensible_Siedlungsentwicklung.pdf .
StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2021d)	Flächenverbrauchsbericht 2020. Abrufbar unter (21.05.2021): https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/flaechensparen/verbrauchsbericht.html .
StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (o. J.)	Daten und Fakten zu Flächenverbrauch. Abrufbar unter (18.05.2021): https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/flaechensparen/daten.html .
StMWi, Bayerischer Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2019)	Richtlinien zur Durchführung des Bayerischen Verbundforschungsprogramms (BayVFP). Abrufbar unter (20.05.2021): https://www.verkuendung-bayern.de/baymbi/2019-214/ .
StMWi, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2020)	Energiedaten.Bayern – Schätzbilanz. Abrufbar unter (11.05.2021): https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Publikationen/2020/2020-08-31_Energiedaten_Bayern_Schaetzbilanz.pdf .
StMWi, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Medien, Energie und Technologie (2015)	Bayerisches Energieforschungsprogramm. Abrufbar unter (20.05.2021): https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Themen/Foerderprogramme/Dokumente/2015-01-15-Bayerisches_Energieforschungsprogramm.pdf .

- Storch, L. (2020)** Elektrifizierung der Bahn in Bayern: So viel bleibt noch zu tun. Bayrischer Rundfunk 11.12.20 (Online-Artikel). Abrufbar unter (01.06.21): <https://www.br.de/nachrichten/bayern/elektrifizierung-der-bahn-in-bayern-so-viel-bleibt-noch-zu-tun,SInCayn>.
- Süddeutsche Zeitung (2021a)** Angst vor übermäßigem Zuzug. Artikel vom 22.05.202. Abrufbar unter (31.05.2021): <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/landkreismuenchen/hohenbrunn-zuzug-schulen-1.5301291>.
- Süddeutsche Zeitung (2021b)** Luftverkehr: Flugreisen kommen wohl so schnell nicht zurück. Artikel vom 3. Februar 2021. Abrufbar unter (28.05.2021): <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/fluege-corona-deutschland-1.5194852>.
- Technik in Bayern, (2019)** Urbane Produktion und Logistik. Technik in Bayern, Heft 01/2019. Abrufbar unter (08.06.2021): http://www.technik-in-bayern.de/fileadmin/sn_config/mediapool_tib/bilder/Aktives_Archiv/TiB_01-2019_finale_Version_13-12.pdf.
- Technische Universität Dresden (2019)** Handbuch Grüne Infrastruktur. Konzeptioneller und theoretischer Hintergrund, Begriffe und Definitionen. Interreg Central Europe Project MaGICLandscape.
- Thippavong, D. P. (2018)** Urban Air Mobility Airspace Integration Concepts and Considerations. In: 2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, S. 3676.
- Thünen-Institut (2020)** Entwicklung der Rahmenbedingungen für das Bauen mit Holz in Deutschland: Eine Innovationssystemanalyse im Kontext der Evaluation der Charta für Holz 2.0, Thünen Report 78.
- TSB (2021)** Transportsystem Max Bögl. Abrufbar unter (10.06.2021): <https://transportsystemboegl.com/>.
- TU Eindhoven (2021)** Srijp/S. Abrufbar unter (08.06.2021): <https://www.tue.nl/universiteit/faculteiten/bouwkunde/samenwerking-met-het-bedrijfs-leven/smart-cities/strijp-s/>.
- TUM Hyperloop (2021)** TUM Hyperloop, Woran wir arbeiten. 2021. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://tumhyperloop.de/?lang=de#our-work>.
- TUMCREATE (2021)** Towards the Ultimate Public Transport System. Abrufbar unter (10.06.2021): <https://www.tum-create.edu.sg/>.
- UBA, Umweltbundesamt (2012)** Bauen und Wohnen in der Stadt. Themenblatt Anpassung an den Klimawandel.
- UBA, Umweltbundesamt (2013b)** Potenzial der Windenergie an Land Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land.
- UBA, Umweltbundesamt (2016)** Rebound-Effekte: Empirische Ergebnisse und Handlungsstrategien. Abrufbar unter (21.05.2021): https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rebound-effekte_empirische_ergebnisse_und_handlungsstrategien_hintergrundpapier.pdf.
- UBA, Umweltbundesamt (2018a)** Bebauung und Versiegelung. Artikel vom 25.05.2018. Abrufbar unter (06.04.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenbelastungen/bebauung-versiegelung>.
- UBA, Umweltbundesamt (2018b)** Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2018. Abrufbar unter (24.03.2021): https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/deuess18_de_bericht_web_f.pdf.
- UBA, Umweltbundesamt (2019)** Potenziale von Bauen mit Holz. Abrufbar unter (10.05.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/potenziale-von-bauen-holz>.

- UBA, Umweltbundesamt (2020a)** Siedlungs- und Verkehrsfläche. Artikel vom 20.11.2020. Abrufbar unter (06.04.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche#anhaltender-flachenverbrauch-fur-siedlungs-und-verkehrszwecke>.
- UBA, Umweltbundesamt (2020b)** Struktur der Flächennutzung. Artikel vom 26.11.2020. Abrufbar unter (06.04.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#die-wichtigsten-flaechennutzungen>.
- UBA, Umweltbundesamt (2020c)** Energiesparende Gebäude. Artikel vom 29.05.2020. Abrufbar unter (06.04.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparende-gebaeude#gebaeude-wichtig-fur-den-klimaschutz>.
- UBA, Umweltbundesamt (2020d)** Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2020. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2018.
- UBA, Umweltbundesamt (2020e)** Emissionen des Verkehrs. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#pkw-fahren-heute-klima-und-umweltvertraglicher>.
- UBA, Umweltbundesamt (2020f)** Gebäudeklimatisierung. Mitteilung vom 21.02.2020. Abrufbar unter (25.05.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebaeudeklimatisierung>.
- UBA, Umweltbundesamt (2020g)** Altholz. Mitteilung vom 27.07.2020. Abrufbar unter (25.06.2021): <https://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/abfallarten-abfallstroeme/altholz>.
- UM, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (o. J.)** Welchen Flächenbedarf haben Windenergieanlagen? Abrufbar unter (28.05.2021): <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/erneuerbare-energien/windenergie/faq-windenergie/welchen-flaechenbedarf-haben-windenergieanlagen>.
- UN, United Nations (2017)** Global Status Report 2017. Towards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector.
- UN, United Nations (2020)** 2020 Global Status Report for Buildings and Construction. Towards a Zero-Emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. United Nations Environment Programme.
- UNEP, United Nations Environment Programme (o. J.)** Cities and climate change. Abrufbar unter (11.05.2021): <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/cities-and-climate-change>.
- Unger, M. (1998)** Die Automobil-Kaufentscheidung: Ein theoretischer Erklärungsansatz und seine empirische Überprüfung.
- Universität St. Gallen, WirtschaftsWoche (2020)** Die 500 heimlichen Weltmarktführer 2021.
- Universität Stuttgart (2021)** Wohnen und arbeiten in der Zukunft: Maison Fibre der Universität Stuttgart auf der Biennale Architettura 2021. Abrufbar unter (08.06.2021): <https://www.uni-stuttgart.de/universitaet/aktuelles/presseinfo/Wohnen-und-arbeiten-in-der-Zukunft-Maison-Fibre-der-Universitaet-Stuttgart-auf-der-Biennale-Architettura-2021/>.
- Van Nederveen, G.A.; Tolman, F.P. (1992)** Modelling multiple views on buildings. Automation in Construction 1 (3): 215–24.

- vbw, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2012)** Energetische Gebäudesanierung in Bayern, S. 15.
- vbw, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2015)** Industrielle Standortqualität in Bayern im internationalen Vergleich.
- vbw, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2020a)** Standort Bayern – Unternehmensperspektiven 2020. Abrufbar unter (21.05.2021): <https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Planung-und-Koordination/2020/Downloads/vbw-Studie-Standort-Bayern-Unternehmerperspektiven-2020.pdf>.
- vbw, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2020b)** Flächenpolitik für Bayern. Position. Stand Mai 2020. Abrufbar unter (07.06.2021): <https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2020/Downloads/Mai-2020-vbw-Position-Fl%C3%A4chenpolitik-f%C3%BCr-Bayern.pdf>.
- vbw, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2020c)** Moderne Flächenpolitik für Bayern. Position. Stand November 2020. Abrufbar unter (07.06.2021): <https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2020/Downloads/Mai-2020-vbw-Position-Fl%C3%A4chenpolitik-f%C3%BCr-Bayern.pdf>.
- vbw, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft, GWS (2020)** Breitbandbedarf der bayerischen Unternehmen 2020 – leitungsgebunden und mobil.
- VDI, Verein Deutscher Ingenieure (2014)** Potenziale eines hochwertigen Recyclings im Baubereich. 3. Auflage 2016.
- VDI, Verein Deutscher Ingenieure (2018)** Abrufbar unter (23.04.2021): <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-statusreport-kuenstliche-intelligenz>.
- VDI, Verein Deutscher Ingenieure (2020)** VDI Koordinierungskreis Building Information Modeling. Abrufbar unter (01.05.2021): <https://www.vdi.de/tg-fachgesellschaften/vdi-gesellschaft-bauen-und-gebauedetechnik/vdi-koordinierungskreis-building-information-modeling-kk-bim>.
- VDM, Verband Deutscher Metallhändler (2021)** Recycling von Aluminium. Abrufbar unter (07.04.2021): <http://www.vdm.berlin/themen.php?i=20>.
- Verband bayerischer Wohnungsunternehmen (2018)** Die Wohnungswirtschaft Bayern. Bericht 2018/2019 des VdW Bayern. Abrufbar unter (23.04.2021): https://www.vdwbayern.de/wp-content/uploads/2020/11/VdW-Bayern_Bericht_2018-19_web.pdf.
- Verband bayerischer Wohnungsunternehmen (2020)** Pressemitteilung vom 30. Dezember 2020. Abrufbar unter (16.04.2020): https://www.vdwbayern.de/wp-content/uploads/2020/12/VdW_Ptx_Wohnungswirtschaft_Investitionen_fin_20201229-1.pdf.
- Verein Deutscher Zementwerke (2020)** Zementindustrie im Überblick 2020/2021.
- Verkehrsrundschau (2020)** Bundestag beschließt Gesetz zur Beschleunigung von Investitionen. Ausgabe vom 05.11.2020. Abrufbar unter (27.04.2021): <https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/bundestag-beschliesst-gesetz-zur-beschleunigung-von-investitionen-2680305.html>.
- Weidemann, M., Renner, T., Reiser, S. (2009)** Klimaneutrale Unternehmen in Deutschland: Motive, Methoden und Meinungen – eine Unternehmensbefragung. Abrufbar unter (21.05.2021): <https://wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/klimaneutrale-unternehmen-in-deutschland.pdf>.

- Weimar, H., Dominik, J. (2013)** Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“. Thünen Report 9. Abrufbar unter (03.04.2021): https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn052249.pdf.
- Weizenbaum, J. (1966)** ELIZA – a computer program for the study of natural language communication between man and machine. Communications of the ACM, 9(1), 36–45.
- Werner, M., Albert, F. (2021)** Akzeptanzstudie „Mobility Trends“ – Internationaler Vergleich der Nutzerakzeptanz hinsichtlich neuer Mobilitätstrends.
- Wimmelbücker, S. (2019)** Zu komplex und zu teuer: Audi stoppt Flugtaxi-Projekt. Abrufbar unter (20.05.2021): <https://www.automobilwoche.de/article/20191015/NACHRICHTEN/191019950/zu-komplex-und-zu-teuer-audi-stoppt-flugtaxi-projekt>.
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (2020)** Fakten zur Stahlindustrie 2020.
- WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2020)** Implementierung von BIM in die WSV, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Bonn, 2020. Abrufbar unter (12.05.2021): <https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/Digitalisierung/BIM/BIM-node.html>.
- ZinCo (2016)** Objektbericht. Münchner Technologie Zentrum. München. Abrufbar unter (28.04.2021): https://www.zinco.de/sites/default/files/2020-04/ZinCo_Muenchen_MTZ.pdf.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Aufbau und Struktur der Studie
Abbildung 2	Zentrale Themen im Referenzrahmen für Deutschland
Abbildung 3	Altersstruktur der Bevölkerung in Deutschland
Abbildung 4	Bevölkerungsentwicklung, Wanderungssaldo sowie Geburten- / Sterbeüberschuss in Bayern 2000–2020
Abbildung 5	Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern bis zum Jahr 2039 (Index 2011 = 100)
Abbildung 6	Regionale Unterschiede der Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern bis zum Jahr 2039
Abbildung 7	Reale Bruttowertschöpfung in ausgewählten Branchen in Deutschland, durchschnittliche jährliche Veränderung zwischen 2019 und 2030
Abbildung 8	Erwerbstätige in ausgewählten Branchen in Deutschland, durchschnittliche Veränderung zwischen 2020 und 2030 pro Jahr
Abbildung 9	Potenzielle Arbeitskräftelücke nach Sektoren, in tausend Personen
Abbildung 10	Umsatz im Bauhauptgewerbe in Deutschland, Mrd. Euro
Abbildung 11	Auftragseingänge in Mrd. Euro
Abbildung 12	Profil und Produkte der bayerischen Bauwirtschaft
Abbildung 13	Regionale Verteilung der 65 Leitanbieter der bayerischen Bauwirtschaft
Abbildung 14	Baualterklasse der Wohngebäude in Deutschland und Bayern
Abbildung 15	Hochrechnungen zu Nichtwohngebäuden in Deutschland
Abbildung 16	Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland, täglicher Zuwachs in Hektar
Abbildung 17	Abfallbruttoaufkommen in Deutschland 2018, in Mio. Tonnen
Abbildung 18	Klimaregionen Bayerns
Abbildung 19	Anteil der Verwendungszwecke am Endenergieverbrauch im Gebäudesektor 2020 in Deutschland in %
Abbildung 20	Systematisierung der gängigsten nachwachsenden Baustoffe
Abbildung 21	Produktionswert nachwachsender Baustoffe in Deutschland, in Mio. Euro
Abbildung 22	Produktionswert nachwachsender Baustoffe in Bayern, in Mio. Euro
Abbildung 23	Mehrinvestitionen im Gebäudesektor in Mrd. Euro (real)
Abbildung 24	Mehrinvestitionen im Industriesektor in Mrd. Euro
Abbildung 25	Auswahl möglicher Auswirkungen der Klimasignale auf den Baubereich
Abbildung 26	Potenzielle Eintrittswege von Wasser in die Gebäudesubstanz und Innenräume

Abbildung 27	Ausgewählte Anpassungen nach Klimasignal
Abbildung 28	Vom linearen zum Kreislaufmodell
Abbildung 29	Vereinfachte schematische Darstellung des Wertschöpfungskreislaufs in der Kreislaufwirtschaft
Abbildung 30	Hauptherkunftsbereiche des anthropogenen Rohstofflagers Bayerns
Abbildung 31	Durchschnittliche Materialzusammensetzung am Beispiel von ausgewählten Gebäudetypen und Baujahren für Deutschland
Abbildung 32	Theoretisches Rohstoffpotenzial im Gebäude- und Infrastrukturbestand Bayerns
Abbildung 33	Verbleib der Bauabfälle nach Hauptfraktionen in Deutschland nach Anteilen und in Mio. Tonnen in Klammern, 2018
Abbildung 34	Einteilung der Lebenszyklusinformationen in Module nach DIN EN 15804 und DIN EN 15978
Abbildung 35	Rahmen, Ablauf und Ergebnisse einer Ökobilanz (Darstellung nach DIN EN ISO14040/ DIN 15804)
Abbildung 36	Entwicklung der Wohnungsnachfrage in Bayern im Vergleich zu Deutschland seit 2011
Abbildung 37	Übersicht ausgewählter Indikatoren der Wohnungsnachfrage in Bayern im Vergleich zu Deutschland
Abbildung 38	Regionale Bevölkerungsentwicklung in Bayern 2011 bis 2020
Abbildung 39	Wanderungen nach Altersklassen in der Region München 2018/19 (Wanderungssaldo als Anteil an der jeweiligen Bevölkerungsgruppe 2018/19 in %)
Abbildung 40	Fertigstellungen von Wohnungen in Bayern in Wohngebäuden nach Segmenten 2011 und 2019
Abbildung 41	Übersicht ausgewählter Indikatoren des Wohnungsangebots in Bayern im Vergleich zu Deutschland
Abbildung 42	Typisierung der Wohnungsmärkte nach Wohnungsbaulücke 2011–2017 in Bayern gemäß Prognos Immobilienatlas 2019
Abbildung 43	Auswahl von Themenfeldern mit beispielhaften Belastungen durch Bürokratie und Regulierung im Bereich Planen und Bauen
Abbildung 44	Investitionsänderungen im Baugewerbe vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie
Abbildung 45	Schlüsseltechnologien in Bauen 4.0
Abbildung 46	Verwendung des Building Information Modeling im Lebenszyklus
Abbildung 47	Building Information Modeling führt zu einer Vorverlagerung von Planungs- und Entscheidungsprozessen
Abbildung 48	Die Breite des BIM-Einsatzes unterscheidet „Little BIM“ von „Big BIM“. Je nachdem, ob herstellerneutrale Datenaustauschformate zum Einsatz kommen, spricht man von „Closed BIM“ oder „Open BIM“

Abbildung 49	Die BIM Maturity Ramp der britischen BIM Task Group definiert vier verschiedene Reifegradstufen
Abbildung 50	Unterschiedliche Modelle für die Einbettung von AIA und BAP in Vergabeprozesse und vertragliche Vereinbarungen
Abbildung 51	AIA und BAP werden in der Regel phasenweise bzw. je nach Ausschreibungs- und Beauftragungspaket formuliert
Abbildung 52	Kontinuierlich zunehmender BIM-Einsatz in Großbritannien seit 2011
Abbildung 53	Norwegische Studie zu Nachträgen in BIM-Projekten gegenüber konventionellen Projekten
Abbildung 54	Konzept zur automatisierten Baufortschrittskontrolle durch Abgleich eines 4D-Bauwerksmodells mit einer Punktwolke
Abbildung 55	Vergleich des Soll-Ist-Zustandes einer Baustelle anhand eines visualisierten Gebäudes. Die korrespondierende Punktwolke wird unten rechts dargestellt. Zusätzlich ist ein Foto des Aufnahmezeitpunktes hinterlegt.
Abbildung 56	Finaler Soll-Ist-Vergleich. Grün markierte Elemente wurden vor dem geplanten Zeitpunkt fertiggestellt, rot markierte Elemente zu spät.
Abbildung 57	maxmodul der Max Bögl Modul AG
Abbildung 58	VARIAHOME der Geiger Holzsystembau Wangen GmbH & Co. KG
Abbildung 59	SC3DP-Roboterarm, ausgestattet mit Kamera und Lasermesseinheit, um Unebenheiten beim Spitzens auszugleichen (links), und Extrusionsverfahren – 3D-Druck von Holzleichtbeton (rechts)
Abbildung 60	3D-Betondruck auf der Baustelle
Abbildung 61	Vernetzungsmöglichkeiten von gebäudetechnischen Komponenten
Abbildung 62	Etablierungsgrad von BIM in Deutschland
Abbildung 63	Etablierungsgrad in Deutschland
Abbildung 64	Haushaltsumfrage: Politischer Handlungsbedarf
Abbildung 65	Haushaltsumfrage: Ansprüche an zukünftiges Wohnen
Abbildung 66	Unternehmensumfrage: Die zehn wichtigsten Standortfaktoren für Unternehmen (Mehrfachauswahl von bis zu drei Antworten war möglich)
Abbildung 67	Unternehmensumfrage: Veränderungen im Flächenbedarf von Unternehmen in Bayern in den kommenden 5 – 10 Jahren
Abbildung 68	Unternehmensumfrage: Erwartete durchschnittliche Präsenz der Belegschaft vor Ort im Unternehmen (bezogen auf die nächsten 5– 10 Jahre)
Abbildung 69	Haushaltsumfrage: Mobiles Arbeiten vs. Arbeiten am Unternehmensstandort
Abbildung 70	Haushaltsumfrage: Bevorzugte Homeoffice-Tage
Abbildung 71	Haushaltsumfrage: Nutzung von Satellitenbüros als alternative Arbeitsorte
Abbildung 72	Haushaltsumfrage: Akzeptanz für zeitlich längere Pendlerstrecken

Abbildung 73	Unternehmensumfrage: Einsatz smarterer Technologien in Unternehmen
Abbildung 74	Haushaltsumfrage: Relevanz des Aspekts der Nachhaltigkeit bei der Wahl der Verkehrsmittel für die Fahrt zur Arbeitsstätte
Abbildung 75	Haushaltsumfrage: Häufigkeitsverteilung verschiedener Verkehrsträger für die Wahl auf dem Weg zur Arbeit
Abbildung 76	Haushaltsumfrage: Relevanz verschiedener Aspekte bei der Wahl des Verkehrsmittels für die Fahrt zur Arbeitsstätte
Abbildung 77	Haushaltsumfrage: Akzeptanz verschiedener Aspekte für das Zurücklegen von weiteren Strecken zwischen Arbeitsstätte und Wohnort
Abbildung 78	Haushaltsumfrage: Kriterien für den Umstieg auf das Fahrrad zum Zurücklegen der Strecke zur Arbeitsstätte
Abbildung 79	Haushaltsumfrage: Akzeptanz für zeitlich längere Pendlerstrecken
Abbildung 80	Unternehmensumfrage: Zufriedenheit bezüglich der Ausstattung bzw. Anbindung des Unternehmens im Kontext des Wirtschaftsverkehrs und der Infrastruktur
Abbildung 81	Unternehmensumfrage: Bedeutung von verschiedenen innovativen Technologien bezüglich des betrieblichen Personen- und Wirtschaftsverkehrs
Abbildung 82	Unternehmensumfrage: Relevanz verschiedener Mobilitätsaspekte in Bezug auf die Lieferketten und den Logistikprozess
Abbildung 83	Vorgehensweise zur Ableitung von Handlungsempfehlungen
Abbildung 84	Symbolbild der Wirkungsmatrix
Abbildung 85	Exemplarische Darstellung der Berechnung des Vernetzungsgrads in der Gestaltungsfeldanalyse
Abbildung 86	Vernetzung der Gestaltungsfelder
Abbildung 87	Systembild mit konsistenten Clustern

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Entwicklung von Bevölkerung und Haushalten
Tabelle 2	Volkswirtschaftliche Bedeutung der Bauwirtschaft 2019
Tabelle 3	Gebäudestruktur in Deutschland und Bayern 2019
Tabelle 4	Wohnflächen in Deutschland und Bayern 2019
Tabelle 5	Künftige Entwicklung der Wohnflächen
Tabelle 6	Temperaturkennwerte der bayerischen Regionen heute und in Zukunft
Tabelle 7	THG-Emissionen und Emissionsziele in Deutschland bis 2030
Tabelle 8	Grobabschätzung bau- und gebäuderelevanter THG-Emissionen in Deutschland
Tabelle 9	Klimaschutztechnologien zur Reduktion baurelevanter THG-Emissionen
Tabelle 10	Eine Auswahl der gebräuchlichsten BIM-Anwendungsfälle
Tabelle 11	Aktuelle Beispiele für robotergestützte Prototypen von Bauarbeiten, die in der Wissenschaft entwickelt wurden.
Tabelle 12	Zentrale Technologien und Anwendungen für das Planen und Bauen der Zukunft
Tabelle 13	Vernetzungsgrad aller Gestaltungsfelder

Kastenverzeichnis

Kasten 1	Klima- und Umweltmigration
Kasten 2	Weltweite demografische Entwicklungen
Kasten 3	Auswirkungen des Niedrigzinsumfelds auf den Immobilienmarkt
Kasten 4	Weltweite wirtschaftliche Entwicklungen
Kasten 5	Struktur Nichtwohngebäude
Kasten 6	Weltweite Entwicklungen von Gebäuden, Wohnflächen und Haushalten
Kasten 7	Weltweite Entwicklungen
Kasten 8	Weltweite Entwicklungen
Kasten 9	Zusammenhang zwischen Klimawandel und Extremwetterereignissen
Kasten 10	Weltweite klimatische Veränderungen
Kasten 11	Notwendigkeit des Ausbaus von erneuerbaren Energien und Netzen
Kasten 12	Investitionshindernisse im Gebäudebereich
Kasten 13	Klimaanpassung und denkmalgeschützte Gebäude
Kasten 14	Beispiele aus der guten Praxis in Bayern
Kasten 15	Zielkonflikte und Synergien zwischen Klimaanpassung und Klima- / Umweltschutz
Kasten 16	Ressourcenknappheit bei Kies und Sand
Kasten 17	Sortiertechnologien in der Bauschuttaufbereitung
Kasten 18	Wanderungsverhalten im Großraum München
Kasten 19	Gigafactory in Grünheide
Kasten 20	Digitaler Zwilling
Kasten 21	Innovationsfeld: Building Information Modeling (BIM) für Bauherren
Kasten 22	Mobilität und Daseinsvorsorge im ländlichen Raum (Ausschnitt aus Experteninterview)
Kasten 23	Best Practice: Landkreise Wunsiedel und Hof als „Smart Regions“ in Oberfranken
Kasten 24	Definition: Smart Building, Smart City, Smart Region
Kasten 25	Best Practice: Quartier U1 – Stadt gemeinsam gestalten! Beispiel für partizipative Quartiersentwicklung
Kasten 26	Best Practice: Autonomer Shuttlebus in Bad Birnbach – Automatisierung als Chance für den ÖPNV im ländlichen Raum
Kasten 27	Innovationsfeld: Neue Bau- und Wohnformen

Kasten 28	Definition: Satellitenbüros, Coworking-Spaces, Nachbarschaftsbüros
Kasten 29	Zitat zum Thema Flächennutzung / Flächenbedarf aus Experteninterview ÖPNV
Kasten 30	Best Practice: Ideenzug der Deutschen Bahn
Kasten 31	Innovationsfeld: Ästhetik und Design für Planen und Bauen
Kasten 32	Best Practice: Urbane Manufakturen als Beispiel für integrierte Flächennutzung
Kasten 33	Innovationsfeld: Urbane Lebensmittelproduktion (Vertical Farming)
Kasten 34	Innovationsfeld: Urbane Produktion
Kasten 35	Digitalisierung und Klimaschutz
Kasten 36	Innovationsfeld: Building & City Information Modeling (BIM / CIM)
Kasten 37	Best Practice: Siemens-Konzernzentrale in München – Leuchtturmprojekt für innovatives und nachhaltiges Bauen
Kasten 38	Innovationsfeld: Integrierte und klimaneutrale Quartiersplanung
Kasten 39	Exkurs: Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Nutzung von Mobilitätsangeboten
Kasten 40	Logistik in Bayern
Kasten 41	Internationale Bauausstellung – „Räume der Mobilität“ 2022–2032, Metropolregion München
Kasten 42	Best-Practice-Beispiel: Digitaler Zwilling der Stadt München

Ansprechpartner

Christine Völzow
Leiterin Abteilung Wirtschaftspolitik

T 089-551 78-251
christine.voelzow@vbw-bayern.de

Dr. Christina Hans
Abteilung Wirtschaftspolitik

T 089-551 78-135
christina.hans@vbw-bayern.de

prognos

Eine Studie der Prognos AG mit Beiträgen von Fraunhofer IAO und Leonhard Obermeyer Center (LOC) im Auftrag der vbw.

Prognos

Kapitel: 01, 02 (02.2.3.1 zusammen mit Fraunhofer IAO), 03, 04.3, 04.5 (zusammen mit LOC), 05, 09 (zusammen mit Fraunhofer IAO und LOC)

Autoren: Dr. Heiko Burret, Dr. Almut Kirchner, Dr. Bärbel Birnstengel, Lukas Eiserbeck, Maike Fließbach-Schendzielorz, Jannis Lambert, Tobias Koch, Markus Mahle, Marion Neumann, Konstantinos Theodorou

Fraunhofer IAO

Kapitel: 07, 08, 09 (zusammen mit Prognos und LOC)

Autoren: Patrick Ruess, Katharina Dienes, Steffen Braun, Stefan Rief, Jens Leyh, Günter Wenzel, Edith Schwimmer, Fabian Edel, Steffen Bengel, Florian Albert, Tobias Strich

Leonhard Obermeyer Center (LOC)

Kapitel: 04.1, 04.2, 04.4, 04.5 (zusammen mit Prognos)

Autor: Prof. Dr. Werner Lang

Kapitel: 02.2.3.1 (Prof. Dr. Frank Petzold, zusammen mit Prognos), 06, 06.1 (Prof. Dr. Frank Petzold), 06.2.1 – 06.2.3 (Prof. Dr. André Borrmann), 06.2.4 – 06.2.5 (Prof. Dr. Frank Petzold), 06.2.6 (Prof. Dr. Werner Lang), 06.3, 09 (zusammen mit Fraunhofer IAO und LOC)

Autoren: Prof. Dr. André Borrmann, Prof. Dr. Frank Petzold, Prof. Dr. Werner Lang

Impressum

Alle Angaben dieser Publikation beziehen sich ohne jede Diskriminierungsabsicht grundsätzlich auf alle Geschlechter.

Herausgeber

vbw
Vereinigung der Bayerischen
Wirtschaft e. V.

Max-Joseph-Straße 5
80333 München

www.vbw-bayern.de

Umsetzung

gr_consult gmbh
vbw@gr-consult.de

vbw

Vereinigung der Bayerischen
Wirtschaft e. V.

Max-Joseph-Straße 5
80333 München

T 089-551 78-100
F 089-551 78-111
info@vbw-bayern.de

www.vbw-bayern.de