

Innovation

Kompetenzen in den wichtigsten Prozesstechnologien

vbw

Studie
Mai 2025

Eine vbw Studie, erstellt von EconSight

Die bayerische Wirtschaft



Hinweis

Zitate aus dieser Publikation sind unter Angabe der Quelle zulässig.

Vorwort

Prozesskompetenz für eine zukunftsfähige Industrie

Eine hohe Kompetenz in Prozess- und Verfahrenstechnologien ist für die industrielle Basis im Freistaat schon immer von großer Bedeutung gewesen. In den laufenden Transformationsprozessen ist das in besonderem Maße relevant. Wer die Weiterentwicklung, Optimierung und Erneuerung einzelner Produktionsschritte beherrscht, hat bei der Verarbeitung neuer Ausgangsstoffe, dem Einsatz alternativer Energieträger und der Entwicklung neuer Funktionalitäten eine gute Ausgangsposition.

Die vorliegende Studie analysiert anhand einer Patentanalyse die weltweiten Forschungsaktivitäten in den wichtigsten Prozesstechnologien sowie deren Bedeutung für die großen technologischen Zukunftsfelder. Die Ergebnisse verdeutlichen die Technologieführerschaft Chinas, der USA und Japans. Deutschland und Bayern sind sehr gut aufgestellt, müssen aber an Dynamik zulegen, um international anschlussfähig zu bleiben.

Einen besonderen Fokus wirft die Studie auf Prozesse in der Bioökonomie. Dieses noch junge Feld der Industrie spielt eine wichtige Rolle in der Kreislaufwirtschaft und bei der Transformation in Richtung Klimaneutralität. Hohe Energiepreise und Abhängigkeiten bei der Rohstoffversorgung wirken hier als starke Treiber. Der Ersatz fossiler Ausgangsstoffe durch biogene ist ein zentrales Anwendungsfeld für technologische Innovationen in Verfahrenstechnologien.

Für eine gezielte Förderung von Forschung und Innovation in relevanten Industriebereichen ist das Aufzeigen der eigenen Stärken, Schwächen und Potenziale eine wichtige Grundlage. Die Studie kann damit einen Beitrag zur strategischen Weiterentwicklung der Prozess- und Verfahrenskompetenz für einen wettbewerbsfähigen und resilienten Wirtschaftsstandort leisten.

Bertram Brossardt
02. Mai 2025

Inhalt

1	Das Wichtigste auf einen Blick	1
2	Identifikation der Prozesstechnologien	4
2.1	Globale Trends	6
2.2	Bayerische Trends	14
3	Die Rolle der Prozesstechnologien in wichtigen Anwendungsfeldern	18
3.1	Globale Trends	19
3.2	Bayerische Trends	28
4	Deep Dive: Prozesse in der Bioökonomie	31
4.1	Globale Trends in den bioökonomischen Prozesstechnologien	32
4.2	Bayerische Trends in den bioökonomischen Prozesstechnologien	38
4.3	Anwendungsbereiche der Bioökonomie	42
4.3.1	Globale Trends in den bioökonomischen Anwendungsbereichen	45
4.3.2	Bayerische Trends in den bioökonomischen Anwendungsbereichen	50
	Literaturverzeichnis	53
	Anhang	55
	Ansprechpartner/Impressum	62

1 Das Wichtigste auf einen Blick

Starke globale Forschungsdynamik in Prozessen, Bayern mit hoher Wettbewerbsfähigkeit in der Bioökonomie im Bereich Biotech/Pharma

Die vorliegende Studie analysiert anhand einer Patentanalyse die weltweiten Forschungsaktivitäten in 12 Prozesstechnologien sowie die Bedeutung dieser Prozesse für wichtige Anwendungsbereiche und die Bioökonomie. Der Fokus liegt auf der Spitzenforschung.

Im Zeitraum 2010 bis 2024 ist der Gesamtbestand an aktiven Weltklassepatenten in den Prozesstechnologien von über 97.000 auf fast 227.000 Stück gestiegen (+6.2 Prozent p. a.). Die, gemessen an den Patenten, größte Prozesskategorie sind Separationsprozesse (Abtrennen, Filtern, Destillieren), welche essenziell für die Chemie-/Pharmaindustrie und die Lebensmittel- und Umweltechnik sind. Metallverarbeitungsprozesse wie Metallwalzen, Drahtformen usw. sind die zweitgrößte Kategorie mit vielen Anwendungen in Stahl- und Autoindustrie, Maschinenbau und Bauwesen. Biologische Prozesse folgen auf Platz 3 und werden vor allem in Chemie-, Biotech-/Pharma- und Lebensmittelindustrie verwendet. Das stärkste Patentwachstum war jedoch bei der Prozesssteuerung/Automatisierung zu verzeichnen, welche dazu beiträgt, die Effizienz und Präzision der Produktionsabläufe zu erhöhen. Ebenfalls sehr dynamisch hat sich die Forschung an Recyclingprozessen entwickelt. Technologien wie das Batterierecycling oder KI-gestützte Sortierung machen Recycling zu einem integralen Bestandteil moderner Industrieprozesse und der Kreislaufwirtschaft.

Auf **Branchenebene** gibt es vor allem in Stahl-, Chemie-, Erdöl- und Autoindustrien umfangreiche Forschungsaktivitäten in Prozesstechnologien.

Die wichtigsten **Forschungsakteure** weltweit sind die Chinese Academy of Sciences, Nippon Steel, BASF, LG Chem und Hitachi. Knapp 14 Prozent aller Weltklassepatente stammen von öffentlichen Forschungseinrichtungen (Patente, an denen mindestens eine öffentliche Forschungseinrichtung beteiligt ist). In Deutschland (4,3 Prozent) und Bayern (3,8 Prozent) liegen diese Anteile deutlich niedriger. Führend in Prozesstechnologien sind sowohl in Deutschland als auch Bayern die Fraunhofer-Gesellschaft (181 Weltklassepatente, davon 48 in Bayern) und die Helmholtz-Gemeinschaft (77 Weltklassepatente, davon 17 in Bayern). Führende Universitäten sind die Universität Mainz mit 18 Weltklassepatenten, die Technische Universität München mit 14 Weltklassepatenten und die Universität Erlangen-Nürnberg mit 13 Weltklassepatenten.

Die wichtigsten Unternehmen in Prozesstechnologien in Deutschland sind BASF mit 1.165 Weltklassepatenten, gefolgt von Evonik (621) und Bosch (586). Siemens ist das wichtigste Unternehmen in Prozesstechnologien in Bayern mit 298 Weltklassepatenten, gefolgt von BASF (231) und Roche (204). Weitere führende Forschungsunternehmen in Prozesstechnologien in Bayern sind Evonik (149), BMW (144), Bosch (131), Linde (109) und VW/Audi (105).

Auf **Länderebene** verfügen China (84.800 aktive Weltklassepatente im Jahr 2024), die USA (58.300) und Japan (45.200) mit Abstand über die meisten Weltklassepatente in Prozesstechnologien. Die Bedeutung Asiens (vor allem von China) im Bereich der Spitzenforschung in Prozesstechnologien hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen.

Deutschland folgt mit rund 16.700 Weltklassepatenten auf Platz 4 vor Südkorea (10.300). Damit liegt Deutschland innerhalb der EU klar an der Spitze. Deutschland verfügt insbesondere in den Bereichen Separationsprozesse, Metallverarbeitungsprozesse, chemische Prozesse, thermische Prozesse und biologische Prozesse über umfangreiche Spitzenforschungsaktivitäten (jeweils mehr als 2.000 aktive Weltklassepatente im Jahr 2024).

In Bayern war die Dynamik der Spitzenforschung in Prozesstechnologien etwas geringer als im globalen Schnitt. Im Jahr 2024 gab es rund 4.900 Weltklassepatente aus Bayern, damit liegt der Weltanteil Bayerns aktuell bei 2,2 Prozent. Wäre Bayern ein Land, würde es damit weltweit auf dem siebten Rang liegen. Auf Ebene der einzelnen Prozesstechnologien ragt in Bayern die Kategorie thermische Prozesse (Sintern, Strangpressen, Spritzgießen, Schmelzen, Pyrolyse, Rösten) heraus. Diese Prozesse kommen unter anderem in der Automobilindustrie zur Kunststoff- und Metallverarbeitung zum Einsatz.

Die Analyse wichtiger **technologischer Anwendungsbereiche** zeigt, dass Prozesse eine besonders große Rolle in der Industrie spielen. Weltweit lag die Zahl der prozessbasierten Weltklassepatente in diesem Feld bei über fast 45.000 Stück im Jahr 2024, mehr als doppelt so viele wie im zweitgrößten Feld, den Materialien (20.400). Eine eher kleine Rolle spielen Prozesstechnologien dagegen weltweit im Bereich Digitalisierung. International liegen die USA und China an der Spitze bei prozessbasierten Weltklassepatenten in den analysierten Anwendungsfeldern (jeweils knapp 30.000 Stück) vor Japan (15.800), Deutschland (6.500) und Südkorea (3.500).

Deutschland verfügt über die meisten prozessbasierten Weltklassepatente in den Feldern Industrie, Materialien und Gesundheitswesen. Den größten prozentualen Anteil an den globalen Weltklassepatenten besitzt Deutschland allerdings im Gesundheitswesen und der Biotechnologie (Weltanteil 2024 jeweils über 11 Prozent).

Der Weltanteil Bayerns in den analysierten technologischen Anwendungsbereichen lag 2024 bei 2,5 Prozent. Auch in Bayern gibt es am meisten prozessbasierte Weltklassepatente in der Industrie. Den höchsten Weltanteil erreicht Bayern aber in Biotechnologien (4,2 Prozent) und Gesundheitswesen (3,9 Prozent).

Ein besonderer Fokus der Studie liegt auf der Analyse von Prozessen in der **Bioökonomie**. Die Bioökonomie ist ein Wirtschaftskonzept, das auf der nachhaltigen Nutzung biogener Ressourcen basiert und ein wichtiges Element der Kreislaufwirtschaft darstellt. Hier spielen damit Prozesstechnologien, die den Ersatz fossiler durch nachwachsende Rohstoffe ermöglichen, eine besondere Rolle.

Im Bereich der Bioökonomie sind die weltweiten Weltklassepatente in bioökonomischen Prozessen seit 2010 kräftig gestiegen. Allerdings hat sich die Wachstumsdynamik

Das Wichtigste auf einen Blick

zwischenzeitlich verlangsamt, da die Zahl der Weltklassepatente in der wichtigsten bioökonomischen Prozesstechnologie, den biologischen Prozessen, in vielen Ländern zwischen 2018 und 2023 stagnierte und erst 2024 wieder eine klar positive Dynamik zu beobachten war. Damit verknüpft ist die zwischen 2018 und 2023 nur verhaltene Entwicklung der Forschungsaktivitäten mit den wichtigen Rohstoffen Proteine und Zucker. Diese sind unter anderem ein zentrales Ausgangsmaterial für Biopharmazeutika, Lebensmittel und Biotreibstoffe. Bei der neuesten Generation von Biotreibstoffen ist jedoch ein Trend weg von Proteinen und Zucker hin zu lignozellulosehaltiger Biomasse (z. B. Holz, Stroh) oder Algen zu beobachten. Diese Kraftstoffe haben den Vorteil, dass sie nicht in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion stehen. Die Bedeutung von Recyclingprozessen und von abgeschiedenem CO₂ als Rohstoffquelle in bioökonomischen Prozessen nimmt dagegen weltweit immer mehr zu.

Auf Länderebene verfügten 2024 die USA mit fast 17.500 Stück insgesamt über die meisten Weltklassepatente in bioökonomischen Prozesstechnologien. China (14.900), Japan (5.700), Deutschland (3.400) und Südkorea (1.800) folgen auf den weiteren Plätzen. In Deutschland entfallen dabei mehr als die Hälfte der deutschen Weltklassepatente innerhalb der prozessbasierten Bioökonomie auf biologische Prozesse.

Auf der Anwendungsseite sind weltweit die Biotech-/Pharmaindustrie, die Lebensmittelherstellung, die Chemieindustrie, die Wasseraufbereitung und die Biotreibstoffe als wichtigste Wirtschaftsbereiche für bioökonomische Prozesse zu nennen.

In Bayern sind die Weltklassepatente in bioökonomischen Prozesstechnologien seit 2010 von 668 auf 951 gestiegen. Wäre Bayern ein Land, würde es damit mit einem Weltanteil von knapp über zwei Prozent weltweit auf dem elften Rang liegen. Allerdings lag das Wachstumstempo mit 2,6 Prozent pro Jahr seit 2010 unter dem globalen Wachstumsdurchschnitt (+4,9 Prozent pro Jahr).

In Bayern ragt die Biotech-/Pharmaindustrie als wichtigstes Anwendungsfeld der prozessbasierten Bioökonomie heraus mit einem Weltanteil an den globalen Weltklassepatenten von 3,6 Prozent. Zwischen 2010 und 2024 hat sich die Zahl der bioökonomischen Weltklassepatente in der Biotech-/Pharmaindustrie von 226 auf 381 erhöht; damit war die Dynamik höher als im globalen Vergleich. In den letzten fünf Jahren ist die Zahl der bioökonomischen Weltklassepatente in der Biotech-/Pharmaindustrie jedoch analog zur globalen Entwicklung leicht gesunken. Des Weiteren gibt es in Bayern umfangreiche Spitzenforschung in den Bereichen Chemie (147 Weltklassepatente im Jahr 2024) und Lebensmittelherstellung (90). Eine hohe Wachstumsdynamik von einem niedrigen Ausgangsniveau aus war zudem im Anwendungsbereich Carbon Capture zu verzeichnen, wenngleich die globale Dynamik hier in den letzten Jahren noch stärker ausfiel.

2 Identifikation der Prozesstechnologien

Hohe Dynamik bei Prozesstechnologien

Die gesamte Wirtschaft steht unter kontinuierlichem Innovationsdruck. Neben herausfordernden Rahmenbedingungen, wie steigenden Anforderungen an den Umweltschutz oder hohen Energiekosten, sind hier die schwankende Rohstoffverfügbarkeit, der nachfrageseitige Bedarf an neuen Materialien und Stoffen sowie die digitale Transformation zu nennen. Aufgrund der hohen Bedeutung der Prozess- und Verfahrenstechnologien für die industrielle Basis ist es das Ziel der vorliegenden Studie, die Prozesslandschaft im Detail zu beleuchten, globale Trends aufzuzeigen sowie Bayerns Rolle im weltweiten Wettbewerb zu analysieren.

Zur Analyse der Forschungskompetenzen kommen Patentanalysen zum Einsatz, die eine technologische Zuordnung zu Prozessen erlauben. Patente sind ein wichtiger Erfolgsausweis von Forschung und Entwicklung und einer der wichtigsten Innovationsoutput-Indikatoren. Unser Fokus liegt dabei auf Qualität, nicht Quantität, um verzerrende Effekte durch länderspezifische Unterschiede in den Patentierungssystemen zu reduzieren. Bei unseren Auswertungen werden daher Bestand und Entwicklung der besten zehn Prozent der Patente pro Technologie ausgewiesen – die sogenannten Weltklassepatente.

Grundsätzlich umfasst die Prozesstechnik sämtliche Vorgänge, bei denen Stoffe (Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe) hinsichtlich Zusammensetzung, Art oder Eigenschaften verändert werden. Dabei lassen sich viele Prozesse in vorbereitende Prozesse, Hauptprozesse und nachgelagerte Prozesse unterteilen, wobei einige Schritte an verschiedenen Stellen des Produktionsprozesses zum Einsatz kommen können.

Am Anfang von Produktionsprozessen stehen meist vorbereitende Prozesse wie z. B. mechanische Prozesse (zerkleinern, mischen oder extrahieren), d. h. Schritte, die Rohmaterialien und Ausgangsstoffe in eine geeignete Form oder Zusammensetzung bringen, damit sie im Hauptprozess effizient weiterverarbeitet werden können.

Während des Hauptprozesses findet die eigentliche Umwandlung der Inputmaterialien statt. Diese Prozesse bestimmen maßgeblich die Eigenschaften des Endprodukts und erfordern oft spezialisierte Anlagen und präzise Steuerung. Diese Hauptprozesse variieren je nach Industrie und Produkt, umfassen jedoch häufig Umwandlungen durch Schmelzen, biologische Prozesse (z. B. Fermentationen), katalytische Prozesse (meist Gasphasenprozesse) oder durch (elektro-) chemische Reaktionen. In den meisten dieser Prozesse werden die Materialien auf molekularer Ebene neu zusammengestellt, also tatsächlich molekular umgeformt. In anderen, oft direkt darauffolgenden oder integrierten Prozessen wird dagegen nur noch die Form verändert (z. B. Stahl aus Eisenoxid-Mineral gegenüber Stahlblech aus Roheisen, bzw. Polymer aus Monomer gegenüber Extrusion der Polymere in Formkörper).

Anschließend folgen meist noch nachgelagerte Prozessschritte, wie etwa die Konzentration, Extraktion, Reinigung aus der Prozessumgebung und Filtration, welche das Endprodukt für den Markt vorbereiten oder für dessen Lagerungs- und Transportfähigkeit sorgen.

Des Weiteren nehmen im Zuge der zunehmenden Digitalisierung der Fertigungsprozesse auch digitale Automatisierungs- und Steuerungsprozesse in der gesamten Produktion eine immer wichtigere Rolle ein.

Recyclingprozesse wiederum stellen eine Querschnittstechnologie im Rahmen der Prozesstechnologien dar, da beim Recycling viele verschiedene Prozesstechnologien zum Einsatz kommen und Recycling branchenübergreifend angewendet wird.

Relevante Prozesstechnologien

Vorbereitende und nachgelagerte Prozesse

- Mischen, Lösen, Emulgieren, Dispergieren
- Separieren (Abtrennen, Filtern, Destillieren)
- Mechanische Prozesse: Zerkleinern, Schleifen, Mahlen, Polieren
- Extrahieren, Konzentrieren, Auslaugen, Reinigen, Raffinieren
- Schweißen, Löten.

Hauptprozesse

- Metallverarbeitungsprozesse (z. B. Eisenherstellung, Metallwalzen, Bleche, Drahtformen, Schmieden, Gießen)
- Biologische Prozesse (z. B. Fermentation, Bioreaktor, Zellkultivierung)
- Thermische Prozesse (z. B. Sintern, Strangpressen, Spritzgießen, Schmelzen, Pyrolyse, Rösten)
- Chemische Prozesse (z. B. Katalyse)
- Elektrochemische Prozesse (z. B. Elektrolyse).

Digitale Prozesse

- Prozesssteuerung und Automatisierung.

Recyclingprozesse

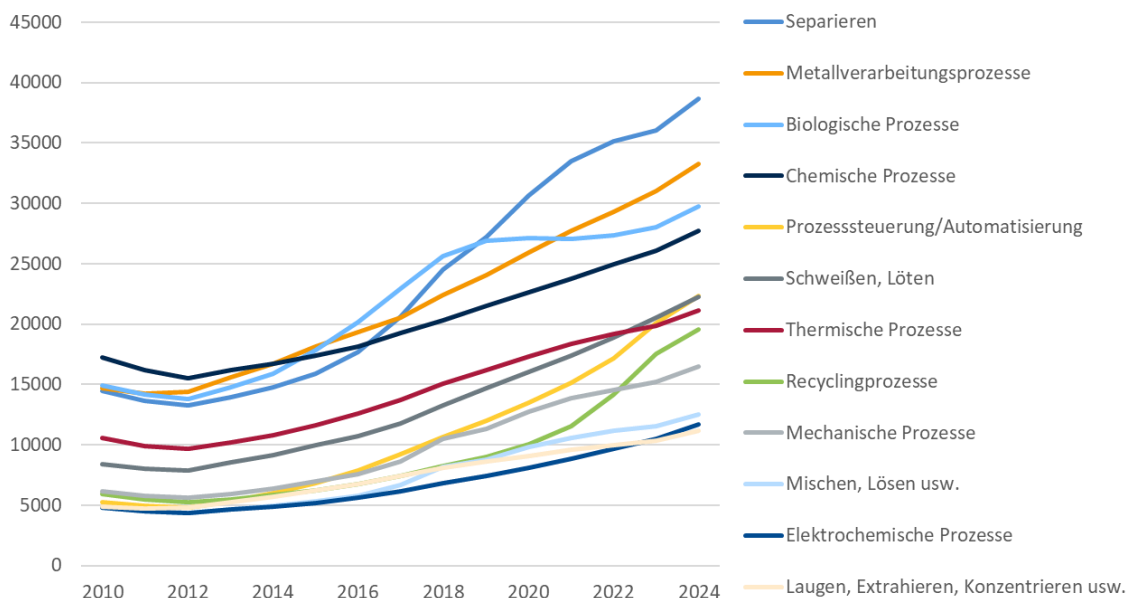
- Recyclingprozesse stellen eine Querschnittstechnologie dar, da verschiedene andere Prozesstechnologien im Rahmen von Recyclingprozessen zum Einsatz kommen.
-

2.1 Globale Trends

Die weltweiten Forschungsaktivitäten in diesen Prozesstechnologien haben in den letzten 15 Jahren signifikant zugenommen. Dies spiegelt sich im rasanten Anstieg der globalen Patente wider. Im Zeitraum 2010 bis 2024 ist der Gesamtbestand an aktiven Weltklassepatenten in den verschiedenen Prozesstechnologien von über 97.000 auf fast 227.000 Stück gestiegen, was einem Wachstum um mehr als sechs Prozent pro Jahr entspricht.

Abbildung 1

Entwicklung globaler Weltklassepatente in Prozesstechnologien, 2010 - 2024



Quelle: EconSight

Die, gemessen an den Patenzahlen, größte Prozesskategorie sind die Separationsprozesse (wie z. B. Abtrennen, Filtern, Destillieren) mit knapp 39.000 aktiven Weltklassepatenten im Jahr 2024. Diese Prozesstechnologien sind essenziell unter anderem in der chemisch-pharmazeutischen Industrie sowie der Lebensmittel- und Umwelttechnik, da sie Stoffe oder Phasen aus einem Gemisch trennen. Dies spielt eine wichtige Rolle bei der Herstellung reiner Substanzen, der Abwasseraufbereitung und vielen industriellen Anwendungen.

Die Metallverarbeitungsprozesse (wie z. B. Metallwalzen, Bleche, Schmelzen, Gießen usw.) liegen auf Rang 2 mit mehr als 33.000 Weltklassepatenten im Jahr 2024. Diese Prozesse stellen grundlegende Verfahren der Metallverarbeitung dar und ermöglichen die Herstellung einer breiten Palette von Produkten. Sie finden daher in einer Vielzahl von Industrien Anwendung wie z. B. Stahlindustrie, Automobilindustrie, Verpackungsindustrie, Maschinenbau oder Bauwesen.

Auf Platz 3 folgen die biologischen Prozesse mit rund 30.000 Weltklassepatenten im Jahr 2024. Biologische Prozesse nutzen die Stoffwechsellleistungen von Mikroorganismen und die besonderen Eigenschaften von Biomolekülen zum Aufbau, Umbau oder Abbau von Substanzen. Biologische Prozesse werden unter anderem in Chemie-, Biotech-/Pharma- oder Lebensmittelindustrie eingesetzt, um Produkte wie Chemikalien, Medikamente oder Treibstoffe herzustellen. Die Anwendung von Mikroorganismen, Zellen oder Enzymen für industrielle Anwendungen wird dabei als „weiße“ Biotechnologie bezeichnet, während „rote“ Biotechnologie die Nutzung biologischer Prozesse in der Medikamentenentwicklung und „grüne“ Biotechnologie den Einsatz in der Pflanzenzüchtung beschreiben.¹

Die höchste Wachstumsdynamik war in den letzten Jahren in der Prozesssteuerung und Automatisierung zu verzeichnen. In dieser Technologie sind die Weltklassepatente von rund 5.300 im Jahr 2010 auf über 22.000 im Jahr 2024 gestiegen, ein Wachstum von fast elf Prozent pro Jahr. Prozesssteuerung und Automatisierung spielen eine immer wichtigere Rolle in vielen Wirtschaftsbereichen, da sie dazu beitragen, die Effizienz und Präzision der Produktionsabläufe zu erhöhen. Zum Beispiel können durch den Einsatz von Sensoren Daten in Echtzeit erfasst und genutzt werden, um Abweichungen von Zielwerten sofort zu korrigieren. Auch künstliche Intelligenz wird in der Prozessautomatisierung eingesetzt, um große Datenmengen zu analysieren, Muster zu identifizieren und Vorhersagen für Wartungsarbeiten zu treffen.

Ein konkretes Beispiel für den Einsatz der Prozesssteuerung und Automatisierung ist die digitale Landwirtschaft. Traktoren und andere landwirtschaftliche Maschinen werden zunehmend mit Sensoren ausgestattet, die den Zustand des Bodens oder der Pflanzen erfassen können. Auf diese Weise können Landmaschinen den Wasser- und Nährstoffbedarf der Pflanzen ermitteln. Werden aktuelle Satelliten- und Wetterdaten berücksichtigt, können Pflanzen bedarfsgerecht und punktgenau bewässert, gedüngt oder gejätet werden, wodurch Effizienz und Ertrag gesteigert werden.²

Ebenfalls sehr dynamisch haben sich die Forschungsaktivitäten im Bereich der Recyclingprozesse entwickelt, wo die Zahl der Weltklassepatente vor allem seit 2020 stark zugelegt hat (von rund 10.000 im Jahr 2020 auf rund 19.500 im Jahr 2024). Neue Technologien wie das chemische Recycling, Batterierecycling oder KI-gestützte Sortierung machen Recyclingprozesse zunehmend zu einem integralen Bestandteil moderner Industrieprozesse und der Kreislaufwirtschaft.³

¹ Kafarski (2012)

² vbw (2017) und BMBF (2021)

³ FAZ (2024)

Beispiel eines Separationsprozesses: Carbon Capture and Utilization (CCUS)

Ein Beispiel für einen wichtigen Separationsprozess sind CO₂-Adsorptionsverfahren, welche im Rahmen der weltweiten Bemühungen zur Bekämpfung des Klimawandels zunehmend an Bedeutung gewinnen (vgl. hierzu auch Kapitel 4.3).⁴ CO₂-Adsorptionsverfahren ermöglichen die Abscheidung von Kohlendioxid (CO₂) aus der Luft (Direct Air Capture, DAC) oder im Zuge der Energieerzeugung bzw. von industriellen Produktionsprozessen.

CO₂-Adsorptionsverfahren basieren auf der Fähigkeit spezieller Materialien, CO₂-Moleküle aus Gasgemischen an ihrer Oberfläche zu binden. Dabei werden meist poröse Feststoffe wie Aktivkohle, Zeolithe oder metallorganische Gerüstverbindungen genutzt, die eine große spezifische Oberfläche und selektive Bindungseigenschaften besitzen.⁵

Der Prozess erfolgt in zwei Hauptschritten: Zunächst wird das Gasgemisch durch einen Adsorber geleitet, wobei CO₂-Moleküle an der Materialoberfläche gebunden werden, während andere Gase wie Stickstoff oder Sauerstoff ungehindert passieren. Im zweiten Schritt wird das gebundene CO₂ durch Temperaturerhöhung (thermische Desorption), Druckabsenkung (Druckwechseladsorption) oder chemische Regeneration freigesetzt, um es zu sammeln und weiterzuverarbeiten oder zu speichern. Die Umsetzung variiert je nach Anwendungsbereich. Bei DAC werden etwa häufig großformatige Adsorberkolonnen oder rotierende Adsorptionsmodule eingesetzt. Eine Alternative zum zweistufigen Prozess mit Adsorbentien ist die einfachere, direkte Abscheidung von CO₂ z. B. in der Aminwäsche oder aus Kalzium-haltigen Dispersionen als Kalziumcarbonat. Das letztere Verfahren kann wie oben im Kreislauf erfolgen und wird „Carbonate Looping“ genannt.⁶

Haupteinsatzgebiete von CCUS-Technologien sind energieintensive Branchen wie Zement-, Stahl- und Chemieindustrie, in denen CO₂-Adsorptionsverfahren dazu beitragen, CO₂-Emissionen direkt an der Quelle zu reduzieren. Zudem können auch Kraftwerke, die mit fossilen Brennstoffen beziehungsweise Abfällen betrieben werden, durch den Einsatz von CO₂-Adsorptionsanlagen ihre Emissionen deutlich reduzieren. DAC wird besonders mittel- und langfristig für die Kompensation unvermeidbarer Emissionen relevant.

Laut einem Bericht von McKinsey gehören CCUS-Technologien zu den zwölf wichtigsten Klimatechnologien.⁷ Auch gemäß Internationaler Energieagentur (IEA) ist die Skalierung von CCUS-Technologien entscheidend für das Erreichen der globalen Klimaziele. Die IEA prognostiziert, dass bis 2030 eine Gigatonne CO₂ durch CCUS abgeschieden und gespeichert werden muss, um die globale Erwärmung auf unter 1,5°C zu begrenzen.⁸

⁴ vbw (2024)

⁵ Karimi et al. (2022)

⁶ EnArgus

⁷ Heid et al. (2023)

⁸ Fajardy, Greenfield (2024)

Identifikation der Prozesstechnologien

Auf Branchenebene verfügen vor allem Akteure der Stahl-, Chemie-, Erdöl- und Automobilindustrien sowie auch einige Wissenschaftseinrichtungen über umfangreiche Forschungsaktivitäten in Prozesstechnologien. Insgesamt entfallen rund 30.000 der weltweit knapp 230.000 Weltklassepatente in Prozesstechnologien auf Universitäten und Forschungsinstitute, d. h. der Anteil der öffentlichen Forschung liegt bei knapp 14 Prozent.

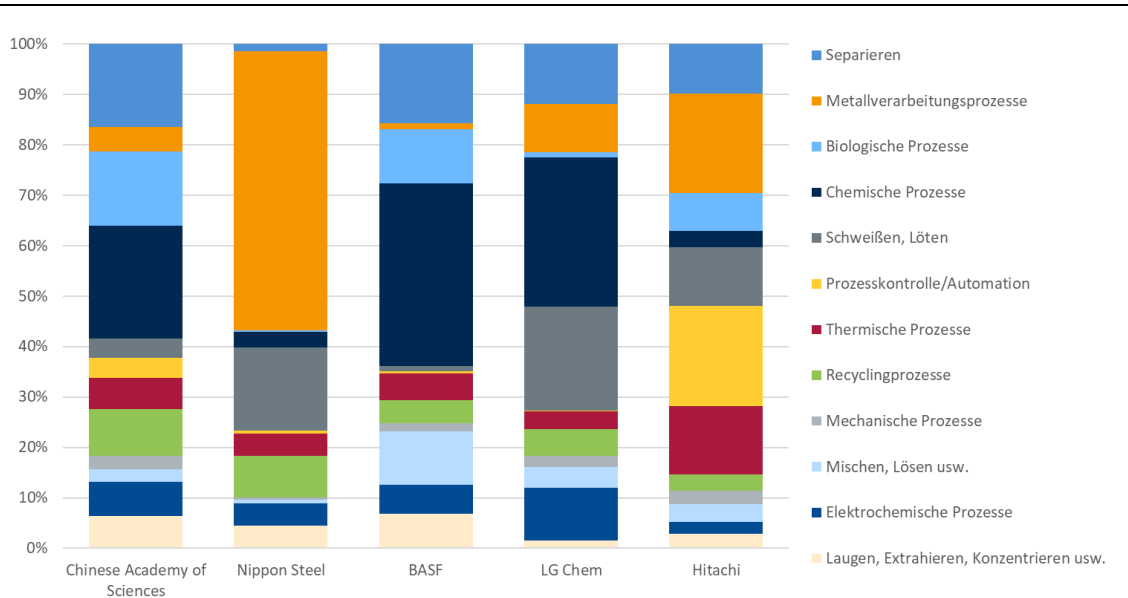
Die Chinese Academy of Sciences hatte Ende 2024 mit über 2.750 Weltklassepatenten das größte Portfolio. Sie ist in vielen Prozesstechnologien aktiv, mit dem Forschungsfokus auf den Feldern Separieren, chemische Prozesse und biologische Prozesse.

Platz 2 belegt aktuell der japanische Stahlhersteller Nippon Steel (1.912 Weltklassepatente). Mehr als die Hälfte der Weltklassepatente von Nippon Steel entstammen dem Bereich Metallverarbeitungsprozesse.

Auf den Plätzen drei bis fünf liegen der deutsche Chemiekonzern BASF (1.438), der südkoreanische Chemiekonzern LG Chem (1.429) und das japanische Konglomerat Hitachi (1410). Sowohl BASF als auch LG Chem verfügen erwartungsgemäß über eine besonders hohe Forschungskompetenz bei chemischen Prozessen. Hitachi verfügt über eine breite technologische Ausrichtung mit zahlreichen Weltklassepatenten in vielen Prozessbereichen, wobei als besondere Forschungsschwerpunkte die Bereiche Metallverarbeitungsprozesse, Prozesskontrolle/Automation und thermische Prozesse zu nennen sind.

Abbildung 2

Verteilung der Weltklassepatente der Top-Forschungsakteure nach Prozesstechnologien, 2024



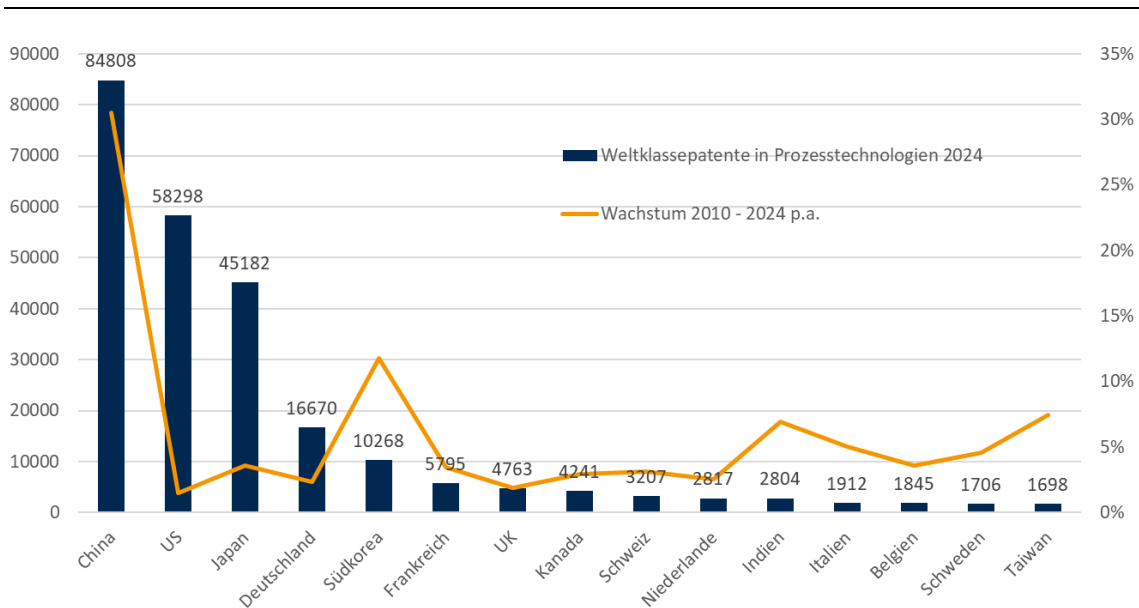
Quelle: EconSight

Identifikation der Prozesstechnologien

Auf internationaler Ebene verfügen China (84.800 aktive Weltklassepatente im Jahr 2024), die USA (58.300) und Japan (45.200) mit Abstand über die meisten Weltklassepatente in Prozesstechnologien. Deutschland folgt mit rund 16.700 Weltklassepatenten auf Platz 4 vor Südkorea mit knapp 10.300 Stück. Damit liegt Deutschland innerhalb der EU klar an der Spitze und besitzt beispielsweise fast dreimal so viele Weltklassepatente wie, das innerhalb der EU zweitplatzierte, Frankreich.

Abbildung 3

Weltklassepatente in Prozesstechnologien nach Ländern, 2024



Anzahl Weltklassepatente in Prozesstechnologien 2024 (linke Y-Achse),
Wachstum Weltklassepatente 2010 – 2024 p. a. (rechte Y-Achse)

Quelle: EconSight

Auffällig ist, dass die Bedeutung Asiens im Bereich der Spitzenforschung in Prozesstechnologien erheblich zugenommen hat. Ganz vorne ist hier wiederum China zu nennen mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum der Weltklassepatente von über 30 Prozent. Während China im Jahr 2010 erst auf Platz neun im globalen Vergleich lag, gelang es dem Land 2023 zum ersten Mal, die USA an der Spitze des Rankings zu überholen.

Zum Aufstieg Chinas in der technologischen Kompetenz in den verschiedenen Prozesstechnologien dürfte in den letzten Jahren das Made in China 2025-Programm (kurz: MIC2025) des chinesischen Staates beigetragen haben. Ziel des Programms war bzw. ist die Verbesserung der chinesischen Wettbewerbsfähigkeit in ausgewählten Kernindustrien sowie die Verringerung der technologischen Abhängigkeit vom Ausland.⁹ Hierfür kommt ein umfangreiches industriepolitisches Instrumentarium zum Einsatz wie z. B. Subventionen,

⁹ Zenglein / Holzmann (2019)

Identifikation der Prozesstechnologien

Steueranreize, Finanzierungshilfen oder Technologietransfer-Bedingungen für ausländische Firmen im Gegenzug für den Marktzugang.

Aber auch in Südkorea (+11,7 Prozent p. a.), Indien (+6,9 Prozent p. a.) und Taiwan (+7,4 Prozent p. a.) sind die Patentbestände im Zeitraum 2010 bis 2024 dynamischer gewachsen als im globalen Schnitt (+6,2 Prozent p. a.). Nur unterdurchschnittliche Wachstumsraten waren hingegen in den USA (+1,5 Prozent), UK (+1,9 Prozent p. a.) und Deutschland (+2,3 Prozent p. a.) zu verzeichnen.

Betrachtet man die Verteilung der Weltklassepatente in den einzelnen Prozesstechnologien in den Top 5 Forschungsländern, zeigen sich gewisse Unterschiede bei den Forschungsschwerpunkten (Tabelle 1).

Tabelle 1

Weltklassepatente in Prozesstechnologien in den Top 5 Forschungsländern, 2024

Technologie	China	USA	Japan	Deutschland	Südkorea
Separieren	14966	9758	6124	2735	2312
Metallverarbeitungsprozesse	13439	7061	6902	2697	1168
Recyclingprozesse	10969	2589	3108	690	933
Biologische Prozesse	10456	11746	3397	2062	990
Chemische Prozesse	7886	8266	6707	2326	1402
Schweißen, Löten	7692	4627	5759	1988	1374
Prozesssteuerung/Automatisierung	7572	8003	3590	1345	778
Mechanische Prozesse	7415	2667	4038	1185	591
Thermische Prozesse	5282	5528	6110	2316	641
Laugen, Extrahieren usw.	4842	2508	1972	605	325
Elektrochemische Prozesse	3856	3171	2595	847	688
Mischen, Lösen usw.	3469	3614	2450	1227	598

Quelle: EconSight

China ist herausragend bei den Forschungsaktivitäten zum Thema Recycling. Hier verfügt das Land über mehr als dreimal so viele Weltklassepatente wie das zweitplatzierte Japan.

Die Entwicklung von Recyclingtechnologien und die Förderung der Kreislaufwirtschaft sind seit den 2000er Jahren zentrale Bestandteile der staatlichen Entwicklungspläne. Chinesische Unternehmen wie CATL und BYD investieren massiv in Technologien zur Wiedergewinnung wertvoller Materialien aus gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien.¹⁰

Die USA sind dagegen, nicht zuletzt dank ihrer zahlreichen innovativen Tech- und Life Sciences-Unternehmen sowie der hervorragenden Universitäten, technologisch führend in den Bereichen biologische Prozesse sowie Prozesssteuerung/Automatisierung. Auch bei der Anwendung von künstlicher Intelligenz zur Optimierung von Produktionsprozessen in verschiedenen Branchen (z. B. Pharma, Chemie und industrielle Fertigung) sind die USA Vorreiter.

Japan und Deutschland verfügen über ähnliche Forschungsschwerpunkte und besitzen viele Weltklassepatente in den Kategorien Metallverarbeitungsprozesse, thermische Prozesse, chemische Prozesse und Separieren. Eine Erklärung hierfür sind die Gemeinsamkeiten in der Wirtschaftsstruktur mit einer forschungsstarken Automobil-, Chemie- und Maschinenbauindustrie in beiden Ländern.

In Südkorea sticht vor allem die hohe Zahl an Weltklassepatenten in der Prozesstechnologie Separieren (Abtrennen, Filtern, Destillieren) ins Auge. Das Land verfügt über eine starke chemische Industrie mit Unternehmen wie LG Chem und Lotte Chemical, welche in die Entwicklung fortschrittlicher Trenntechnologien investieren, die unter anderem für die Herstellung von Batteriematerialien und hochspezialisierten Chemikalien benötigt werden. Zudem forscht auch die starke koreanische Halbleiterindustrie an fortschrittlichen Filtrations- und Trenntechnologien. Des Weiteren verfügt Südkorea über exzellente Universitäten und Forschungseinrichtungen mit hoher Expertise in Chemieingenieurwesen und verwandten Disziplinen wie die Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), die Seoul National University (SNU) und das Korean Institute of Industrial Technology (KITECH).

Das Technologieprofil für Deutschland gibt einen detaillierten Überblick über die technologischen Stärken und Schwächen in den verschiedenen Prozesstechnologien. Als Analysezeitraum für das Technologieprofil haben wir den Zeitraum 2019 bis 2024 gewählt. Der Fokus liegt somit auf der Entwicklung der Forschungsaktivität am aktuellen Rand.

Als erstes fällt auf, dass der deutsche Weltanteil an den globalen Weltklassepatenten in allen Prozesstechnologien seit 2019 rückläufig ist. Der Rückgang reicht von -1,4 Prozentpunkten bei Prozesssteuerung/Automatisierung bis hin zu einem Rückgang von jeweils -3,7 Prozentpunkten bei chemischen und mechanischen Prozessen. Dies zeigt, dass die deutsche Forschungsdynamik in den letzten Jahren nicht mit der globalen Entwicklung mithalten konnte. Ausschlaggebend hierfür war vor allem das fulminante Wachstum der Weltklassepatente in den beiden Ländern China und Südkorea, welche auch das durchschnittliche globale Wachstumstempo nach oben gedrückt haben.

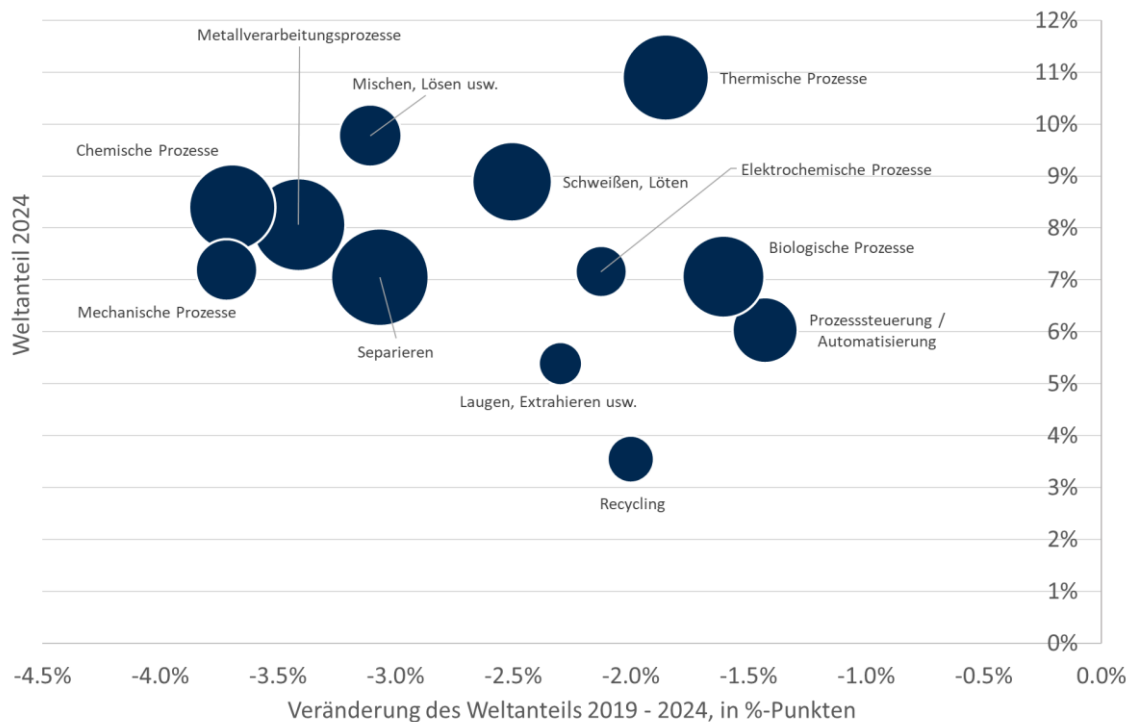
Hinsichtlich der Weltanteile zeigt sich die hohe Bedeutung der thermischen Prozesse (Sintern, Strangpressen usw.) in Deutschland. In dieser Prozesstechnologie verfügt

¹⁰ Henßler (2023)

Identifikation der Prozesstechnologien

Deutschland über fast 11 Prozent aller weltweiten Weltklassepatente. Gemessen an den absoluten Patentzahlen sind jedoch die beiden Prozesstechnologien Separieren und Metallverarbeitungsprozesse die größten Kategorien mit jeweils etwa 2.700 Weltklassepatenten im Jahr 2024. Verbesserungspotenzial besteht im Bereich Recyclingprozesse, in welchem der deutsche Weltanteil bei lediglich 3,5 Prozent liegt.

Abbildung 4
Technologieprofil Deutschland in Prozesstechnologien



Quelle: EconSight

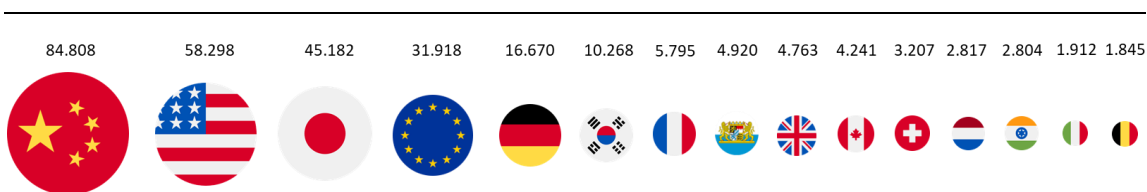
Gemessen an der Zahl der Weltklassepatente sind auf Unternehmensebene in Deutschland BASF (1165 in Deutschland entwickelte Weltklassepatente), Evonik (621) und Bosch (586) als führende Forschungsakteure in Prozesstechnologien zu nennen. Rund 710 der über 16.600 deutschen Weltklassepatente aus Deutschland stammen zudem von öffentlichen Forschungsinstitutionen. Damit liegt der öffentliche Anteil an den Weltklassepatenten bei nur etwa 4,3 Prozent und somit weit unter dem weltweiten Schnitt von knapp 14 Prozent. Die Fraunhofer-Gesellschaft (181), die Helmholtz-Gemeinschaft (77) und die Max-Planck-Institute (28) sind die Top-Forschungsakteure in Prozesstechnologien, während auf Seite der Universitäten die Universität Mainz (18), die Technische Universität München (14) und die Universität Erlangen-Nürnberg (13) über die meisten Weltklassepatente verfügen.

2.2 Bayerische Trends

Die bayerischen Spitzenforschungsaktivitäten in Prozesstechnologien haben in den letzten Jahren auch zugelegt, allerdings war die Dynamik etwas geringer als im globalen Schnitt. Zwischen 2010 und 2024 ist der bayerische Weltklassepatentbestand in Prozesstechnologien insgesamt von rund 3.050 auf 4.920 Stück gestiegen, was einem Wachstum um 3,5 Prozent pro Jahr entspricht. Damit liegt der Weltanteil Bayerns an den globalen Weltklassepatenten in Prozesstechnologien aktuell bei 2,2 Prozent. Wäre Bayern ein Land, würde es somit weltweit auf dem siebten Rang liegen. Weiterhin kommen knapp 30 Prozent aller deutschen Weltklassepatente aus Bayern, in der EU liegt der bayerische Anteil bei 15 Prozent.

Abbildung 5

Weltklassepatente in Prozessen nach Ländern/Regionen, 2024



Die Zahl der bayerischen Weltklassepatente ist auch in Deutschland enthalten.

Quelle: EconSight

Auf Ebene der einzelnen Prozesstechnologien ragt in Bayern die Kategorie thermische Prozesse (wie z. B. Sintern, Strangpressen, Spritzgießen, Schmelzen, Pyrolyse, Rösten) heraus. Diese Prozesse kommen unter anderem stark in der Automobilindustrie zur Kunststoff- und Metallverarbeitung zum Einsatz. In dieser Technologie gab es über 900 aktive Weltklassepatente im Jahr 2024. Dies entspricht einem überdurchschnittlich hohen Weltanteil von 4,4 Prozent; zudem war auch die Forschungsdynamik in Bayern seit 2010 mit einem Wachstum von 6,2 Prozent höher als im globalen Vergleich (+ 5,1 Prozent p. a.).

Beispiel thermische Prozesse: Sintern

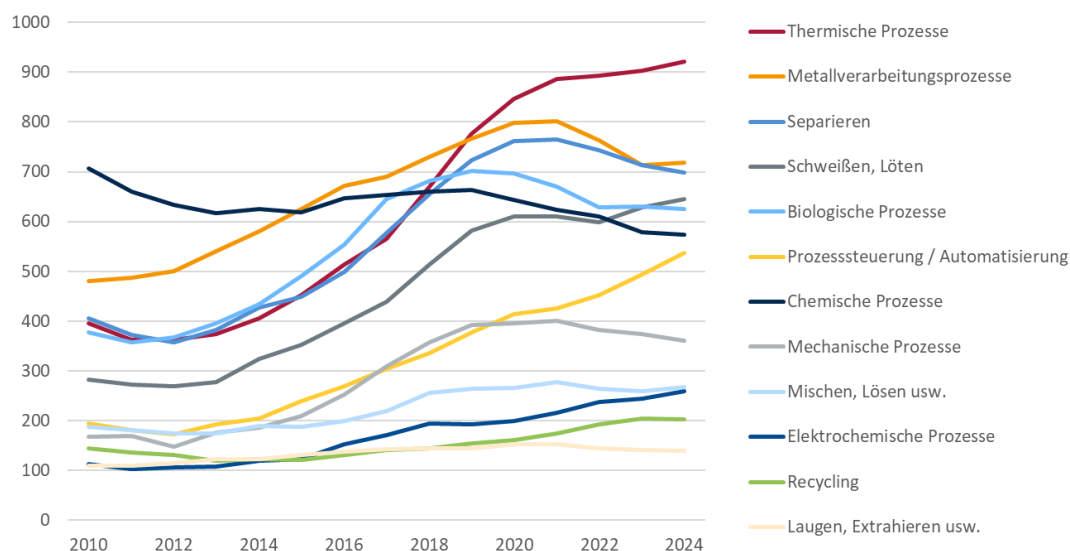
Ein Beispiel für einen wichtigen thermischen Prozess in Bayern ist das Sintern. Beim Sintern werden pulverförmige Materialien (z. B. Metallpulver, Keramik) unter Druck und hohen Temperaturen miteinander verbunden bzw. verdichtet, um neue Werkstoffe herzustellen. Es kommt zu einer Diffusion der Partikel an den Kontaktstellen, wodurch das Material verdichtet wird und eine feste, porenfreie Struktur entsteht. Der größte Vorteil des Sinterns ist das Zusammenbringen von Ausgangsstoffen, welche sich auf andere Weise nur sehr schwer oder gar nicht zu einem neuen Werkstoff verbinden lassen.

Das Sintern kommt vor allem in für Bayern sehr wichtigen Industrien wie der Automobilindustrie, der Luftfahrttechnik sowie der Maschinenbau- und Elektronikindustrie zum

Einsatz, um metallische Form- und Fertigteile in großen Serien herzustellen. In der Automobilindustrie werden beispielsweise Zahnräder, Lager, Kupplungsscheiben oder Bremsbeläge durch Sintern hergestellt.

Auch im Bereich der additiven Fertigung (3D-Druck) kommt Sintern beim sogenannten selektiven Lasersintern (SLS) zum Einsatz, bei dem räumliche Strukturen aus einem pulverförmigen Ausgangsstoff durch Sintern mit einem Laser hergestellt werden.

Abbildung 6
Entwicklung Weltklassepatente in Prozesstechnologien aus Bayern, 2010 - 2024



Quelle: EconSight

Zwei weitere wichtige Prozesstechnologien in Bayern sind die Kategorien Metallverarbeitungsprozesse sowie Separieren mit jeweils rund 700 aktiven Weltklassepatenten im Jahr 2024 (Weltanteil von jeweils rund zwei Prozent). Allerdings war die Zahl der Weltklassepatente in diesen beiden Feldern zuletzt leicht rückläufig. Ebenso war im Bereich der biologischen und chemischen Prozesse in den letzten Jahren ein Rückgang der Weltklassepatente zu verzeichnen.

In Bezug auf die Wachstumsdynamik ragt in Bayern, wie auch auf globaler Ebene, die digitale Technologie Prozesssteuerung/Automatisierung heraus. Die Zahl der Weltklassepatente ist in diesem Bereich zwischen 2010 und 2024 von knapp 200 auf über 500 gestiegen. Dies entspricht einem Wachstum von 7,5 Prozent pro Jahr, was allerdings unter dem globalen Wachstum von 10,9 Prozent pro Jahr liegt. Der bayerische Weltanteil in dieser digitalen Prozesstechnologie betrug 2024 2,4 Prozent.

Identifikation der Prozesstechnologien

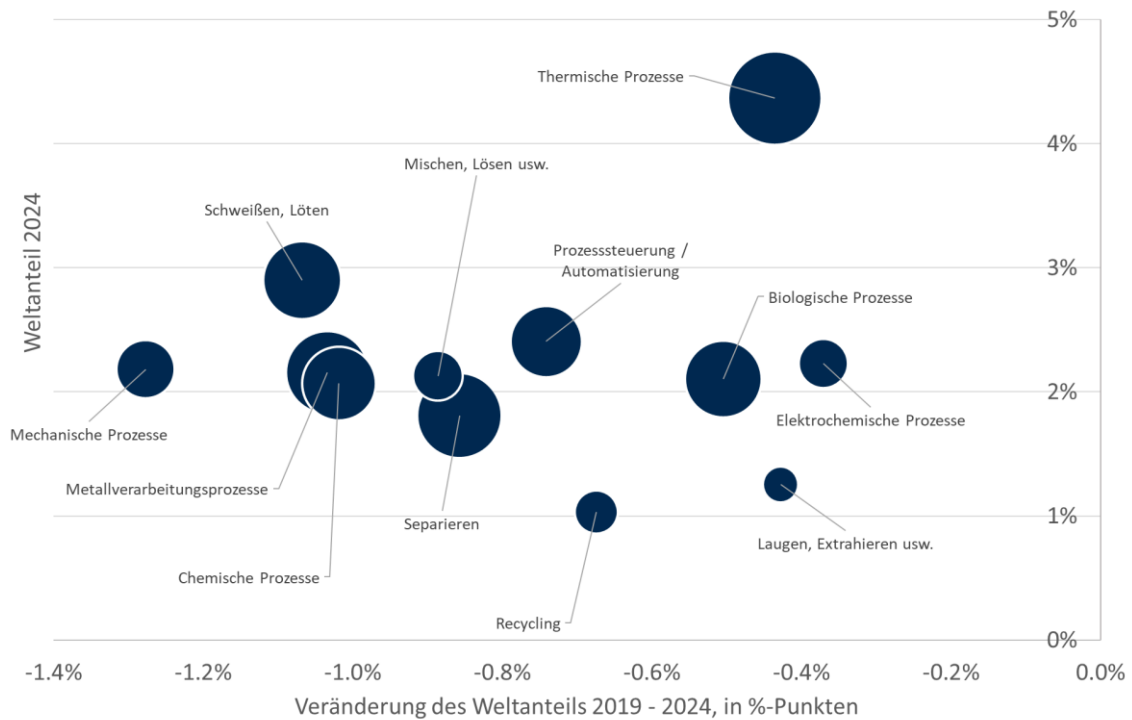
Im Bereich Recyclingprozesse hat die Zahl der Weltklassepatente auch in Bayern in den letzten Jahren zugelegt. Allerdings lag das Wachstum im gesamten betrachteten Zeitraum von 2010 bis 2024 mit 2,4 Prozent deutlich tiefer als im globalen Schnitt (+8,9 Prozent p. a.) und auch der bayerische Weltanteil lag 2024 nur bei einem Prozent. Nur in der Prozesstechnologie Laugen/Extrahieren/Konzentrieren usw. lag der bayerische Weltanteil vergleichbar tief.

Das Technologieprofil für Bayern gibt einen prägnanten Überblick über die technologischen Stärken und Schwächen in den Prozesstechnologien. Als Analysezeitraum wurde der Zeitraum 2019 bis 2024 gewählt. Der Fokus liegt somit im Gegensatz zur vorherigen Abbildung auf der Entwicklung der Forschungsaktivität am aktuellen Rand.

Die hohe Bedeutung der thermischen Prozesse (Sintern, Strangpressen, Spritzgießen usw.) zeigt sich eindrücklich im bayerischen Technologieprofil. In dieser Prozesstechnologie verfügt Bayern in absoluten Zahlen über die meisten aktiven Weltklassepatente.

Auffällig ist, dass analog zur gesamtdeutschen Entwicklung (siehe Abbildung 4) auch der bayerische Weltanteil an den globalen Weltklassepatenten in allen Prozesstechnologien seit 2019 rückläufig ist. Der Rückgang reicht von -0,4 Prozentpunkten bei elektrochemischen Prozessen, thermischen Prozessen und Laugen/Extrahieren usw. bis hin zu einem Rückgang von -1,3 Prozentpunkten bei mechanischen Prozessen. Dies zeigt, dass die bayerische Forschungsdynamik in den letzten Jahren nicht mit der globalen Entwicklung mithalten konnte. Ausschlaggebend hierfür war auch hier (vgl. oben zu Deutschland) vor allem das fulminante Wachstum in China und Südkorea.

Abbildung 7
Technologieprofil Bayern in Prozesstechnologien



Quelle: EconSight

Auf Unternehmensebene ist Siemens, gemessen an den Weltklassepatenten, der mit weitem Abstand führende Forschungsakteur in Prozesstechnologien. Siemens verfügte 2024 über knapp 300 aktive Weltklassepatente aus Bayern, wobei Prozesskontrolle/Automation das wichtigste Forschungsgebiet darstellt. Weitere führende Forschungsunternehmen in Prozesstechnologien sind BASF, Roche, Evonik, BMW, Bosch, Linde und VW (Audi), welche allesamt über mehr als hundert prozessbasierte Weltklassepatente aus Bayern verfügen.

Die wichtigsten öffentlichen Forschungseinrichtungen in Bayern sind die Fraunhofer-Gesellschaft (48 Weltklassepatente aus Bayern), die Helmholtz-Gemeinschaft (17), die TU München (14), die Universität Erlangen-Nürnberg (13) und die Max-Planck-Institute (11). Insgesamt ist der öffentliche Forschungssektor für 187 der 4.920 bayerischen Weltklassepatente in Prozesstechnologien verantwortlich. Dies entspricht einem Anteil von knapp 4 Prozent, was in etwa dem deutschen Schnitt entspricht, aber deutlich unter dem globalen Schnitt von knapp 14 Prozent liegt.

3 Die Rolle der Prozesstechnologien in wichtigen Anwendungsfeldern

Prozesse spielen in vielen Anwendungsbereichen eine zentrale Rolle, vor allem in Industrie, Biotechnologien sowie (Nano-)Materialien

Prozesse kommen in den verschiedensten Wirtschaftsbereichen zum Einsatz. Für die vorliegende Studie wurden wichtige Anwendungsfelder von Prozesstechnologien ausgewertet, welche die großen globalen Megatrends (Nachhaltigkeit, Digitalisierung, demografischer Wandel) abdecken und eine zentrale Rolle für die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung weltweit und in Bayern spielen werden.¹¹

Wichtige Anwendungsfelder für Prozesstechnologien

- Industrie (industrielle Produktionstechnologien)
 - Digitalisierung (Informations- und Kommunikationstechnologien)
 - Gesundheitssysteme (Gesundheitswesen und Medizintechnologien)
 - Energiesysteme (Energiesysteme und Energie(system)technologien)
 - Mobilität (Intelligente Verkehrssysteme und zukünftige Mobilität)
 - Materialien (Neue Werkstoffe und Materialien)
 - Biotechnologien
 - Ernährung (Ernährung und Lebensmitteltechnologien)
 - Luft- und Raumfahrt (Luft- und Raumfahrttechnologien)
 - Nanotechnologien
-

Um die technologische Entwicklung in diesen Anwendungsfeldern abbilden zu können, wurden rund 100 EconSight Zukunftstechnologien (z. B. erneuerbare Energien, Elektromobilität, künstliche Intelligenz etc.) ausgewertet, welche die Anwendungsfelder möglichst gut abbilden. Dadurch können die neuesten Trends auf den zehn technologischen Anwendungsfeldern abgedeckt werden.

Um die Bedeutung der identifizierten relevanten Prozesse für die Anwendungsfelder analysieren zu können, wurden die Prozesstechnologien mit den Einzeltechnologien der Anwendungsfelder verknüpft. Für die Verknüpfung wurde die Eigenschaft genutzt, dass Patente häufig mehr als eine Technologieinformation tragen. Es wurden somit sämtliche Weltklassepatente in den Anwendungsfeldern identifiziert, welche aufgrund ihres Inhalts auch mindestens einer Prozesstechnologie zugeordnet sind.

¹¹ Vgl. vbw (2019) und vbw (2024)

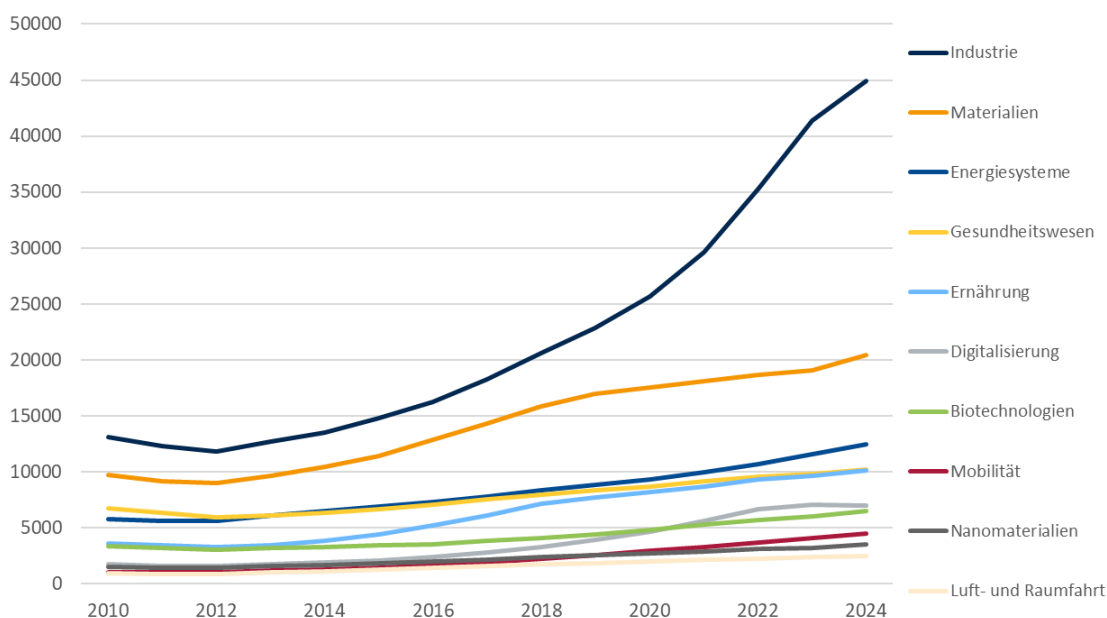
3.1 Globale Trends

Weltweit gibt es, mit weitem Abstand, am meisten prozessbasierte Weltklassepatente im Bereich Industrie. Im Jahr 2024 lag die Zahl bei fast 45.000 aktiven Weltklassepatente, mehr als doppelt so viele wie im zweitgrößten Anwendungsfeld, den Materialien (20.400 Weltklassepatente). Weitere Anwendungsfelder, in denen es viele prozessbasierte Weltklassepatente gibt, sind die Felder Energiesysteme (12.500), Gesundheitswesen (10.200) und Ernährung (10.100). Deutlich kleiner ist die Zahl der prozessbasierten Weltklassepatenten in den Anwendungsfeldern Mobilität (4.100), Nanomaterialien (3.200) und Luft- und Raumfahrt (2.300).

Zumindest teilweise lassen sich die deutlichen Unterschiede der prozessbasierten Patentzahlen zwischen den Anwendungsfeldern auf absolute Größenunterschiede zurückführen. So gibt es insgesamt 110.000 Weltklassepatente im Anwendungsfeld Industrie, wenn sowohl prozessbasierte als auch sonstige Weltklassepatente berücksichtigt werden, während es nur insgesamt 12.500 Weltklassepatente für Nanomaterialien gibt. Allerdings gibt es teils auch deutliche Unterschiede beim Anteil der prozessbasierten Weltklassepatente an allen Weltklassepatenten in den Feldern.

Abbildung 8

Entwicklung prozessbasierte Weltklassepatente in Anwendungsfeldern, 2010 - 2024



Quelle: EconSight

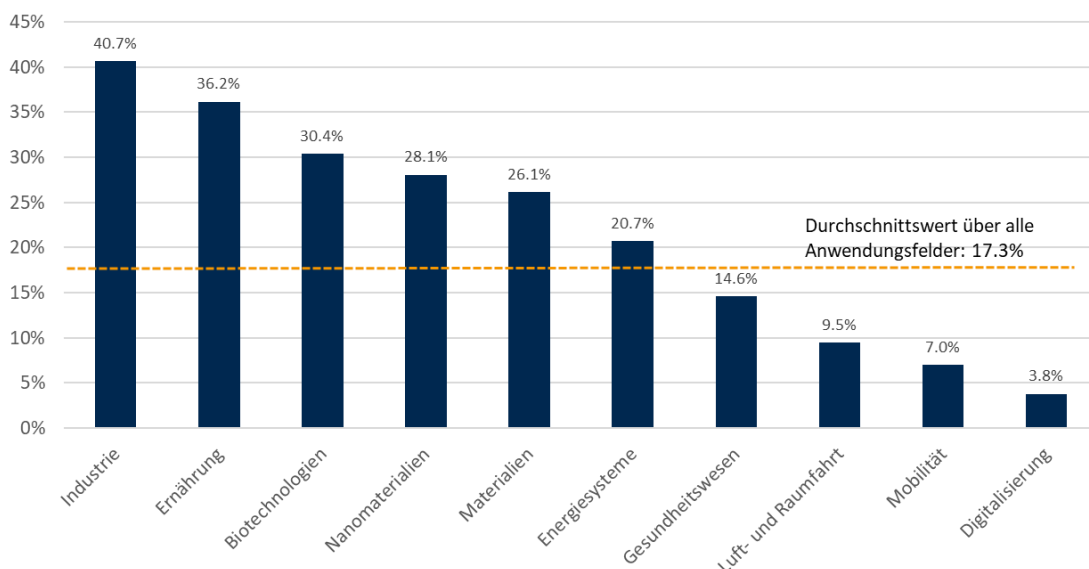
Nennenswert ist, dass die Rolle der einzelnen Prozesstechnologien für die zehn Anwendungsfelder von den Ergebnissen des vorherigen Kapitels leicht abweicht. Während über

alle Technologien hinweg die Prozesstechnologien Separieren sowie Metallverarbeitungsprozesse an der Spitze hinsichtlich der Zahl der Weltklassepatente liegen (vgl. Kapitel 2), ist bei den prozessbasierten Weltklassepatenten in den zehn Anwendungsfeldern der Bereich Prozesssteuerung und Automatisierung ganz vorne. Eine Erklärung hierfür ist der stärkere Fokus der Anwendungsfelder auf innovative Wirtschaftsbereiche mit hoher Wachstumsdynamik, in denen Prozesssteuerung und Automatisierung eine besonders wichtige Rolle spielen. Dies wird noch verstärkt dadurch, dass die Anwendungsfelder durch die 100 Zukunftstechnologien abgebildet werden, welche ebenfalls besonders auf innovative Entwicklungen in den verschiedenen Wirtschaftsbereichen fokussiert sind.

Die Bedeutung der Prozesstechnologien in den einzelnen Anwendungsfeldern fällt stark unterschiedlich aus. Eine besonders große Rolle spielen Prozesstechnologien im Bereich Industrie, in dem mehr als 40 Prozent aller Weltklassepatente auch einer Prozesstechnologie zugeordnet sind. Prozesstechnologien sind von zentraler Bedeutung für die industrielle Produktion, da die Umwandlung von Rohstoffen in Endprodukte eine Vielzahl an Prozessen erfordert (z. B. Separieren, Prozesskontrolle/Automatisierung, mechanische Prozesse, thermische Prozesse, etc.).

Abbildung 9

Anteil Prozesstechnologien an Anwendungsfeldern, Weltklassepatente 2024



Quelle: EconSight

Im Gegensatz dazu liegt der Anteil der prozessbasierten Weltklassepatente in den Bereichen Mobilität (7 Prozent) und Digitalisierung (3,8 Prozent) am tiefsten. In diesen Anwendungsfeldern stehen meist andere Technologien und Methoden im Vordergrund. Beispielsweise liegt der Hauptfokus der ausgewählten Zukunftstechnologien im Bereich Mobilität

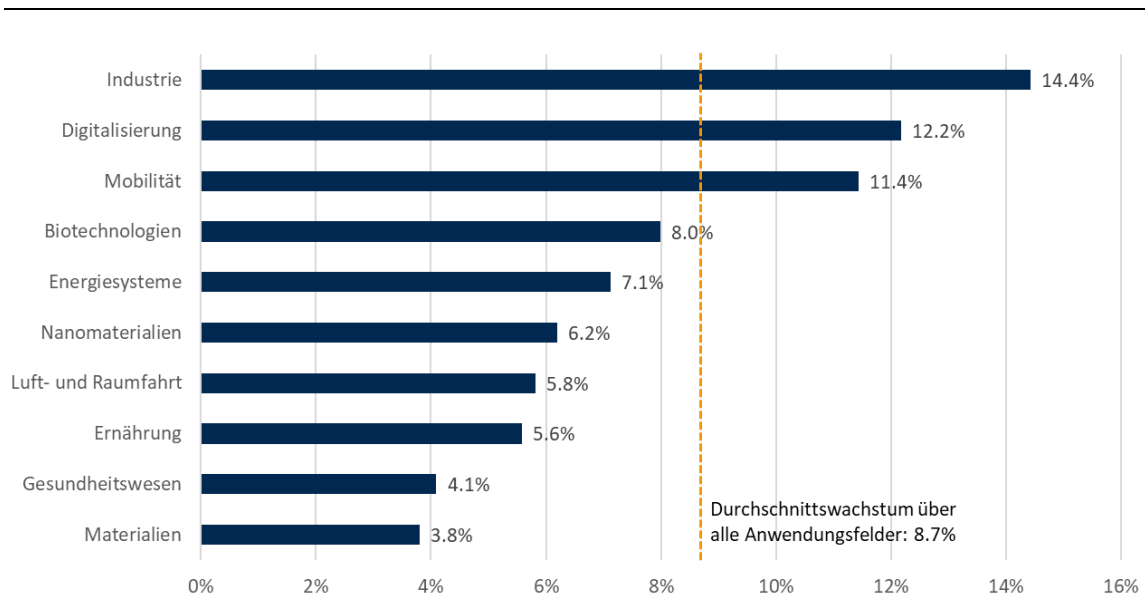
auf Themen wie Vernetzung, Smart City und autonomes Fahren. Sensorik und Softwareentwicklung sind in diesen Bereichen wichtiger als klassische Prozesstechnologien und dominieren daher die Liste der Weltklassepatente.¹²

Eine ähnliche Erklärung gibt es auch für den niedrigen Anteil prozessbasierter Weltklassepatente im Bereich Digitalisierung. Zwar kommen bei der Chipherstellung hochpräzise Fertigungsprozesse wie etwa lithografische Verfahren und Ätzen zum Einsatz. Die Kerninnovationstreiber in den meisten Digitalisierungstechnologien lauten aber Softwareentwicklung, künstliche Intelligenz und Netzwerktechnologien.

Betrachtet man die Forschungsdynamik in den letzten Jahren, zeigt sich, dass die Zahl der prozessbasierten Weltklassepatente in den Bereichen Industrie (+14,4 Prozent p. a.) und Digitalisierung (+12,2 Prozent p. a.) im Zeitraum von 2019 bis 2024 am stärksten gewachsen ist. Hohe Wachstumsraten waren auch im Anwendungsfeld Mobilität (+11,4 Prozent p. a.) im gleichen Zeitraum zu beobachten. In den beiden Bereichen Materialien (+3,8 Prozent p. a.) und Gesundheitswesen (+4,1 Prozent p. a.) war die Wachstumsdynamik in den letzten Jahren dagegen nur verhalten.

Abbildung 10

Wachstum der prozessbasierten Weltklassepatente in Anwendungsfeldern, 2019 - 2024



Quelle: EconSight

¹² vgl. Anhang für eine Liste aller Anwendungsfelder und zugehörigen Zukunftstechnologien

Die Analyse der einzelnen Prozesstechnologien in den Anwendungsfeldern zeigt, dass es teils starke Unterschiede hinsichtlich der Verteilung der verschiedenen Prozesse gibt. Biologische Prozesse sind hauptverantwortlich für den Großteil der prozessbasierten Weltklassepatente in den Bereichen Biotechnologien, Ernährung und Gesundheitswesen. Dagegen ist Prozesssteuerung/Automatisierung die klar führende Prozesstechnologie in den Bereichen Digitalisierung, Industrie und Mobilität. Es gibt auch Felder, in denen die Verteilung der Bedeutung der einzelnen Prozesstechnologien ausgewogen verteilt ist. Zu nennen sind hier etwa die Felder Materialien und Energiesysteme.

Beispiel Recyclingprozesse im Anwendungsfeld Energiesysteme

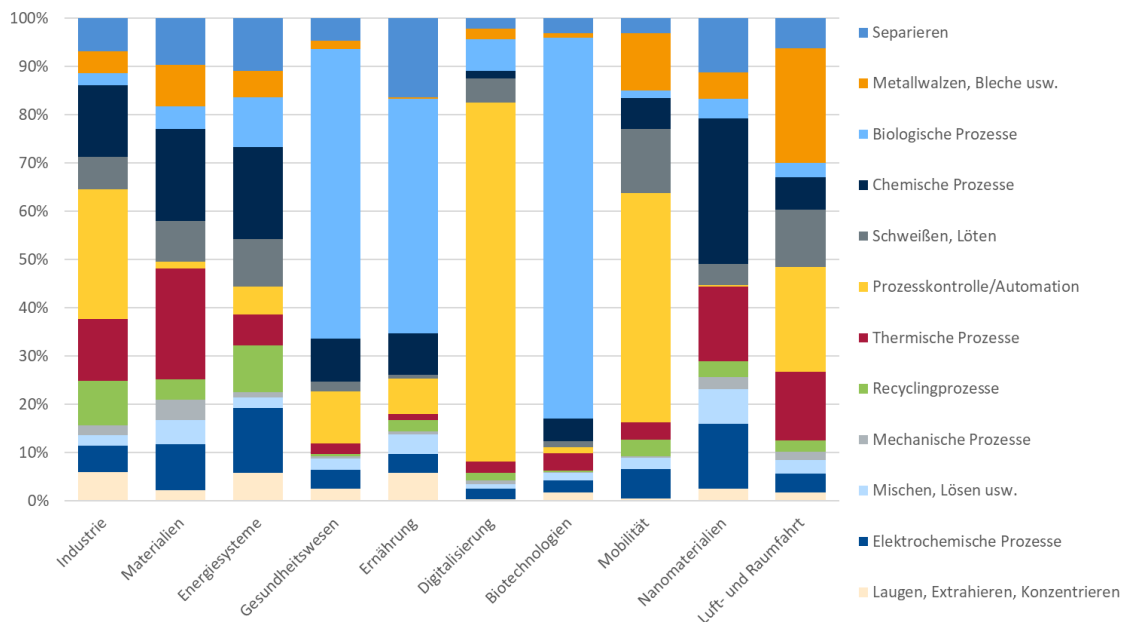
Recyclingprozesse spielen im Anwendungsfeld Energiesysteme vor allem bei der Herstellung und Entsorgung von Batterien, Brennstoffzellen und Photovoltaikmodulen eine große Rolle. Lithium-Ionen-Batterien, wie sie in Elektrofahrzeugen und stationären Energiespeichern Verwendung finden, enthalten wertvolle Metalle wie Lithium, Kobalt, Nickel und Mangan. Recyclingprozesse umfassen sowohl mechanische Verfahren (Zerkleinern, Filtern) als auch chemische Auslaugungs- und Extraktionsverfahren, um diese Materialien selektiv zu lösen und wieder aufzubereiten. Die Integration dieser Schritte ermöglicht es, die Materialien effizient zu trennen und den Materialkreislauf zu schließen.

Brennstoffzellen enthalten teure Edelmetalle (z. B. Platin) und spezifische Polymermembranen, deren Rückgewinnung mittels chemischer Prozesse (Auslaugen, Lösungsmittelbehandlung) erfolgt. Hierbei ist nicht nur die ökonomische Wiederaufbereitung, sondern auch die Umweltverträglichkeit der Verfahren von zentraler Bedeutung. Dies erfordert sorgfältig gesteuerte chemische Reaktionen, um die Materialien ohne Beschädigung der Komponenten selektiv zu isolieren.

Photovoltaikmodule, vor allem solche auf Siliziumbasis, enthalten neben Halbleitermaterialien auch Glas und Metalle. Recyclingansätze beinhalten thermische Behandlungen, um die verschiedenen Schichten zu trennen, sowie chemische Prozesse, um Verunreinigungen zu entfernen und das Silizium zu reinigen. Diese Verfahren stellen sicher, dass die wesentlichen Materialien wieder in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden können.

Abbildung 11

Rolle der einzelnen Prozesstechnologien in den Anwendungsfeldern, Anteil an Weltklassepatenten 2024



Quelle: EconSight

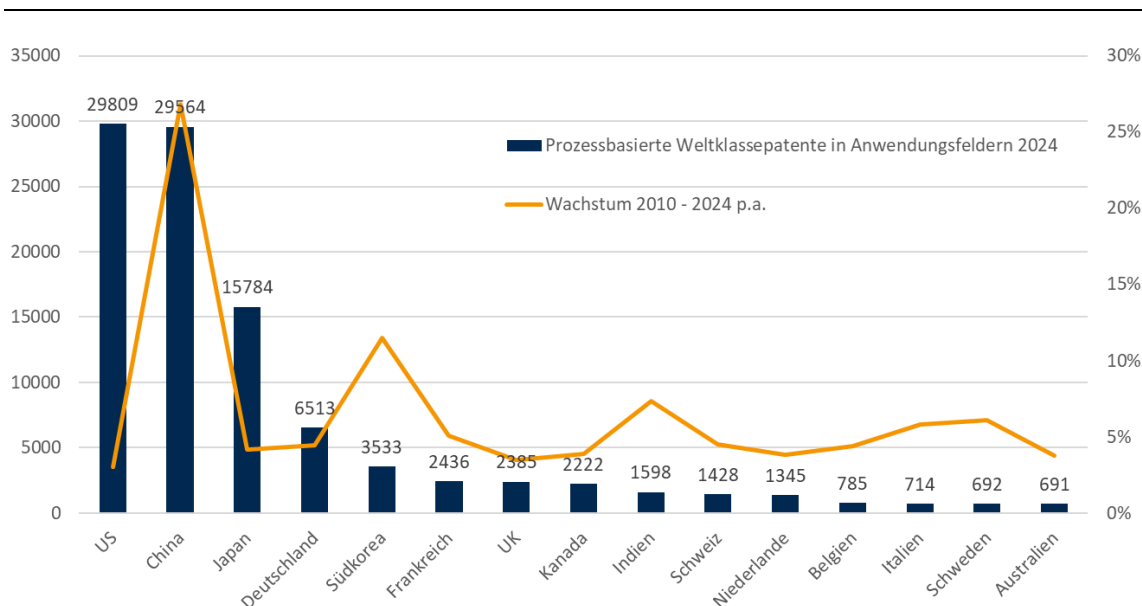
Auf internationaler Ebene verfügen die USA und China über die meisten prozessbasierten Weltklassepatente in den Anwendungsfeldern (jeweils knapp 30.000 aktive Weltklassepatente im Jahr 2024). Japan folgt auf Platz 3 (15.800) vor Deutschland (6.500) und Südkorea (3.500).

Hinsichtlich der Wachstumsraten zeigt sich erneut die hohe Wachstumsdynamik der führenden asiatischen Volkswirtschaften.

Ein Unterschied beim Fokus auf die zehn zukünftsträchtigen Anwendungsfelder ist die stärkere Forschungsposition der USA im globalen Vergleich. Während China insgesamt bereits über mehr Weltklassepatente in Prozesstechnologien verfügt als die USA, liegen die USA bei prozessbasierten Weltklassepatenten in den besonders innovativen Anwendungsfeldern noch gleichauf mit China.

Abbildung 12

Prozessbasierte Weltklassepatente in Anwendungsfeldern nach Ländern



Anzahl prozessbasierte Weltklassepatente in Anwendungsfeldern 2024 (linke Y-Achse),
Wachstum Weltklassepatente 2010 – 2024 p. a. (rechte Y-Achse)

Quelle: EconSight

Beim Blick auf die prozessbasierten Weltklassepatente in den einzelnen Anwendungsfeldern in den Top 5 Forschungsländern zeigt sich, dass die USA in den Bereichen Gesundheitswesen, Digitalisierung, Biotechnologien und Luft- und Raumfahrt mit weitem Abstand über die meisten Weltklassepatente verfügen. Auch bei (Nano-)Materialien, Energiesystemen und Mobilität verfügen die USA über die meisten Weltklassepatente, doch der Vorsprung vor China bzw. Japan ist in diesen Feldern wesentlich geringer.

Im zahlenmäßig größten Anwendungsfeld, der Industrie, ist dagegen China weit vor den USA. Unangefochten an der Spitze liegt China im Bereich Ernährung.

Die EU insgesamt stünde mit 13.173 prozessbasierten Weltklassepatenten in Anwendungsfeldern knapp hinter Japan auf Platz vier. Auffällig ist, dass neben Deutschland nur Frankreich über ein signifikantes Patentportfolio verfügt. Frankreich ist vor allem in den Bereichen Industrie (899 prozessbasierte Weltklassepatente) und Materialien (716) aktiv, den höchsten Weltanteil besitzt Frankreich aber in der Luft- und Raumfahrt (6,6 Prozent). Kein anderes EU-Land ist Teil der Top-10. Die Niederlande stehen auf Platz 11 auf einem ähnlichen Niveau wie die Schweiz; es folgen Belgien, Italien und Schweden bereits mit einem deutlichen Abstand.

Deutschland verfügt über die meisten prozessbasierten Weltklassepatente in den Feldern Industrie, Materialien und Gesundheitswesen. Den größten prozentualen Anteil an den

globalen Weltklassepatenten besitzt Deutschland allerdings im Gesundheitswesen und der Biotechnologie (Weltanteil 2024 jeweils über 11 Prozent).

Tabelle 2

Prozessbasierte Weltklassepatente in Anwendungsfeldern in den Top 5 Forschungsländern, 2024

Anwendungsfeld	USA	China	Japan	Deutschland	Südkorea
Industrie	13620	16402	7929	3069	1443
Materialien	6887	5582	4723	1787	958
Energiesysteme	4113	3382	2385	861	818
Gesundheitswesen	6868	1345	822	1169	261
Ernährung	2044	5265	1249	418	449
Digitalisierung	3762	1812	710	338	236
Biotechnologien	4616	887	374	774	114
Mobilität	1790	780	1071	309	385
Nanomaterialien	1327	1116	533	212	262
Luft- und Raumfahrt	1409	458	144	238	35

Quelle: EconSight

Das Technologieprofil für Deutschland zeigt Niveau und Dynamik und damit Stärken und Schwächen in prozessbasierten Technologien der Anwendungsfelder. Der Fokus liegt dabei auf den letzten fünf Jahren.

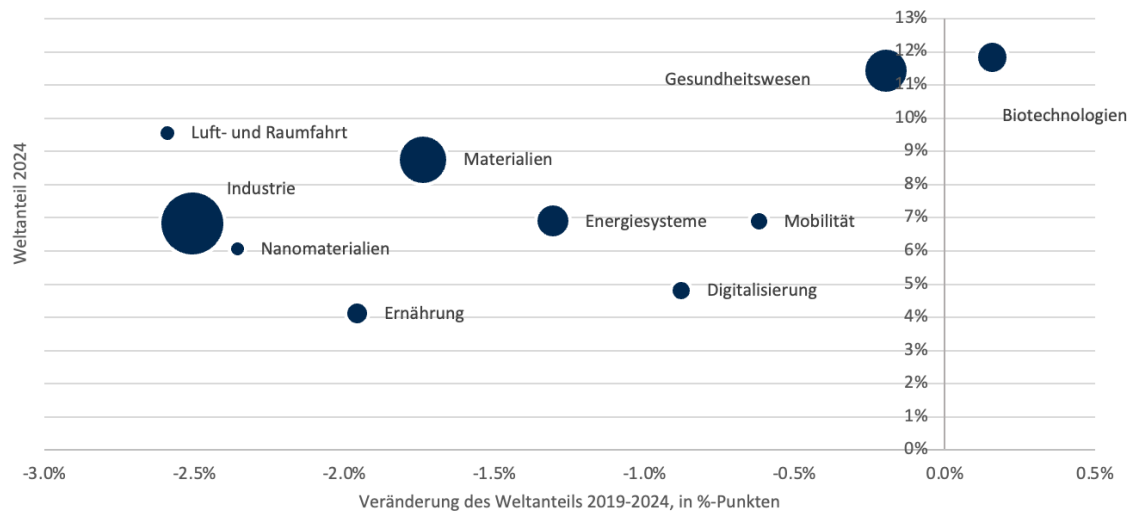
Deutschland weist die höchsten Weltanteile in den Anwendungsfeldern Biotechnologien (11,8 Prozent) und Gesundheit (11,4 Prozent) auf. In den Biotechnologien konnte Deutschland seinen Weltanteil in den letzten fünf Jahren weiter ausbauen, während er im Gesundheitswesen leicht rückläufig war. Hohe Weltanteile hat Deutschland weiterhin in der Luft- und Raumfahrt (9,6 Prozent) und den Materialien (8,8 Prozent). Etwas tiefer liegen Energiesysteme (6,9 Prozent), Mobilität (6,9 Prozent) und die Industrie (6,8 Prozent). Allerdings ist der Weltanteil in allen Anwendungsfeldern mit Ausnahme der Biotechnologien rückläufig.

Bezogen auf die Anzahl der prozessbasierten Weltklassepatenten sind die Industrie (3.069 Weltklassepatente), die Materialien (1.787) und das Gesundheitswesen (1.169) die wichtigsten Anwendungsfelder in Deutschland. Allerdings hat der deutsche Weltanteil in der

Industrie im Zeitraum 2019 bis 2024 um 2,5 Prozentpunkte (von 9,3 Prozent auf 6,8 Prozent) deutlich abgenommen. In den Materialien ist der Weltanteil um 1,7 Prozentpunkte gesunken.

Abbildung 13

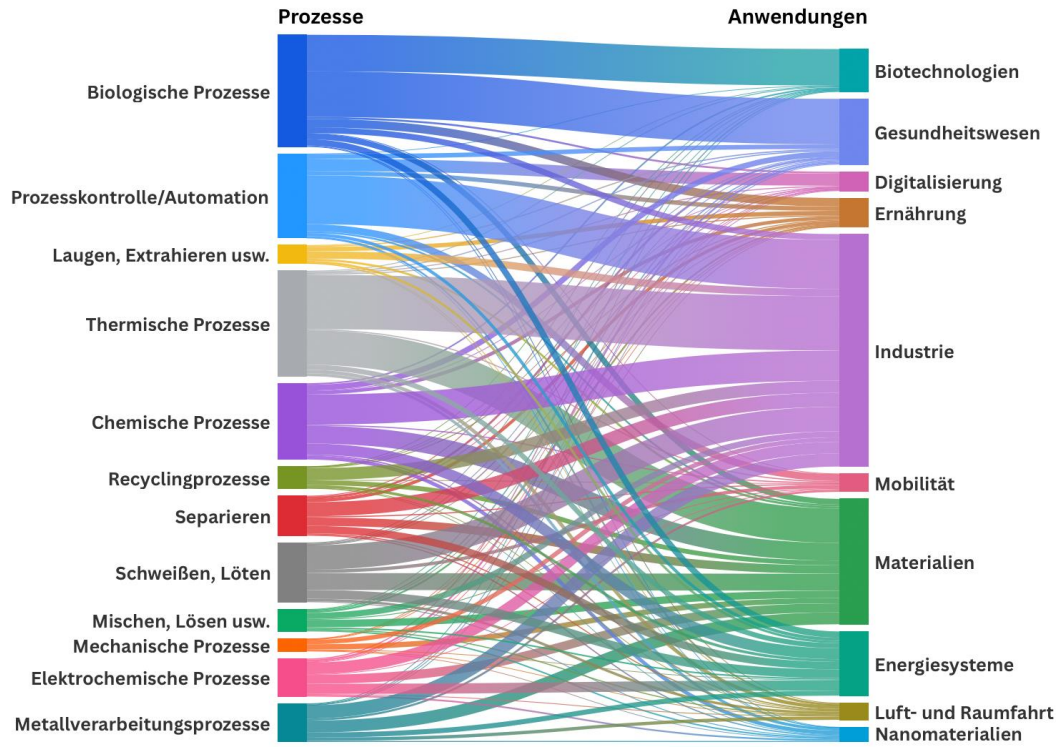
Technologieprofil Deutschland für Prozesstechnologien in Anwendungsfeldern



Quelle: EconSight

Das folgende Sankey-Diagramm zeigt, die Bedeutung der Prozesse für die einzelnen Anwendungsfelder in Deutschland. Es zeigt sich, dass biologische Prozesse in erster Linie in den Anwendungsfeldern Biotechnologien und Gesundheitswesen genutzt werden. Prozesskontrolle/Automation sowie thermische Prozesse sind vor allem für Industrieanwendungen relevant. Thermische Prozesse sind auch bedeutend für Prozesse im Anwendungsfeld Materialien.

Abbildung 14
 Sankey-Chart Deutschland für Prozesstechnologien in Anwendungsfeldern,
 Weltklassepatente 2024



Das Sankey-Diagramm zeigt die inhaltlichen Überschneidungen zwischen Prozessen und Anwendungen in den Weltklassepatenten 2024. Je breiter der Mengenstrom zwischen Prozessen und Anwendungen, desto grösser ist die Zahl der Weltklassepatente, welche beiden Kategorien zugeordnet sind.

Quelle: EconSight

3.2 Bayerische Trends

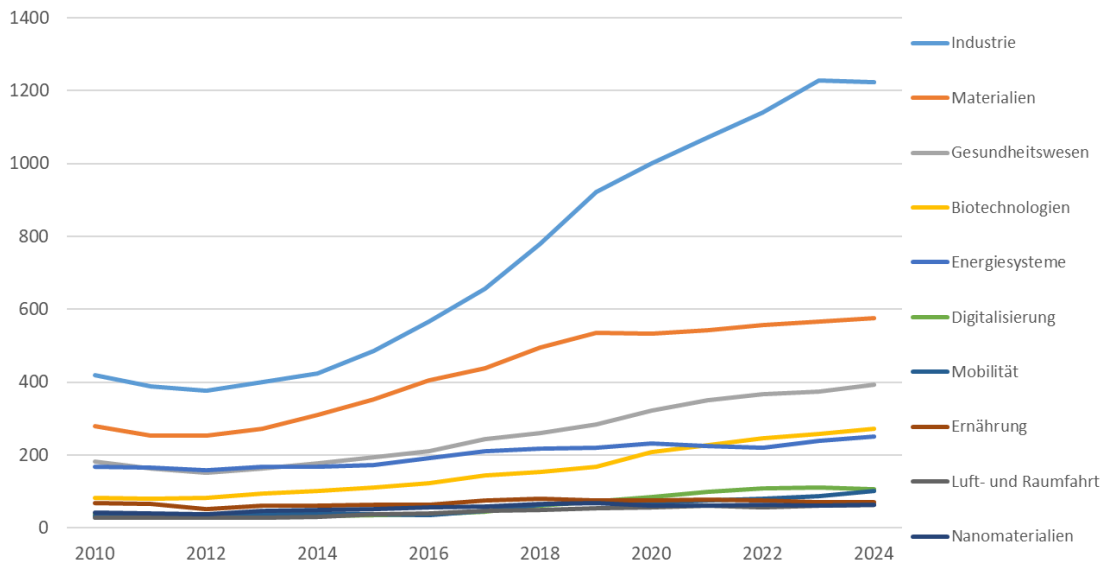
Zwischen 2010 und 2024 ist der bayerische Bestand an prozessbasierten Weltklassepatenten in den zehn Anwendungsfeldern von rund 1.000 auf über 2.200 Stück gestiegen. Damit lag der Weltanteil Bayerns an den prozessbasierten Weltklassepatenten in den Anwendungsfeldern im Jahr 2024 bei 2,5 Prozent und somit etwas höher als der bayerische Anteil an allen Weltklassepatenten in Prozesstechnologien (2,2 Prozent, vgl. Kapitel 2.2)

Auf Ebene der Anwendungsfelder sind in Bayern, wie auch weltweit, die Felder Industrie und Materialien die, gemessen an den Weltklassepatenten, wichtigsten Bereiche. Ganz vorne liegt das Anwendungsfeld Industrie mit über 1.200 aktiven prozessbasierten Weltklassepatenten aus Bayern im Jahr 2024. Das sind mehr als doppelt so viele wie im zweitgrößten Feld Materialien.

Hinsichtlich der Wachstumsdynamik belegen die Felder Biotechnologie, Digitalisierung, Mobilität und Industrie die Spitzenpositionen. In diesen Feldern ist die Zahl der prozessbasierten Weltklassepatente in Prozesstechnologien aus Bayern seit 2010 jeweils zwischen 8 bis 9 Prozent pro Jahr gestiegen.

Abbildung 15

Entwicklung prozessbasierte Weltklassepatente in Anwendungsfeldern, 2010 - 2024



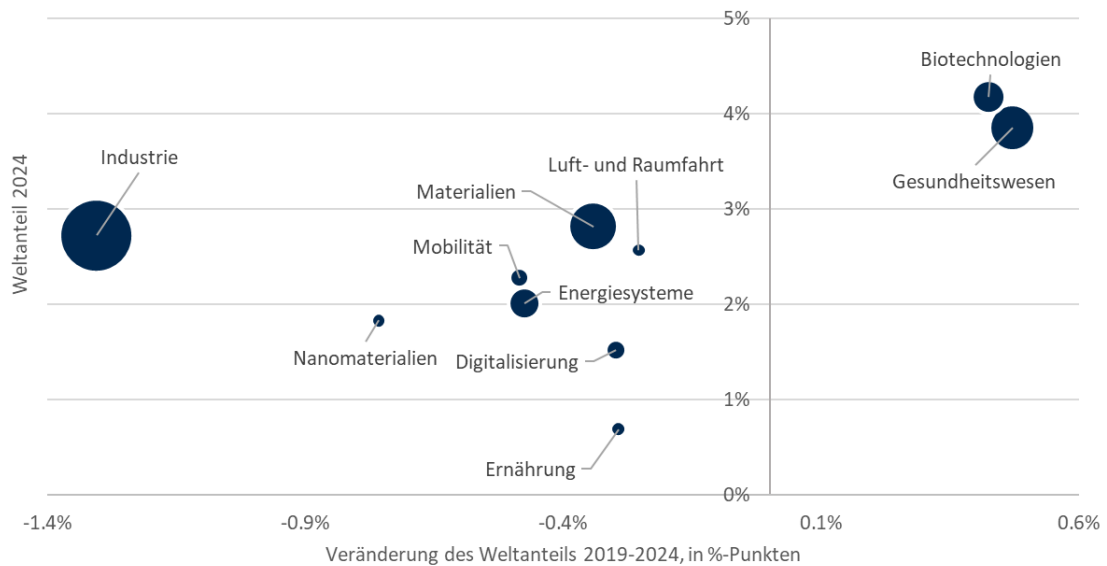
Quelle: EconSight

Das Technologieprofil für Bayern gibt einen Überblick über die technologischen Stärken und Schwächen in prozessbasierten Technologien der Anwendungsfelder. Als Analysezeitraum für die Technologieprofile wurde der Zeitraum 2019 bis 2024 gewählt. Der Fokus liegt somit auf der Entwicklung der Forschungsaktivität am aktuellen Rand.

Bayern verfügt über eine starke Forschungsposition in Prozesstechnologien der Anwendungsfelder Biotechnologien und Gesundheitswesen. Bei den Biotechnologien lag der bayerische Weltanteil an den globalen prozessbasierten Weltklassepatenten bei über 4 Prozent, im Gesundheitswesen fast ebenso hoch. Zudem konnte Bayern seinen Weltanteil in diesen beiden Feldern seit 2019 weiter ausbauen. Dies gelang ansonsten in keinem anderen Anwendungsfeld.

In Bezug auf die absolute Zahl an prozessbasierten Weltklassepatenten ist das Anwendungsfeld Industrie bei weitem das wichtigste in Bayern. Allerdings ist der bayerische Weltanteil hier im Zeitraum von 2019 bis 2024 um 1,3 Prozentpunkte (4,0 auf 2,7 Prozent) gesunken.

Abbildung 16
Technologieprofil Bayern für Prozesstechnologien in Anwendungsfeldern

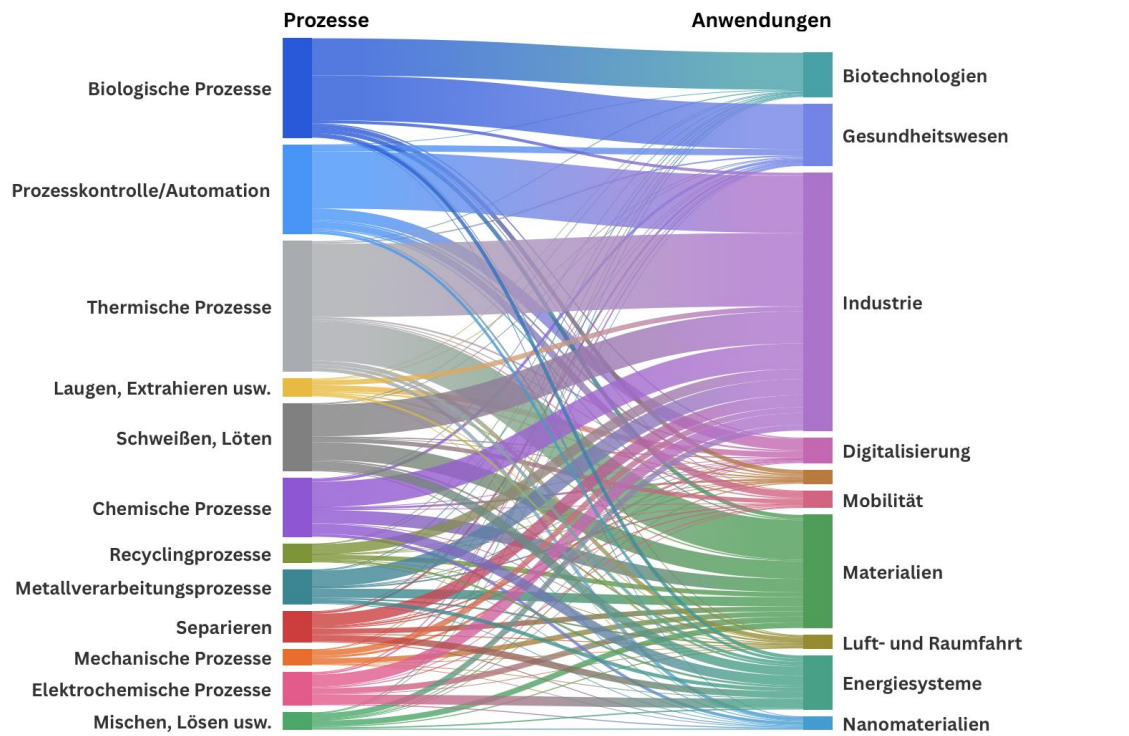


Quelle: EconSight

Das folgende Sankey-Diagramm zeigt, welche Prozesse für die bayerischen Weltklassepatente in den einzelnen Anwendungsfeldern von zentraler Bedeutung sind. Beispielsweise werden biologische Prozesse hauptsächlich in den Anwendungsfeldern Biotechnologien und Gesundheitswesen genutzt (z. B. bei der Entwicklung von Medikamenten) und sind auch für den Großteil der prozessbasierten Weltklassepatente in diesen beiden Feldern verantwortlich. Prozesskontrolle und Automation spielen dagegen vor allem im Anwendungsbereich Industrie eine Hauptrolle. Daneben sind aber auch thermische Prozesse, Schweißen/Löten und chemische Prozesse wichtige Prozesskategorien innerhalb des Anwendungsbereichs Industrie. Thermische Prozesse sind auch ein zentraler Prozess innerhalb des Anwendungsfeldes Materialien.

Abbildung 17

Sankey-Chart Bayern für Prozesstechnologien in Anwendungsfeldern, Weltklassepatente 2024



Das Sankey-Diagramm zeigt die inhaltlichen Überschneidungen zwischen Prozessen und Anwendungen in den Weltklassepatenten 2024. Je breiter der Mengenstrom zwischen Prozessen und Anwendungen, desto grösser ist die Zahl der Weltklassepatente, welche beiden Kategorien zugeordnet sind.

Quelle: EconSight

Auf Unternehmensebene verfügen Siemens und Roche über die umfangreichsten Weltklasse-Forschungsaktivitäten in Prozesstechnologien in Bayern. Siemens ist das Top-Forschungsunternehmen in Bayern im Anwendungsfeld Industrie, Roche ist klar führend bei prozessbasierten Technologien in den Feldern Gesundheitswesen und Biotechnologien.

4 Deep Dive: Prozesse in der Bioökonomie

Proteine und Zucker sind die wichtigsten Inputmaterialien für bioökonomische Prozesse, Recycling nimmt stark an Bedeutung zu

Ein, im industriellen Kontext, noch vergleichsweise junges Feld ist die Bioökonomie. Sie bezeichnet ein Wirtschaftskonzept, das auf der nachhaltigen Nutzung biogener Ressourcen basiert. Wichtiges Ziel ist die Schaffung einer Kreislaufwirtschaft, die durch die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen ökologische und ökonomische Ziele verbindet.

Die große Herausforderung bei der Umsetzung der Bioökonomie ist der Ersatz fossiler Rohstoffe durch nachwachsende biogene Rohstoffe und damit eine umweltverträglichere und klimaneutrale Wirtschaftsweise. Unterschiedliche Ausgangsstoffe werden in der Wirtschaft in verschiedensten Prozessen zu Wertstoffen verarbeitet, die wiederum in verschiedenen Branchen verwendet werden. Eine zentrale Rolle spielen somit auch in der Bioökonomie innovative Prozesstechnologien, welche es ermöglichen, mit biogenen Rohstoffen qualitativ hochwertige und preislich wettbewerbsfähige Produkte zu erstellen. Beispielsweise helfen sie, biogene Rohstoffe wie Pflanzen oder Abfälle aufzubereiten und zu verwerten, zum Beispiel durch Fermentation, und bieten effiziente Umwandlungsmethoden, um Biokraftstoffe, -chemikalien oder -materialien herzustellen. Wer in den Verfahrenstechnologien über eine hohe Kompetenz verfügt, hat also gute Ausgangsbedingungen.

Die Bioökonomie umfasst grundsätzlich die gesamte Wertschöpfungskette von der Produktion und Verarbeitung biologischer Rohstoffe bis hin zur Nutzung und Verwertung biologisch abbaubarer Produkte. In dieser Studie konzentrieren wir uns auf die weiterverarbeitenden Aspekte der Bioökonomie. Wir analysieren ab den primär genutzten Inhaltsstoffen die weiteren Verarbeitungsprozesse und die daraus entstehenden Produktströme. Anders als in der Studie „Holzbasierte Bioökonomie“¹³ aus dem Jahr 2023 klammern wir die reine Entstehung biogener Stoffe aus, d. h. wir betrachten nicht die Technologien bis zu ihrer Entstehung und klammern daher Dünger, Landwirtschaftstechnik, Samen und Pflanzen, die Agrochemie oder die Waldwirtschaft aus. Wir analysieren dagegen ab dem biogenen Stoff und betrachten die Wertschöpfung und Verarbeitungstechnologie ab der Zuckerrübe, Weizen, der Cellulose oder den Stoffen, die direkt wieder aus der Verarbeitung der Nahrungsmittel entstehen (z. B. Biertreber), um zu verstehen, wie und wozu diese weiterverarbeitet werden.

Um für die Bioökonomie relevante Prozesse analysieren zu können, wurden die in Kapitel 2 definierten Prozesstechnologien mit den wichtigsten Inputmaterialien/-rohstoffen verknüpft. Neben biogenen Materialien und Rohstoffen wurden auf der Inputseite auch Recyclingstoffe verschiedenen Ursprungs berücksichtigt, da diese durch Recyclingprozesse gewonnen und ebenfalls als Inputmaterialien genutzt werden können. Diese sind zwar

¹³ vbw (2023)

nicht zwangsläufig immer natürlichen Ursprungs, aber spielen eine immer größere Rolle im Kohlenstoffkreislauf (z. B. Polymervergasung als Rohstoffquelle für Treibstoffe oder neue Polymere). Zu den Rohstoffquellen der Natur zählen wir auch CO₂, welches vermutlich das größte Nutzungspotenzial aufweist, allerdings erst seit wenigen Jahren auch erschlossen werden kann (z. B. entweder durch CO₂-Abscheidung bei der Verbrennung fossiler Energieträger in Kraftwerken oder bei industriellen Prozessen oder durch Direct Air Capture, d. h. Gewinnung von CO₂ aus der Umgebungsluft). Insgesamt wurden somit folgende Inputfaktoren berücksichtigt:

Inputmaterialien/-rohstoffe für die Bioökonomie

Bioökonomie-Rohstoffe

- Zucker, Saccharide, Alginate, Lactide, Stärken (z. B. Zuckerrohr, Zuckerrüben, Mais, Getreide usw.)
- Glyceride, Öle, Fett, Fettsäuren, Lipide, Wachse
- Proteine, Peptide, Aminosäuren, Molke, Casein, Gelatine
- Biomasse, Bio-Feedstock, Natur- und Lebensmittelabfälle
- Zellulose, Lignin

Kohlendioxid (CO₂) verschiedenen Ursprungs

Recyclingstoffe verschiedenen Ursprungs

Für die Verknüpfung von Inputmaterialien und Prozesstechnologien im Bereich der Bioökonomie wurde erneut die Eigenschaft genutzt, dass Patente häufig mehr als eine Technologieinformation tragen (vgl. Kapitel 3). Es wurden daher sämtliche Weltklassepatente an der Schnittstelle zwischen Inputmaterialien und Prozesstechnologien identifiziert, d. h. Patente, welche aufgrund ihres Inhalts sowohl mindestens einem biogenen Inputmaterial bzw. einer Recyclingtechnologie als auch mindestens einer Prozesstechnologie zugeordnet sind.

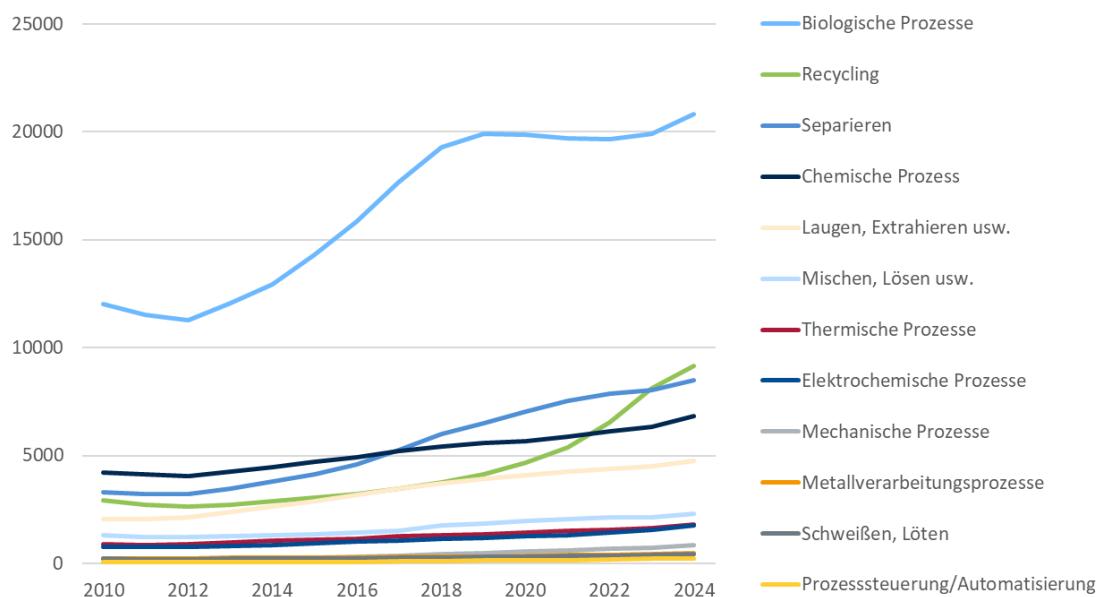
4.1 Globale Trends in den bioökonomischen Prozesstechnologien

Betrachtet man die in der Bioökonomie wichtigsten Prozesstechnologien, liegen die biologischen Prozesse unangefochten an der Spitze. Dies ist nachvollziehbar, da die biologische Prozessierung gerade in der Nahrungsmittelindustrie seit jeher ein wichtiger Anwendungszweig der Bioökonomie ist. Zudem werden biologische Prozesse auch und vermehrt in der Pharmaindustrie zur Entwicklung und Herstellung von neuartigen Medikamenten eingesetzt (vgl. Kapitel 4.3). Seit 2010 hat sich die Zahl der Weltklassepatente in dieser Technologie im Rahmen der Bioökonomie von rund 12.000 auf fast 21.000 erhöht. Nachdem die Zahl der Weltklassepatente zwischen 2018 und 2023 stagnierte, war 2024 wieder ein deutlicher Anstieg der Forschungsaktivitäten im Bereich der biologischen Prozesse zu beobachten.

Weitere wichtige bioökonomische Prozesstechnologien sind Recycling mit weltweit über 9.100 Weltklassepatenten im Jahr 2024, Separieren mit knapp 8.500 Weltklassepatenten, sowie chemische Prozesse mit rund 6.800 Weltklassepatenten.

Abbildung 18

Entwicklung globale Weltklassepatente in bioökonomischen Prozessen, 2010 - 2024



Quelle: EconSight

Bei der Forschungsdynamik sticht die Prozesssteuerung und Automatisierung mit einem Wachstum von über 11 Prozent pro Jahr seit 2010 hervor. Einschränkend ist aber festzuhalten, dass die Zahl der Weltklassepatente im Bereich der Prozesssteuerung und Automatisierung in der Bioökonomie immer noch sehr klein ausfällt. Im Jahr 2024 gab es nur 219 aktive Weltklassepatente in dieser Technologie. Die Digitalisierung scheint somit bei bioökonomischen Prozessen eine (noch) untergeordnete Rolle zu spielen. Ebenfalls eine hohe Wachstumsdynamik ist bei Recyclingprozessen sowie mechanischen Prozessen (Zerkleinern, Schleifen usw.) zu beobachten.

In Bezug auf thermische Prozesse (Sintern, Strangpressen usw.) sowie Metallverarbeitungsprozesse ist festzuhalten, dass diese Prozesse im Rahmen der Bioökonomie vor allem auf Inputmaterialien aus Recyclingaktivitäten zurückgreifen. Damit unterscheiden sie sich von den anderen Prozessen, welche als Inputrohstoffe stark auf Zucker, Proteine, Fette oder CO₂ setzen.

Insgesamt hat sich die Zahl der aktiven Weltklassepatente in bioökonomischen Prozesstechnologien zwischen 2010 und 2024 von rund 23.000 auf knapp 46.000 etwa verdoppelt, ein Wachstum um durchschnittlich 4,9 Prozent pro Jahr. Damit lag das Wachstum etwas

unter dem Wachstum der gesamten Prozesstechnologien weltweit von über sechs Prozent pro Jahr (vgl. Kapitel 2).

Beispiel biologische Prozesse: Bioreaktoren / Fermentierung

Die Fermentation ist eine der bedeutendsten biologischen Prozesstechnologien, welche in zahlreichen Industriebereichen eingesetzt wird.¹⁴ Bei diesem Verfahren werden Mikroorganismen wie Bakterien, Hefen oder Pilze als organische Substrate genutzt, um eine Vielzahl von Produkten herzustellen – darunter Antibiotika, Biokraftstoffe, Lebensmittelzusätze und Biokunststoffe. Der Prozess wird in Bioreaktoren durchgeführt, die eine präzise Kontrolle von Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffzufuhr und weiteren Parametern ermöglichen. Je nach Anwendungsfall kommen verschiedene Fermentationsarten zum Einsatz, etwa die Batch-Fermentation, bei der die gesamte Reaktion in einem geschlossenen System abläuft, oder die kontinuierliche Fermentation, die durchgehend Substrate zuführt und Produkte entnimmt, um eine höhere Effizienz zu erzielen.

Die Fermentation spielt eine Schlüsselrolle in der Pharmaindustrie, insbesondere bei der Produktion von Biopharmazeutika wie Insulin, monoklonalen Antikörpern und Impfstoffen. Auch in der Lebensmittelindustrie hat die Fermentation einen festen Platz, sei es bei der Herstellung von Joghurt, Käse, Bier oder Fleischersatzprodukten. In der Energie- und Rohstoffproduktion ermöglicht sie die Herstellung von Biokraftstoffen wie Ethanol sowie von biobasierten Kunststoffen, etwa Polylactiden (PLA), die kompostierbar sind. Ein weiterer wichtiger Einsatzbereich ist die Umwelttechnologie, bei der Fermentation zur Abwasserbehandlung oder zur Verwertung organischer Abfälle eingesetzt wird.

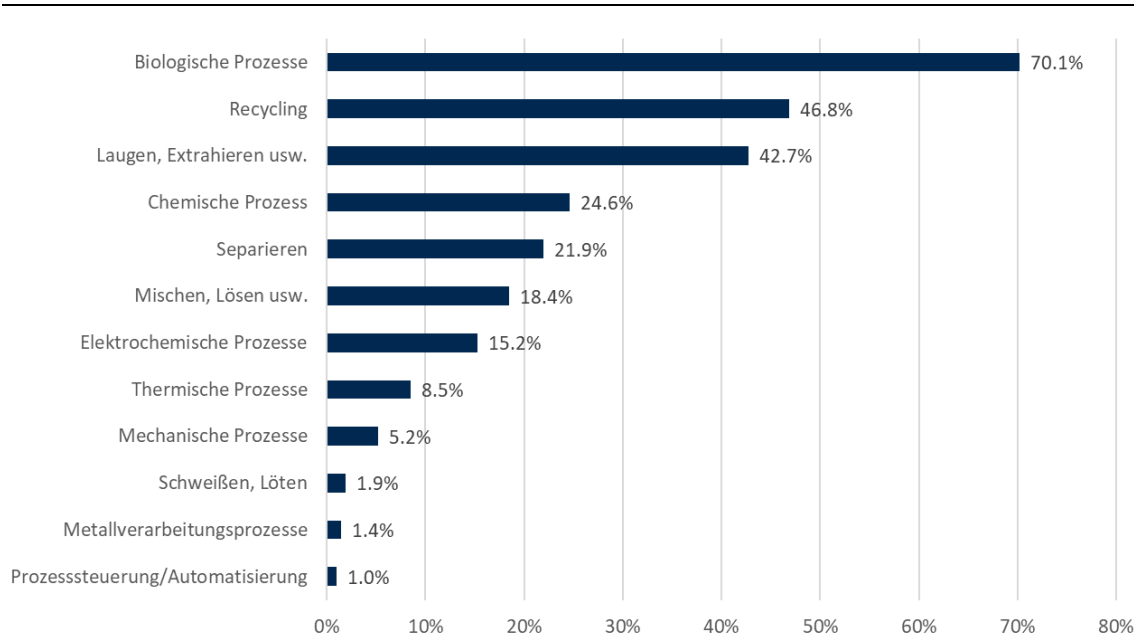
Die Bedeutung der Fermentation wächst, vor allem im Kontext der Bioökonomie und der Kreislaufwirtschaft. Sie bietet eine nachhaltige Alternative zu petrochemischen Prozessen, da nachwachsende Rohstoffe oder Reststoffe als Ausgangsmaterial verwendet werden können. Zudem wird die Umwandlung von CO₂ durch Mikroorganismen zu nützlichen Produkten wie Kunststoffen oder Kraftstoffen intensiv erforscht. Dies hat das Potenzial, eine zentrale Rolle in der Reduzierung von Treibhausgasen und der Schaffung nachhaltiger Produktionssysteme einzunehmen.

Die folgende Abbildung zeigt, in welchen Prozessen bioökonomische Prozesse eine entscheidende Rolle spielen. Dabei ragen biologische Prozesse, Recyclingprozesse sowie Laugen/Extrahieren usw. heraus. Bei den biologischen Prozessen besteht bei rund 70 Prozent der aktiven Weltklassepatente im Jahr 2024 eine inhaltliche Verknüpfung mit bioökonomischen Inputmaterialien/-rohstoffen, bei den Recyclingprozessen liegt der Anteil bei knapp 47 Prozent und beim Prozess Laugen/Extrahieren usw. bei knapp 43 Prozent.

¹⁴ BMBF (2021)

Abbildung 19

Anteil bioökonomische Prozesse an den gesamten Prozessen, Weltklassepatente 2024



Quelle: EconSight

Hinsichtlich der Patententwicklung auf der Seite der bioökonomischen Inputmaterialien, welche in Prozesstechnologien verarbeitet werden, zeigt sich eine überdurchschnittlich hohe Forschungsdynamik bei drei Inputmaterialien: Recyclingstoffe, CO₂ und Bio-masse/Bio-Feedstock. Zwischen 2010 und 2024 hat sich die weltweite Zahl der Weltklassepatente in der Bioökonomie mit Bezug zu Recyclingstoffen von knapp 2.000 auf rund 6.600 Stück mehr als verdreifacht. Beispielsweise dienen Recyclingstoffe als Quelle für zahlreiche chemische Prozesse oder werden auch für die Metallverarbeitung genutzt. Bei der Nutzung von CO₂ als Input für Produktionsprozesse sind chemische Prozesse als wichtiger Abnehmer zu nennen. Die Zahl der auf CO₂ als Input basierenden Weltklassepatente in der Bioökonomie stieg von 2.500 auf über 7.000 seit 2010. Auch die Zahl der Weltklassepatente mit Bezug zu Biomasse/Bio-Feedstock usw. als Inputmaterial ist stark gestiegen – von 1.600 auf knapp 5.400.

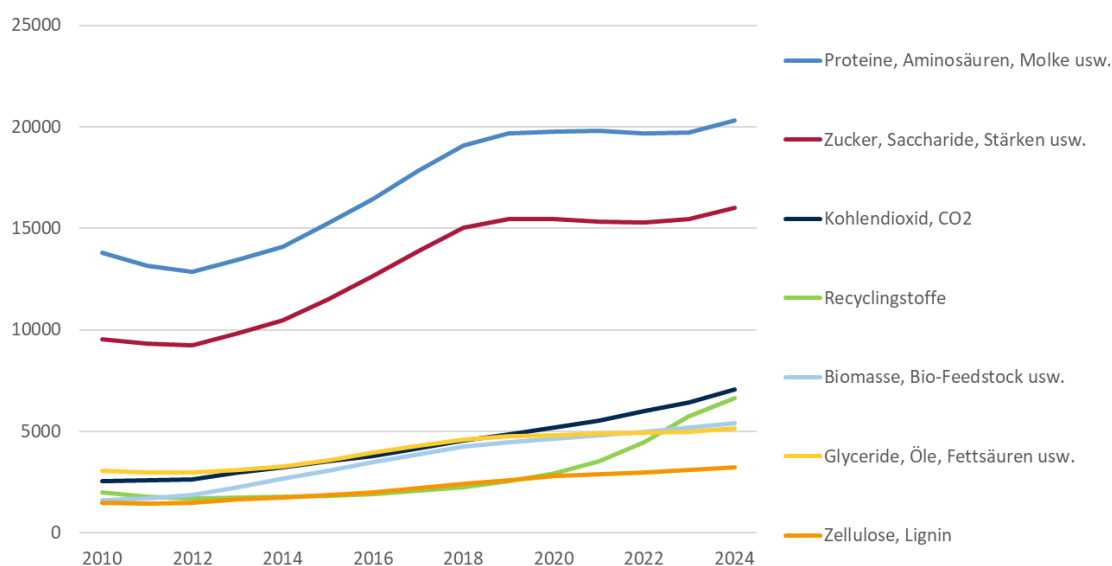
Dagegen stagnierte zwischen 2018 und 2023 weltweit die Zahl der Weltklassepatente in den beiden großen Bereichen Proteine und Zucker und erst 2024 war wieder eine positive Dynamik zu beobachten. Der Interessenskonflikt zwischen der Nutzung landwirtschaftlicher Ressourcen für Nahrung oder für die Produktion von z. B. Biokraftstoffen und Industrieprodukten könnte bezüglich dieser Wachstumsschwäche eine Rolle spielen (*Teller-vs.-Tank-Debatte*).¹⁵ Der verstärkte Fokus auf soziale Aspekte in der Bioökonomie könnte dazu

¹⁵ Jeswani et al. (2020)

beitragen haben, dass das Interesse an der Nutzung von Zucker in der Bioökonomie etwas nachgelassen hat.

Abbildung 20

Entwicklung Weltklassepatente bioökonomische Inputrohstoffe, 2010-2024

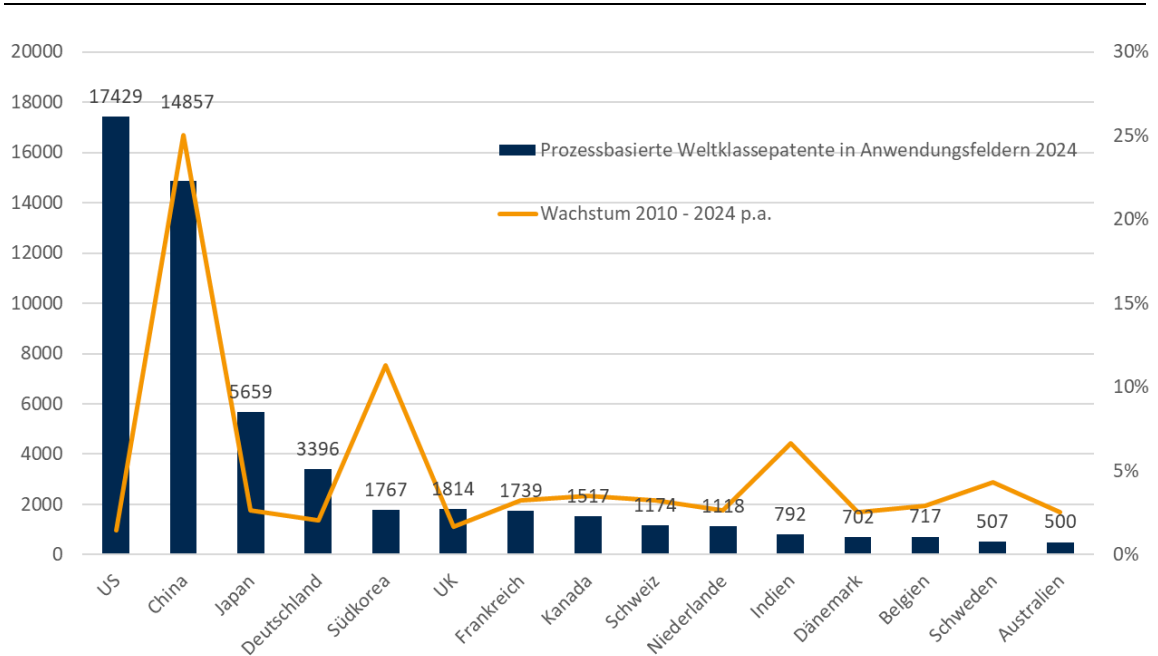


Quelle: EconSight

Auf Länderebene verfügten 2024 die USA mit fast 17.500 Stück über die meisten Weltklassepatente in bioökonomischen Prozesstechnologien. China (14.900), Japan (5.700), Deutschland (3.400) und Südkorea (1.800) folgen auf den weiteren Plätzen. In Deutschland entfallen mehr als die Hälfte der deutschen Weltklassepatente innerhalb der prozessbasierten Bioökonomie auf biologische Prozesse. Weitere wichtige deutsche Forschungsschwerpunkte sind Separierungsprozesse und chemische Prozesse.

Abbildung 21

Prozessbasierte Weltklassepatente in der Bioökonomie nach Ländern



Anzahl prozessbasierte Weltklassepatente in der Bioökonomie 2024 (linke Y-Achse),
Wachstum Weltklassepatente 2010 – 2024 p. a. (rechte Y-Achse)

Quelle: EconSight

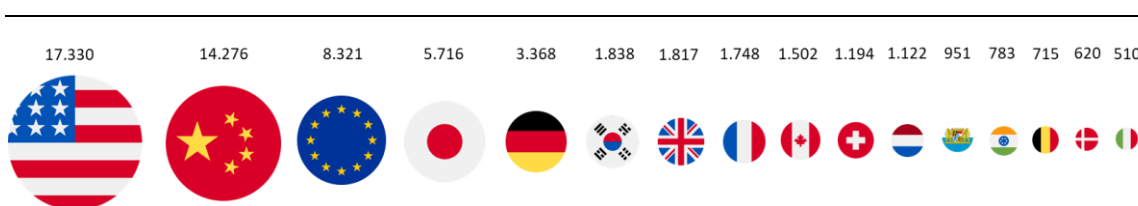
Gemessen an den Weltklassepatenten verfügen auf Ebene der Unternehmen bzw. Forschungsinstitutionen die Chinese Academy of Sciences, Roche, Bayer, BASF, International Flavors and Fragrances, und Novonosis weltweit über die umfangreichsten Spitzenforschungsaktivitäten in der prozessbasierten Bioökonomie. In Deutschland sind BASF, Roche und Evonik die Top-Forschungsunternehmen.

4.2 Bayerische Trends in den bioökonomischen Prozesstechnologien

In Bayern sind die Weltklassepatente in bioökonomischen Prozesstechnologien seit 2010 von 668 auf 951 gestiegen. Damit lag das Wachstumstempo mit 2,6 Prozent pro Jahr unter dem globalen Wachstumsdurchschnitt (+4,9 Prozent pro Jahr). Wäre Bayern ein Land, würde es in Bezug auf die Zahl der Weltklassepatente mit einem Weltanteil von 2,1 Prozent weltweit auf dem elften Rang liegen.

Abbildung 22

Weltklassepatente in bioökonomischen Prozessen nach Ländern, 2024



Die Zahl der bayerischen Weltklassepatente ist auch in Deutschland enthalten.

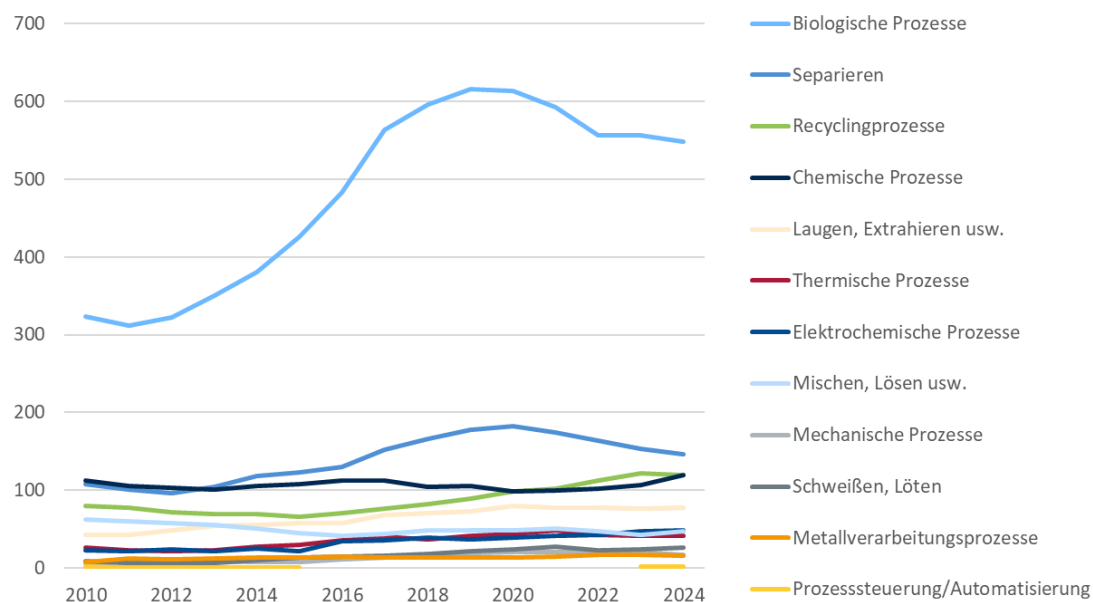
Quelle: EconSight

Die wichtigste einzelne Prozesstechnologie sind biologische Prozesse (wie z. B. Fermentation/Bioreaktoren, Zellkultivierung usw.). Hier sind die Weltklassepatente seit 2010 von rund 320 auf fast 550 gewachsen. Die zweitgrößte bioökonomische Prozesstechnologie in Bayern ist Separieren (z. B. Abtrennen, Filtern, Destillieren usw.) in der sich der Weltklassepatentbestand zwischen 2010 und 2024 von 108 auf 146 erhöht hat. Allerdings erreichte der Patentbestand in diesen beiden Prozesstechnologien in den Jahren 2019 und 2020 einen vorläufigen Höhepunkt; seitdem sind die Patentzahlen rückläufig.

Ein hohes Patentwachstum war hingegen bei der bioökonomischen Prozesstechnologie Schweißen/Löten usw. zu verzeichnen mit einem Anstieg der Weltklassepatente von 9 auf 26 im gleichen Zeitraum (+ 7,9 Prozent pro Jahr). In dieser bioökonomischen Prozesstechnologie verfügt Bayern zudem über den größten Anteil an den weltweiten Weltklassepatenten (6,1 Prozent im Jahr 2024).

Abbildung 23

Entwicklung Weltklassepatente aus Bayern in bioökonomischen Prozesstechnologien, 2010 - 2024

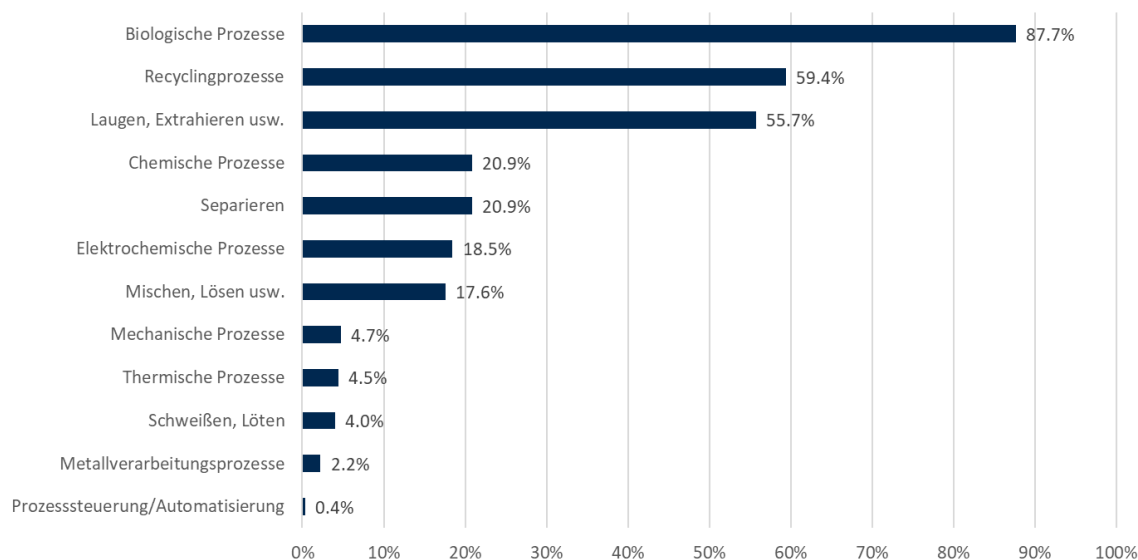


Quelle: EconSight

Hinsichtlich der Bedeutung der Bioökonomie in den verschiedenen Prozesstechnologien zeigt sich in Bayern grundsätzlich ein ähnliches Bild wie im globalen Vergleich. Auch in Bayern spielt die Bioökonomie vor allem bei den biologischen Prozessen, Recyclingprozessen und der Prozesstechnologie Auslaugen, Extrahieren usw. eine sehr wichtige Rolle. Der jeweilige Anteil ist in Bayern allerdings nochmals höher als im globalen Vergleich. Dies zeigt die hohe Relevanz der Bioökonomie in Bayern. Es gibt dagegen fast keine Weltklassepatente aus Bayern in der Prozesssteuerung/-automatisierung, welche inhaltlich mit bioökonomischen Inputmaterialien verknüpft sind.

Abbildung 24

Anteil bioökonomische Prozesse an den gesamten Prozessen in Bayern, Weltklassepatente 2024



Quelle: EconSight

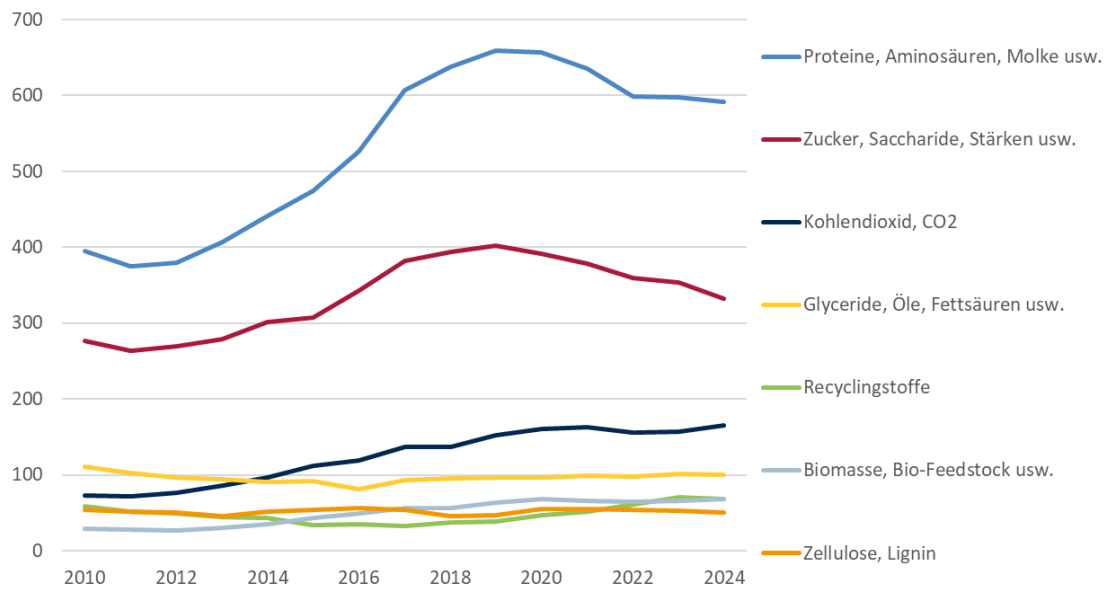
Proteine (z. B. Raps, Brauereiabfälle wie Birtreber, tierische und pflanzliche Zellkulturen, Mikroorganismen (z. B. Bakterien, Hefen) usw.) sind in Bayern der wichtigste Rohstoff für bioökonomische Prozesse. Zwischen 2010 und 2024 ist die Zahl der Weltklassepatente von knapp 400 auf knapp 600 gestiegen. Zucker (z. B. Zuckerrüben, Mais/Getreide usw.) liegen an zweiter Stelle mit rund 330 Weltklassepatenten im Jahr 2024. Allerdings ist der Patentbestand sowohl bei Proteinen als auch bei Zucker-Rohstoffen in Bayern seit 2019 leicht rückläufig. Neben dem Einsatz für Biotreibstoffe sowie Lebensmittel sind sowohl Proteine als auch Zucker wichtige Ausgangsstoffe für die Pharmaindustrie für die Entwicklung neuer Biopharmazeutika. Beispielsweise wird Zucker bei der Herstellung von rekombinanten Proteinen als Nährstoff für Zellen wie z. B. Bakterien, Hefen oder Säugetierzellen verwendet.

CO₂ ist in Bayern bereits der drittwichtigste Rohstoff für bioökonomische Prozesse. Die Zahl der Weltklassepatente in diesem Bereich hat sich seit 2010 mehr als verdoppelt (von rund 70 auf 165). Das Treibhausgas CO₂ wird als Kohlenstoffquelle für die Herstellung einer Vielzahl von Produkten (Bioplastik, Treibstoffe, Chemikalien usw.) genutzt.

Insgesamt entsprechen die technologischen Trends in der bayerischen Bioökonomie somit in etwa der globalen Entwicklung, wenngleich die Dynamik etwas schwächer ausfällt.

Abbildung 25

Entwicklung Weltklassepatente aus Bayern in bioökonomischen Inputmaterialien, 2010 - 2024



Quelle: EconSight

Auf Branchenebene findet in Bayern im Bereich der bioökonomischen Prozesse viel Spitzenforschung in der Chemie- und Pharmaindustrie statt. Das führende Forschungsunternehmen in Bayern in bioökonomischen Prozessen ist Roche. Roche forscht in Penzberg an biotechnologischen Verfahren zur Entwicklung und Herstellung von Proteinen, die in Arzneimitteln und diagnostischen Tests verwendet werden. Weitere wichtige Forschungsakteure in der Bioökonomie in Bayern sind BASF, Evonik, Amgen, Novartis, Immatics, Linde und Siemens.

4.3 Anwendungsbereiche der Bioökonomie

Mit biogenen Materialien und Prozesstechnologien hergestellte Produkte eignen sich für verschiedene Anwendungsgebiete:

Wichtige bioökonomische Anwendungsfelder

- Wasseraufbereitung
 - Lebensmittelproduktion
 - Papierproduktion
 - Biotech- und Pharmaproduktion
 - Chemieproduktion
 - Biotreibstoffe, Biogas
 - Biopolymere
 - Stahlherstellung
 - Bauwirtschaft
 - Carbon Capture
 - Wasserstoffherzeugung
-

Klassische Anwendungsbereiche, in denen bioökonomische Prozesse schon seit langem genutzt werden, sind die **Lebensmittelproduktion**, die **Wasseraufbereitung** und die **Papierproduktion**.

Historisch werden Proteine, Zuckerderivate, Fettvarianten und Öle sowie bioökonomische Prozesse (z. B. Fermentation) natürlich in der **Lebensmittelproduktion** eingesetzt. Seit einiger Zeit werden bei der Produktion von Lebensmitteln bioökonomische Prozesse zunehmend auch zur Produktion von Fleischalternativen (z. B. pflanzenbasierte Proteine und kultiviertes Fleisch aus Zellkulturen) und gesundheitsfördernden Nahrungsmitteln (z. B. Probiotika) genutzt.

In Bezug auf die **Wasseraufbereitung** ermöglicht der Einsatz biotechnologischer Verfahren eine umweltfreundlichere und effizientere Aufbereitung. Beispielsweise können Mikroorganismen (wie z. B. Bakterien, Pilze oder Algen) zur Schadstoffentfernung eingesetzt werden, da sie in der Lage sind, organische und anorganische Schadstoffe abzubauen. Moderne Kläranlagen und Abwasserreinigungsprozesse setzen dabei sehr intensiv auf biologische Prozesse, die meistens schonender, ökologischer und weniger energieintensiv als chemische Prozesse sind. Es werden auch diverse Filter-, Membran- und Absorptionstechniken erfolgreich in der Wasserbehandlung verwendet.¹⁶

¹⁶ Fraunhofer-Broschüre: Prozesswasser im Kreislauf

Traditionell wird Papier aus Holz gewonnen und die Bioökonomie fördert eine effiziente Verarbeitung dieses Rohstoffs sowie alternative Materialien und umweltfreundlichere Prozesse. Zum Beispiel helfen fortschrittliche biotechnologische Verfahren (wie die Nutzung spezieller Enzyme), den Chemikalieneinsatz und den Energieverbrauch bei der Zellstoffaufbereitung zu verringern. Gleichzeitig wird mit alternativen Rohstoffen für die **Papierherstellung** experimentiert, wie zum Beispiel Agrarreststoffen (Stroh, Hanf, Flachs) oder Pflanzenfasern aus schnell nachwachsenden Pflanzen (z. B. Bambus, Miscanthus). Der Umbau der Wälder auf klimaresistente Baumarten lässt die Papierindustrie zudem intensiv daran forschen, andere Holzsorten einzusetzen, die jedoch oft aufwändigere chemische und biologische Verarbeitungsverfahren verlangen.

Auch in der **Biotech-/Pharmabranche** nimmt die Bedeutung der Bioökonomie stetig zu, da es immer mehr Biopharmazeutika gibt, die auf lebenden Organismen basieren und mithilfe von biologischen Prozessen hergestellt werden. Ein Beispiel sind monoklonale Antikörper, welche durch gentechnisch veränderte Zellkulturen hergestellt und zur Behandlung von Krebs, Autoimmunerkrankungen und Infektionskrankheiten eingesetzt werden.

Ein zentraler Ansatz der Bioökonomie in der **Chemieindustrie** ist die Nutzung von Biomasse – wie Pflanzen, Algen oder organischen Abfällen – als Rohstoffbasis für chemische Produkte, um den Einsatz von Erdöl und Erdgas zu verringern. Dies ermöglicht die Produktion sogenannter Biochemikalien, die in einer Vielzahl von Anwendungen genutzt werden können, darunter Lösungsmittel, Schmiermittel, Farben und Klebstoffe (z. B. Tinte auf Sojabasis oder Lösungsmittel aus Bioethanol). Auch chemische Grundstoffe der Chemie- und Pharmaindustrie werden zunehmend gezielt biotechnologisch hergestellt (sogenannte „Weiße Biotechnologie“ oder industrielle Biochemie).

Die Produktion von Biokraftstoffen und Biogas ist ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet der Bioökonomie. Bioethanol und Biodiesel sind bekannte Biokraftstoffe, die aus Biomasse wie Zuckerpflanzen oder Ölsaaten gewonnen werden, um fossile Kraftstoffe in der Mobilität zu ersetzen. Fortschrittliche neuere Biokraftstoffe werden aus lignozellulosehaltiger Biomasse (z. B. Holz, Stroh) oder Algen hergestellt werden. Diese Kraftstoffe haben den Vorteil, dass sie keine Nahrungspflanzen als Rohstoff benötigen und so die Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion verringern. Biogas wird durch die Vergärung organischer Abfälle wie Lebensmittelreste, Gülle oder Energiepflanzen in Biogasanlagen erzeugt. Nach der Aufbereitung kann das erzeugte Biomethan ins Erdgasnetz eingespeist oder als Kraftstoff für Erdgasfahrzeuge genutzt werden. Das CO₂, das bei der Gärung und den biologischen Prozessen anfällt, wird inzwischen ebenfalls weiter zusammen mit grünem Wasserstoff zu Alkoholen verarbeitet.

Ein anderer Anwendungsbereich für die Bioökonomie ist die Herstellung von **Biopolymeren**, welche als Bioplastik eingesetzt werden können. Biopolymere sind Polymere, die entweder aus natürlichen, nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden oder durch biologische Prozesse entstehen. Sie können pflanzlichen Ursprungs sein, z. B. aus Stärke, Cellulose oder Lignin, oder von Mikroorganismen produziert werden, wie Polylactide (PLA) oder Polyhydroxyalkanoate (PHA). PLA wird häufig als Bioplastik für nachhaltige Verpackungen, Einweggeschirr und medizinische Anwendungen verwendet. PHA entsteht direkt in den

Bakterien, wenn sie Zucker oder CO₂ als Nahrung erhalten und wird ebenfalls in der Medizintechnik, aber auch für Textilien und Kosmetik verwendet.

In der **Stahlproduktion** gewinnt die Bioökonomie ebenfalls an Bedeutung. Bioökonomische Prozesse bieten der Stahlproduktion Wege zur Reduktion fossiler Rohstoffe und der damit einhergehenden Senkung von CO₂-Emissionen. Biomasse und Biogas können dabei Kohle und Erdgas als Energiequellen vollständig und Reduktionsmittel teilweise ersetzen. Auch Recycling spielt eine zentrale Rolle für eine nachhaltigere Stahlproduktion.

In der **Bauwirtschaft** liefern bioökonomische Prozesse und Materialien umweltfreundliche Alternativen zu traditionellen, ressourcenintensiven Methoden. Im Kern basieren bioökonomische Ansätze auf der Nutzung nachwachsender Rohstoffe, um nachhaltigere Baumaterialien zu entwickeln. Ein Beispiel sind biobasierte Baumaterialien, wie Holz oder Hanf, die im Vergleich zu konventionellen Materialien wie Beton oder Stahl eine geringere Umweltbelastung aufweisen. Darüber hinaus spielen bioökonomische Prozesse eine wichtige Rolle bei der Energieeffizienz. Biobasierte Dämmstoffe, etwa aus Zellulose oder Holzfasern, bieten nicht nur eine gute Wärmeisolierung, sondern sind auch weniger energieintensiv in der Herstellung als konventionelle Dämmstoffe wie Glaswolle.

Die Bioökonomie spielt zudem eine entscheidende Rolle bei **Carbon Capture and Utilization (CCU)**, also der Einbindung von CO₂ in wirtschaftlich nutzbare Kreisläufe. Durch biologische Verfahren kann das, von industriellen Prozessen oder aus der Atmosphäre abgetrennte, Treibhausgas CO₂ als Kohlenstoffquelle in eine Vielzahl von Produkten umgewandelt werden (Bioplastik, Treibstoffe, Chemikalien usw.), aber auch in Fällungs- und Abscheidungsreaktionen zu Mineralien wie Calcium Carbonat. Ganz entscheidend ist das Carbon Capture aber auch in der Konzentration von CO₂ aus Abgasen, vielen Industrieprozessen, Pyrolyse von z. B. Plastikabfällen und schließlich auch direkt aus der Luft (Direct Air Carbon Capture). Auf diesem Weg wird CO₂ wieder zum wichtigen neuen Rohstoff neben den biogenen Quellen (siehe oben).

Bioökonomische Rohstoffquellen haben auch eine große Bedeutung für eine nachhaltige **Wasserstoffherzeugung**. Bioökonomische Ansätze nutzen beispielsweise Biomasse und Mikroorganismen, um Wasserstoff durch Fermentation oder thermochemische Umwandlung zu gewinnen. Eine andere Möglichkeit zur Erzeugung von Wasserstoff ist die Elektrolyse. Falls hierfür erneuerbare Energiequellen zum Einsatz kommen, spricht man von grünem Wasserstoff. Beide Methoden können sich auch ergänzen: Biomasseabfälle oder Biogas können z. B. Energie für die Elektrolyse liefern, während überschüssige Energie aus bioökonomischen Anlagen in Wasserstoff gespeichert wird. Die Kombination aus Bioökonomie und Wasserstoff fördert eine CO₂-arme Kreislaufwirtschaft und leistet einen Beitrag zur Energiewende.

Beispiel elektrochemische Prozesse: Elektrolyse

Die Elektrolyse ist ein elektrochemischer Prozess, bei dem elektrische Energie genutzt wird, um chemische Verbindungen wie Wasser oder Salzlösungen in ihre Bestandteile zu zerlegen. Dabei werden zwei Elektroden, eine Anode (positive Elektrode) und eine Kathode (negative Elektrode), in einem Elektrolyten platziert, der als leitendes Medium dient. Durch die Anlegung einer Gleichspannung wird eine chemische Reaktion erzwungen: An der Anode findet die Oxidation statt, bei der Elektronen abgegeben werden, während an der Kathode die Reduktion abläuft, bei der Elektronen aufgenommen werden. Je nach Art der Elektrolyse wird entweder eine alkalische Lösung, eine Protonen-Austausch-Membran (PEM) oder ein Festoxid als Elektrolyt verwendet, mit spezifischen Vor- und Nachteilen in Bezug auf Effizienz, Betriebstemperatur, Kosten und Anwendungsbereich.

Die Elektrolyse hat viele industrielle Anwendungen. Ein Kerneinsatzgebiet ist die Energiewirtschaft, insbesondere hinsichtlich der Speicherung überschüssiger erneuerbarer Energie. Überschüssiger Strom kann durch die Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt und später für die Rückverstromung oder in Power-to-X-Technologien genutzt werden, wo der Wasserstoff in synthetische Kraftstoffe oder Chemikalien umgewandelt wird.

Ein weiteres bedeutendes Anwendungsfeld ist die Chloralkali-Elektrolyse, die zur Produktion von Chlor, Natronlauge und Wasserstoff verwendet wird. Chlor wird insbesondere in der Herstellung von Kunststoffen wie PVC benötigt, während Natronlauge in vielen industriellen Prozessen unverzichtbar ist. Elektrolyse spielt zudem eine wichtige Rolle bei der Gewinnung und Raffination von Metallen wie Aluminium, Kupfer und Zink.

Auch in der Umwelt- und Abfallwirtschaft wird die Elektrolyse genutzt, um Schadstoffe abzubauen. Hochreine Gase wie Wasserstoff oder Sauerstoff, die durch Elektrolyse erzeugt werden, sind außerdem essenziell für die Halbleiterproduktion und medizinische Anwendungen.

Mit dem Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschaft und der zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energien wird die Elektrolyse als Schlüsseltechnologie betrachtet, die fossile Brennstoffe in vielen Bereichen ersetzen und zur Dekarbonisierung beitragen kann.

4.3.1 Globale Trends in den bioökonomischen Anwendungsbereichen

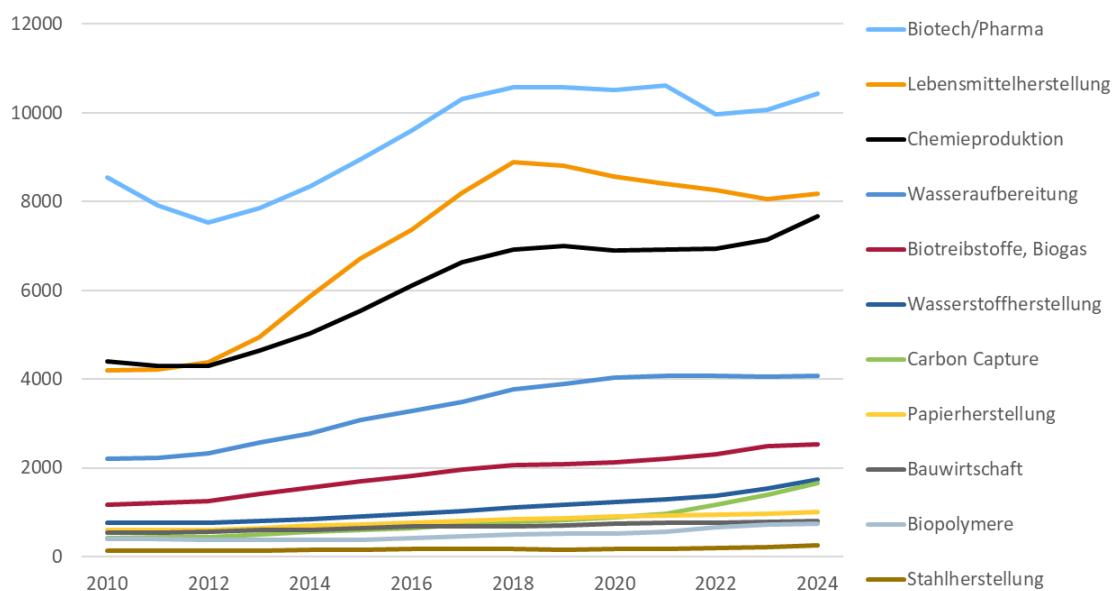
Um die identifizierten bioökonomischen Anwendungsbereiche zu analysieren, wurden die Anwendungsbereiche mit den Prozesstechnologien und den wichtigsten Inputmaterialien/-rohstoffen für die Bioökonomie verknüpft. Hierbei wurden sämtliche Patente an der Schnittstelle zwischen Anwendungsbereichen, Inputmaterialien und Prozesstechnologien der Bioökonomie identifiziert.

Die folgende Abbildung zeigt, dass es weltweit am meisten prozessbezogene bioökonomische Weltklassepatente im Anwendungsbereich Biotech-/Pharma gibt. Die Patentzahlen

von bioökonomischen Anwendungen im Biotech-/Pharmasektor sind zwischen 2010 und 2024 von rund 8.500 auf fast 10.400 gestiegen, allerdings war das Wachstum im Vergleich zu den anderen Bereichen nur unterdurchschnittlich (+1,4 Prozent p. a.). Auf Platz zwei liegt die Lebensmittelherstellung. Im Jahr 2024 gab es insgesamt rund 8.200 Weltklassepatente in diesem Bereich und zwischen 2010 und 2024 haben sich die Patentzahlen in etwa verdoppelt (+4,9 Prozent p. a.). Das drittgrößte Anwendungsgebiet ist die Chemieproduktion mit weltweit knapp 7.700 Weltklassepatenten im Jahr 2024 (+4,0 Prozent p. a. seit 2010).

Abbildung 26

Entwicklung globale Weltklassepatente in Prozesstechnologien für bioökonomische Anwendungsfelder, 2010 - 2024



Quelle: EconSight

Ein weiteres wichtiges Feld ist die Wasseraufbereitung mit fast 4.100 Weltklassepatenten im Jahr 2024. Auf der Inputseite sind die Forschungsaktivitäten vor allem beim Einsatz von Zellulose/Ligninen zur Wasserreinigung stark gestiegen. Bei diesen Prozessen spielt vor allem die Prozesstechnologie Mischen, Lösen, Emulgieren, Dispergieren eine wichtige Rolle, wie auch die Technologien rund um Abtrennen und Filtern, das auch die Absorption und Membrantrennung umfasst.

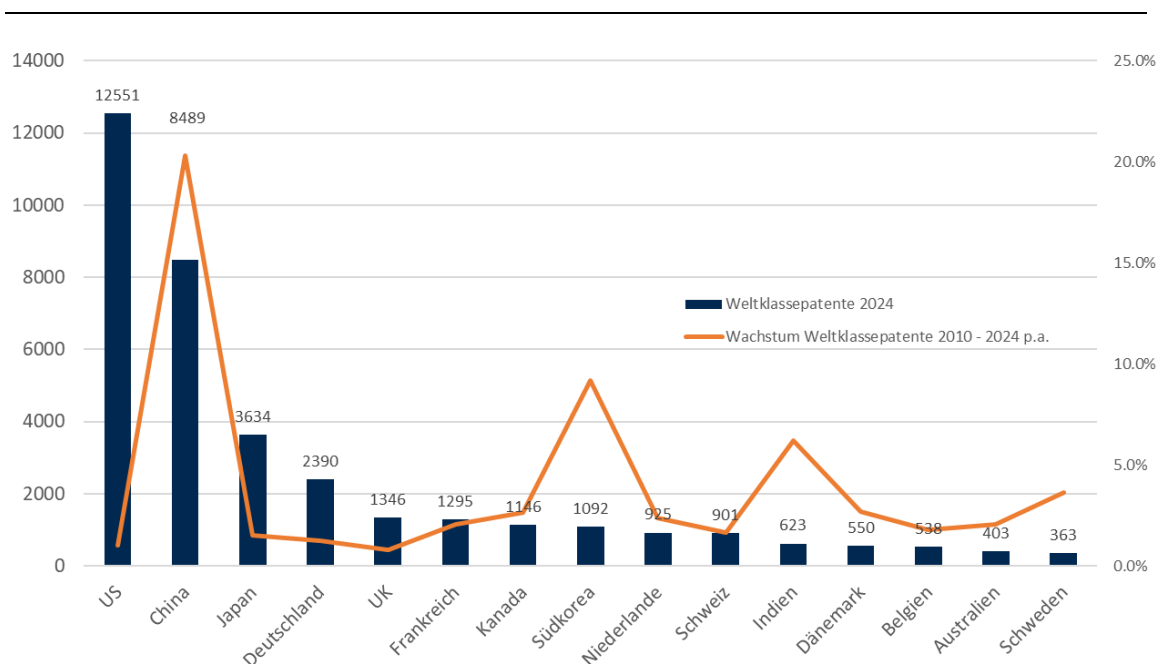
Ebenfalls bedeutend sind Biotreibstoffe / Biogas mit einem Bestand an Weltklassepatenten von über 2.500 im Jahr 2024 und einer hohen Forschungsdynamik seit 2010 (+5,7 Prozent p. a.). Auf der Inputseite basieren die meisten Weltklassepatente auf der Verwendung von Biomasse (wie Holz, Stroh, Gras oder Algen), mit denen Biotreibstoffe der neuesten Generation hergestellt werden. Auf der Prozessseite dominieren biologische Prozesse die Forschungsaktivitäten.

Das höchste Wachstum war hingegen im Anwendungsbereich Carbon Capture and Utilization zu verzeichnen, mit einem Anstieg der Weltklassepatente von rund 400 im Jahr 2010 zu fast 1.700 im Jahr 2024 (+10,3 Prozent p. a.). Die Prozesstechnologie Abtrennen, Filtern, Destillieren ist hier der Schlüsselprozess.

Auf Länderebene liegen die USA bei den bioökonomischen Anwendungsbereichen insgesamt klar vorne, mit rund 12.500 aktiven Weltklassepatenten im Jahr 2024. Die Zahl der US-Weltklassepatente ist seit 2010 lediglich um rund 1 Prozent pro Jahr gestiegen. Wesentlich dynamischer verlief die Entwicklung in China, wo die Zahl der bioökonomischen Weltklassepatente in Anwendungsbereichen im gleichen Zeitraum um mehr als 20 Prozent pro Jahr gestiegen ist. Mit knapp 8.500 Weltklassepatenten liegt China aber noch deutlich hinter den USA. Japan und Deutschland folgen auf den Plätzen 3 und 4 mit rund 3.600 bzw. knapp 2.400 Weltklassepatenten im Jahr 2024.

Abbildung 27

Prozessbasierte bioökonomische Weltklassepatente in Anwendungsfeldern nach Ländern



Prozessbasierte Weltklassepatente in bioökonomischen Anwendungsfeldern 2024 (linke Y-Achse), Wachstum Weltklassepatente 2010 – 2024 p. a. (rechte Y-Achse)

Quelle: EconSight

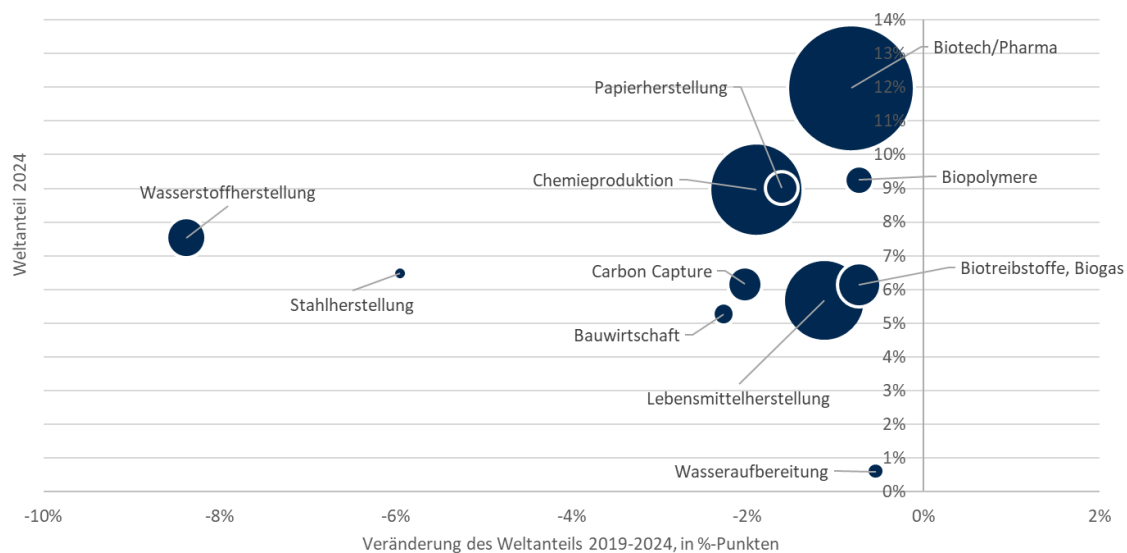
Betrachtet man die Entwicklung der Weltklassepatente in den bioökonomischen Anwendungsbereichen in Deutschland näher, fällt auf, dass der deutsche Weltanteil in allen Anwendungsbereichen seit 2019 gesunken ist. Die Unterschiede zwischen den Anwendungsbereichen sind jedoch beträchtlich. Während der deutsche Weltanteil in den Bereichen

Biotech/Pharma, Biotreibstoffe, Wasseraufbereitung und Biopolymere seit 2019 nur leicht gesunken ist, hat Deutschland in den Bereichen Stahlherstellung (-5,9 Prozentpunkte) und Wasserstoffherstellung (-8,4 Prozentpunkte) im internationalen Forschungswettbewerb kräftig an Boden verloren.

Den höchsten Weltanteil und auch die absolut größte Zahl an Weltklassepatenten erreicht Deutschland bei bioökonomischen Prozessen in Biotech/Pharma-Anwendungen (1250 Weltklassepatente aus Deutschland, Weltanteil von 12 Prozent).

Abbildung 28

Technologieprofil Deutschland für Prozesstechnologien in bioökonomischen Anwendungsfeldern



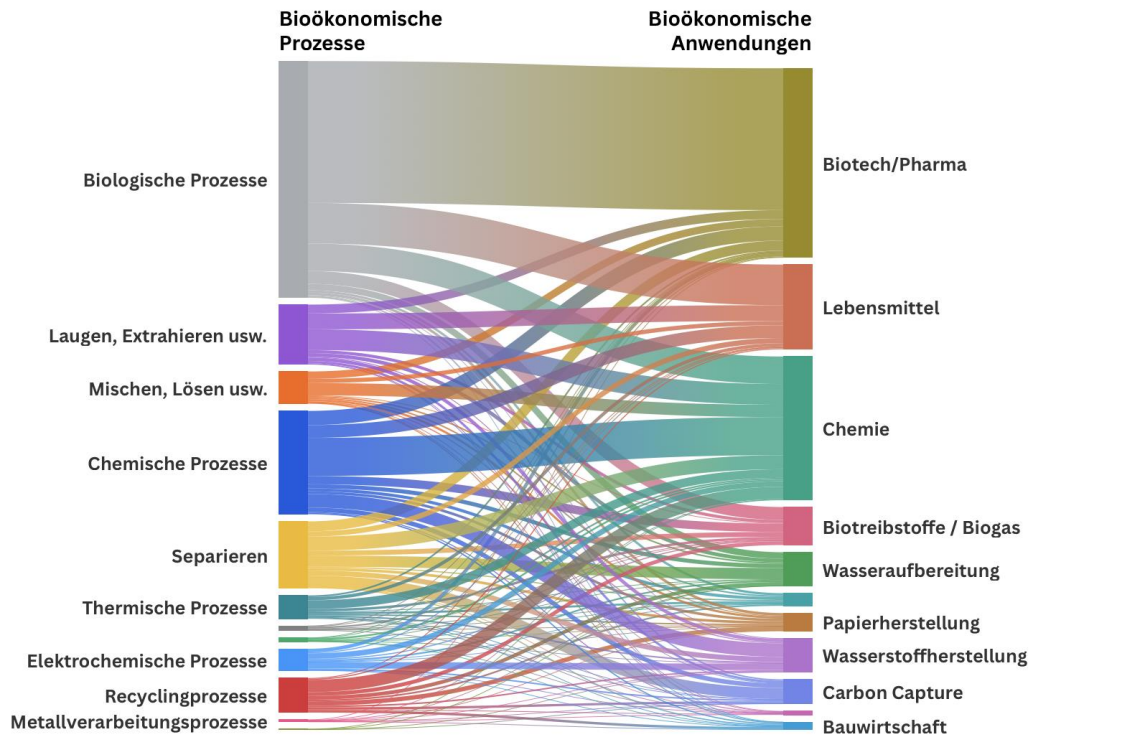
Quelle: EconSight

Das Sankey-Diagramm zeigt, welche bioökonomische Prozesse für die deutschen Weltklassepatente in den wichtigsten bioökonomischen Anwendungsfeldern von zentraler Bedeutung sind.

Biologische Prozesse sind die größte Prozesskategorie und vor allem im Anwendungsbereich Biotech/Pharma zu finden, gefolgt von Lebensmitteln. Biologische Prozesse spielen aber auch eine grosse Rolle in der Chemieproduktion.

Abbildung 29

Sankey-Chart Deutschland für Prozesstechnologien in bioökonomischen Anwendungsfeldern



Das Sankey-Diagramm zeigt die inhaltlichen Überschneidungen zwischen bioökonomischen Prozessen und Anwendungen in den Weltklassepatenten 2024. Je breiter der Strom zwischen Prozessen und Anwendungen, desto grösser ist die Zahl der Weltklassepatente, die beiden Kategorien zugeordnet sind.

Quelle: EconSight

4.3.2 Bayerische Trends in den bioökonomischen Anwendungsbereichen

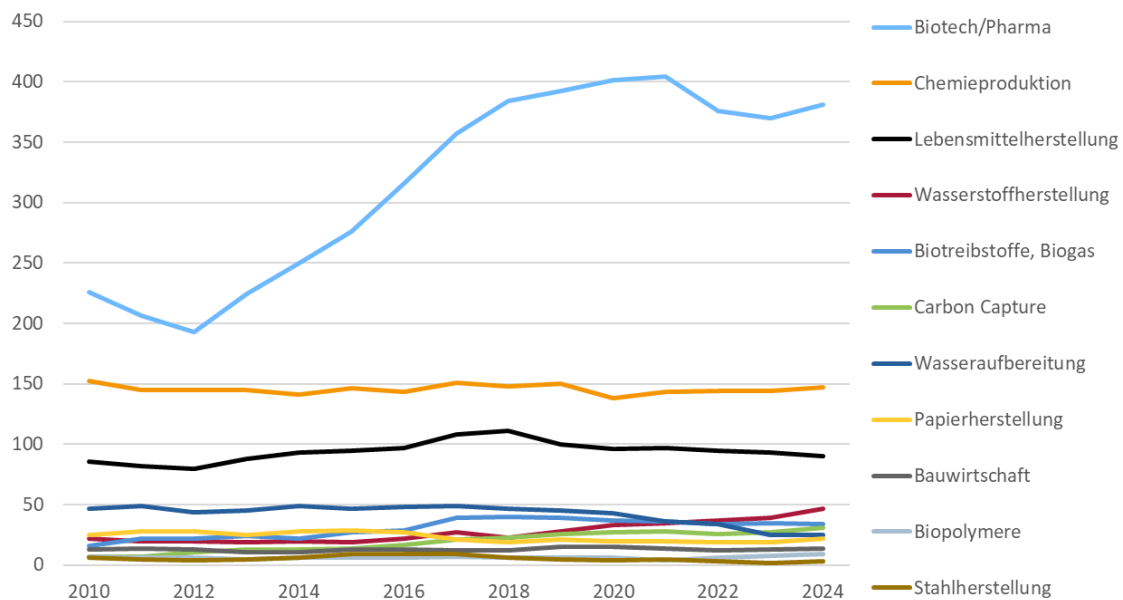
In Bayern ragt bei den Anwendungsbereichen für bioökonomische Prozesse wie auch in Deutschland insgesamt die Biotech-/Pharmaindustrie heraus. Zwischen 2010 und 2024 hat sich die Zahl der bioökonomischen Weltklassepatente in der Biotech-/Pharmaindustrie von 226 auf 381 erhöht. Dies entspricht einem Weltanteil von 3,6 Prozent im Jahr 2024. Zudem war die Wachstumsdynamik in diesem Bereich seit 2010 höher als im globalen Vergleich (3,8 Prozent p. a. gegenüber 1,4 Prozent p. a. seit 2010). In den letzten fünf Jahren ist die Zahl der bioökonomischen Weltklassepatente in der Biotech-/Pharmaindustrie jedoch analog zur globalen Entwicklung leicht gesunken.

Des Weiteren gibt es in Bayern umfangreiche Spitzenforschungsaktivitäten in den Bereichen Chemieproduktion (147 Weltklassepatente im Jahr 2024, Weltanteil 2024: 1,9 Prozent) und Lebensmittelherstellung (90, Weltanteil 2014: 1,1 Prozent).

Eine hohe Wachstumsdynamik, von einem niedrigen Ausgangsniveau aus, war zudem im Anwendungsbereich Carbon Capture zu verzeichnen, in dem die Zahl der bayerischen Weltklassepatente seit 2010 von 7 auf 31 gestiegen ist.

Abbildung 30

Entwicklung Weltklassepatente aus Bayern in bioökonomischen Anwendungsfeldern, 2010 - 2024



Quelle: EconSight

Das Technologieprofil für Bayern gibt nochmal einen Überblick über die technologischen Stärken und Schwächen in den bioökonomischen Anwendungsfeldern. Seit 2019 liegt der Fokus auf der Entwicklung der Forschungsaktivität.

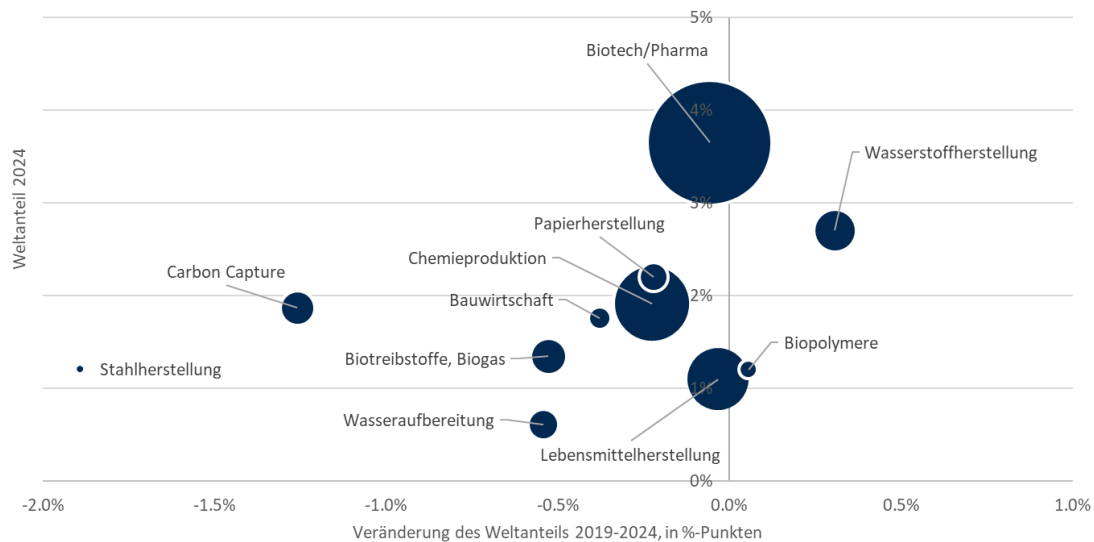
Im wichtigsten bioökonomischen Anwendungsgebiet in Bayern, der Biotech-/Pharmaindustrie, blieb der Weltanteil in den letzten Jahren konstant. In diesem Anwendungsgebiet lag der bayerische Weltanteil an den globalen Weltklassepatenten im Jahr 2024 bei 3,6 Prozent und damit klar am höchsten im Vergleich der verschiedenen Anwendungsbereiche.

In den Bereichen Biopolymere und Wasserstoffproduktion war die bayerische Forschungsdynamik in den letzten Jahren höher als im globalen Vergleich. Bayern konnte somit den Weltanteil in diesen Feldern ausbauen.

In der Lebensmittelherstellung entsprach die bayerische Forschungsdynamik in etwa der globalen Entwicklung, in der Chemieproduktion und der Papierherstellung lag die Dynamik knapp darunter.

In den Bereichen Stahlherstellung, Carbon Capture, Wasseraufbereitung, Biotreibstoffe/Biogas und Bauwirtschaft hat Bayern jedoch im globalen Forschungswettbewerb bei den bioökonomischen Prozessen zuletzt an Boden verloren.

Abbildung 31
Technologieprofil Bayern für Prozesstechnologien in bioökonomischen Anwendungsfeldern



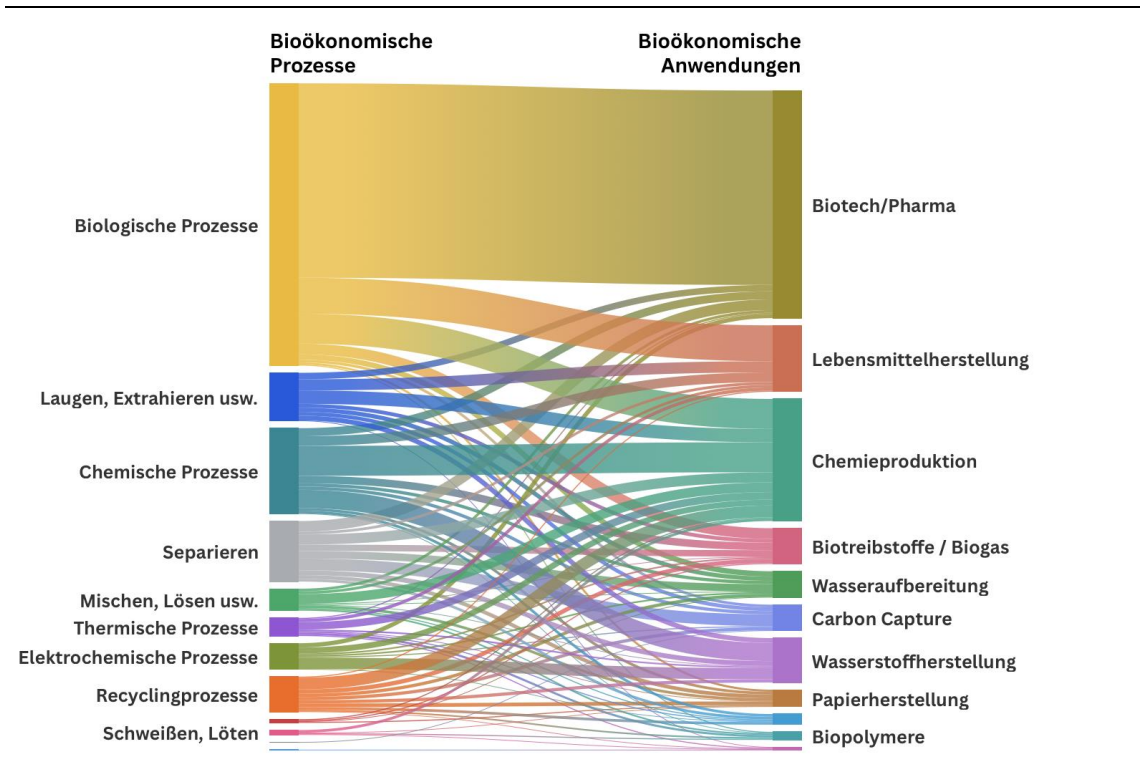
Quelle: EconSight

Das Sankey-Diagramm zeigt, welche bioökonomische Prozesse für die bayerischen Weltklassepatente in den wichtigsten bioökonomischen Anwendungsfeldern von zentraler Bedeutung sind.

Biologische Prozesse, die zahlenmäßig größte Prozesskategorie, spielen erwartungsgemäß vor allem im Bereich Biotech/Pharma die Hauptrolle und sind für fast alle der prozessbasierten Weltklassepatente in diesem Bereich verantwortlich. Biologische Prozesse kommen aber auch in nennenswertem Umfang in den beiden Bereichen Lebensmittelherstellung und Chemieproduktion zum Einsatz.

Abbildung 32

Sankey-Chart Bayern für Prozesstechnologien in bioökonomischen Anwendungsfeldern



Das Sankey-Diagramm zeigt die inhaltlichen Überschneidungen zwischen bioökonomischen Prozessen und Anwendungen in den Weltklassepatenten 2024. Je breiter der Strom zwischen Prozessen und Anwendungen, desto grösser ist die Zahl der Weltklassepatente, die beiden Kategorien zugeordnet sind.

Quelle: EconSight

Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2021):

Die Werkzeuge der Bioökonomie, https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/DE/7/31659_Die_Werkzeuge_der_Bioeconomie.html

EnArgus: Carbonate Looping

https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d1976-2/*/*Carbonate%20Looping?op=Wiki.getwiki

Fajardy, Greenfield (2024):

It is time for CCUS to deliver (IEA), <https://www.iea.org/commentaries/it-is-time-for-ccus-to-deliver>

FAZ (2024):

BASF forciert Batterierecycling, <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/basf-will-abfall-aus-zellproduktion-zu-rohstoff-machen-.html>

Fraunhofer-Gesellschaft: Prozesswasser im Kreislauf (Broschüre):

<https://www.igb.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/umwelt/wasser-und-abwassertechnik.html>

Heid et al. (2023):

What would it take to scale critical climate technologies? (McKinsey), <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/what-would-it-take-to-scale-critical-climate-technologies>

Henßler (2023):

CATL investiert Milliarden in Akku-Recycling (elektroauto-news), <https://www.elektroauto-news.net/automobilindustrie/catl-milliarden-invest-akku>

Jeswani et al. (2020):

Environmental sustainability of biofuels: a review, <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.2020.0351>

Kafarski (2012):

Rainbow code of biotechnology, CHEMIK 2012, 66, 8, 811-816, https://www.researchgate.net/publication/287253802_Rainbow_code_of_biotechnology

Karimi et al. (2022):

Carbon dioxide separation and capture by adsorption: a review, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37362013/>

vbw (2017):

Digitalisierung in Land- und Ernährungswirtschaft, https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zug-englische-Medien/Abteilungen-GS/Planung-und-Koordination/2017/Downloads/Studie_Digitalisierung-Landwirtschaft-Stand-04-12-17.pdf

vbw (2019):

TechCheck 2019, <https://vbw-zukunftsrat.de/downloads/TechCheck/Publikationen/vbw-ZKR2019-Handlungsempfehlungen-V18RZ-Web.pdf>

vbw (2023):

Holzbasierte Bioökonomie, <https://www.vbw-bayern.de/vbw/Themen-und-Services/Rohstoffe-Ressourcen/Holz-basierte-Bio%C3%B6konomie.jsp>

vbw (2024):

Technologieprofile Bayern: Die Position des Freistaats und seiner Regierungsbezirke in Zukunftstechnologien, <https://www.vbw-bayern.de/vbw/Themen-und-Services/Innovation/Technologieprofile-Bayern.jsp>

vbw (2024):

Analyse CO₂-Infrastrukturbedarf in Bayern, https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2024/Downloads/Studienupdate_CO2-Infrastrukturbedarf-in-Bayern_final.pdf

Zenglein / Holzmann (2019):

Made in China 2025 (Mercator Institute for China Studies (MERICS)), <https://merics.org/de/studie/made-china-2025>

Anhang

Kapitelübersicht

A.1	Methodik Patentanalyse	56
A.2	Die 10 Anwendungsfelder und 100 Einzeltechnologien - Überblick	59

A.1 Methodik Patentanalyse

Die Grundlage der vorliegenden Studie ist die Auswertung von Patentdaten. Patente sind ein wichtiger Erfolgsausweis von Forschung und Entwicklung und damit einer der wichtigsten Innovationsoutput-Indikatoren. Das Patentportfolio einer (regionalen) Volkswirtschaft bzw. ihrer Unternehmen und Forschungseinrichtungen bildet eine wichtige Grundlage für ihre Innovations- und damit auch Zukunftsfähigkeit. Vor allem Neuerungen im hochtechnologischen Bereich sind elementar, um wettbewerbsfähig zu bleiben und drängende gesellschaftliche Herausforderungen zu lösen. Patentanalysen tragen dazu bei, die Stärken und Schwächen einer Region aufzudecken. Der Fokus von Patentanalysen liegt dabei naturgemäß ausschließlich auf den Innovationsaktivitäten von Unternehmen und Forschungsinstitutionen. Stärken oder Schwächen in Bereichen der Wertschöpfungskette, welche nicht oder weniger von Innovationsaktivitäten der Unternehmen geprägt sind (wie z. B. Vertrieb, Marketing usw.) können durch Patentanalysen nicht erfasst werden. Das gleiche gilt für Stärken oder Schwächen hinsichtlich Standortfaktoren (z. B. Energiekosten, Fachkräfteverfügbarkeit, Steuerbelastung usw.).

In dieser Studie werden die Begriffe *Patente* und *Patentfamilien* synonym verwendet. Technisch gesehen ist der Begriff „einfache Patentfamilie“ oder „simple family“ korrekt. Häufig melden Unternehmen eine Erfindung in mehreren Ländern zum Patent an. Dies resultiert in mehreren Patentanmeldungen (bzw. bei erfolgreicher Erteilung in mehreren Patenten) für die gleiche Erfindung. Derart verbundene Patente und Anmeldungen nennt man zusammen eine „Patentfamilie“.

In der Studie liegt der Fokus auf Prozesstechnologien sowie der Kombination von Prozesstechnologien und technologischen Anwendungsfeldern bzw. bioökonomischen Inputmaterialien. Patente können mehreren Patentklassen zugeordnet werden und tragen häufig mehr als eine Technologieinformation. Für die Analysen werden sämtliche Patente an der Schnittstelle zwischen Prozesstechnologien und Anwendungsfeldern bzw. Bioökonomie identifiziert, d. h. diese Patente tragen sowohl Merkmale mindestens einer Prozesstechnologie als auch mindestens einer Technologie der Anwendungsfelder bzw. mindestens eines bioökonomischen Rohstoffes/Anwendungsbereiches.

Sämtliche aktiven Patente, also auch ältere noch gültige Patente, werden zum jeweiligen Stichtag (Jahresende) berücksichtigt. Die Laufzeit eines Patents beträgt im Normalfall 20 Jahre ab dem Zeitpunkt der Anmeldung unter der Voraussetzung, dass die jährlichen Patentgebühren gezahlt werden. Zahlreiche Patente verfallen jedoch frühzeitig aufgrund der Nichtzahlung der Jahresgebühren, falls sich für den Patentbesitzer keine ausreichend profitable Verwertungsmöglichkeit ergibt. Auch die erfolgreiche Anfechtung eines Patents oder die Nichterteilung eines Patents nach der Patentprüfung führen zum Inaktivwerden eines Patents. Die Analyse auf Grundlage der aktiven Patente unterscheidet sich von anderen Patentanalysen, bei denen häufig nur neue Patentanmeldungen pro Jahr gezählt werden. Der Vorteil des in dieser Studie verwendeten Ansatzes besteht darin, dass sowohl die Dynamik der Entwicklung des Patentbestandes im Zeitverlauf als auch die absolute Größe und Stärke eines Patentportfolios zum jeweils aktuellen Zeitpunkt gemessen werden kann.

Anhang

Bei Auswertungen auf Grundlage von Patentanmeldungen werden dagegen nur die neuesten Entwicklungen erfasst, während bereits bestehendes technologisches Know-how aus älteren Patenten nicht berücksichtigt wird.

Ein weiteres wichtiges Element der Analyse ist der Fokus auf die *Patentqualität*. Grundlage für die Bewertung der Qualität ist eine Kombination aus Zitierungen des Patents sowie der Länderabdeckung des Patentes.

Die Zitierhäufigkeit des Patents ergibt sich daraus, wie oft die Prüfer der verschiedenen Patentämter darauf Bezug nehmen und es zitieren. Die Patentämter prüfen nach recht ähnlichen Methoden, ob eine Patentanmeldung neu und erfinderisch ist, und ziehen dazu andere, publizierte Patente heran. Daraus wird ersichtlich, wie wichtig eine Erfindung im Vergleich zu anderen Patenten in derselben Technologie ist. EconSight legt hier besonderen Wert auf die Relevanz der gemessenen Werte. Während andere Bewertungssysteme Zitierungen einfach zählen oder bestenfalls jüngere Zitierungen höher gewichten als ältere Zitierungen, fokussiert EconSight auf business-relevante Zitierungen. So ist beispielsweise die Zitierung eines Patents durch einen einzelnen Forschenden weniger wert als die Zitierung durch ein großes Unternehmen wie Alphabet (Google).

Die Länderabdeckung berechnet die weltweite gesetzliche Abdeckung des Patentschutzes. Sie zeigt, wie Unternehmen die Bedeutung ihrer eigenen Erfindung bewerten. Je grösser die Zahl der Länder, in denen das Patent angemeldet wird, desto teurer wird der Patentschutz. Eine breitere internationale Länderabdeckung signalisiert also, dass der Patentanmelder sein Patent für vielversprechend hält. Gemessen wird insbesondere, ob ein Patent die "kritische Masse" der wichtigsten Märkte erreicht hat (mehrere große Länder wie die USA, China, Japan, aber auch zentrale mittelgroße Länder wie UK, Deutschland, Südkorea).

Die individuelle Patentstärke als Kombination aus Länderabdeckung und Zitierhäufigkeit lässt darauf schließen, welche Auswirkung eine Patentfamilie auf den Wettbewerb hat und erlaubt eine Einteilung in wichtige Patente und weniger wichtige Patente. Bei unseren Auswertungen liegt der Fokus auf dem Bestand und der Entwicklung der besten zehn Prozent der Patente pro Technologie – die sogenannten Weltklassepatente.

Der Fokus auf Weltklassepatente ist sinnvoll, um verzerrende Effekte durch länderspezifische Unterschiede in den Patentierungssystemen zu reduzieren. So werden beispielsweise in China Forschende u. a. mit Steuererleichterungen dazu angehalten, so viel wie möglich zu patentieren, um die Relevanz des Forschungsstandorts China zu erhöhen.

Ein Patent ist das Ergebnis von Forschungsarbeiten, die in der Regel von mehreren Forschenden, teilweise von mehr als einer Einrichtung und manchmal von mehr als einem Land, durchgeführt werden. Es stellt sich die Frage, wie diese Patente gezählt werden sollen und welcher Region bzw. welchem Land sie zugeschrieben werden sollen. Grundsätzlich sind mit den Anmelde- und Erfinderinformatoren zwei Perspektiven möglich. Während die Anmeldesicht Patente dort zuordnet, wo das Unternehmen in der Regel seinen Hauptsitz hat, zeigt die Erfindersicht, wo die auf dem jeweiligen Patent genannten Erfinder wohnen – es handelt sich in der Regel um die Privatadressen. Die *Perspektive der Erfinder*

Anhang

fokussiert auf die regionale Zuordnung der technologischen Leistungsfähigkeit. Allerdings müssen die entsprechenden Patente nicht unbedingt Unternehmen aus der Region gehören. Für die vorliegende Studie wurde die Erfindersicht für die Analysen verwendet.

Technologieprofile stellen zum einen die Forschungsaktivitäten der ausgewählten Regionen im Detail dar, zum anderen können sie auch für eine Darstellung der Wettbewerbsfähigkeit in diesen Technologien genutzt werden. Ein Standardvergleich von Technologien für eine Region würde durch einen Vergleich der absoluten Patentzahlen erfolgen. Einige Technologien sind jedoch patentintensiver als andere. Daher beschreibt ein Vergleich einer patentintensiven Technologie mit einer weniger patentintensiven Technologie lediglich die Patentaktivitäten und sagt wenig über die relative Wettbewerbsfähigkeit in diesen Technologien aus. Setzt man jedoch die Patentaktivität einer Region in einer Technologie in Relation zur weltweiten Patentaktivität, so ergibt sich der Weltanteil der Region an dieser Technologie. Dies zeigt die Bedeutung der Region in dieser Technologie und gleichzeitig die relative Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu anderen Regionen. Die Entwicklung des weltweiten Anteils über zwei Zeitpunkte hinweg zeigt die Zunahme oder Abnahme der Wettbewerbsfähigkeit im Laufe der Zeit.

A.2 Die 10 Anwendungsfelder und 100 Einzeltechnologien – Überblick

Die 10 analysierten Anwendungsfelder werden mit mehr als 100 Zukunftstechnologien inhaltlich abgedeckt.

Industrie (industrielle Produktionstechnologien)

- 3D-Druck
- Digital Twin
- Effiziente Aluminiummetallproduktion
- Effiziente Chemieproduktion
- Effiziente Glas- und Keramikproduktion
- Effiziente Metallproduktion
- Grüne/blau Wasserstoffproduktion
- Halbleiter
- Kohlendioxidfilter
- Robotik
- Vernetzte Produktion
- Wasserstofferzeugung/Speicherung

Digitalisierung (Informations- und Kommunikationstechnologien)

- 5G
- Big Data
- Blockchain
- Cloud Technologie
- Cyber Security
- E-Commerce
- Elektrooptische Technik in Chips
- Erkennung menschlichen Verhaltens
- Fintech
- Gaming
- Gesichtserkennung
- Gestenerkennung
- GPU
- Intelligentes, vernetztes Haus
- KI
- Soziale Medien
- Spracherkennung
- Verschlüsselungstechnologien
- Virtuelle Realität

Gesundheitssysteme (Gesundheitswesen und Medizintechnologien)

- Alzheimer
- Augenkrankheiten
- Biomedizinische Bildgebung

Anhang

- Biosensoren
- Computergestützte Chirurgie
- COPD (Lunge)
- Coronaviren
- Diabetes
- Hepatitis
- Hörgeräte
- Impfstoffe
- Krebs
- NASH (Fettleber)
- Parkinson
- Patientendaten
- Pflegeroboter
- Technik für Ältere
- Virusnachweis

Energiesysteme (Energiesysteme und Energie(system)technologien)

- AC/DC Wandler, Photovoltaik
- Biotreibstoffe, Biomasse
- Brennstoffzellen
- Energiespeicher
- Geothermie
- Herstellung von Brennstoffzellen
- HGÜ-Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
- Intelligente Stromnetze
- Lithium Akkumulatoren
- Silizium Photovoltaik Zellen
- Solarthermie
- Synthetische Treibstoffe
- Wärmepumpen
- Wasserkraft
- Windenergie

Mobilität (Intelligente Verkehrssysteme und zukünftige Mobilität)

- Autonome Straßenfahrzeuge
- Batterieladegeräte für Fahrzeuge
- Drohnen
- Effizientes Autodesign
- Elektrofahrzeuge
- Hyperloop
- Smart City
- Urbane Logistik
- Vernetzte Fahrzeuge
- Vernetzter Verkehr

Materialien (Neue Werkstoffe und Materialien)

- Biopolymere
- Carbon, Graphen
- Fortgeschrittene Materialien
- Fortgeschrittene Beschichtungen
- Keramik
- Metamaterialien
- Moderne Dämmstoffe
- Quantentechnologie

Biotechnologien

- Biomarker
- Bioprinting
- CAR-T
- CRISPR
- Immuntherapie
- Präzisionsmedizin
- Stammzellen Umprogrammierung

Ernährung (Ernährung und Lebensmitteltechnologien)

- Digitale Landwirtschaft
- Funktionelle Lebensmittel
- Reinraumländwirtschaft
- Trinkwasseraufbereitung
- Verarbeitung von Pflanzenproteinen

Luft- und Raumfahrt (Luft- und Raumfahrttechnologien)

- Elektroflugzeuge
- Kosmonautik
- Luftfahrt
- Raumfahrtmaterialien
- Satellitentechnologien

Nanotechnologien

- Nanotechnologien

Ansprechpartner/Impressum

Johanna Yaacov

Abteilung Wirtschaftspolitik

Telefon 089-551 78-135
johanna.yaacov@vbw-bayern.de

Christine Völzow

Geschäftsführerin, Leiterin der Abteilung Wirtschaftspolitik

Telefon 089-551 78-251
christine.voelzow@vbw-bayern.de

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

© vbw April 2025

Weitere Beteiligte

EconSight
Kai Gramke, Klaus Jank,
Dr. Jochen Spuck

Tiersteinerrain 126
CH-4059 Basel
Telefon +41 61 811 10 10
info@econsight.ch
www.econsight.ch