

Energie, Klima, Umwelt | Energie

Energieflexibilitätsoptionen in der Industrie

vbw

Leitfaden
Stand: Oktober 2024

Die bayerische Wirtschaft



Hinweis

Zitate aus dieser Publikation sind unter Angabe der Quelle zulässig.

Vorwort

Energieflexibilität als Wettbewerbsvorteil auf einem dynamischen Energiemarkt nutzen

Die Energiewende stellt eine der größten Herausforderungen und zugleich Chancen unserer Zeit dar. Um den Übergang von fossilen zu erneuerbaren Energien erfolgreich zu gestalten, ist ein Umdenken in der Art und Weise, wie Energie produziert, verteilt und genutzt wird, unerlässlich.

Die Energieflexibilität spielt hierbei eine zentrale Rolle. Sie ermöglicht es, die volatilen Einspeisungen von Solar- und Windenergie mit dem tatsächlichen Energiebedarf in Einklang zu bringen. Indem Verbrauch und Erzeugung in Echtzeit flexibel aufeinander abgestimmt werden, kann die Netzstabilität sichergestellt und der Ausbau erneuerbarer Energien weiter vorangetrieben werden.

Für Unternehmen bedeutet dies eine neue Ära im Umgang mit Energie. Die Fähigkeit, flexibel auf Schwankungen im Energiemarkt zu reagieren, bietet nicht nur die Möglichkeit, Kosten zu senken, sondern auch von Marktmechanismen wie dem Handel mit Flexibilität zu profitieren. Zudem können Unternehmen durch eine flexible Energienutzung aktiv zur Netzstabilität beitragen und somit Teil der Lösung für die Herausforderungen der Energiewende sein. Dies erfordert jedoch eine Anpassung der internen Strukturen und Prozesse sowie Investitionen in Technologien, die eine flexible Steuerung des Energieverbrauchs ermöglichen.

Unser Leitfaden bietet einen Einstieg in das Thema und gibt einen Überblick zu besonders relevanten Flexibilisierungsmaßnahmen mit Beispielen aus der Praxis.

Bertram Brossardt
15. Oktober 2024

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Ziele und Adressaten des Leitfadens	1
1.2	Was bedeutet Energieflexibilität in der Industrie?	1
1.3	Warum industrielle Flexibilität?	1
2	Flexibilitätspotenziale in der Industrie	3
2.1	Flexibilitätsoptionen im Überblick	3
2.2	Vermarktungsmöglichkeiten im Überblick	6
2.3	Flexibilitätsoptionen im Vergleich	8
3	Flexibilitätspotenziale im Betrieb heben	10
3.1	Übersicht zum Vorgehen – von der Erfassung bis zur Bewertung	10
3.2	Identifikation	11
3.2.1	Planung	11
3.2.2	Datenerhebung	13
3.2.3	Potenzialbestimmung	15
3.3	Bewertung	18
3.3.1	Bewertung der Risiken und Wechselwirkungen	18
3.3.2	Wirtschaftliche Bewertung	19
4	Praxis-Beispiele	23
4.1	Anpassung der Produktionsplanung	23
4.2	Einsatz eines Batteriespeichers	23
4.3	Bivalenter Betrieb	24
5	Wichtige Kennzahlen	26
6	Weitere Informationsquellen	28
	Literaturverzeichnis	31
	Ansprechpartner/Impressum	33

1 Einleitung

Begriff und Bedeutung der Energieflexibilität im Unternehmen

1.1 Ziele und Adressaten des Leitfadens

Viele Unternehmen beschäftigen sich bereits im Rahmen von Energieeffizienz- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen mit ihrem Energieverbrauch. Maßnahmen zur Flexibilisierung industrieller Lasten werden dabei häufig, wenn überhaupt, nachrangig betrachtet. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass die Vermarktung von Flexibilität außerhalb des Kerngeschäfts liegt und die Organisation des Stromsystems eine hohe regulatorische Komplexität aufweist. Gerade für Unternehmen, die nicht über eigene Strombeschaffung verfügen, kann der Einstieg in das Thema herausfordernd sein.

Dieser Leitfaden richtet sich daher vor allem an produzierende Unternehmen, die bisher wenig oder keine Berührungspunkte mit dem Thema Flexibilität hatten, und soll ihnen den Einstieg in die Thematik erleichtern. Angesprochen werden neben interessierten Unternehmensleitungen in erster Linie Mitarbeitende aus den Bereichen Energiemanagement, Gebäudemanagement, Produktionsleitung, Instandhaltung, Prozessmanagement und Controlling.

1.2 Was bedeutet Energieflexibilität in der Industrie?

Im Energiesystem wird mit Flexibilität die Fähigkeit beschrieben, den Bezug (Last) oder die Erzeugung von Energie an sich verändernde Rahmenbedingungen anzupassen.

Zu unterscheiden sind im Wesentlichen drei Arten industrieller Flexibilität:

- Bei der **Lastreduktion** wird die bezogene Leistung im Vergleich zum Referenzbetrieb reduziert. Da die nicht abgerufene Leistung nicht mehr nachgeholt wird, kann Lastreduktion mit einem Produktionsverlust einhergehen.
- Bei der **Lasterhöhung** wird die bezogene Leistung erhöht. Sie ist nur möglich, wenn die maximale Produktionskapazität einer Anlage zuvor noch nicht erreicht ist.
- Die **Lastverschiebung** besteht sowohl aus Lasterhöhung als auch -reduktion. Diese werden hintereinander ausgeführt, so dass sich die Effekte beider Teilmaßnahmen in Summe kompensieren. Ausgefallene Produktion wird damit innerhalb kurzer Zeit nachgeholt bzw. vorgezogen, so dass in Summe kein Produktionsausfall entsteht.

1.3 Warum industrielle Flexibilität?

Flexibilität spielt im Energiesystem der Zukunft mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien eine zentrale Rolle. Die wichtigsten erneuerbaren Energiequellen sind Wind und Sonne. Dadurch wird die Stromerzeugung zunehmend volatil und der Bedarf an Flexibilität steigt.

Einleitung

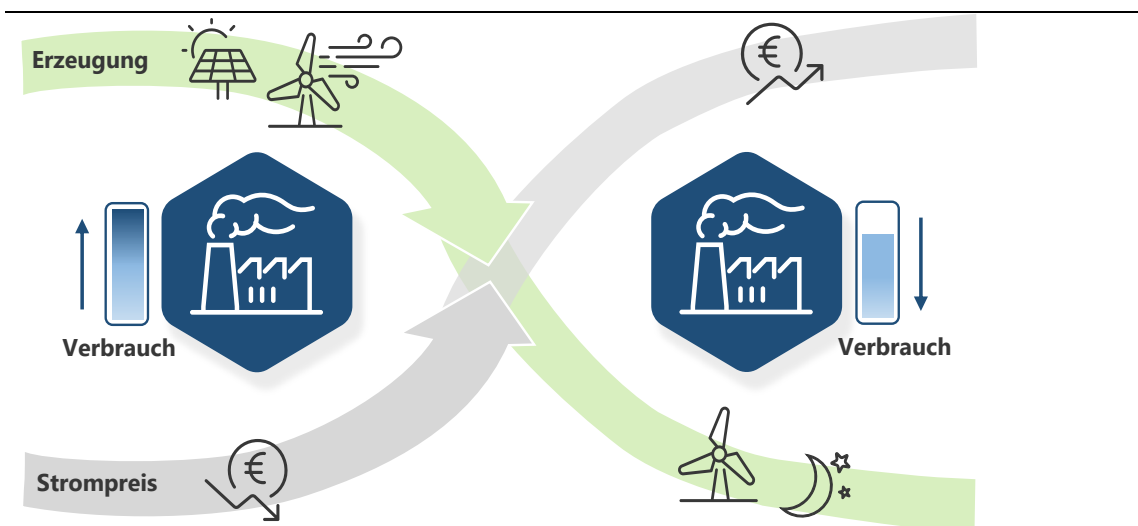
Ersichtlich wird diese Volatilität auch an den zum Teil stark schwankenden Strompreisen an der Strombörse.

Durch die Erschließung und Bereitstellung ihrer Flexibilität können Industriebetriebe¹:

- **Kosten einsparen.** Unternehmen können ihren Eigenverbrauch optimieren, Lastspitzen vermeiden oder zusätzliche Erlöse durch die externe Vermarktung generieren.
- **Die Energiewende voranbringen.** Durch die Orientierung des Verbrauchs an der Verfügbarkeit von Wind und Sonne kann die Integration höherer Anteile erneuerbarer Energien unterstützt werden.
- **Das Stromsystem stabilisieren.** Durch das Erbringen von Systemdienstleistungen kann industrielle Flexibilität ein Beitrag zur Gewährleistung einer hohen Qualität, Zuverlässigkeit und Sicherheit der Stromversorgung leisten.

Abbildung 1

Schematische Darstellung industrieller Flexibilität



Quelle: Eigene Darstellung (FfE).

¹ Sauer A. et al.: Energieflexibilität in der deutschen Industrie – Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung (SynErgie). Stuttgart: Fraunhofer IPA und EEP (2019).

2 Flexibilitätspotenziale in der Industrie

Formen der Flexibilität und Möglichkeiten der Vermarktung

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über typische Flexibilitätsoptionen in der Industrie sowie die verfügbaren Vermarktungsmöglichkeiten und zeigt, welche Vermarktungsmöglichkeiten je nach Branche von Relevanz sein könnten.

2.1 Flexibilitätsoptionen im Überblick

Im Folgenden wird zwischen zwei grundsätzlichen **Kategorien an Flexibilitätsoptionen** unterschieden:

- Zum einen sind das **branchenspezifische Industrieprozesse**, die insbesondere in energieintensiven Branchen existieren und infolgedessen einzelne Anlagen oder Prozesse beschreiben, die flexibilisierbar sind.
- Zum anderen gibt es **branchenübergreifende Querschnittstechnologien**. Auf Grund des breiten Anwendungsspektrums sind vor allem diese Technologien auch für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) interessant.

In diesen beiden Kategorien können unterschiedliche Maßnahmen zum Tragen kommen, um die Flexibilitäten der einzelnen Prozesse und Technologien zu heben (Tabelle 1).

Tabelle 1

Übersicht über Flexibilitätsmaßnahmen und typische Beispiele

Flexibilitätsmaßnahme	Beispiele
Energiequelle wechseln	Hybride Wärmebereitstellung (Wechsel zwischen Gas und Strom)
Energie speichern	Batterie-, Wärme- und Kältespeicher
Prozess unterbrechen	Abschalten ganzer Anlagen (ggf. mit höherer Last nachholen)
Produktionsplanung anpassen	Anpassen der Produktionsreihenfolge nach Energieintensität des Produktes mit Bezug auf Strompreise/ Netzauslastung
Maschinenbelegung anpassen	Ändern der Belegung/Reihenfolge in einer Produktionslinie/Halle
Auftragsart verschieben	Aufteilung auf zwei Liefertermine pro Woche mit geringerer Menge anstelle eines fixen Liefertermin pro Woche

Flexibilitätpotenziale in der Industrie

Prozessparameter anpassen	Auf- und Abregeln einer oder mehrerer Anlagen, um schneller/langsamer zu produzieren, oder auch Temperaturvariation von z.B. Kühltürmen, um anschließend weniger Last aufzunehmen
Schichtzeiten anpassen	Schichtplanung mit Energiepreisen koppeln
Pausenzeiten verschieben	Frühere/spätere Pausen und dafür spätere/frühere kurze Zwischenpausen, um von niedrigeren Strompreisen zu PV-Spitzenzeiten zu profitieren

Diese Flexibilitätsmaßnahmen können auf flexibilisierbare Anlagen angewandt werden. Um ein besseres Bild der gut zur Flexibilitätserbringung geeigneten Optionen zu erhalten, zeigt Tabelle 2 eine Zusammenfassung von spezifischen Technologien nach Branchen und Tabelle 2 einen Überblick allgemeiner Querschnittstechnologien, jeweils basierend auf bestehenden Vorarbeiten² und den durchgeführten Interviews.

Tabelle 2

Flexibilisierbare Anlagen bei den branchenspezifischen Industrieprozessen

Branche	Flexibilisierbare Anlagen
Primär- & Sekundärstahl	Lichtbogenofen (sog. electric arc furnace, EAF), Walzanlagen, Induktionstiegelöfen bzw. bivalenter Tiegelöfen
Nicht-Eisen Metalle (Primär- & Sekundäraluminium)	Elektrolyse (elektrolytische Veredelung), Aluminiumelektrolysezellen, (Bivalenter) Tiegelöfen
Zement	Roh- & Zementmühlen
Glas (Hohl- & Flachglas)	Elektrische Zusatzbeheizung des Wannenofens (bzw. hybride Schmelzwannen)
Grundstoffchemie	Chlorelektrolysezellen
Gummi- und Kunststoffwaren	Spritzgussmaschine
Papier	Holzschleifer, Papierbahntrockner

² Gruber, A.: Zeitlich und regional aufgelöstes industrielles Lastflexibilisierungspotenzial als Beitrag zur Integration Erneuerbarer Energien – Dissertation, eingereicht an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU München, durchgeführt an der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mBH: München (2017); Jetter, F. / Veitengruber, F. et al.: Regionale Lastmanagementpotenziale - Quantifizierung bestehender und zukünftiger Lastmanagementpotenziale in Deutschland. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft und Guidehouse Germany (2021).

Automobil*	Lackieranlagen, Gießereien
Nahrungsmittelherstellung*	Pasteurisierung, Trocknungsanlagen, Kühlhaus

* Industrien mit hohem Anteil flexibilisierbarer Querschnittstechnologien im Prozess.

Tabelle 2

Flexibilisierbare Anlagen bei branchenunspezifischen Querschnittstechnologien

Technologie	Flexibilisierbare Anlagen
Lüftung	Motoren von Ventilatoren
Klima- und Prozesskälte	Elektrische Verdichter (Kompressionskältemaschinen, Splitgeräte), Motoren von Ventilatoren/Umwälzpumpen, Speicher*
Wasserbereitstellung	Motoren von Grund- bzw. Trinkwasserpumpen, Umwälzpumpen, Reservoir
Raumwärme/Warmwasser	Wärmepumpe, Heizstäbe zur elektrischen Warmwasserbereitung, Heizungsumwälzpumpen, Speicher*
Prozesswärme	Elektrodenkessel, Großwärmepumpen, hybride Systeme
Kraft-Wärme-Kopplung	Blockheizkraftwerke/KWK-Anlagen
Netzersatzanlagen	Notstromaggregate
Batteriespeicher	Batterien

* Zur Ermöglichung der Flexibilisierung

Für eine ausführliche Beschreibung der flexibilisierbaren Anlagen wird an dieser Stelle auf die Studie *Energieflexibilitätsoptionen in der Industrie – Fokus Bayern*³ verwiesen.

Das jeweilige **technische Potenzial** der Flexibilitätsoptionen wird durch die konkreten Rahmenbedingungen in der Praxis eingegrenzt. Die praktische Umsetzbarkeit (**praktisches Potenzial**) hängt beispielsweise von Speichergrößen und Anforderungen an den Produktionsprozess und Produktqualität ab. Hinzu kommt die Wirtschaftlichkeit (**wirtschaftliches Potenzial**), welche vor der Umsetzung geprüft werden muss (siehe Kapitel 3.3.2). Nur wenn beide Anforderungen – praktische Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit – gegeben sind,

³ Helmer, N. / Maas, N. et al: Energieflexibilitätsoptionen in der Industrie – Fokus Bayern. Eine vbw Studie, erstellt von der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (FE), München (2024)

steht die betreffende Maßnahme als **realisierbares Potenzial** zur Verfügung und kann erschlossen werden.

2.2 Vermarktungsmöglichkeiten im Überblick

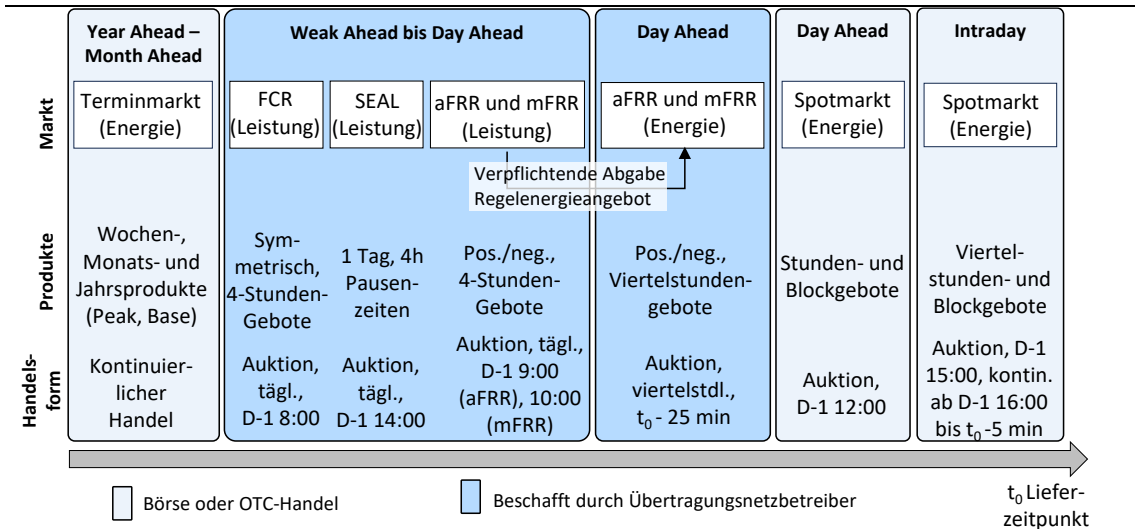
Für viele Industriebetriebe wird eine Flexibilisierung von Prozessen bzw. des Betriebs zunächst werksintern genutzt, um Wartungsarbeiten auszugleichen, Lastspitzen und damit beispielsweise einhergehende höhere Netzentgelte zu vermeiden oder den Verbrauch aus Eigenerzeugungsanlagen zu optimieren. Darüber hinaus gibt es jedoch noch weitere **externe Vermarktungsmöglichkeiten** für die Flexibilität, mit denen Stromkosten optimiert sowie **weitere Erlöse** für das Industrieunternehmen und **Mehrwerte für das Energiesystem** generiert werden können.

Bei den derzeit bestehenden Vermarktungsmöglichkeiten ist zwischen der **Vermarktung über den Großhandel** und der **Bereitstellung von Systemdienstleistungen** zu unterscheiden. Im europäischen Stromsystem findet der Großhandel ohne Berücksichtigung des Stromnetzes statt. Das heißt, der Stromhandel unterstellt die sogenannte „Kupferplatte“, ohne reale Transportkapazitäten im Stromnetz zu berücksichtigen. Der Handel findet vor der physikalischen Lieferung auf mehreren sequenziell aufeinanderfolgenden Märkten statt: dem **Terminmarkt** und anschließend dem **Spotmarkt** bestehend aus Day-Ahead und Intraday-Markt. Gehandelt werden kann entweder an der **Strombörse** oder bilateral über den **„Over-the-Counter“ (OTC)-Handel**. Abbildung 2-1 stellt die sequenzielle Abfolge der Strom- und Regelreservemärkte und die Produktmodalitäten dar.

Daneben werden einzelne Systemdienstleistungen durch die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) ausgeschrieben und stellen damit weitere Vermarktungsmöglichkeiten für Industriebetriebe dar. Dazu zählt die **Regelreserve** (auch Regelleistung genannt) und das neu eingeführt Produkt **„Systemdienstleistungsprodukt im Echtzeitbereich aus abschaltbaren Lasten“** (SEAL). Beides wird von den ÜNB eingesetzt um die Frequenz im Stromnetz zu stabilisieren. Die Regelreserve wird von den ÜNB über verschiedene Produkte beschafft. Wichtig ist die grundlegende Unterscheidung der drei Produktqualitäten: **Primärregelreserve**, **Sekundärregelreserve** und **Minutenreserve**. Denn die drei Produkte unterscheiden sich maßgeblich in ihren technischen Anforderungen. Detaillierte Informationen zu den einzelnen Produkten und ihren Anforderungen sowie zum Marktzugang finden sich auf der Seite www.reglleistung.net von den ÜNB.

Abbildung 2

Darstellung der Vermarktungsmöglichkeiten im Zeitverlauf



Hinweis: FCR = Primärregelreserve; aFRR = Sekundärregelreserve; mFRR = Minutenreserve; SEAL = Systemdienstleistungsprodukt im Echtzeitbereich aus abschaltbaren Lasten

Quelle: Eigene Darstellung (FfE) nach ENERKO⁴, EPEX SPOT⁵ und Informationen auf www.regelleistung.net.

Welche Vermarktungsmöglichkeiten für einen Industriebetrieb relevant sind, richtet sich maßgeblich nach den **technischen Anforderungen der einzelnen Märkte und Produkte**. Unterschiede gibt es insbesondere bei Reaktions- bzw. Aktivierungszeiten der Flexibilität, der vorgeschriebenen Mindestleistung und Abrufdauer. Auf den Spotmärkten erfordert der Intraday-Markt mit seinen Viertelstundengeboten eine schnelle Reaktionsfähigkeit der Prozesse (siehe Abbildung 2). Dafür sind die Preisspreads in der Regel höher als auf dem Day-Ahead-Markt. Noch höhere technische Anforderungen stellen die ÜNB an die Erbringung der unterschiedlichen Regelreservequalitäten. Aufgrund der besonderen Anforderungen können auf den Regelreservemärkten meist hohe Preise erzielt werden. Die Anforderungen der Primärregelleistung wird durch eine reine Prozessflexibilisierung in der Regel nur schwer erfüllbar sein. Denn dafür wäre es erforderlich, dass Prozesse innerhalb von Sekunden automatisch von den ÜNB hoch- und heruntergeregt werden könnten. Verfügen Industriebetriebe jedoch über Technologien, wie Batteriespeicher, kann diese Vermarktungsoption wieder interessant sein (siehe Praxisbeispiel zum Einsatz eines Batteriespeichers). Für eine Prozessflexibilisierung ist eher das Anbieten von Sekundär- oder Minutenreserve in Erwägung zu ziehen. Weniger Wettbewerb durch andere Technologien als auf den allgemeinen Regelreservemärkten sind die Industriebetriebe bei der Ausschreibung

⁴ ENERKO: Flexible Strom- und Wärmeerzeugung - Die drei Leitfragen für die Vermarktung flexibler Erzeugungsanlagen.

⁵ EPEX SPOT: Trading Products (2024). In: <https://www.epexspot.com/en/tradingproducts> (Abruf am 21.08.2024)

des neuen Produkts SEAL ausgesetzt. Die geforderte Mindestleistung ist jedoch wesentlich höher.

2.3 Flexibilitätsoptionen im Vergleich

Als Orientierung, welche der anspruchsvolleren Vermarktungsmöglichkeiten in den jeweiligen Branchen von Relevanz sein könnten, erfolgt in Abbildung 3 ein **Vergleich verschiedener Flexibilitätsoptionen** für den Einsatz an den Spot- und Regelreservemärkten. Der dargestellte **Flexibilitätszeitraum** gibt eine Einordnung zur möglichen Dauer der Flexibilitätsbereitstellung (Ausgleich kurzfristiger oder täglicher Schwankungen oder Überbrückung von Dunkelflauten bzw. Hellbrisen⁶) je Flexibilitätsoption aufgrund technischer, organisatorischer oder ökonomischer Restriktionen. Dabei handelt es sich um eine generalisierte Darstellung je Branche. Die tatsächlichen Vermarktungsmöglichkeiten müssen in der Praxis für jeden Betrieb individuell bewertet werden (siehe Kapitel 3). Basierend auf den Restriktionen werden bei den Vermarktungsmöglichkeiten Optionen ausgeschlossen.

⁶ Unter einer Dunkelflaute versteht man das gleichzeitige Auftreten von Dunkelheit und einer Windflaute. Der Zustand beschreibt ein Unterangebot an Strom aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen. Das Gegenteil sind Hellbrisen, also Situationen, in denen aufgrund zu viel Windaufkommen und Sonnenschein ein Überangebot an Strom besteht.

Abbildung 3

Vergleich der Vermarktungsmöglichkeiten verschiedener Flexibilitätsoptionen

	Industriezweig/Technologie	Flexibilitätszeitraum			Vermarktungsmöglichkeiten				
		Minuten	Stunden	Tage	Spotmarkt		Regelreservemärkte		
					DA	ID	FCR	aFRR	mFRR
Industrielle Flexibilität	Eisen, Stahl	✓							
	Nicht-Eisen-Metalle	✓							
	Zement	✓	(✓)	(✓)					
	Glas	(✓)							
	Grundstoffchemie	✓	✓	(✓)					
	Papier	✓	✓						
	Nahrungsmittel	✓	(✓)						
	Automobil	✓	(✓)						
	QST (Lüftung, Raumwärme)	(✓)	(✓)						
	QST (Prozesswärme, Prozesskälte)	✓	(✓)						
	QST (KWK-Anlagen)	✓	✓						
	QST (Batterien, Notstromaggregate)	✓	(✓)						
Sonstige	Großbatterien	✓	(✓)						
	Pumpspeicherkraftwerke	✓	✓						
	Elektroautos (Bidirektional)	✓	(✓)						
	Gaskraftwerke (künftig H ₂)	✓	✓						
	Elektrolyse und Power-to-Heat	✓	✓	✓					

Leeres Feld = ungeeignet; ✓ = geeignet; (✓) = bedingt geeignet
 Wird bereits vermarktet
 Potenzielle Vermarktung
 Nicht geeignet aus technischen, organisatorischen und/oder ökonomischen Gründen

Hinweis: DA = Day-Ahead; ID = Intraday; FCR = Primärregelreserve; aFRR = Sekundärregelreserve; mFRR = Minutenreserve; QST = Querschnittstechnologie; KWK = Kraft-Wärme-Kopplung; H₂ = Wasserstoff

Quelle: Eigene Darstellung (FfE), Einordnung basierend auf bestehenden Arbeiten^{7,8,9} und durchgeführten Interviews.

⁷ Guidehouse Germany und Öko-Institut: Überblick zu nachfrageseitigen Flexibilitätsoptionen und Speichern sowie Flexibilitätshemmnissen. Wissenschaftliches Inputpapier für die AG 2 der PKNS (2023).

⁸ Veitengruber, F. / Kigle, S. / Helmer, N. / Strobel, Q.: Volkswirtschaftlicher Nutzen von Flexibilitätspotenzialen in der Industrie. München. In: <https://www.50hertz.com/de/Unternehmen/Partnerschaften/ScientificAdvisoryProjectBoardSAPB>

⁹ Jetter, F./ Veitengruber, F. et al.: Regionale Lastmanagementpotenziale - Quantifizierung bestehender und zukünftiger Lastmanagementpotenziale in Deutschland. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft und Guidehouse Germany (2021)

3 Flexibilitätspotenziale im Betrieb heben

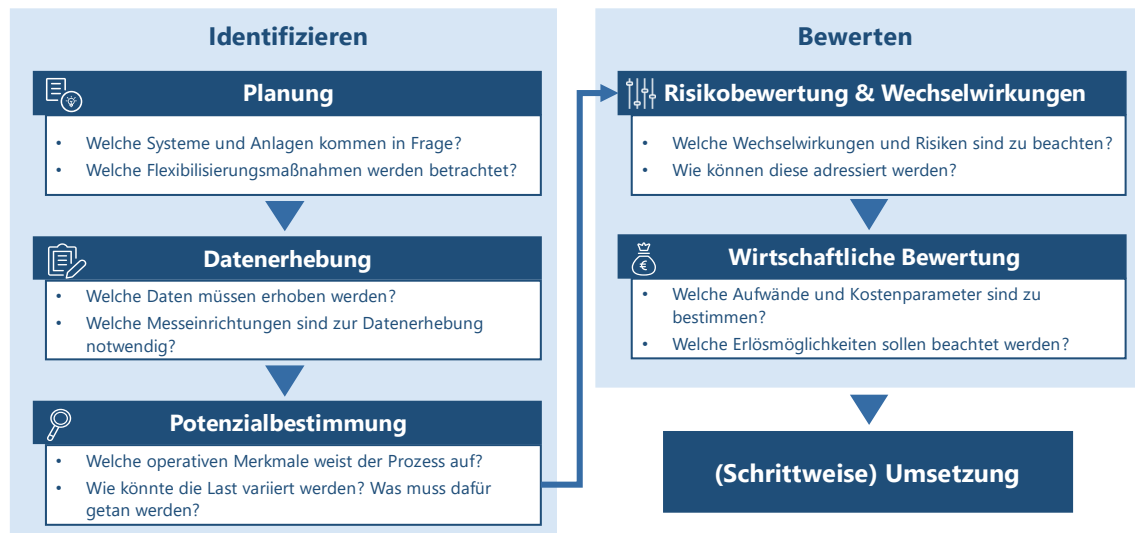
Flexibilitätspotenziale identifizieren und bewerten

3.1 Übersicht zum Vorgehen – von der Erfassung bis zur Bewertung

Basierend auf den Arbeiten in den Kopernikus-Projekten^{10,11} sowie durchgeführten Interviews mit Industrieunternehmen wird im Folgenden eine schrittweise Anleitung zur Identifizierung und anschließenden Bewertung von Flexibilitätspotenzialen in Industrieunternehmen bereitgestellt. Jeder einzelne Schritt ist anhand von Leitfragen strukturiert. Eine Übersicht über die Methodik und die Fragen ist in Abbildung 3 zu finden. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte detailliert besprochen und anhand eines Beispielsfalls illustriert.

Abbildung 3

Übersicht über die Vorgehensweise zur Identifikation und Bewertung von Flexibilitätspotenzialen in Industrieunternehmen.



Quelle: Eigene Darstellung (FfE)

¹⁰ Sauer A. et al.: Energieflexibilität in der deutschen Industrie – Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung (SynErgie). Stuttgart: Fraunhofer IPA und EEP (2019).

¹¹ Sauer, A. et al.: Energieflexibilität in der deutschen Industrie – Band 2: Markt- und Stromsystem, Managementsysteme und Technologien energieflexibler Fabriken (SynErgie). Stuttgart: Fraunhofer IPA und EEP (2022).

3.2 Identifikation

3.2.1 Planung

Ziel des ersten Schritts ist es, festzulegen, welche Anlagen oder Systeme im Unternehmen für eine Flexibilisierung in Frage kommen und welche Maßnahmen näher untersucht werden sollen.

Praxis-Tipp: Unternehmensinterne Kommunikation

In der Praxis hat sich gezeigt, dass es notwendig ist, die Belegschaft frühzeitig bei den einzelnen Schritten der Potenzialbestimmung mitzunehmen. Die Strategie zur Flexibilisierung sollte transparent kommuniziert werden. So kann die erforderliche Akzeptanz erreicht werden.

Welche Systeme oder Anlagen kommen in Frage?

Hierbei sind prinzipiell zwei verschiedene Bereiche zu unterscheiden: Produktionsprozesse und Querschnittstechnologien. Dabei hängt es von der Topologie der Fabrik ab, ob alle oder nur einzelne der verfügbaren industriellen Systeme betrachtet werden können. Auch die für die Analyse verfügbare Zeit und eventuell bereits verfügbare Daten und Automatisierungen können die Auswahl der möglichen Systeme beeinflussen.

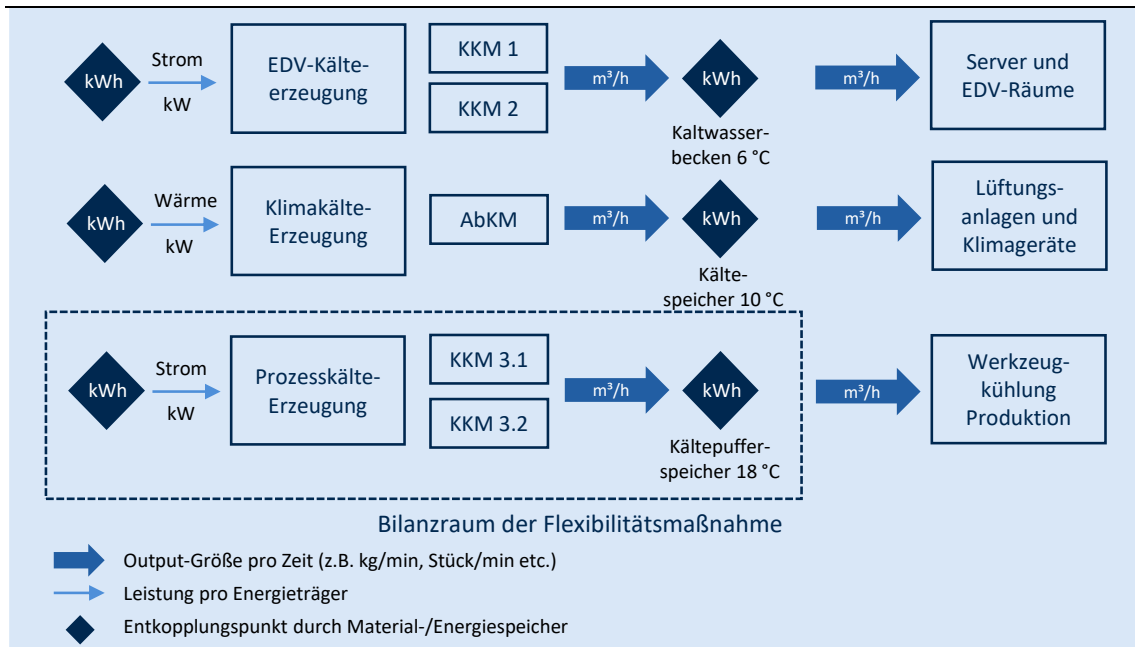
Es kann hilfreich sein, zur Unterstützung und Eingrenzung des Systems, das betrachtet werden soll, ein vereinfachtes Prozessschaubild anzufertigen, welches den Bilanzraum verdeutlicht. So können alle für das System relevanten Material- und Energieströme sowie Wechselwirkungen mit anderen Produktionssystemen visualisiert werden. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 3-2 dargestellt.

Beispielsfall

In einem produzierenden Unternehmen (ganzjähriger 3-Schichtbetrieb) sind mehrere Anlagen zur Kälteerzeugung vorhanden. Nach einer ersten Prüfung, welche Anlagen grundsätzlich flexibilisiert werden könnten, hat sich gezeigt, dass (in diesem fiktiven Beispielfall) die Kompressionskälteanlage 3 (KKM 3) zur Prozesskälteerzeugung mit zwei Verdichtern à 84 kW_{el} bzw. 380 kW_{th} dafür in Frage kommen könnte. Beide Verdichter sind frequenzgesteuert. Je nach Kältebedarf wird der zweite Verdichter variabel dazugeschaltet. Im Vergleich mit den anderen Anlagen zur Kälteerzeugung weist KKM 3 mit ca. 10 m³ einen sehr großen Pufferspeicher auf.

Abbildung 4

Beispielhaftes Prozessschaubild zur Verdeutlichung des Bilanzraumes und der relevanten Material- und Energieströme



Quelle: Eigene Darstellung (FfE) nach Energieflexibilität in der deutschen Industrie¹².

Welche Flexibilitätsmaßnahmen sollen betrachtet werden?

In diesem Schritt soll eine grundlegende Auswahl verschiedener Flexibilisierungsmaßnahmen getroffen werden, welche im Weiteren genauer untersucht werden. Hierbei ist es möglich, dass aufgrund der Produktionscharakteristik oder der Organisation des Betriebes bestimmte Maßnahmen von vornherein ausgeschlossen werden müssen. So können Anlagen, die ein Produkt erzeugen, das nur innerhalb eines festgelegten Temperaturniveaus gefertigt werden kann, nicht in beliebiger Zeit an- oder abgeschaltet werden, so dass eine Prozessunterbrechung hier ausgeschlossen werden kann.

Mögliche Flexibilitätsmaßnahmen sind (siehe auch Kapitel 2.1):

- Energiequelle wechseln
- Energie speichern
- Prozess unterbrechen
- Produktionsplanung anpassen
- Maschinenbelegung anpassen
- Auftragsart verschieben
- Prozessparameter anpassen
- Schichtzeiten anpassen
- Pausenzeiten verschieben

¹² Sauer A. et al.: Energieflexibilität in der deutschen Industrie – Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung (SynErgie). Stuttgart: Fraunhofer IPA und EEP (2019).

Beispielfall

Die zuvor genannte Kompressionskälteanlage 3 erzeugt im Primärkreis zum 10 m³ Pufferspeicher Kälte mit einer Vorlauftemperatur von ca. 18 °C. Der Pufferspeicher dient gleichzeitig als hydraulische Weiche. Im Sekundärkreis werden die Kälteverbraucher – in diesem Fall diverse Werkzeugkühlungen – über frequenzgesteuerte Pumpen versorgt. Durch den Kältespeicher können bereits kurzfristige Schwankungen in der Nachfrage des Kältebedarfs infolge einer Änderung des Produktmixes etc. ausgeglichen werden. Für eine mögliche Flexibilisierung der Anlagen zur Prozesskälteerzeugung begrenzen sich die Flexibilitätsmaßnahmen für KKM 3 auf „Energie speichern“, „Anlage unterbrechen“ und „Anlagenparameter anpassen“.

3.2.2 Datenerhebung

Um in der Lage zu sein, Flexibilitätspotenziale im Unternehmen zu identifizieren, ist eine möglichst gute Datengrundlage essenziell.

Praxis-Tipp: Lastgang bei Energieversorgern anfordern

Unternehmen können ihren Strom- und Gastlastgang bei ihrem Energieversorger anfragen. Dieser ist verpflichtet die Energielastgänge auf Anfrage in mindestens stündlicher Auflösung kostenfrei zur Verfügung zu stellen. Bei Unternehmen mit einem mittleren Lastbezug von 500 kW bzw. 100 MWh/a erfolgt eine Datenerhebung in 15 min-Intervallen.

Welche Daten müssen erhoben werden?

Der Energieverbrauch sollte für das gesamte Werk im Idealfall für mindestens ein Jahr in einer Auflösung von 15 Minuten bis zu einer Stunde vorliegen. Zusätzlich dazu sind historische Produktionsdaten sowie die Energiekosten des Werkes notwendig, um Kosten mit Verbrauch und Produktion in Verbindung zu bringen. Sind die notwendigen Informationen zu den Energieverbräuchen noch nicht in ausreichendem Detailgrad oder erforderlicher Auflösung vorhanden, muss die Datengrundlage erst geschaffen werden (siehe folgende Leitfrage). Wichtig ist, ein Verständnis zu den Leistungsveränderungen und der Dauer einzelner Produktionszustände über den Tag, die Woche und das Jahr hinweg zu erhalten.

Bis alle notwendigen Daten der Produktionssysteme vorliegen, helfen natürlich bereits Daten zu einzelnen Anlagen, die für die Umsetzung einer Flexibilitätsmaßnahme in Betracht kommen (siehe Abbildung 3.2 für die Abgrenzung von relevanten Material- und Energieströmen). Hierbei sollte allerdings beachtet werden, dass Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zu anderen Produktionssystemen bestehen können.

Beispielfall

Das produzierende Unternehmen weist einen Stromverbrauch von über 15.000 MWh/a auf. Die Stromkosten liegen bei ca. 3,7 Mio. €/a, was einem durchschnittlichen Strompreis von ca. 245 €/MWh entspricht. Nachdem die KKM 3 einer der Hauptstromverbraucher ist, wird deren Stromverbrauch bereits mit einer minütlichen internen Strommessung erfasst. Die erzeugte Kältemenge wird anhand eines verbauten Kältemengenzählers ermittelt. Anhand der Auswertungen des elektrischen Leistungsverlaufs für KKM 3 über ein ganzes Jahr zeigt sich, dass aufgrund des 3-Schichtbetriebs ganzjährig ein relativ gleichmäßiger Strombezug von im Mittel ca. 100 kW vorliegt. Aufgrund der verminderten Effizienz bei der Rückkühlung infolge der durchschnittlich höheren Außentemperatur in den Sommermonaten ist ein leichter saisonaler Effekt ersichtlich. Im Wochen- und Tagesverlauf zeigt sich, dass die Anlage zur Mittagszeit und nachmittags ebenfalls einen höheren Leistungsbezug (im Mittel ca. 120 kW) aufweist als nachts (durchschnittlich ca. 75 kW). Stillstandzeiten sind vereinzelt an Feiertagen (z.B. Karfreitag, Weihnachten) erkennbar.

Welche Messeinrichtungen sind zur Datenerhebung notwendig?

Je nach Anwendungsfall, Energieart und Transparenzstufe müssen im Anschluss die passenden Messsysteme ausgewählt werden. Welche Messungen zur Datenerhebung notwendig sind, ist in Tabelle 3-1 aufgeführt. Es muss mindestens Mess- bzw. Transparenzstufe 3 erreicht werden, damit es möglich ist, die zeitlich aufgelösten Energiebedarfe den einzelnen Systemen zuzuordnen.

Beispielfall

Gerade für Hauptenergieverbraucher ist eine individuelle Energiedatenerfassung essenziell. Für die Prozesskälteanlage KKM 3 ist bereits eine elektrische und thermische Datenerfassung installiert – auch um die Effizienz der Anlage über deren Lebensdauer stets im Blick zu haben. Die Anlage ist an ein zentrales Energiedatenmanagementsystem angebunden, sodass automatisierte Betriebsberichte und -prognosen erstellt und ausgewertet werden können.

Tabelle 4

Transparenzstufen der Datenerhebung zusammen mit den Anforderungen an das Messgerät und Einsatzbeispielen

Transparenzstufe	Einsatzbeispiel	Beispielmessung	Anforderung Messgerät
1	Einmalige Messung – Energiebilanzierung – Identifikation von Hauptverbrauchern oder energieintensiven Prozessen – Zuordnung von Energie und Kostenstellen	Zentraler Energiezähler	Einmalige Messungen über längere Zeiträume → Identifikation energieintensiver Prozess, Sankey-Diagramm Beispielsystem: Energiezähler
2	Zeitverlauf der Leistung – Energiebedarf je Betriebszustand manuell ermitteln	Zeitaufgelöste Energiemessung (z.B. am Hauptanschluss der Anlage)	Ermittlung von Zuständen Bsp: Leistungsmessgerät, zeitauflösender Datenlogger
3	Zuordnung von Energiebedarf und Betriebsdaten – Automatisierte energetische Beschreibung der Betriebszustände – Prognose von Energiebedarfen durch Maschinen-/ Betriebsdaten – Abschätzung/ Prognose von Auswirkungen der Flexibilitätsmaßnahme	Energiemessung unter Auswertung von Aufträgen, Überlagerung mit Maschinen- oder Betriebsdaten	Automatisierte Beschreibung der Zustände, parallele Erfassung der Energie- & Betriebsdaten (MES/SPS), Auswertung von Aufträgen Bsp: Datenerfassungssystem mit weiteren Schnittstellen (z.B. Bussysteme)
4	Abhängigkeiten zwischen Zuständen und Zustandswechseln bekannt – Prognose bevorstehender Energiebedarfe auf Basis von Detailwissen über das gesamte System	Wie 3, zusätzlich Auswertung durch intelligente Verfahren	Wie 3, zusätzlich Programmierfähigkeit → z.B. Implementierung von Auswertungsalgorithmen

Quelle: Basierend auf *Energieflexibilität in der deutschen Industrie*.

3.2.3 Potenzialbestimmung

Nach erfolgreicher Schaffung einer Datengrundlage kann eine Einschätzung der Flexibilitätsmaßnahmen und der möglichen flexibilisierbaren Prozesse erfolgen. In Kapitel **Fehler!** **Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** findet sich eine Übersicht zu allen notwendigen Parametern zur Potenzialbestimmung.

Welche operativen Merkmale weist der Prozess auf?

Im ersten Schritt sollten die operativen Merkmale bzw. spezifischen Kennzahlen des betrachteten Prozesses oder Anlage festgehalten werden. Dazu zählt zum Beispiel der

Energieverbrauch übers Jahr, die Anschlussleistung, aber auch die allgemeine Steuerung des Prozesses (Wie wird der Prozess gesteuert? Kann der Prozess in Stufen oder stufenlos an- und abgeschaltet werden?). Ebenfalls sollte erfasst werden, in welchem Schichtbetrieb bzw. Pausenzeiten der Prozess gefahren wird.

Beispielfall

KKM 3 wird in der Regel ganzjährig zur Werkzeugkühlung betrieben. Die Anlage weist anhand der internen Leistungsmessung des Strombezugs eine durchschnittliche Leistung von ca. 100 kW und einen jährlichen Stromverbrauch von 2,1 GWh auf. Je nach Kältebedarf kann die benötigte Kältemenge stufenlos anhand der verbauten Frequenzumrichter der beiden Verdichter bereitgestellt und aus dem Pufferspeicher bezogen werden.

In welcher Höhe und in welchen Zeiträumen kann die Last variiert werden?

Um zu bestimmen, wie hoch die Potenziale für eine Lastflexibilisierung sind, kann es hilfreich sein, das Lastprofil des Prozesses zu visualisieren. Dabei sollten die Arten industrieller Flexibilität (siehe Kapitel 1.2) unterschieden werden. Abbildung 5 visualisiert beispielhaft eine Lastverschiebung. Bei der Darstellung einer Lasterhöhung oder eines Lastverzichts würde der Nachholbedarf entfallen. Die Auswirkung der Energieflexibilitätsmaßnahmen wird als Differenzlastprofil dargestellt, welches sich aus dem ursprünglichen Lastprofil und dem durch die Maßnahme veränderten Profil ergibt. Als Größenordnung von Leistung und Zeit sind kW bis MW bzw. Sekunden bis zu Monaten denkbar.

Der Flächeninhalt unter der Kurve repräsentiert die flexibilisierte Energie, die bei einer Lastverschiebung komplett nachgeholt werden muss. Das Nachholen der flexibilisierten Energie kann dann in einem unterschiedlichen Zeitraum passieren. Beispielsweise könnte eine von zuvor 400 kW auf 200 kW über die Dauer von einer Stunde abgeregelter Maschine diese Energie (200 kWh) durch eine Erhöhung der Last um 50 kW (und somit einer neuen Leistungsaufnahme von 450 kW) für eine Dauer von vier Stunden nachholen. Die zeitliche Komponente ist daher zur Bestimmung des Potenzials äußerst wichtig. Die entsprechenden Parameter sollten mit Hilfe eines internen Experten (z. B. Produktionsleiter) festgelegt werden. Dazu zählen: die Abrufdauer, die (De-)Aktivierungsdauer, die Regenerationsdauer und die Abrufhäufigkeit. Letztendlich ergibt sich aus der Datenerfassung und der Erfassung der möglichen Lastvariation das technische Energieflexibilitätpotenzial, welches beispielsweise in Form der in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gezeigten Hilfestellung erfasst werden kann.

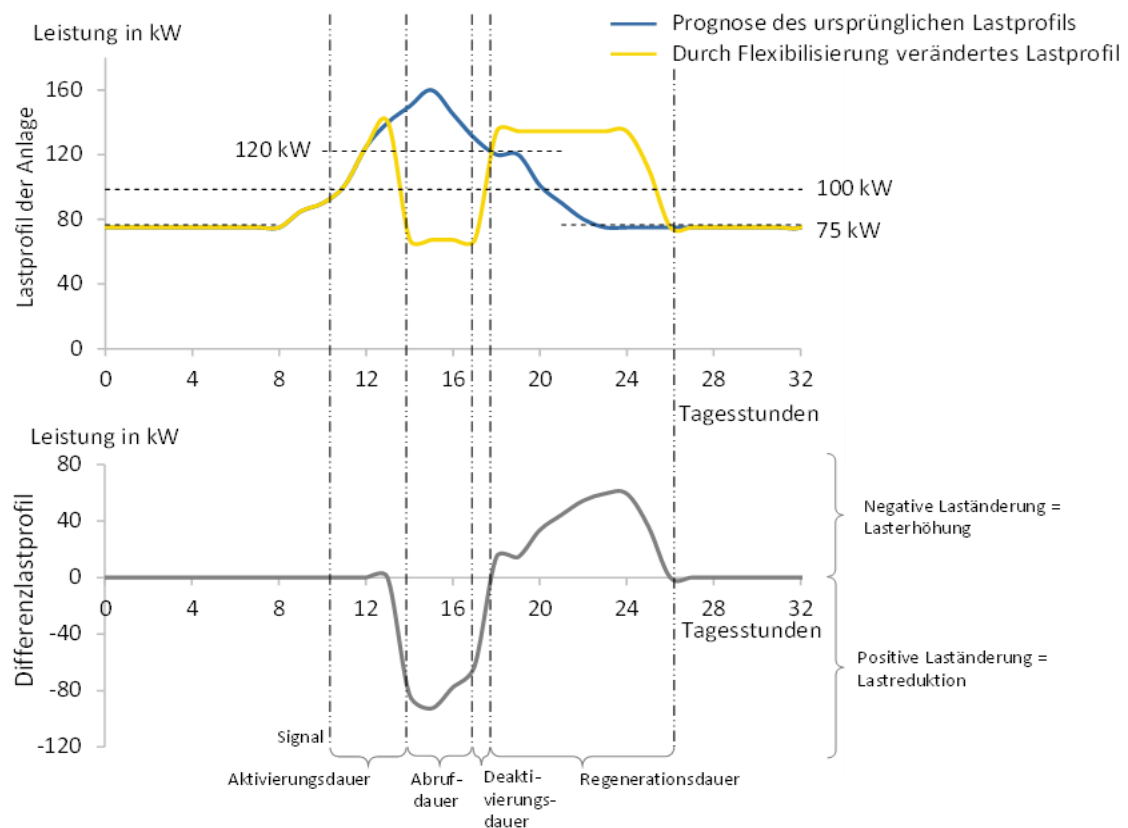
Beispielfall

Wie zuvor beschrieben, liegt der Leistungsbezug von KKM 3 im Mittel bei ca. 100 kWel. Dies entspricht einem durchschnittlichen Leistungsbezug von ca. 60 % der maximalen Stromleistung von KKM 3. Eine Rücksprache mit der Produktions-, Instandhaltungs- und

Facility-Abteilung ergab, dass im vorliegenden Beispielfall aufgrund der ausreichenden Kapazität des Kältepufferspeichers KKM 3 für ca. vier Stunden Abrufdauer auf 67 kW bzw. 40 Prozent der maximalen Stromleistung reduziert werden könnte. Die verminderte Kälteerzeugung muss anschließend unmittelbar nachgeholt werden. Es ergibt sich ein Energieflexibilitätspotenzial (EFP) von ca. 270 kWh, welches je nach Auslastungskapazität bis zu acht Stunden Regenerationsdauer benötigt, wenn keine erneute Lastspitze erzeugt werden soll. Da zwischen den Abrufen zur Risikominimierung ein gewisser Normalbetrieb von KKM 3 mindestens stattfinden soll, ist die Abrufhäufigkeit auf einmal täglich beschränkt.

Abbildung 5

Beispielhafte Visualisierung einer Lastanpassung



Quelle: Eigene Darstellung (FfE)

Was müsste getan werden, um den Prozess oder die Technologie zu flexibilisieren?

Nach der Bestimmung der technischen Potenziale im vorherigen Schritt ist es notwendig festzulegen, mit welchem Handlungsbedarf die Umsetzung der Flexibilisierungsmaßnahme verbunden ist. Einige Maßnahmen könnten bereits heute umsetzbar sein (wie beispielsweise eine Änderung der Produktionsplanung), während andere Maßnahmen wie der Wechsel von Energiequellen oder die Speicherung von Energie einen höheren Aufwand in der Umsetzung (z.B. durch den Bau eines entsprechenden Speichers) bedeuten können.

Die hier identifizierten Handlungsbedarfe sind für die anschließende wirtschaftliche Bewertung relevant.

Beispielfall

Die Prozesskälteanlage KKM 3 könnte bereits heute flexibilisiert werden. Die technischen Voraussetzungen im Unternehmen sind bereits gegeben. Demzufolge würden sich die Kosten zur Flexibilitäterschließung der Anlage auf eine kommunikationstechnische Anbindung zur Verarbeitung eines Flexibilitätssignals und ggf. auf die Anpassung von voreingestellten Regelungsparametern beschränken.

3.3 Bewertung

3.3.1 Bewertung der Risiken und Wechselwirkungen

Nachdem in Kapitel 3.2.3 bestimmt wurde, welche Flexibilitätsmaßnahmen prinzipiell für welche Anlagen umgesetzt werden könnten, müssen eventuelle Risiken und Wechselwirkungen bewertet werden.

Praxis-Tipp: Energieeffizienz vs. Flexibilität

Es ist möglich, dass sich die Bestrebungen nach Energieflexibilität und nach Energieeffizienz gegenseitig beeinflussen. Hier müssen insbesondere die Auswirkungen zukünftiger Effizienzmaßnahmen, Effizienzverluste und die Folgen einer Abweichung vom optimalen Betriebspunkt durch eine Flexibilisierung mitberücksichtigt werden.

Welche Wechselwirkungen und Risiken sind zu beachten?

Jede Kombination aus Flexibilitätsmaßnahme und Anlage sollte auf mögliche Risiken oder Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen geprüft werden. Es ist durchaus denkbar, dass sich Flexibilitätsmaßnahmen gegenseitig ausschließen, nicht gleichzeitig durchgeführt werden können oder sogar zusammen durchgeführt werden müssen. Es ist beispielsweise möglich, dass die Anpassung von Prozessparametern (z.B. das Auf- oder Abregeln einzelner Anlagen, was zu Änderungen der Produktionsgeschwindigkeit führt) auch eine Anpassung der Produktionsplanung notwendig macht. Genauso könnte ein Wechsel des Energieträgers dazu führen, dass zuvor genutzte Speicher nicht mehr verwendet werden können.

Wie können diese adressiert werden?

Wenn Risiken oder Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Flexibilitätsmaßnahmen an Anlagen identifiziert werden, muss dies jedoch nicht bedeuten, dass diese Maßnahmen für die Anlage deswegen direkt ausgeschlossen werden müssen. Stattdessen kann das technische Flexibilitätspotenzial für diesen Fall (prozentual) entsprechend reduziert werden oder die zeitlichen Parameter, wie die Abrufhäufigkeit, noch einmal angepasst werden, so dass eventuelle Risiken und Wechselwirkungen berücksichtigt werden.

Beispielfall

Die mögliche Flexibilisierung der Prozesskälteanlage 3 ist nachvollziehbar mit Risiken verbunden. Ein Komplettausfall der Werkzeugkühlung hätte im schlimmsten Fall einen Produktionsausfall zur Folge. Um dem entgegenzuwirken, wurde die Abrufhäufigkeit durch die Festlegung der sogenannten „Mindeststillstandszeit“, also der Zeit, in der zwischen zwei Abrufen ein Normalbetrieb herrschen soll, limitiert. Um das Risiko weiter zu minimieren, besteht zum Beispiel die Option, einen redundanten Kühlkreislauf aufzubauen, wodurch temporär andere bereits vorhandene Kältemaschinen als Backup einspringen können, sofern deren Kapazitäten ausreichend erscheinen.

3.3.2 Wirtschaftliche Bewertung

Als letztes werden die Flexibilitätsmaßnahmen je Anlage hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet. Hierfür werden notwendige Investitionskosten den möglichen Einsparungen bei Energiekosten oder möglichen Erlösen durch Vermarktung gegenübergestellt.

Praxis-Tipp: Externe Vermarkter

Aggregatoren oder Stromlieferanten, die eine Flexibilitätsvermarktung für industrielle Lasten anbieten, können die Bewertung des Erlöspotenzials für Industrieunternehmen durchführen. Für Betriebe ohne eigene Strombeschaffung und ohne qualifiziertes Personal ist eine externe Vermarktung tendenziell schwer ohne einen externen Vermarkter umsetzbar.

Welche Aufwände und Kostenparameter sind zu bestimmen?

Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse kann zwischen variablen Kosten, die beim Abruf der Flexibilität anfallen, fixen Kosten, die unabhängig von der Abrufhäufigkeit jährlich entrichtet werden und einmaligen Investitionskosten z.B. für die Umrüstung einer Anlage unterschieden werden. Eine Listung der relevanten Kostenparameter findet sich in Kapitel **Fehler!**
Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..

Beispielfall

Im Fall der Kompressionskältemaschine 3 sind die technischen Voraussetzungen (z. B. Pufferspeicher, stufenlose und variable Fahrweise der Verdichter) zur Flexibilitäterschließung bereits gegeben. Zur Anlagenflexibilisierung liegen im Beispielfall nur fixe Investitionskosten insbesondere zur Erschließung einer Kommunikationsschnittstelle und ggf. Anpassung regelungstechnischer Parameter vor (siehe auch Kapitel 3.2.3). Durch einen Flexibilitätsabruf werden nahezu keine variablen Abrufkosten erwartet, da sich die eingesparten Stromkosten im Zuge des Nachholens der flexibilisierten Energie anschließend wieder ausgleichen. Je nach Betriebs- und Wartungszustand der Anlage könnte es jedoch sein, dass ein Flexibilitätsabruf aufgrund eines ggf. ungünstigeren Betriebs- oder Zeitpunktes eine möglicherweise verminderte Anlageneffizienz zur Folge hat. Dadurch würden keine gänzlich neutralen Abrufkosten vorliegen.

Welche Erlösmöglichkeiten sind zu beachten?

Um mögliche Erlöse berechnen zu können, muss zuerst ausgewählt werden, welche Erlösmöglichkeiten für die Flexibilität im Unternehmen betrachtet werden sollen.

Praxis-Tipp: Betriebliches Lastmanagement

Für viele Unternehmen hat sich gezeigt, dass die Optimierung des betrieblichen Lastmanagements, z.B. zur Vermeidung von Lastspitzen durch Spitzenlastmanagement, ein guter erster Schritt in Richtung Flexibilisierung ist. Durch eine Ausrichtung der Produktion auf den Verbrauch des selbst erzeugten Stroms können die Energiebeschaffungskosten im Unternehmen gesenkt werden.

- **Spitzenlastkappung:** Dabei geht es um die Reduktion von Netzentgelten. Für eine Bewertung sind die Netzentgelte zu kennen, die regional differenziert werden und von den jeweils zuständigen Netzbetreibern jährlich festgelegt und auf ihren Webseiten veröffentlicht werden.¹³ Die Industrienetzentgelte werden derzeit von der Bundesnetzagentur reformiert. Die neue Regelung soll am 1. Januar 2026 in Kraft treten¹⁴.
 - **Eigenverbrauchsoptimierung:** Dabei geht es darum, welche Strombezugskosten durch eine Steigerung des Verbrauchs aus Eigenerzeugungsanlagen eingespart werden können. Für die Bewertung kann der durchschnittlich an den Stromlieferanten zu zahlende Strompreis herangezogen werden.
 - **Day-Ahead und Intraday-Vermarktung bzw. Optimierung:** Durch die Vermarktung oder Nutzung eines (dynamischen) Stromtarifs, der sich an dem Börsenpreisen orientiert,
-

¹³ Die Preisblätter sind abrufbar unter www.netztransparenz.de/de-de/%C3%9Cber-uns/Netzentgelte (Abruf am 28.08.2024)

¹⁴ Bundesnetzagentur: Eckpunktepapier zur Fortentwicklung der Industrienetzentgelte im Elektrizitätsbereich (2024). In: www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK4-GZ/2024/BK4-24-0027/BK4-24-0027_Eckpunktepapier_24072024.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Abruf am 28.08.2024)

können Erlöse an den Day-Ahead oder Intraday-Märkten erzielt werden bzw. Stromkosten weiter optimiert werden. Entscheidend für die Bewertung sind dabei die Preisspreads an den jeweiligen Märkten. Historische Preise und im besten Fall Preisprognosen sollten für die Bewertung genutzt werden. Historische Preise können auf der Seite der EPEX-Spot (www.epexspot.com) gekauft werden. Preisprognosen werden von verschiedenen Dienstleistern angeboten.

- **Vermarktung von Systemdienstleistung:** Durch die Vermarktung können Erlöse an den jeweiligen Märkten generiert werden. Für die Bewertung können historische Preise herangezogen werden. Diese können im Datencenter auf der Seite www.regelleistung.net eingesehen und heruntergeladen werden.

Beispielsfall

Die Prozesskälteanlage KKM 3 wird neben anderen identifizierten, flexibilisierbaren (Prozess-) Anlagen in einem ersten Schritt zur Spitzenlastkappung eingesetzt. Weitere Erlösmöglichkeiten werden wiederkehrend geprüft. Da sich beispielsweise Preisprognosen oder auch regulatorische Vorgaben, wie zur Berechnung der Netzentgelte, ändern können und einzelne Erlösmöglichkeiten dadurch attraktiv werden.

Wie werden die Erlöspotenziale bestimmt?

Für die Wirtschaftlichkeitsbewertung der Flexibilitätsmaßnahme sind Kosten und Erlöse bzw. Einsparungen einander gegenüberzustellen. Sind Investitionskosten für die Durchführung der Flexibilisierungsmaßnahme notwendig, ist eine statische oder dynamische Investitionsrechnung durchzuführen. Grundsätzlich können für eine Flexibilisierungsmaßnahme mehrere Erlösmöglichkeiten in Frage kommen. Für alle in Betracht kommenden Erlösmöglichkeiten sollte eine Bewertung durchgeführt werden.

Da sich die wirtschaftliche Bewertung einer Spitzenlast- bzw. Eigenverbrauchsoptimierung auf interne, verfügbare Preisinformationen stützt, sollte diese intern durchführbar sein. Für eine realistische Abschätzung der Erlöspotenziale an den Spotmärkten bzw. von Systemdienstleistungen kann es sinnvoll sein, auf einen externen Dienstleister zurückzugreifen. Dieser kann eine Optimierung des Lastprofils anhand von historischen und prognostizierten Preisen vornehmen und ggf. auch Erlöspotenziale über die verschiedenen Märkte hinweg errechnen. Bevor dieser Schritt gegangen wird für eine detaillierte Bewertung, kann eine Grobabschätzung durchgeführt werden.

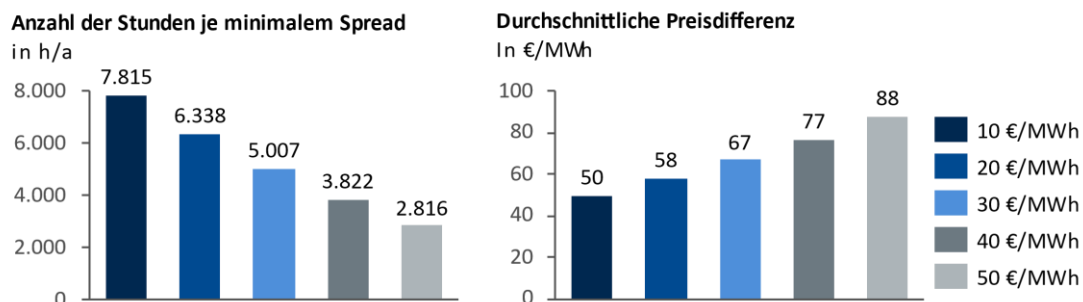
Für eine erste Grobeinschätzung zur Relevanz und Höhe der Erlöspotenziale können für die Regelreserve die durchschnittlich erzielten Preise aus den vergangenen Jahren der in Frage kommenden Regelreservequalitäten die Kosten für den Abruf gegenübergestellt werden. Zu beachten ist dabei, dass für Sekundär- und Minutenreserve Erlöse für die Bereitstellung von Leistung (€/MW) und den Abruf (€/MWh) generiert werden können. Zur Abschätzung der Erlöspotenziale auf den Spotmärkten werden die Preisspreads betrachtet. Für eine erste Grobabschätzung kann anhand der Kosten (€/MWh) für die Flexibilisierung überlegt

werden, welcher Preisspread vorliegen müsste, damit sich eine Verschiebung rechnet. Ein Beispiel für eine solche Grobabschätzung findet sich in der Beispiel-Box.

Basierend auf der Wirtschaftlichkeitsbewertung kann dann entschieden werden, welche Flexibilitätsmaßnahmen für welche Anlagen umgesetzt werden sollen. Hierbei kann die Umsetzung auch schrittweise erfolgen, sodass die Potenziale nach und nach erschlossen werden.

Beispiel: Grobabschätzung der Erlöspotenziale am Intraday-Markt

Im folgenden Beispiel wird der Intraday-Markt als Vermarktungsoption für Industrieunternehmen betrachtet. Es wird hier beispielhaft angenommen, dass der Prozess maximal einmal pro Stunde für eine Viertelstunde flexibilisiert werden kann. Basierend auf den viertelstündlichen Intraday-Preisen des Jahres 2023 werden die maximalen Spreads innerhalb einer Stunde betrachtet. Die folgende Grafik zeigt dafür für verschiedene Spreads von 10€/MWh bis 50€/MWh, wie viele Stunden N_{spread} mit mindestens diesem Spread auftreten. Die rechte Seite zeigt, wie hoch die durchschnittliche Preisdifferenz Δ_{preis} innerhalb dieser Stunden ist.



Zusammen mit der Abruffrequenz f_{Abruf} lassen sich mögliche Erlöse berechnen über

$$\text{Erlöse} = \text{Abrufhäufigkeit} * \Delta_{preis} * f_{Abruf}$$

Es sollte ein Preisspread gewählt werden, der höher als die Kosten für die Lastverschiebung ist. Da maximal einmal pro Stunde für eine Viertelstunde flexibilisiert werden soll, ergibt sich für dieses Beispiel ein maximaler Erlös von:

$$2816 \frac{\text{h}}{\text{a}} * 88 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} * \frac{1}{4} \frac{\text{h}}{\text{h}} = 61.952 \frac{\text{€}}{\text{MW a}}$$

Da in diesem Rechenbeispiel alle Stunden mit dem Spread ausgenutzt werden, stellen die möglichen Erlöse hier die Obergrenze dar. In der Realität werden die Erlöse tendenziell etwas niedriger ausfallen, da Prognosen mit Unsicherheiten behaftet sind und möglicherweise auch die Anzahl der Stunden, mit denen Flexibilität abgerufen werden kann, limitiert ist. Sollen Lastanpassungen über mehrere Stunden berücksichtigt werden, so wäre hier der Day-Ahead Markt die relevante Vermarktungsoption. In diesem Fall würden die Preisspreads dieses Marktes für eine Berechnung der Erlöse herangezogen werden.

4 Praxis-Beispiele

Erfahrungswissen aus der bayerischen Industrie

4.1 Anpassung der Produktionsplanung

Unter dieser Maßnahme wird verstanden, dass Energiekosten in der Planung der Produktion berücksichtigt werden. In der Folge könnten beispielsweise der Produktionsstart verschoben werden, die Produktionsreihenfolge geändert oder Aufträge unterbrochen werden. Hierbei können auch materielle Speicher (Lager) genutzt werden. Die Produktqualität sollte dabei niemals unter einer Flexibilisierung leiden. Diese Flexibilisierungsmaßnahme steht in engem Zusammenhang mit den Maßnahmen zur Anpassung der Arbeitszeiten und Maschinenbelegung (siehe Kapitel 2.1), denn in Frage kommen insbesondere Prozesse, die nicht täglich durchgeführt werden müssen oder nur in einem Teil einer Schicht betrieben werden.

Empfehlungen und Einblicke aus der Praxis

Einige Unternehmen berücksichtigen bereits Energiekosten in ihrer wöchentlichen bzw. täglichen Produktionsplanung, darunter mittelständische Unternehmen aus der Futtertrocknung, der Fertigungstechnik und Kunststoffverarbeitung. Seltener findet eine kurzfristige Optimierung beispielsweise am Spotmarkt statt., denn dies ist durch die externe Schnittstelle und Verarbeitung hochaufgelöster Preisinformationen komplexer in der Umsetzung.

Für Unternehmen, die sich mit dem Lastprofil ihrer Hauptverbraucher auseinandergesetzt haben, ist jedoch gerade eine Spitzenlastoptimierung leicht umsetzbar. Einige Unternehmen nehmen diese manuell vor. Einfacher und für die externe Vermarktung sogar notwendig ist es jedoch, wenn die Lastoptimierung automatisch gesteuert wird. Eines der interviewten Unternehmen entwickelt eine standardisierte Software für seine Werkzeugmaschinen, die z. B. ein kaskadenförmiges Hochlaufen der Maschinen am Morgen ermöglicht.

Andere Unternehmen planen bereits den Einsatz künstlicher Intelligenz, um eine vorausschauende Optimierung der Produktionsplanung zu ermöglichen. Diese wird die Energiekosten als Nebenbedingung berücksichtigen und die Planung entsprechend optimieren.

4.2 Einsatz eines Batteriespeichers

Mit sinkenden Investitionskosten für Batteriespeicher kann es für Industriebetriebe von Interesse sein, einen solchen auf dem Werksgelände zu errichten. Zur Eigenverbrauchsoptimierung kann dieser genutzt werden, wenn ausreichend Überschussstrom generiert wird. Dann kann der Batteriespeicher insbesondere in Kombination mit einer PV-Anlage eine sinnvolle Ergänzung sein. Daneben können Batterien auch zum Spitzenlastmanagement oder zur externen Vermarktung genutzt werden. Technologisch

eignen sich Batteriespeicher aufgrund ihrer schnellen Reaktionszeit besonders zur kurzfristigen Flexibilitätsbereitstellung auf dem Intraday-Markt oder für die Bereitstellung von Regelreserve (insbesondere Primär- und Sekundärregelreserve).

Empfehlungen und Einblicke aus der Praxis

Ein Beispiel aus der Bauvorbereitung zeigt, dass bereits ein kleiner Speicher in Kombination mit einer PV-Anlage rentabel ist (der Speicher hat ein Größenverhältnis von 1:10 zur PV-Anlage und 1:2 zur Spitzenlast des Betriebs). In dem Unternehmen sind außerdem Strom- und Wärmenetz gekoppelt. So kann die Flexibilität des Batteriespeichers innerhalb des Werks maximal genutzt werden. Laut Unternehmen wird der Batteriespeicher zunächst zur Lastoptimierung eingesetzt. Perspektivisch soll er jedoch erweitert werden für die Vermarktung am Regelreservemarkt. Dazu befindet sich das Unternehmen im Austausch mit einem externen Vermarkter.

Auch andere befragte Unternehmen denken derzeit über die Investition in einen Batteriespeicher nach. Ein Aggregator berichtet von steigenden Anfragen zur Vermarktung von Batterien bei Industrieanlagen. Von einem Unternehmen wurde berichtet, dass die Investition geprüft, jedoch aufgrund der Investitionskosten nicht getätigt wurde. In den letzten 10 Jahren sind die Kosten für Lithium-Ionen-Batterien allerdings bereits um über 80 Prozent gefallen [BNEF]. Für die nächsten Jahre sind weitere Kostendegressionen zu erwarten, so dass sich eine regelmäßige Neubewertung anbietet.

Für die Vermarktung am Regelreservemarkt ist es besonders empfehlenswert, einen externen Vermarkter zu nutzen. Eine solche Vermarktung wird von Aggregatoren, Betreibern virtueller Kraftwerke oder auch klassischen Stromlieferanten angeboten. Mit Hilfe externer Vermarkter kann auch eine Leistung unter 1 MW vermarktet werden, denn die Vermarkter können die Leistung verschiedener Anlagen bündeln und die „gepoolte“ Leistung auf den Regelreservemärkten anbieten. Daneben kennen sich externe Vermarkter mit den technischen Anforderungen zur Kommunikationsanbindung und dem Datenaustausch mit den Übertragungsnetzbetreibern aus.

4.3 Bivalenter Betrieb

In vielen Branchen und Industriebetrieben stellt die Prozesswärme einen der größten Energieverbraucher dar. Unter einem bivalentem Betrieb wird der Wechsel zwischen Energieträgern für die Bereitstellung von Prozesswärme verstanden. Meist erfolgt die Wärmeerzeugung derzeit auf Basis fossiler Energieträger, wie Mineralöl, Gas oder Kohle. Durch die zunehmende Elektrifizierung kommen immer häufiger Power-to-Heat-Anlagen wie beispielsweise Wärmepumpen oder Elektrodenkessel (bei höheren Temperaturniveaus) zum Einsatz, die eine Flexibilisierung der Energieerzeugung erlauben. Diese können eingesetzt werden, wenn Gaspreise hoch sind oder Strompreise besonders niedrig oder Überschüsse in der Stromeigenerzeugung bestehen. Die Flexibilität der Power-to-Heat-Anlagen kann auch extern an Regelreservemärkten für Sekundärregel- oder Minutenreserve vermarktet werden.

Empfehlungen und Einblicke aus der Praxis

Diese Flexibilisierungsmaßnahme kann besonders für Unternehmen interessant sein, für die nicht die Möglichkeit besteht, den Produktionsplan anzupassen, denn durch den Wechsel des Energieträgers in der Erzeugung wird die Produktion an sich nicht beeinflusst. Für viele Unternehmen muss im Rahmen der Dekarbonisierung ohnehin die Wärmebereitstellung elektrifiziert werden. Dabei sollte eine mögliche Flexibilitätsvermarktung bei der Bewertung der Rentabilität von Anfang an mitgedacht werden.

Für die chemische Industrie wurde im Rahmen von SynErgie Edie Flexibilisierung einer Kombination aus gasbetriebenem Dampfkessel und Elektrodenkessel untersucht. Betrachtet wurde die potenzielle externe Vermarktung an den Regelreservemärkten und am Day-Ahead-Markt. Dort kam man zu dem Schluss, dass insbesondere die Vermarktung von negativer Sekundärregelreserve profitabel sein kann¹⁵.

¹⁵ Sauer, A. et al.: Energieflexibilität in der deutschen Industrie – Band 2: Markt- und Stromsystem, Managementsysteme und Technologien energieflexibler Fabriken (SynErgie). Stuttgart: Fraunhofer IPA und EEP (2022).

5 Wichtige Kennzahlen

Hilfestellung für die Potenzialbestimmung

Die anlagenspezifischen Kennzahlen sollten für jede betrachtete Anlage bzw. jeden Prozess ausgefüllt werden (siehe Kapitel 3.2.1). Je Anlage bzw. Prozess können mehrere Flexibilisierungsmaßnahmen in Frage kommen, für die die maßnahmenspezifischen Kennzahlen jeweils auszufüllend sind.

Anlagenspezifische Kennzahlen

Anschlussleistung Strom		kW	
Anschlussleistung Gas		kW	
Betriebsstunden pro Jahr		h/a	
Jährh. Produktionsmenge			Einheit kann bspw. Stk., kg, l sein
Steuerung des Prozess			Bspw. stufenweise
Schichtbetrieb			Bspw. Zwei-Schicht, 24/7
Pausenzeiten			Regelmäßige Pausenzeiten

Energiebezug

Strom		kWh/a	
Erdgas		Einh./a	Zutreffende Einheit pro Jahr eintragen
Ölprodukte		Einh./a	Zutreffende Einheit pro Jahr eintragen
Wärme		Einh./a	Zutreffende Einheit pro Jahr eintragen
Druckluft		Einh./a	Zutreffende Einheit pro Jahr eintragen
Sonstige		Einh./a	Zutreffende Einheit pro Jahr eintragen

Maßnahmenspezifische Kennzahlen

Kategorie der Flexibilitätsmaßnahme			Bspw. Produktionsplanung anpassen (siehe Kapitel 3.1)
Anschließend verwendeter Energieträger			Nur relevant im Falle eines Energieträgerwechsels
Art der Laständerung			siehe Kapitel 1.2
Veränderung des Lastpotenzials über die Zeit			Bspw. innerhalb eines Tages, Woche oder übers Jahr

Lasterhöhung

Nur auszufüllen, wenn zutreffend

Mittlerer Leistungsbezug		kW	Durchschnittl. Leistungsbezug im „Normalzustand“
Flex. Leistung (positiv)		kW	Leistungsbezug bei Lasterhöhung
Aktivierungsdauer		s	Wie lange dauert es die Flexibilität zu aktivieren?
Abrufdauer		s	Wie lange kann die Lasterhöhung abgerufen werden?

Wichtige Kennzahlen

Deaktivierungsdauer		s	Wie lange dauert es bis der Leistungsbezug wieder auf Normalzustand ist?
Regenerationsdauer		s	Wie viel Zeit sollte zwischen einer nächsten Aktivierung liegen?
Abrufhäufigkeit		/a	Wie häufig dürfte die Maßnahme im Jahr aktiviert werden?
Lastreduktion		Nur auszufüllen, wenn zutreffend	
Mittlerer Leistungsbezug		kW	
Flex. Leistung (negativ)		kW	
Aktivierungsdauer		s	
Abrufdauer		s	
Deaktivierungsdauer		s	
Regenerationsdauer		s	
Abrufhäufigkeit		/a	
Lastverschiebung		Nur auszufüllen, wenn zutreffend	
Mittlerer Leistungsbezug		kW	
Lastverschiebung vorziehen			
- Flex. Leistung (positiv)		kW	Wenn zuerst Lasterhöhung,
- Flex. Leistung (negativ)		kW	anschließend Lastreduktion.
Lastverschiebung nachholen			
- Flex. Leistung (negativ)		kW	Wenn zuerst Lastreduktion,
- Flex. Leistung (positiv)		kW	anschließend Lasterhöhung.
Aktivierungsdauer		s	
Abrufdauer		s	
Deaktivierungsdauer		s	
Regenerationsdauer		s	
Abrufhäufigkeit		/a	
Kostenparameter			
Investitionskosten für die Befähigung der Maßnahme		€	
Jährliche Fixkosten		€/a	
Variable Kosten		€/MWh	
Abrufbezogene Energiekosten		€/MWh	

6 Weitere Informationsquellen

Dokumente und Links

Veröffentlichungen aus dem laufenden Projekt Kopernikus Synergie

*Energieflexibilität in der deutschen Industrie*¹⁶ enthält weitere Informationen zu

- Flexibilitätsmaßnahmen
- Transparenzstufen
- Abschätzung des technischen Potenzials im Unternehmen

*Energieflexibilität in der deutschen Industrie – Band 2: Markt- und Stromsystem, Managementsysteme und Technologien energieflexibler Fabriken*¹⁷ enthält weitere Informationen zu

- Verfahren zur Identifizierung und Bewertung von Energieflexibilitätsmaßnahmen
- Beispielhaften Berechnungen zur Spitzenlastoptimierung (S. 222f.)

*Synergie Flextool*¹⁸ zur Berechnung möglicher Einsparungen und Erlöse durch Lastflexibilisierung

Vermarktung

Vermarkter:

Hier bietet sich der eigene Stromlieferant als erster Ansprechpartner an.

Regelleistung:

- Bisherige Plattform zur Beschaffung von Regelleistung, betrieben von den 4 deutschen Übertragungsnetzbetreibern. Enthält Ergebnisse der Ausschreibung von Regelleistung: Erreichbar unter: www.regelleistung.net
- Neue Plattform zur Ausschreibung und Vergabe von Regelleistung und der Veröffentlichung der zugehörigen Ergebnisse, betrieben von den 4 deutschen Übertragungsnetzbetreibern: Erreichbar unter www.netztransparenz.de/de-de

EPEX Spot

Webseite der europäischen Strombörse (European Power Exchange).

Erreichbar unter www.epexspot.com

Studien:

- Energieflexibilitätsoptionen in der Industrie – Fokus Bayern (2024). Eine Studie des vbw, erstellt von der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH

¹⁶ Abrufbar unter www.synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/08/urn_nbn_de_0011-n-5659211.pdf.

¹⁷ Abrufbar unter www.synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/08/SynErgie_Band_2.pdf.

¹⁸ Abrufbar unter www.flextool.sng.cell.vfk.fraunhofer.de/start.

- Flex-Efficiency – Ein Konzept zur Integration von Effizienz und Flexibilität bei industriellen Verbrauchern (2016). Agora Energiewende

Literaturverzeichnis

Sauer, A./ Abele, E./ Buhl, H. (2019):

Energieflexibilität in der deutschen Industrie – Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung (SynErgie). Stuttgart: Fraunhofer IPA und EEP.

Gruber, A. (2017):

Zeitlich und regional aufgelöstes industrielles Lastflexibilisierungspotenzial als Beitrag zur Integration Erneuerbarer Energien – Dissertation, eingereicht an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU München, durchgeführt an der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH: München, 2017

Jetter, F. / Veitengruber, F. / Schmid, T. et al. (2021):

Regionale Lastmanagementpotenziale - Quantifizierung bestehender und zukünftiger Lastmanagementpotenziale in Deutschland. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft und Guidehouse Germany. In: www.ffe.de/wp-content/uploads/2022/01/Regionale_Lastmanagementpotenziale_DE2.pdf (Abruf am 21.08.2024)

Helmer, N./ Maas, N. / Kracht, H. et al. (2024):

Energieflexibilität in der Industrie – Fokus Bayern. München: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH im Auftrag der vbw.

Enerko (o.A.):

Flexible Strom- und Wärmeerzeugung - Die drei Leitfragen für die Vermarktung flexibler Erzeugungsanlagen. In: www.enerko.de/themenspecial/flexible-strom-und-waermeerzeugung/ (Abruf am 21.08.2024)

Epex Spot (2024):

Trading Products. In: <https://www.epexspot.com/en/tradingproducts> (Abruf am 21.08.2024)

Guidehouse Germany und Öko-Institut (2023):

Überblick zu nachfrageseitigen Flexibilitätsoptionen und Speichern sowie Flexibilitätshemmnissen. Wissenschaftliches Inputpapier für die AG 2 der PKNS. In: www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/inputpapier-flex-ag2-26042023.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Abruf am 21.08.2024)

Veitengruber, F. / Kigle, S. / Strobel, Q. / Helmer, N. (2023):

Volkswirtschaftlicher Nutzen von Flexibilitätspotenzialen in der Industrie. München. In: www.50hertz.com/de/Unternehmen/Partnerschaften/ScientificAdvisoryProjectBoardSAPB/VolkswirtschaftlicherNutzenvonFlexibilitaetspotenzialeninderIndustrie (Abruf am 21.08.2024)

Sauer, A./ Abele, E./ Buhl, H. (2022):

Energieflexibilität in der deutschen Industrie – Band 2: Markt- und Stromsystem, Managementsysteme und Technologien energieflexibler Fabriken (SynErgie). Stuttgart: Fraunhofer IPA und EEP.

Bundesnetzagentur (2024):

Eckpunktepapier zur Fortentwicklung der Industrienetzentgelte im Elektrizitätsbereich. In: www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK4-GZ/2024/BK4-24-0027/BK4-24-0027_Eckpunktepapier_24072024.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Abruf am 28.08.2024)

BloombergNEF (2023):

Lithium-Ion Battery Pack Prices Hit Record Low of \$139/kWh. In: www.about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh/ (Abruf am 28.08.2024)

Ansprechpartner/Impressum

Dr. Markus Fisch

Abteilung Wirtschaftspolitik

Telefon 089-551 78-246
markus.fisch@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 Oktober 2024

Weiterer Beteiligter

Nadja Helmer
Nele Maas
Quirin Strobel
Hannes Kracht
Fabian Kaindl
Dr.-Ing. Andrej Guminski

FfE
Forschungsgesellschaft für
Energiewirtschaft mbH