

SETUP SACHSEN-ANHALT

Systemische und nachhaltige Energietransformation für die Zukunft der energieintensiven Grundstoffindustrie



GEFÖRDERT DURCH



SACHSEN-ANHALT

Ministerium für
Wissenschaft, Energie,
Klimaschutz und Umwelt

SETUp Sachsen-Anhalt: Systemische und nachhaltige Energietransformation für die Zukunft der energieintensiven Grundstoffindustrie

Auftraggeber:

Ministerium für Wissenschaft, Energie, Klimaschutz und Umwelt des Landes
Sachsen-Anhalt
Abteilung 3 – Energie, Nachhaltigkeit, Strukturwandel
Abteilungsleiter Uwe Zischkale
Magdeburger Straße 58, 39112 Magdeburg | Germany
Telefon: +49 (0) 391 567-1611 | Mail: uwe.zischkale@mwu.sachsen-anhalt.de

Fachliche Bearbeitung:

Dr.-Ing. Franziska Sondej
Projektleiterin und wissenschaftliche Koordinatorin des SETUp-Vorhabens
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
Abteilung Energiesysteme und Infrastrukturen (ESI)
Sandtorstraße 22, 39106 Magdeburg | Germany
Telefon: +49 (0) 391 4090-478 | Mail: franziska.sondej@iff.fraunhofer.de

Prof. Dr. oec. Julia Arlinghaus, Institutsleiterin
Dr.-Ing. Marc Richter
Dr.-Ing. Pio Alessandro Lombardi
Dr.-Ing. Christoph Wenge
Dr.-Ing. Stephan Balischewski
Dipl.-Ing. Marcus Kögler
Sebastian Jentsch M.Sc.
Sven Schiffner M.Sc.
Mostafa Ashkavand M.Eng.
Samuel Mitchell
Meike Sandt

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Zusammenfassung

Zusammenfassung

Die Studie untersucht die Herausforderungen und Chancen der energieintensiven Unternehmen in Sachsen-Anhalt und liefert strategische Handlungsempfehlungen für deren Transformation hin zu einer klimaneutralen und wirtschaftlich zukunftsfähigen Energieversorgung. Die Studie wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Energie, Klimaschutz und Wissenschaft Sachsen-Anhalt durchgeführt und kombiniert technologische Innovationen mit wirtschaftlichen Ansätzen, um eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Industrie zu fördern.

Kern der Studie ist eine systematische Analyse der Herausforderungen und Bedarfe energieintensiver Unternehmen sowie die Entwicklung unternehmensspezifischer und standortübergreifender Transformationsstrategien zur Nutzung von Energie- und Ressourcenpotenzialen.

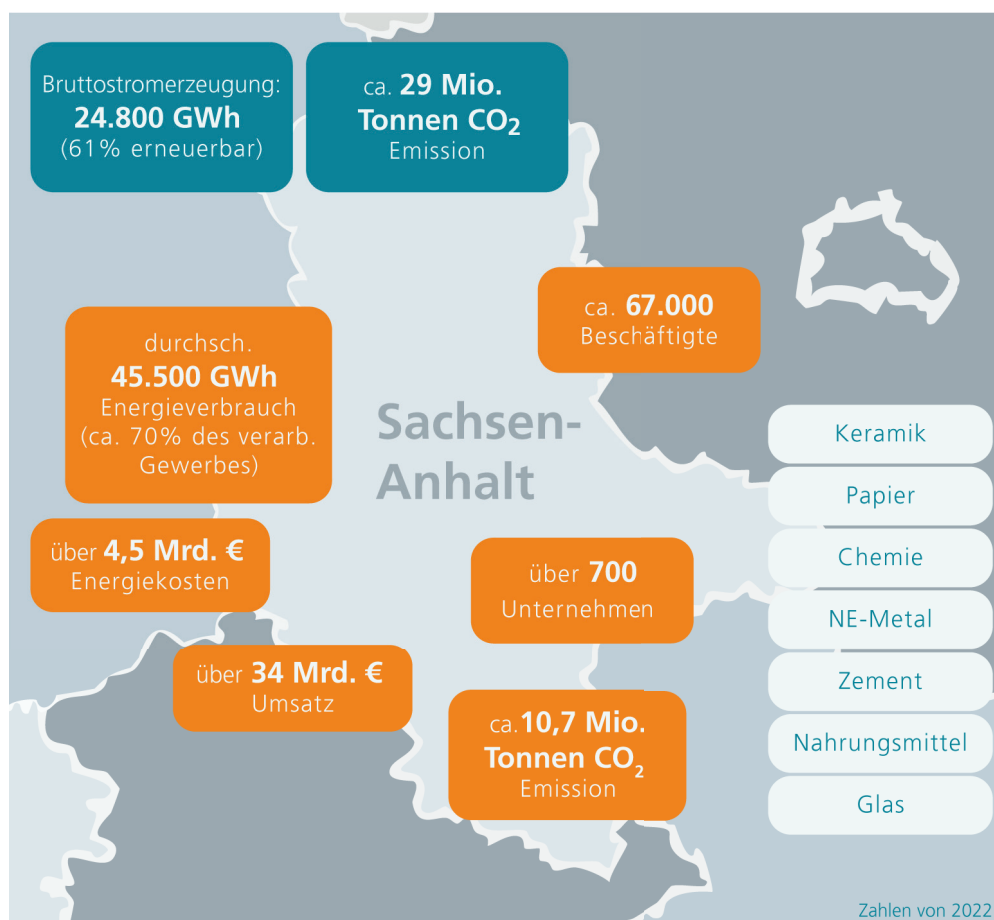


Abb. 1:
Struktur und Leistung der
Wirtschaft in Sachsen-Anhalt
(2022).
Quelle: Fraunhofer IFF

Wirtschaftliche Bedeutung und ökologischer Handlungsbedarf

Energieintensive Branchen wie Chemie, Metallverarbeitung, Glas/Keramik, Papier, Zement und Nahrungsmittelproduktion spielen eine Schlüsselrolle in Sachsen-Anhalt. Diese Industrien stellen 53% der Arbeitsplätze im verarbeitenden Gewerbe (rund 67.000 Beschäftigte) und erwirtschaften 59% des Umsatzes dieses Sektors. Gleichzeitig verursachen sie 37% der CO₂-Emissionen des Landes und verbrauchen 71% der Energie des verarbeitenden Gewerbes.

■ Emissionen und Energieverbrauch:

Im Jahr 2022 wurden in Sachsen-Anhalt 28,6 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente ausgestoßen, wovon 37% auf die untersuchten Branchen entfielen. Der der Primärenergieverbrauch lag bei 475.526 TJ, wovon fast 50% durch Erdgas gedeckt wurden (Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Landesportal Sachsen-Anhalt (2023)).

■ Kosten und wirtschaftliche Belastungen:

Zwischen 2018 und 2023 stiegen die Energiepreise erheblich, wodurch sich die Gesamtkosten des Energieverbrauchs der energieintensiven Branchen im Jahr 2023 auf 4,2 Milliarden Euro beliefen. Obwohl 2024 ein Rückgang auf 3,6 Milliarden Euro zu verzeichnen war, liegen die Preise weiterhin deutlich über dem Niveau von 2018.

Die Transformation der energieintensiven Sektoren ist daher nicht nur eine ökologische, sondern auch eine wirtschaftliche Notwendigkeit, um Wettbewerbsfähigkeit und Produktionssicherheit langfristig zu gewährleisten.

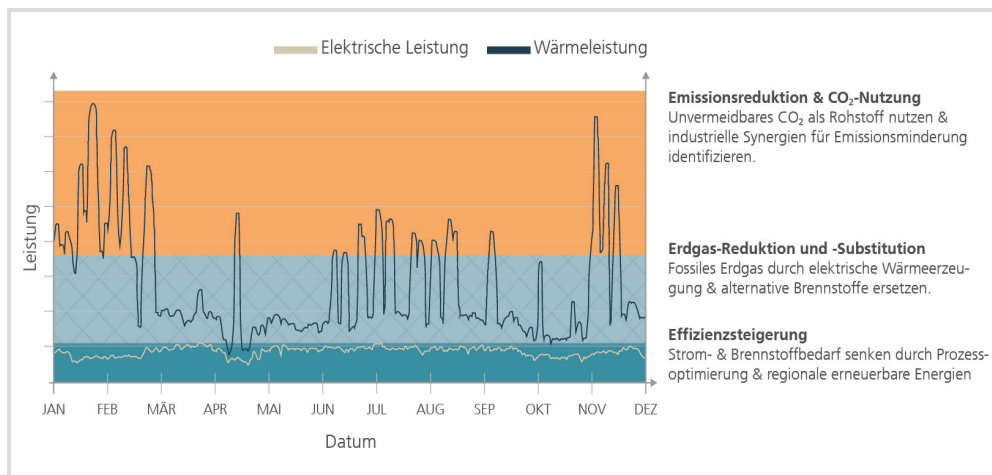
Ergebnisse der Unternehmensbefragungen

Die befragten Unternehmen betonen die zentrale Rolle einer stabilen und kosteneffizienten Energieversorgung für ihre Wettbewerbsfähigkeit. Trotz erster Fortschritte bei der Integration erneuerbarer Energien, wie Photovoltaik und Wärmerückgewinnung, dominieren weiterhin fossile Energieträger. Hohe Investitionskosten, langwierige Genehmigungsverfahren und unklare regulatorische Rahmenbedingungen erschweren die Transformation hin zu klimafreundlichen Technologien.

- Viele Unternehmen haben ambitionierte CO₂-Reduktions- und Energieeffizienzziele, stoßen jedoch an Grenzen, da viele wirtschaftlich umsetzbare Maßnahmen bereits ausgeschöpft sind.
- Förderprogramme werden als entscheidend wahrgenommen, aber häufig als bürokratisch und ineffizient kritisiert.
- Kooperationen mit Forschungseinrichtungen, Technologieanbietern und der Austausch in Netzwerken gelten als vielversprechende Ansätze, um die bestehenden Herausforderungen zu bewältigen.

Drei zentrale Handlungsfelder für die Transformation

Die Studie zeigt, dass die Transformation energieintensiver Industrien nicht nach einem starren Modell erfolgen kann. Unternehmen haben unterschiedliche technologische und wirtschaftliche Voraussetzungen, weshalb die Maßnahmen flexibel gestaltet werden müssen. Neben der Optimierung bestehender Prozesse gewinnen die Elektrifizierung und alternative Energieträger an Bedeutung, während unvermeidbare CO₂-Emissionen durch Kreislaufwirtschaftskonzepte genutzt werden können.



Zusammenfassung

Abb. 2:
Darstellung zentraler Handlungsfelder für die Transformation energieintensiver Industrien.
Quelle: Fraunhofer IFF

Zentrale Handlungsfelder für die Transformation

Die Studie identifiziert drei zentrale Handlungsfelder, die im Rahmen eines ganzheitlichen Transformationsansatzes zu einer Smart Industry Orchestration beitragen. Dieser Ansatz kombiniert die Integration erneuerbarer Energien, den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur und die Etablierung einer CO₂-Kreislaufwirtschaft, um energieintensive Industrien nachhaltig zu dekarbonisieren.

Prozessoptimierung und Nutzung erneuerbarer Energien:

- Steigerung der Energieeffizienz zur Reduktion des Energieverbrauchs
- Verstärkte Nutzung regional erzeugter erneuerbarer Energien
- Entwicklung datenbasierter Energie- und Ressourcenkreisläufe

Elektrifizierung thermischer Prozesse, Biomassenutzung und alternative Energieträger:

- Ausbau elektrischer Prozesswärme als klimafreundliche Alternative zu fossilen Brennstoffen
- Substitution von Erdgas durch grünen Wasserstoff, Biomasse oder Synthesegase
- Analyse wirtschaftlicher und technischer Potenziale für die Umstellung industrieller Prozesse

Nutzung unvermeidbarer CO₂-Emissionen:

- Industrielle Nutzung von CO₂ als Rohstoff zur Reduktion fossiler Rohstoffe
- Aufbau einer CO₂-Infrastruktur für Abscheidung, Transport und Weiterverarbeitung
- Entwicklung neuer CO₂-basierter Produkte zur Schaffung einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft

Diese drei Handlungsfelder ermöglichen Unternehmen individuelle oder kombinierte Transformationspfade unter dem übergeordneten Konzept der Smart Industry Orchestration. Während einige Branchen durch Prozessoptimierung bereits signifikante Einsparungen realisieren können, setzen andere auf Elektrifizierung oder alternative Energieträger. Für Industrien mit unvermeidbaren CO₂-Emissionen stellt die stoffliche Nutzung von CO₂ eine zukunftsfähige Lösung zur Dekarbonisierung und zur Entwicklung neuer Wertschöpfungsketten dar.

Empfohlene Schlüsselaktivitäten

Für einen erfolgreichen Aufbau der Smart Carbon Industry Orchestration und einen nachhaltigen Transformationsprozess ist ein strukturiertes Vorgehen erforderlich. Die Umsetzung erfolgt in drei Phasen:

1. Initiierung und Netzwerkbildung

- Gründung des SETUp-Netzwerks mit energieintensiven Unternehmen, der Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt (LENA) als Bindeglied zwischen den beteiligten Ministerien und dem Fraunhofer IFF als wissenschaftlichem Begleiter.
- Einbindung bestehender Netzwerke und Kommunikation zur Vermeidung von Doppelarbeiten, zum Wissenstransfer und zur Förderung der gesellschaftlichen Akzeptanz neuer Technologien.

2. Strategische Planung und Roadmap-Entwicklung

- Erarbeitung einer Transformations-Roadmap mit kurz-, mittel- und langfristigen Maßnahmen.
- Aufbau eines CO₂-Backbones als langfristiges Ziel zur Schaffung einer nachhaltigen Infrastruktur für die Industrie.
- Entwicklung innovativer Finanzierungsmodelle durch Förderprogramme, steuerliche Anreize und Subventionen für Investitionen in grüne Technologien.

3. Umsetzung und Erfolgskontrolle

- Einführung eines Monitoring- und Evaluierungssystems, um Fortschritte zu messen, Maßnahmen zu optimieren und Transparenz zu gewährleisten.
- Regelmäßige Berichte und Feedbackprozesse zur datenbasierten Anpassung der Strategien.

Diese Maßnahmen legen die Grundlage für eine gezielte und koordinierte Umsetzung der Transformation.

Schlussfolgerung

Die konsequente Umsetzung dieser Maßnahmen ermöglicht eine resiliente und wettbewerbsfähige Industrie in Sachsen-Anhalt, die ökologische Verantwortung mit wirtschaftlicher Innovationskraft vereint und als Vorbild für nachhaltige Transformationen in Deutschland und Europa dient. Allerdings erfordert dieser Wandel erhebliche Investitionen, da nachhaltige Technologien und Infrastrukturen hohe Anfangskosten mit sich bringen. Zudem bleibt fraglich, ob regional verfügbare erneuerbaren Energien ausreichen, um den enormen Energiebedarf der hiesigen energieintensiven Industrien vollständig zu decken, was zusätzliche Maßnahmen wie Effizienzsteigerungen und Speichertechnologien notwendig macht. Hinzu kommen bürokratische Hürden, lange Genehmigungsprozesse und der hohe Koordinierungsaufwand zwischen zahlreichen Akteuren aus Industrie, Politik und Forschung, die eine schnelle Umsetzung erschweren. Durch ein koordiniertes Vorgehen, gezielte Investitionen und eine enge Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik kann Sachsen-Anhalt dennoch eine führende Rolle in der Entwicklung hin zu einer klimaneutralen Industrie einnehmen und einen bedeutenden Beitrag zur Energiewende leisten.

Inhalt

Zusammenfassung	3
 1	
Einleitung	10
 2	
Methodisches Vorgehen und Aufbau der Studie	13
2.1	
Forschungsdesign	13
2.2	
Datenbasis	14
2.3	
Fragebogen an die Unternehmen	14
 3	
Energieintensive Industrie am Wirtschaftsstandort Sachsen-Anhalt:	
Status quo und Bedeutung	15
3.1	
Ausgewählte Branchenbetrachtung	15
3.2	
Wirtschaftsgeografische Struktur	25
3.3	
Erzeugung erneuerbarer Energie in Sachsen-Anhalt	26
3.4	
Wirtschaftlicher Status quo	28
3.5	
Energetischer und umweltpolitischer Status quo	31
3.6	
Strategische Weichenstellungen für nachhaltige und klimaneutrale Industrieentwicklung	44
3.7	
Fazit	52
 4	
Erkenntnisse aus der Unternehmensbefragung: Herausforderungen, Strategien und Perspektiven der energieintensiven Industrie in Sachsen-Anhalt	54
4.1	
Unternehmensprofil und Energieverbrauch	54
4.2	
Herausforderungen und Hindernisse	55
4.3	
Ziele und Prioritäten.....	56
4.4	
Technologie und Innovation	57
4.5	
Wirtschaftlichkeit und Finanzierung	58

4.6	
Regulatorische und politische Rahmenbedingungen	58
4.7	
Kooperation und Vernetzung	59
4.8	
Zukunftsperspektiven und Visionen	60
4.9	
Fazit	61

5	
Fortschritte in der Transformation energieintensiver Industrien	62
5.1	
Fortschritte in Technologien zur Dekarbonisierung	62
5.2	
Branchenübergreifende Fortschritte und Herausforderungen	70
5.3	
Fazit	78

6	
Analyse der Energieversorgung und Bedarfsdeckung in Bernburg	80
6.1	
Bestand und Potenzial der erneuerbaren Energien im ausgewählten Bereich um Bernburg	80
6.2	
Betrachtung energieintensiver Industrien im ausgewählten Bereich um Bernburg	84
6.3	
Szenarienergebnisse	88

7	
Handlungsempfehlung zur energetischen Transformation energieintensiver Unternehmen hin zur klimaneutralen Industrie	90
7.1	
Flexibilität der Transformationspfade für die Industrie	90
7.2	
Empfohlene Schlüsselaktivitäten	95

8	
Anhang	98

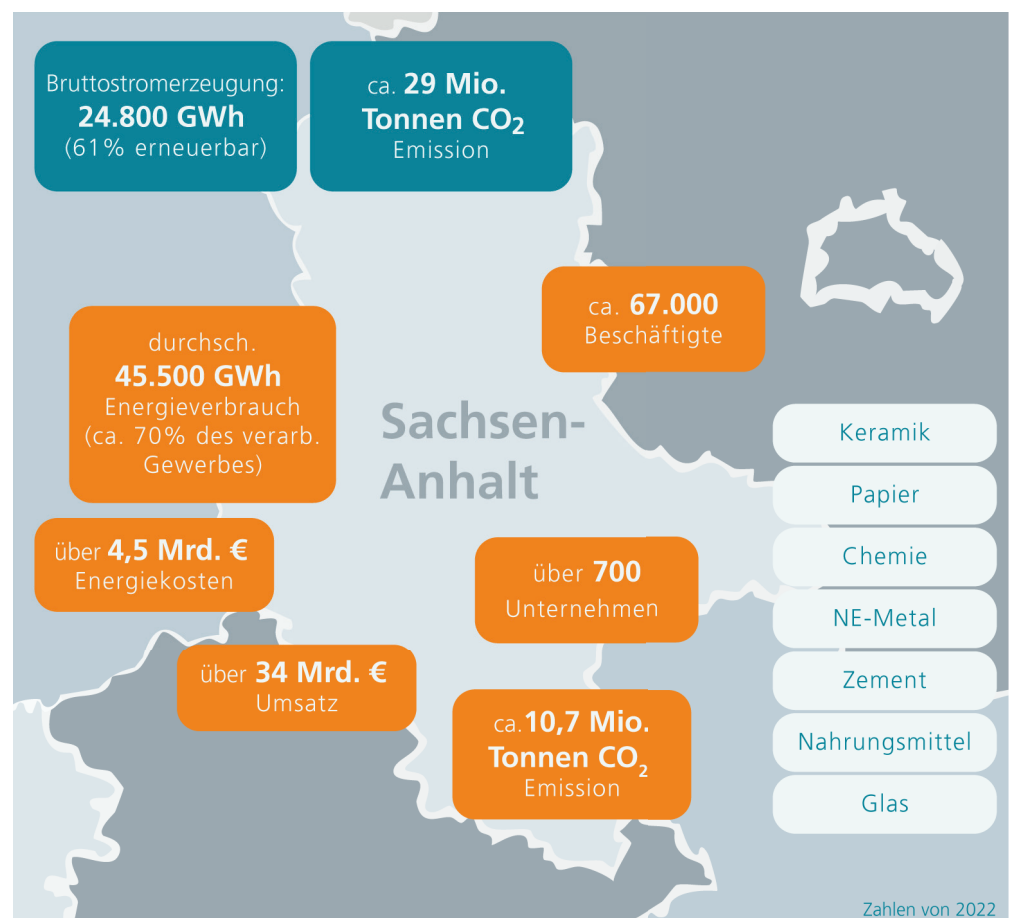
9	
Literatur	106

Impressum

1 Einleitung

Energieintensive Industrien bilden das Fundament der deutschen Wirtschaft und tragen entscheidend zur Herstellung unverzichtbarer Grund- und Werkstoffe bei, die zahlreiche Schlüsselindustrien wie den Maschinenbau, die Automobil-, Luft- und Raumfahrt sowie die Bauwirtschaft versorgen. Diese Industrien stehen am Beginn der Wertschöpfungskette und sichern nicht nur über 850.000 direkte Arbeitsplätze im verarbeitenden Gewerbe, sondern wirken darüber hinaus in zahlreiche weitere Branchen, wodurch rund 2,5 Mio. Arbeitsplätze in Deutschland abhängig sind (Bähr & Cornelius, 2023). In Sachsen-Anhalt sind rund 70.000 der 130.000 Industriearbeitsplätze in energieintensiven Unternehmen angesiedelt, wodurch diese Branche von herausragender wirtschaftlicher und sozialer Bedeutung für das Bundesland ist (Bedeutung der energieintensiven Industriezweige in Deutschland), (Sachsen-Anhalt, 2024).

Abb. 3:
Struktur und Leistung der
Wirtschaft in Sachsen-Anhalt
(2022).
Quelle: Fraunhofer IFF



In der Abbildung 3 wird deutlich, dass den energieintensiven Industrien in Sachsen-Anhalt eine wesentliche wirtschaftliche Bedeutung zugewiesen werden kann, wodurch bestimmte energiebezogene Herausforderungen entstehen. Sie bietet eine visuelle Grundlage für die im weiteren Verlauf dieser Studie aufgezeigten Analysen und Handlungsempfehlungen (Rittmann et al., 2024).

Trotz ihrer zentralen Rolle stehen energieintensive Unternehmen in Deutschland unter massivem Druck und das insbesondere in Sachsen-Anhalt. Die Energiekrise und die langfristig höheren Energiepreise stellen die Wettbewerbsfähigkeit dieser Unternehmen auf den Prüfstand. Studien zeigen, dass energieintensive Industrien wie Stahl, Chemie

und Aluminium mit rund 77% den größten Anteil am industriellen Energieverbrauch ausmachen, dabei aber lediglich 17% zur Bruttowertschöpfung beitragen, siehe Abbildung 3. Besonders besorgniserregend ist die steigende Gefahr von Produktionsverlagerungen ins Ausland aufgrund von Wettbewerbsnachteilen durch hohe Energiekosten und strengere Regulierungen (Bähr & Cornelius, 2023). In Sachsen-Anhalt könnten solche Entwicklungen die regionale Wirtschaft und Wertschöpfungsketten nachhaltig schwächen (Burchardt et al., 2024).

Prozesswärme stellt mit über 400 Terawattstunden (TWh) jährlich den größten Anteil am Energiebedarf dar, wobei mehr als 40% davon derzeit durch Erdgas gedeckt werden. Strom spielt mit einem Anteil von lediglich 5% eine untergeordnete Rolle, während sich Wasserstoff noch im Erprobungsstadium befindet. Diese Zahlen verdeutlichen die Dringlichkeit und die Potenziale für eine tiefgreifende Transformation dieser Industrien, siehe Abbildung 4.

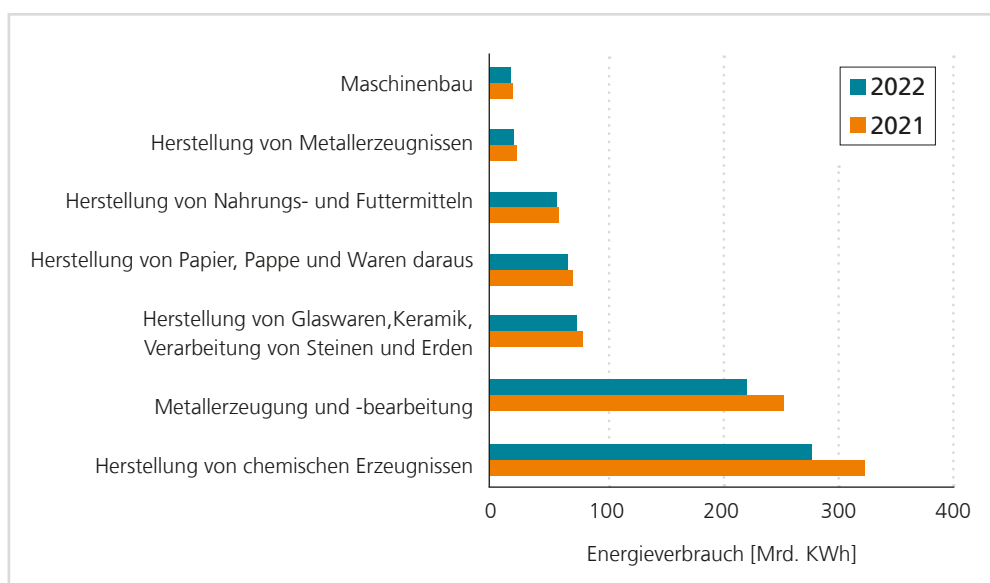


Abb. 4:
Industrieller Energieverbrauch in Deutschland nach Branchen 2021 und 2022.
Quelle: Jahreserhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes, im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden. Einheitliches Verzeichnis aller Statistiken des Bundes und der Länder (EVAS)-Nummer 43531.

Alle Unternehmen mit einem Jahresenergieverbrauch von mehr als 7,5 Gigawattstunden werden dazu verpflichtet, Energie- oder Umweltmanagementsysteme einzuführen. Unternehmen mit einem Jahresenergieverbrauch von mehr als 2,5 Gigawattstunden müssen konkrete Pläne zu wirtschaftlichen Energieeffizienzmaßnahmen erstellen und veröffentlichen. Zudem müssen Unternehmen zukünftig vermeiden, dass bei Produktionsprozessen Abwärme entsteht. Falls das nicht möglich ist, müssen sie die Abwärme sinnvoll verwerten. Wird diesen Forderungen nicht nachgekommen, drohen den Unternehmen enorme Geldbußen, was sich zusätzlich negativ auf die wirtschaftliche Lage der Unternehmen auswirken kann.

Die Transformation hin zu einer klimaneutralen und wirtschaftlichen Energieversorgung ist für energieintensive Unternehmen unabdingbar. Technologien wie Wasserstoff, die Nutzung erneuerbarer Energien und neue Ansätze zur Prozessoptimierung spielen dabei eine Schlüsselrolle. Nationale und internationale Forschungsergebnisse betonen zudem die Bedeutung von sektorenübergreifenden Synergien und der Integration von Abwärmenutzung in regionale Energiekonzepte.

Die vorliegende SETUp-Studie zielt darauf ab, die aktuellen Herausforderungen und Bedarfe energieintensiver Unternehmen in Sachsen-Anhalt systematisch zu analysieren und Lösungen für eine erfolgreiche Transformation hin zu einer wirtschaftlichen und

klimateutralen Energieversorgung aufzuzeigen. Ein besonderer Fokus liegt auf der Betrachtung unternehmensspezifischer Transformationsstrategien sowie der Entwicklung standortübergreifender Konzepte, die Synergien zwischen Unternehmen schaffen und eine nachhaltige Nutzung von Energie- und Ressourcenpotentialen ermöglichen.

Die Studie zeigt auf, wie durch innovative Technologien und Verfahrenstechnik nicht nur kurzfristige Effizienzgewinne erzielt werden können, sondern auch langfristig neue Perspektiven entstehen. Ziel ist ein ganzheitlich strategischer Ansatz, der darauf abzielt, industrielle Prozesse so zu steuern und zu optimieren, dass Kohlenstoffemissionen reduziert und Nachhaltigkeitsziele erreicht werden. Dies trägt zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Versorgungssicherheit der Unternehmen in Sachsen-Anhalt bei. Die Studie richtet sich vor allem an Entscheider in energieintensiven Unternehmen, aber auch an politische und wissenschaftliche Akteure. Sie bietet einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Energieverbräuche und CO₂-Emissionen in relevanten Branchen in Sachsen-Anhalt. Darüber hinaus werden Transformationsstrategien aufgezeigt, die nationale Forschungsergebnisse, Technologien zur Prozessoptimierung, den Einsatz erneuerbarer Energien sowie Konzepte zur Sektorenkopplung einbeziehen. Die Ergebnisse der Studie sollen einerseits Orientierung für die Weiterentwicklung von Förderrichtlinien und Investitionshilfen des Landes Sachsen-Anhalt bieten und andererseits konkrete Handlungsempfehlungen für Unternehmen liefern.

Eine zentrale Zielsetzung der Studie ist die Konzeption und Vorbereitung eines SETUp-Netzwerks, das den Austausch zwischen Industrie, Forschung und Regierung fördert. Das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) spielt dabei eine Schlüsselrolle als wissenschaftlich-technischer Begleiter. Gemeinsam mit der Landesenergieagentur, Industriepartnern und Technologieentwicklern sollen unternehmensspezifische Transformationskonzepte erstellt, Synergien an Industriestandorten identifiziert und innovative Lösungen wie Energiespeicher, Wasserstofftechnologien und Abwärmee-nutzung entwickelt werden. Dabei wird nicht nur auf kurzfristige Maßnahmen abgezielt, sondern auch langfristige Perspektiven für die Transformation aus der Region heraus geschaffen.

Die Studie ist bewusst auf Sachsen-Anhalt fokussiert, da dieses Bundesland mit einem vergleichsweise hohen Anteil an energieintensiven Branchen besonders stark von den genannten Herausforderungen betroffen ist. Gleichzeitig bietet die Region durch ihre industrielle Infrastruktur und Potenziale für die Nutzung erneuerbarer Energien und innovativer Technologien große Chancen für eine erfolgreiche Transformation. Mit der SETUp-Studie soll ein Beitrag geleistet werden, die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu sichern, die Klimaziele des Landes zu unterstützen und die regionale Wirtschaft nachhaltig zu stärken.

2 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Studie

2.1 Forschungsdesign

Die SETUp-Studie wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Energie, Klimaschutz und Wissenschaft des Landes Sachsen-Anhalt durchgeführt und durch das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg erstellt.

Das Forschungsdesign basiert auf einer Kombination aus qualitativen und quantitativen Methoden, die eine umfassende Analyse der energieintensiven Industrien in Sachsen-Anhalt ermöglichen. Dabei basiert die Studie auf einem strukturierten methodischen Ansatz, der mehrere zentrale Säulen umfasst.

Zunächst wird die Datenbasis durch Analysen der landesspezifischen Verteilung von energieintensiven Unternehmen und erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen in Sachsen-Anhalt geschaffen. Ein besonderer Fokus liegt auf der Region Bernburg, wo spezifische Analysen zur Energieversorgung und Bedarfsdeckung durchgeführt werden, um die lokale Energieinfrastruktur und deren Potenziale besser zu verstehen.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des Forschungsdesigns ist die Erhebung von Unternehmensdaten mittels Fragebögen. Diese Erhebungen zielen darauf ab, detaillierte Informationen über die Perspektiven der Unternehmen zu ihrem Energieverbrauch, ihrer Energieeffizienz und ihrem Transformationsprozess zu gewinnen. Die Unternehmen werden nach ihren aktuellen Technologien und Prozessen befragt, sowie nach den Herausforderungen, die sie bei der Umstellung auf erneuerbare Energien sehen.

Zur Analyse der erhobenen Daten werden verschiedene Analyseverfahren eingesetzt. Szenarienanalysen spielen dabei eine zentrale Rolle, da sie die Auswirkungen von Veränderungen in der Energieversorgung auf die Unternehmen simulieren und so fundierte Entscheidungsgrundlagen bieten.

Die Studie identifiziert die wichtigsten energieintensiven Branchen in Sachsen-Anhalt, einschließlich der chemischen Industrie, der Glas- und Keramikindustrie und der Metallverarbeitung. Für jede dieser Branchen werden spezifische Herausforderungen und Potenziale zur Reduktion von CO₂-Emissionen und zur Steigerung der Energieeffizienz aufgezeigt.

Ein zentraler Aspekt der Studie ist die Konzeption eines SETUp-Netzwerks, das den Austausch zwischen Industrie, Forschung und Regierung fördern soll. Ziel ist es, Synergien zu schaffen und innovative Lösungen wie Energiespeicher und Wasserstofftechnologien zu entwickeln.

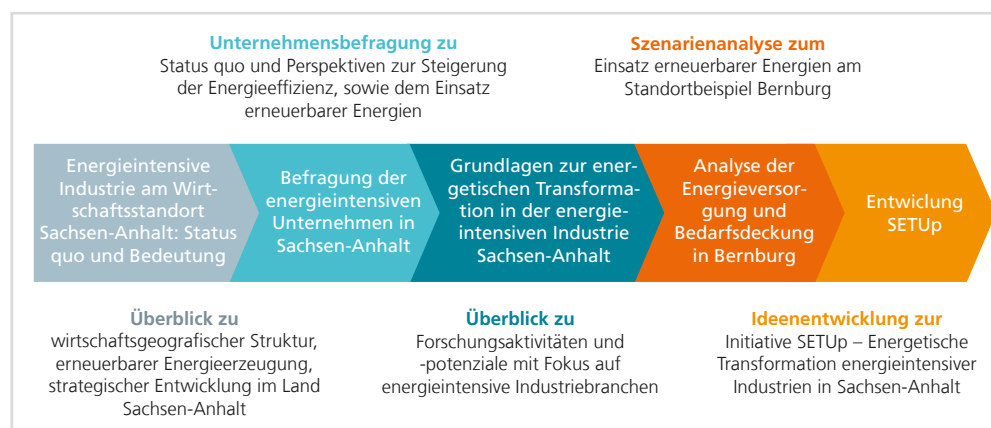


Abb. 5:
Aufbau der Studie.
Quelle: Fraunhofer IFF

2.2 Datenbasis

Für die Vorstudie im Rahmen des SETUp-Projektes wurden zwei Analysen durchgeführt. Die erste Analyse dient der Darstellung und Bewertung der örtlichen Verteilung von energieintensiven Unternehmen und Erneuerbaren-Energie-Erzeugungsanlagen (EEG) in Sachsen-Anhalt. Darüber hinaus werden in die Bewertung aktuelle Landesstrategien mit einbezogen. Neben der Recherche dieser Daten wurden zudem auch energieintensive Unternehmen befragt. Die Befragungsdaten fließen ebenfalls in die erste Analyse der Studie mit ein.

Die zweite Analyse konzentriert sich auf das Gebiet Bernburg. Hierfür wurden auch erweiterte Datensätze (Lastgänge etc.) von energieintensiven Unternehmen im Raum Bernburg erhoben und ein Profil der Energiemengendifferenz zwischen Erzeugung mittels EEG und Industrie sowie der Differenzleistung erstellt. Diese Daten dienen einer anschließenden Szenarienanalyse.

2.3 Fragebogen an die Unternehmen

Im Rahmen der Darstellung und Bewertung energieintensiver Unternehmen am Wirtschaftsstandort Sachsen-Anhalt wurden auch Unternehmen aus den jeweiligen energieintensiven Branchen einer Befragung unterzogen. Eine Übersicht zu den Schwerpunkten der Befragung ist in Abbildung 6 dargestellt. Der Fragebogen ist dem Anhang (Abbildungen 35 bis 43) zu entnehmen.

Abb. 6:
Schwerpunkte der
Unternehmensbefragung.
Quelle: Fraunhofer IFF



3 Energieintensive Industrie am Wirtschaftsstandort Sachsen-Anhalt: Status quo und Bedeutung

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Die energieintensive Industrie spielt eine zentrale Rolle für die wirtschaftliche Struktur und Entwicklung Sachsen-Anhalts. Historisch gewachsene Industriestandorte, eine gute verkehrsgeografische Lage und ein fortschreitender Ausbau erneuerbarer Energien bieten sowohl Chancen als auch Herausforderungen. Das Bundesland zeichnet sich durch ein starkes industrielles Profil aus und steht vor wichtigen Transformationsprozessen, um Klimaziele zu erreichen und die Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern. Dieses Kapitel beleuchtet die wirtschaftsgeografische Struktur, den wirtschaftlichen und umweltpolitischen Status quo sowie relevante Strategien auf Bundes- und Landesebene.

3.1 Ausgewählte Branchenbetrachtung

Die Handlungsbedarfe einzelner Branchen der sachsen-anhaltischen Wirtschaft werden maßgeblich durch spezifische branchenspezifische Faktoren geprägt. Dazu zählen insbesondere die Temperaturbedarfe, energetische Anwendungsbereiche, der aktuelle Energiemix, prozessspezifische Produktionstechnologien, entstehende Prozessemissionen sowie der stoffliche Einsatz fossiler Rohstoffe. Eine fundierte Analyse dieser Anforderungen, des Handlungsbedarfs und der jeweiligen Ausgangslage ist essenziell, um die Transformation der sachsen-anhaltischen Wirtschaft wirkungsvoll und zielgerichtet zu unterstützen.

Im Rahmen dieser Studie wurden sechs energieintensive Branchen des verarbeitenden Gewerbes identifiziert, die durch ihre Klimarelevanz und wirtschaftliche Bedeutung im Fokus stehen. Das verarbeitende Gewerbe war im Jahr 2022 für etwa 46% der energiebedingten Emissionen in Sachsen-Anhalt verantwortlich, wobei allein die hier untersuchten Branchen 37% der Emissionen und 34% des Primärenergieverbrauchs der sachsen-anhaltischen Wirtschaft ausmachten (Landesportal Sachsen-Anhalt, 2023) (Land Sachsen-Anhalt – Tätige Personen, 2023), (Land Sachsen-Anhalt – Energie, 2024).

Die Auswahl der betrachteten Branchen erfolgte anhand ihrer wirtschaftlichen Größe, gemessen an Beschäftigtenzahlen und Umsatz, sowie ihrer Bedeutung für die Erreichung der Klimaschutzziele. Diese Branchen stellen nicht nur zentrale Pfeiler der regionalen Wertschöpfung dar, sondern auch wichtige Ansatzpunkte für die Entwicklung von Transformationsstrategien, die sowohl die Dekarbonisierung als auch die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen unterstützen.

Die Analyse konzentriert sich auf folgende sechs Branchen, die auf Basis der WZ08-Klassifikation standardisiert und vergleichbar eingeordnet wurden (Statistisches Bundesamt, 2008):

- Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln (WZ08: 10),
- Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus (WZ08: 17),
- Herstellung von chemischen Erzeugnissen (WZ08: 20),
- Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden (WZ08: 23),
- Metallerzeugung und -bearbeitung (WZ08: 24),
- Herstellung von Metallerzeugnissen (WZ08: 25).

Diese Branchen wurden aufgrund ihrer hohen Energieintensität und ihrer Bedeutung für die regionale Wertschöpfung ausgewählt. Die WZ08-Klassifikation bietet eine einheitliche Grundlage für die Analyse ihrer wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit und ihrer spezifischen Transformationspotenziale.

Die nachfolgenden Abschnitte widmen sich der detaillierten Betrachtung dieser Branchen, beleuchten ihre jeweiligen Ausgangslagen, identifizieren spezifische Herausforderungen und zeigen Transformationsansätze auf, die eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Entwicklung ermöglichen.

3.1.1 Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln

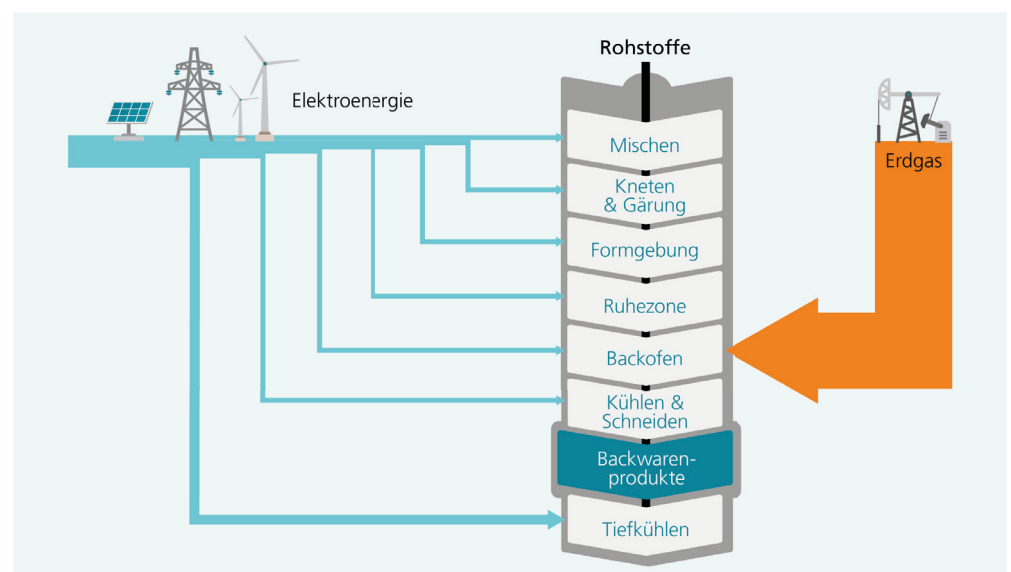
Die Nahrungsmittelindustrie ist ein zentraler Teil des verarbeitenden Gewerbes und umfasst Teilbranchen wie Fleisch- und Milchverarbeitung, Backwaren- und Süßwarenherstellung sowie Obst- und Gemüseverarbeitung. Aufgrund ihrer Heterogenität ist eine ganzheitliche Betrachtung der Branche oft herausfordernd. Die Getränkeindustrie, die gemeinsam mit der Nahrungsmittelindustrie die Ernährungsindustrie bildet, wird hier nicht betrachtet.

Die Branche zeichnet sich durch ihre Vielfalt an Produkten und Produktionsverfahren aus, die unterschiedlich energieintensiv sind. Besonders die Subbranchen Zuckerherstellung, Milchverarbeitung, Backwarenherstellung und Fleischverarbeitung weisen hohe Energiebedarfe auf. In der Zuckerproduktion werden pro Tonne Zucker etwa 3 bis 5 GJ Energie benötigt, während die Milchverarbeitung zwischen 0,6 bis 0,9 kWh Energie pro Liter Milch verbraucht. Gleichzeitig verursacht die Kühlung in Fleisch- und Tiefkühlwarenindustrien bis zu 30% des Gesamtstromverbrauchs. Insgesamt überwiegt der Einsatz von thermischer Energie den Stromverbrauch.

Die Branche wird von kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie internationalen Konzernen geprägt. Energieeffizienz ist eine zentrale Herausforderung, um Produktionskosten zu senken und die Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Gleichzeitig steigen die Anforderungen im Bereich Nachhaltigkeit und Klimaschutz. Innovative Technologien wie Abwärmenutzung, Wärmepumpen und KI-gestützte Produktionssteuerung bieten neue Ansätze, um Effizienz und Ressourcenschonung zu verbessern.

Die Subbranchen Zucker- und Milchindustrie weisen besonders hohe Wärmebedarfe auf, während die Milch- und Backwarenherstellung den höchsten Stromverbrauch erfordert. Gleichzeitig tragen alternative Ansätze wie der Umstieg auf erneuerbare Energien und die Nutzung von Produktionsabfällen zur Reduktion der CO₂-Emissionen bei. Dies ist essenziell, da die Branche für etwa 20 bis 30% der energiebedingten CO₂-Emissionen des verarbeitenden Gewerbes verantwortlich ist, (Gühl et al., 2019), (Stracke, 2022).

Abb. 7:
Skizzenhafte Darstellung
der Energieflüsse in einem
Herstellungsprozess von
Tiefkühlbackwaren.
Quelle: Fraunhofer IFF



Etwa die Hälfte des Energieverbrauchs, insbesondere durch den Einsatz von Gas und Heizöl, entfällt auf den Betrieb von Öfen beziehungsweise den entsprechenden Wärmeerzeugern. So auch im Beispielprozess der Fertiggebäckherstellung in Abbildung 7, in der Erdgas im Prozessschritt des Ofens zugeführt wird, der auf die Formgebung und die Ruhezone folgt.

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Kälteanlagen benötigen hingegen elektrischen Strom, um die Kühlkreisläufe aufrechtzuerhalten. Die Anlagen zur Teigbereitung sowie für die Konditorei tragen einzeln betrachtet weniger stark zum Energieverbrauch bei, doch in ihrer Gesamtheit ist ihr Beitrag nicht zu vernachlässigen. Besonders hervorzuheben sind die sogenannten »Querschnittstechnologien« wie Pumpen, Belüftungen, Druckluftsysteme und Beleuchtung, die ebenfalls einen beträchtlichen Anteil am Gesamtenergieverbrauch ausmachen (Schulz et al., 2014).

3.1.2 Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus

Die Papierindustrie ist eine zentrale Branche des verarbeitenden Gewerbes und umfasst die Herstellung von Papier, Karton und Pappe sowie weiterverarbeitete Produkte wie Hygienepapiere und Verpackungen. Sie ist eng mit der Forstwirtschaft und der Recyclingindustrie verknüpft, wodurch sowohl natürliche als auch Sekundärrohstoffe genutzt werden. Diese Verbindungen machen die Papierindustrie zu einem wichtigen Akteur in der Kreislaufwirtschaft und einem wesentlichen Treiber für Nachhaltigkeit.

Die Branche ist stark energieintensiv, da thermische Energie und Strom für Prozesse wie Trocknen, Kochen, Walzen und Beschichten erforderlich sind. Der Energiebedarf wird hauptsächlich durch fossile Brennstoffe wie Erdgas und einen bedeutenden Anteil an Eigenstromerzeugung gedeckt. Um die Klimabilanz zu verbessern und unabhängiger von fossilen Energieträgern zu werden, setzt die Papierindustrie zunehmend auf Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung und die Integration erneuerbarer Energien.

Die Papierindustrie ist diversifiziert und umfasst rund 3.000 unterschiedliche Papiersorten. Sie reicht von der Herstellung hochwertiger Spezialpapiere bis hin zu standardisierten Verpackungsmaterialien. Der wachsende Trend, Kunststoffverpackungen durch Papierprodukte zu ersetzen, erhöht die Bedeutung der Branche, führt jedoch auch zu höheren Anforderungen an Produktionskapazitäten und Ressourceneffizienz. Digitalisierung und Automatisierung bieten zugleich Chancen, Prozesse zu optimieren und die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

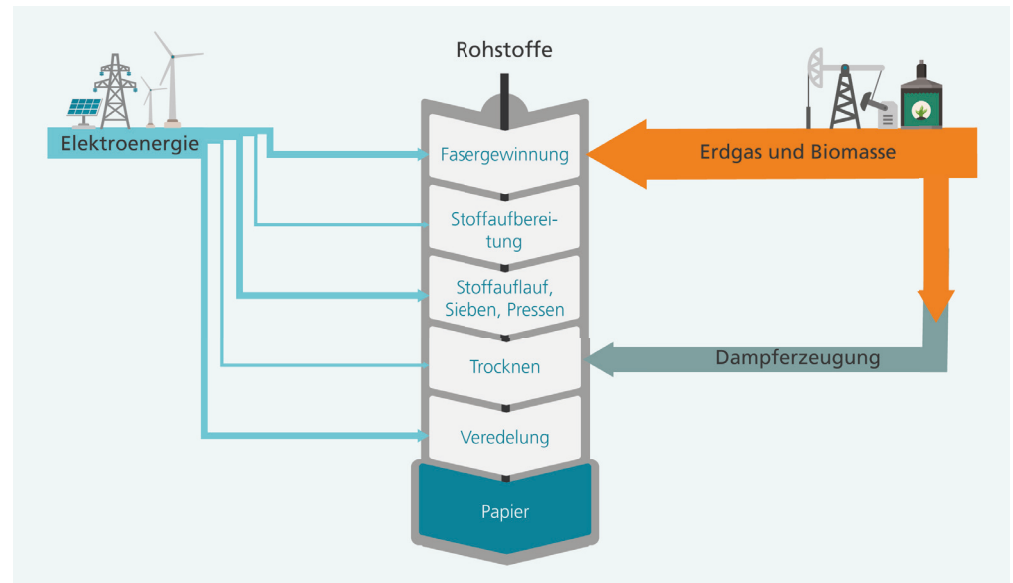
Eine zentrale Herausforderung bleibt die Reduktion energieintensiver Prozesse, insbesondere beim Trocknen, das den größten Anteil am Energieverbrauch hat. Innovative Technologien wie Abwärmenutzung, effiziente Trocknungsmethoden und der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien sind entscheidend, um wirtschaftlich und ökologisch zukunftsfähig zu bleiben. Gleichzeitig spielen Strategien zur weiteren Steigerung des Recyclings und der Materialeffizienz eine wichtige Rolle.

Mit einem Umsatz von 14,47 Mrd. Euro im Jahr 2015 und einer Produktion von 22,6 Mio. Tonnen Papier ist Deutschland der größte Papierhersteller Europas und der viertgrößte weltweit. Die Transformation hin zu einer energieeffizienteren und klimaneutralen Produktion ist eine Schlüsselaufgabe, um die Position der Papierindustrie als bedeutender Wirtschaftszweig und Treiber für Nachhaltigkeit langfristig zu sichern (Godin, 2019).

Die Papierindustrie steht vor ökologischen, technologischen und wirtschaftlichen Herausforderungen. Als energieintensive Branche ist sie stark von der Energiewende betroffen und muss durch Effizienzsteigerungen in Energie- und Rohstoffnutzung ihre Nachhaltigkeitsziele erreichen. Die internationale Konkurrenz zwingt deutsche Hersteller durch Prozessoptimierung und Innovationen, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

Gleichzeitig verlangt der demografische Wandel nach einer klugen Personalpolitik, um Fachkräftemangel entgegenzuwirken und die Attraktivität der Branche zu erhöhen. Die Zukunft der Papierindustrie liegt in der Balance aus ökologischer Verantwortung, technologischer Innovation und wirtschaftlicher Stabilität.

Abb. 8:
Skizzenhafte Darstellung der
Energieflüsse in der Papierher-
stellung.
Quelle: Fraunhofer IFF



Die Zellstoffherstellung erfordert im Allgemeinen einen spezifischen Brennstoffbedarf von ca. 3.000 kWh/t beziehungsweise um die 4.000 kWh/t. In nichtintegrierten Anlagen entfallen etwa 50 bis 60% des Brennstoffverbrauchs auf die Trocknung und Entwässerung beziehungsweise Eindickung des Zellstoffs, was aus Abbildung 8 abzulesen ist, die exemplarisch eine Prozesskette zur Herstellung von Papier aufzeigt, während 15% des eingesetzten Brennstoffes für den Kochprozess benötigt werden. Der letzte Prozessschritt der Veredelung verbraucht vergleichsweise wenig Energie.

In allen sechs deutschen Anlagen liegt der Anteil von Biomasse und biogenen Reststoffen, wie beispielsweise Abauge und Baumrinde, zwischen 30% (an integrierten Standorten) und 100% des Brennstoffverbrauchs zur Energieerzeugung. Um den Wärmebedarf der Papiermaschinen zu decken, werden an integrierten Standorten zusätzlich fossile Brennstoffe, insbesondere Erdgas und Kohle, eingesetzt (Godin, 2019).

3.1.3 Herstellung von chemischen Erzeugnissen

Die deutsche Chemieindustrie ist eine der zentralen Branchen des verarbeitenden Gewerbes und ein wesentlicher Bestandteil globaler Wertschöpfungsketten. Mit rund 475.000 Beschäftigten und einem Umsatz von 227 Milliarden Euro (Stand: 2021) ist sie nach den USA und China der drittgrößte Chemieproduzent weltweit. Die Branche umfasst eine breite Produktpalette von Basischemikalien bis hin zu Feinchemikalien, Kunststoffen und Pharmazeutika, die für zahlreiche Industriezweige wie Automobil, Bau, Elektronik und Gesundheit essenziell sind.

Die Chemieindustrie ist stark energieintensiv, da viele ihrer Prozesse hohe Temperaturen und Drücke erfordern. Rund 45% des Energiebedarfs werden durch Erdgas gedeckt, das sowohl als Energieträger als auch als Rohstoff dient. Vorzeigeprozess hierfür ist die Dampfreformierung, bei der aus Erdgas und Wasser Wasserstoff gewonnen wird. In Abbildung 9 sind die einzelnen Prozessschritte des Herstellungsverfahrens aufgezeigt, unter denen vor allem der Reformer, in dem 700 bis 800 °C herrschen, auf Erdgas als Energieträger angewiesen ist. Der Stromverbrauch liegt bei etwa 15% des Energiebedarfs und wird vor allem für energieintensive Prozesse wie Elektrolyse und Destillation verwendet.

Die Branche steht vor der Herausforderung, fossile Energieträger zu ersetzen, die Energieeffizienz zu steigern und erneuerbare Energiequellen sowie grünen Wasserstoff in die Produktion zu integrieren, um ihre CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Mit einem Exportanteil von über 60% ist die Chemieindustrie ein bedeutender Treiber der deutschen Wirtschaft. Die Transformation hin zu klimaneutralen Produktionsprozessen und die Integration innovativer Technologien sind entscheidend, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern und gleichzeitig einen Beitrag zu den nationalen und internationalen Klimazielen zu leisten (Achtelik et al., 2019).

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

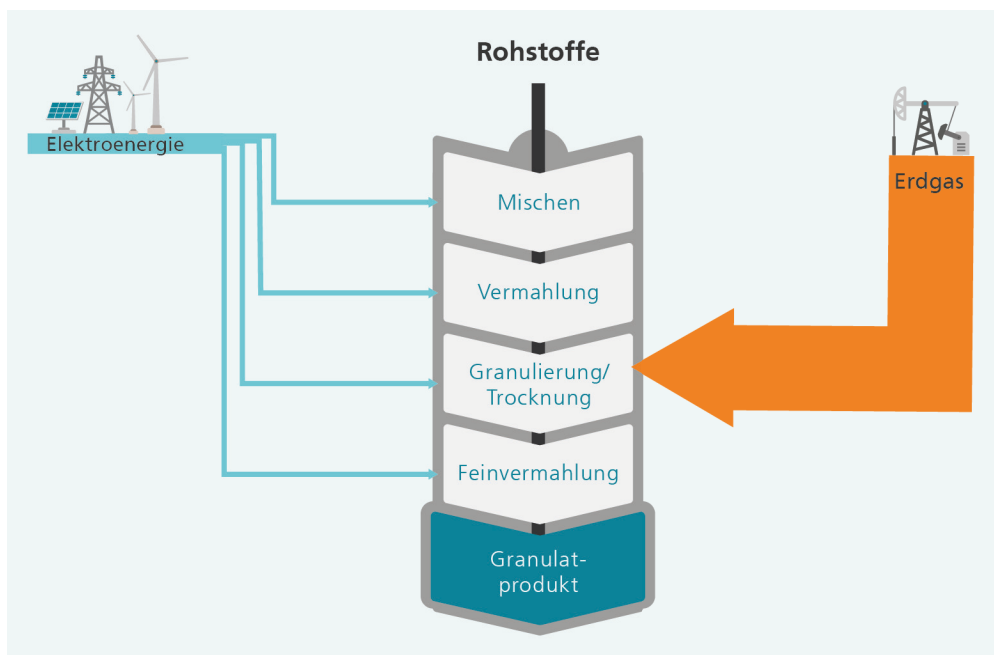


Abb. 9:
Skizzenhafte Darstellung der
Energieflüsse in der Dampfre-
formierung in Chemischen
Prozessen.
Quelle: Fraunhofer IFF

3.1.4 Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden

3.1.4.1 Glas und Glaswaren

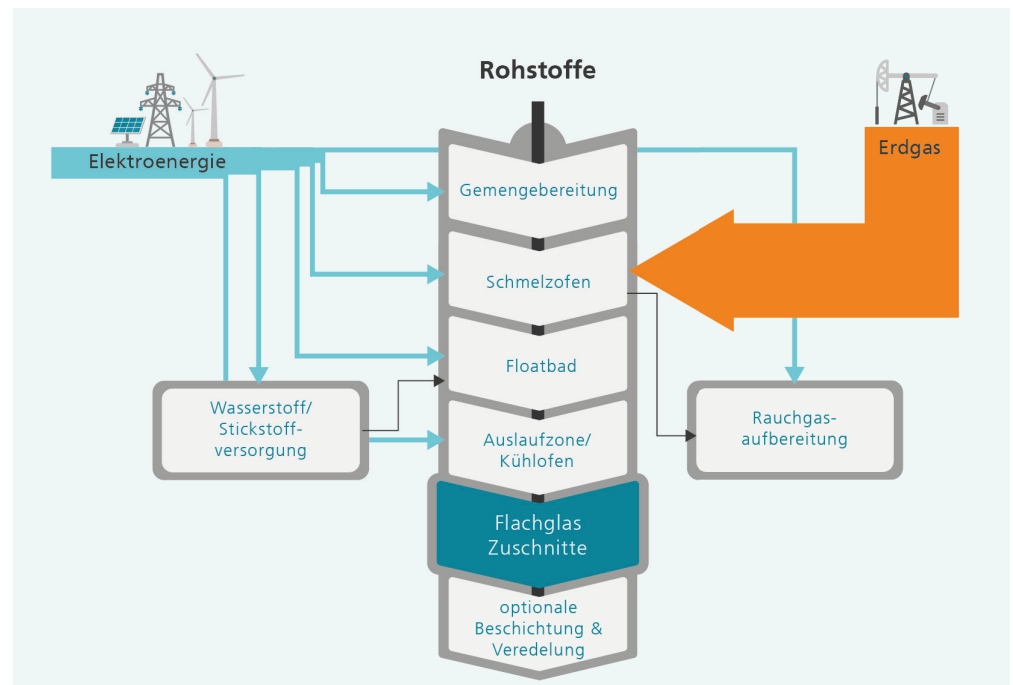
Die Glasindustrie ist eine bedeutende Branche des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland und ein wichtiger Bestandteil zahlreicher Wertschöpfungsketten wie Bauwesen, Automobil, Verpackung, erneuerbare Energien und Medizin. Mit rund 400 Unternehmen, über 50.000 Beschäftigten und einem Umsatz von 10,8 Milliarden Euro (Stand 2020) trägt sie wesentlich zur deutschen Wirtschaft bei.

Die Branche umfasst vier Hauptsegmente: Flachglas, Behälterglas, Spezialglas und technische Glasprodukte, die vielfältige Anwendungen ermöglichen und zu einem Exportanteil von rund 60% beitragen.

Die Glasherstellung ist energieintensiv, da Temperaturen von bis zu 1.700 °C benötigt werden. Der Energiebedarf wird zu über 80% durch fossile Brennstoffe wie Erdgas gedeckt, während Strom vor allem in der Weiterverarbeitung eingesetzt wird. Dies führt zu CO₂-Emissionen von etwa 5 Millionen Tonnen pro Jahr, was die Notwendigkeit einer nachhaltigen Transformation unterstreicht. Gleichzeitig ist Glas ein vollständig recycelbarer Werkstoff, was die Branche zu einem wichtigen Akteur in der Kreislaufwirtschaft macht. Besonders im Segment Behälterglas liegt der Recyclinganteil bereits bei etwa 60%, was den Energieverbrauch erheblich senkt.

Die zentralen Herausforderungen der Glasindustrie sind die Dekarbonisierung, die Steigerung der Energieeffizienz und die weitere Integration von Recyclingmaterialien. Der Einsatz von Wasserstoff und elektrischen Schmelztechnologien, kombiniert mit erneuerbaren Energien, bietet vielversprechende Ansätze, um Emissionen zu reduzieren und fossile Brennstoffe zu ersetzen. Gleichzeitig treibt die Branche Innovationen voran, etwa bei Hochleistungsgläsern für Photovoltaik und High-Tech-Anwendungen (Leisin, 2019).

Abb. 10:
Skizzenhafte Darstellung der
Energieflüsse in der Herstellung von Flachglas.
Quelle: Fraunhofer IFF



In der Glasindustrie wird Energie vor allem in Form von Prozesswärme benötigt, welche größtenteils durch den Einsatz von Erdgas (13,51 TWh, 72,9%) bereitgestellt wird. Zusätzlich wird durch den elektrischen Antrieb von Maschinen und dem elektrischen Zusatzheizen beim Schmelzen (»Boosting«) bzw. durch vollständig elektrisch betriebene Schmelzwannen 3,99 TWh Strom (21,5%) bezogen. In einigen Schmelzöfen wird die Prozesswärme noch durch den Einsatz von Heizöl durch insgesamt 0,77 TWh (4,1%) bereitgestellt.

Die Glasherstellung gehört zu den energieintensiven Prozessen, wobei 50 bis 85% des Gesamtenergiebedarfs für den Schmelzprozess benötigt wird (Leisin, 2019). Als Beispielprozess ist hier die Herstellung von Flachglas in Abbildung 10 aufgeführt, die den hohen Bedarf an Erdgas für den Prozessschritt des Schmelzens im Verhältnis zu anderen Verbrauchern illustriert.

3.1.4.2 Keramik

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Die Keramikindustrie in Deutschland ist ein vielseitiger und unverzichtbarer Wirtschaftszweig, der sowohl durch traditionelle Märkte als auch durch innovative High-tech-Anwendungen geprägt ist. Mit einem Jahresumsatz von etwa 5 Milliarden Euro und rund 36.000 Beschäftigten (Stand 2020) trägt die Branche erheblich zur deutschen Wirtschaft bei. Die Industrie ist stark diversifiziert und gliedert sich in vier Hauptsegmente: Technische Keramik, Baukeramik, Haushalts- und Zierkeramik sowie Feuerfestprodukte.

Technische Keramik liefert hochleistungsfähige Materialien für zukunftsweisende Anwendungen in Bereichen wie Elektronik, Maschinenbau und Medizintechnik. Baukeramik umfasst Produkte wie Ziegel und Fliesen, die vor allem im Bauwesen eingesetzt werden. Haushalts- und Zierkeramik steht für Alltagsprodukte wie Geschirr und dekorative Objekte. Feuerfestprodukte sind essenziell für Hochtemperaturprozesse in Industrien wie Stahl, Zement und Glas. Mit einem Exportanteil von rund 40%, insbesondere in den Bereichen Technische Keramik und Feuerfestprodukte, zeigt die Branche ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit.

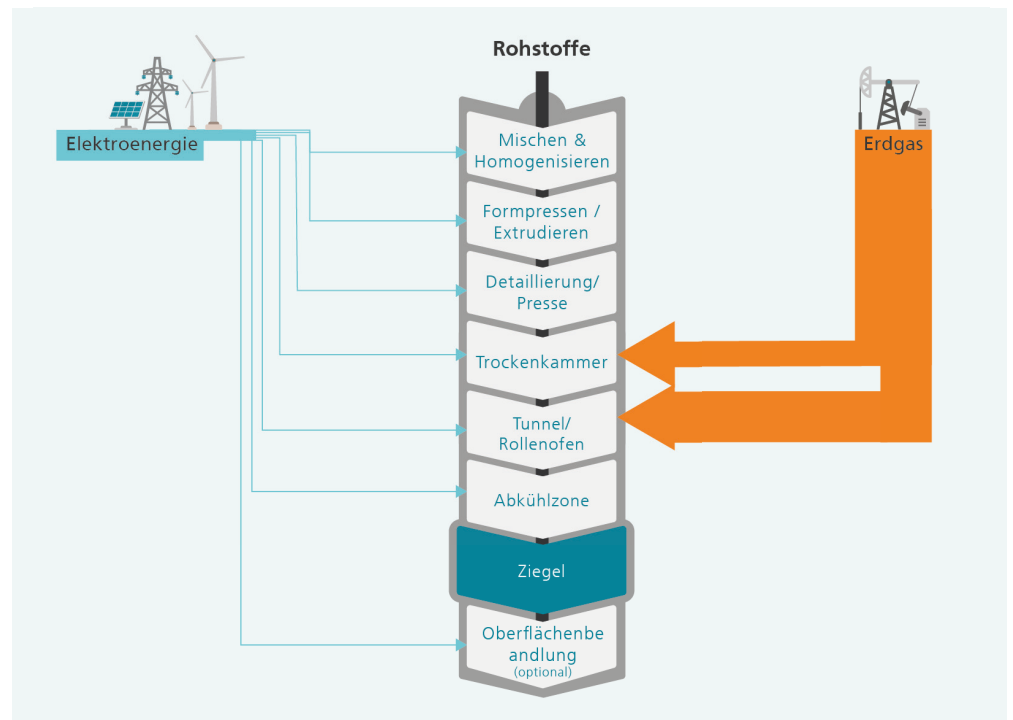
Die Keramikproduktion ist energieintensiv, insbesondere in den Trocknungs- und Brennprozessen, die Temperaturen von bis zu 1.800 °C erfordern. Der jährliche Energieverbrauch der Branche liegt bei etwa 10.000 GWh, wobei fossile Brennstoffe wie Erdgas den Hauptanteil ausmachen. Strom wird vor allem in der Weiterverarbeitung verwendet. Die CO₂-Emissionen der Branche belaufen sich auf rund 3 Millionen Tonnen pro Jahr. Diese Zahlen verdeutlichen die Herausforderung, den Energieverbrauch zu senken und die Prozesse zu dekarbonisieren.

Die Branche steht vor einer Vielzahl nationaler und globaler Herausforderungen. Marktsättigung, Überkapazitäten, Preiskämpfe und Billigimporte setzen die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Hersteller unter Druck. Gleichzeitig verschärfen Fachkräftemangel und demografische Entwicklungen die Probleme der Branche, da qualifiziertes Personal immer schwieriger zu finden ist. Zudem werden deutsche Keramikhersteller durch ambitionierte Klimaschutzziele und strenge Regulierungen auf europäischer Ebene gefordert. Diese betreffen insbesondere die Reduktion von CO₂-Emissionen und die Anpassung an nachhaltigere Produktionsmethoden.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist die Branche auf wettbewerbsfähige und stabile energiepolitische Rahmenbedingungen angewiesen. Innovative Strategien, die auf ressourcenschonende Prozesse, energieeffiziente Technologien und leistungsfähige Beschäftigte setzen, sind essenziell, um die Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern. Insbesondere der Umstieg auf erneuerbare Energien und die Integration alternativer Technologien wie Wasserstoff und elektrische Brennöfen bieten Potenzial, den Energieverbrauch zu senken und die CO₂-Bilanz zu verbessern. Gleichzeitig arbeitet die Branche intensiv an der Optimierung ihrer Prozesse, beispielsweise durch effizientere Brenn- und Trocknungsmethoden sowie die Rückgewinnung von Wärme. Der verstärkte Einsatz von Recyclingmaterialien und die Entwicklung ressourcenschonender Produkte tragen ebenfalls zu einer nachhaltigeren Produktion bei.

Neben technologischen Innovationen spielt die Sicherung des Beschäftigungs-niveaus eine zentrale Rolle. Nur durch eine Kombination aus nachhaltigen Produktionsmethoden, innovativen Produkten und einer starken Beschäftigtenbasis wird es der Branche gelingen, den Herausforderungen der Zukunft erfolgreich zu begegnen. (Hübner, Andrej Guminski, & Dr.-Ing. Serafin von Roon, 2019).

Abb. 11:
Skizzenhafte Darstellung der
Energieflüsse in der Herstel-
lung von Keramiken.
Quelle: Fraunhofer IFF



Im Beispielprozess der Herstellung von Baukeramik in Abbildung 11 wird deutlich, dass der Prozessschritt des Brennens im Tunnel/Rollenofen den energieintensivsten Schritt der Keramikherstellung bildet. Hierbei wird das oberflächenbehandelte Trockengut durch Sintern in ein oder mehreren Bränden bei Temperaturen zwischen 500 bis 2.500 °C gefestigt. Die Brenner werden hauptsächlich mit Gas- oder (seltener) Öl befeuert. (Hübner, Andrej Guminski, & Dr-Ing Serafin von Roon, 2019)

3.1.4.3 Zement

Die Zementherstellung gehört zu den energieintensivsten industriellen Prozessen und erfordert sowohl große Mengen an thermischer als auch elektrischer Energie. Der durchschnittliche thermische Energiebedarf für die Zementproduktion lag in Deutschland im Jahr 2019 bei etwa 2,8 Millionen kJ pro Tonne Zement. Besonders energieintensiv ist die Klinkerherstellung, bei der Temperaturen von bis zu 1.450°C erreicht werden müssen. Diese Hitze wird größtenteils durch fossile Brennstoffe wie Kohle, Petrolkoks und Erdgas erzeugt, wobei alternative Brennstoffe wie Altreifen, Altöl und aufbereitete Abfälle mittlerweile etwa 68% des thermischen Energiebedarfs decken.

Elektrische Energie wird ebenfalls in erheblichem Umfang benötigt, insbesondere für die Mahlung des Zements, die etwa 46% des Stromverbrauchs ausmacht. Zusätzlich wird Strom für das Brennen und Kühlen des Klinkers, die Rohmaterialaufbereitung und den Transport von Zement verwendet. Eine detailreichere Aufteilung der einzelnen Energieflüsse bei der Zementherstellung ist in Abbildung 12 dargestellt, in der besonders gut die Hauptenergieverbraucher wie die Kalzinierung und das Schmelzen zu Klinker im Drehrohrföfen identifiziert werden können.

Im Jahr 2019 betrug der durchschnittliche Stromverbrauch der Branche 111,9 kWh pro Tonne Zement. Faktoren wie die Feinheit des Zements und der Einsatz von Klinkeralternativen beeinflussen den Strombedarf erheblich, da Materialien wie Hütten-sand oder Schlacke intensivere Mahlprozesse erfordern. Abgasreinigungsanlagen und Systeme zur Abwärmenutzung tragen ebenfalls zum Stromverbrauch bei.

Die gesamte Zementindustrie in Deutschland verbraucht jährlich etwa 28.000 GWh Energie, davon 3.000 GWh als elektrische Energie. Dieser immense Energiebedarf macht die Branche zu einer der größten industriellen CO₂-Emittenten. Im Jahr 2020 wurden rund 20 Millionen Tonnen CO₂ ausgestoßen, was etwa 7% der gesamten industriellen Emissionen Deutschlands entspricht. Etwa zwei Drittel dieser Emissionen sind prozessbedingt und entstehen bei der Kalzinierung von Kalkstein, einem unvermeidlichen chemischen Prozess in der Klinkerherstellung (Hübner, Andrej Guminski, Serafin von Roon, et al., 2019).

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Die Zementindustrie arbeitet intensiv an der Reduktion ihres Energieverbrauchs und ihrer Emissionen. Moderne Drehofensysteme und die Nutzung von Abwärme tragen zur Effizienzsteigerung bei. Gleichzeitig wird der Klinkeranteil im Zement durch Sekundärrohstoffe wie Flugasche und Schlacke reduziert, was sowohl den Energiebedarf als auch die Emissionen senkt. Innovative Technologien wie Carbon Capture and Storage (CCS) und Carbon Capture and Utilization (CCU) sollen prozessbedingte Emissionen abscheiden und einer Weiterverwendung zuführen.

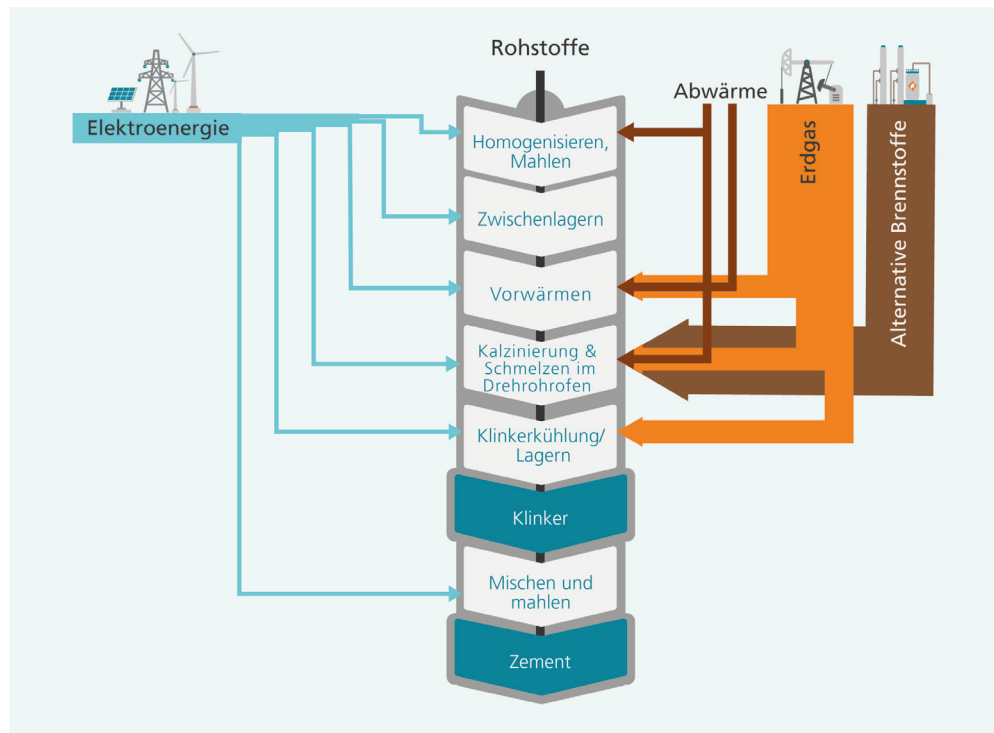


Abb. 12:
Skizzenhafte Darstellung
der Energieflüsse in der
Herstellung von Zement.
Quelle: Fraunhofer IFF

Trotz erheblicher Fortschritte bleibt die Energieerzeugung in der Zementherstellung stark mit Umweltbelastungen verbunden. Während der Einsatz alternativer Brennstoffe den Verbrauch fossiler Energieträger reduziert, stellt die ökologische Nachhaltigkeit dieser Energieträger weiterhin eine Herausforderung dar. Die Dekarbonisierung der Zementherstellung erfordert daher sowohl technologische Innovationen als auch den Ausbau erneuerbarer Energiequellen, um die Energieintensität und die Emissionen nachhaltig zu reduzieren.

Zement enthält Kalkstein und Ton, die beide reich an Calciumcarbonat sind. Die beiden Hauptbestandteile werden in einem Drehrohr erhitzt. Dabei wird das Calciumcarbonat in Calciumoxid (Kalk) und Kohlendioxid (CO₂) aufgespalten, das in die Atmosphäre abgeleitet wird. Dieser Prozess, der als Kalzinieren bezeichnet wird, ist die Hauptquelle für CO₂-Emissionen in der Zementproduktion.

3.1.5 NE-Metall

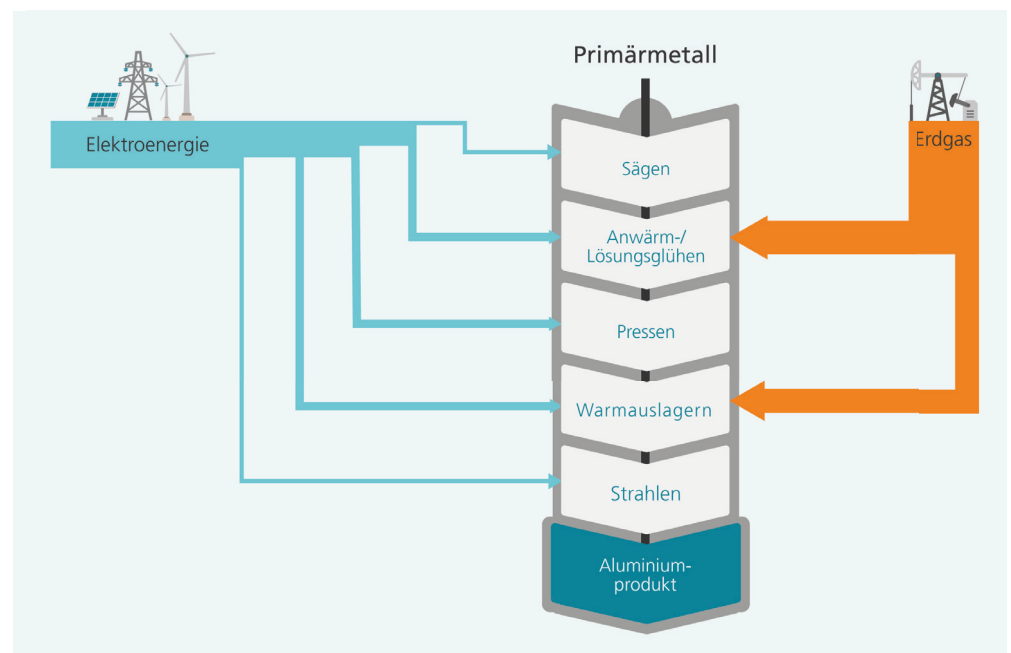
Die NE-Metallindustrie ist ein zentraler Wirtschaftszweig in Deutschland und umfasst die Produktion und Verarbeitung von Metallen wie Aluminium, Kupfer, wie auch Zink, Blei und Nickel. Mit einem Jahresumsatz von rund 58 Milliarden Euro und etwa 110.000 Beschäftigten trägt die Branche erheblich zur deutschen Wirtschaft bei. Die Produkte der NE-Metallindustrie sind essenziell für zahlreiche Industriezweige wie Automobilbau, Maschinenbau und erneuerbare Energien. Besonders für Zukunftstechnologien wie Batterien, Elektromobilität und Windkraftanlagen spielen NE-Metalle eine Schlüsselrolle.

Die Branche wird in drei Hauptsegmente unterteilt: Primärproduktion, Sekundärproduktion (Recycling) und Weiterverarbeitung. Recyclingmetalle machen etwa 50% der Gesamtproduktion aus und tragen wesentlich zur Ressourcenschonung bei. Mit einem Exportanteil von rund 60% ist die NE-Metallindustrie international wettbewerbsfähig.

Die Herstellung von NE-Metallen ist energieintensiv, insbesondere in der Primärproduktion. Der Gesamtenergieverbrauch der Branche beträgt etwa 55.000 GWh pro Jahr, wobei rund 85% des Verbrauchs auf Strom entfallen. Die Aluminium- und Kupferproduktion gehören zu den größten Energieverbrauchern innerhalb der Branche. In einem Beispielprozess für die Aluminiumverarbeitung in Abbildung 13 entfällt 41% des Gesamtenergieeinsatzes auf das Anwärm- und Lösungsglühen. 17% des Gesamtenergieeinsatzes wird für das Warmauslagern benötigt. Die Sekundärproduktion, die auf Recycling basiert, ist deutlich weniger energieintensiv und verursacht somit geringere CO₂-Emissionen.

Zu den zentralen Herausforderungen der Branche gehört die Reduktion von CO₂-Emissionen, insbesondere in der Primärproduktion. Hier arbeitet die NE-Metallindustrie an der Integration erneuerbarer Energien, dem Einsatz von grünem Wasserstoff und der Einführung innovativer Technologien wie Carbon Capture and Storage (CCS). Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Optimierung der Energieeffizienz durch moderne Schmelzverfahren und der Nutzung von Abwärme. Gleichzeitig wird das Recycling weiter ausgebaut, um den Energiebedarf und die Abhängigkeit von Rohstoffimporten zu reduzieren.

Abb. 13:
Skizzenhafte Darstellung
der Energieflüsse in der
Herstellung von Aluminium-
produkten.
Quelle: Fraunhofer IFF



WZ08: 24 konzentriert sich auf die Herstellung und Verarbeitung von Rohmetallen und Halbzeugen, während WZ08: 25 die Weiterverarbeitung zu fertigen Metallerezeugnissen ohne Maschinenbau abdeckt. Beide Kategorien spielen eine essenzielle Rolle in der Wertschöpfungskette der Metallindustrie (Hübner, Andrej Guminski, Elsa Rouyre, et al., 2019).

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

3.2 Wirtschaftsgeografische Struktur

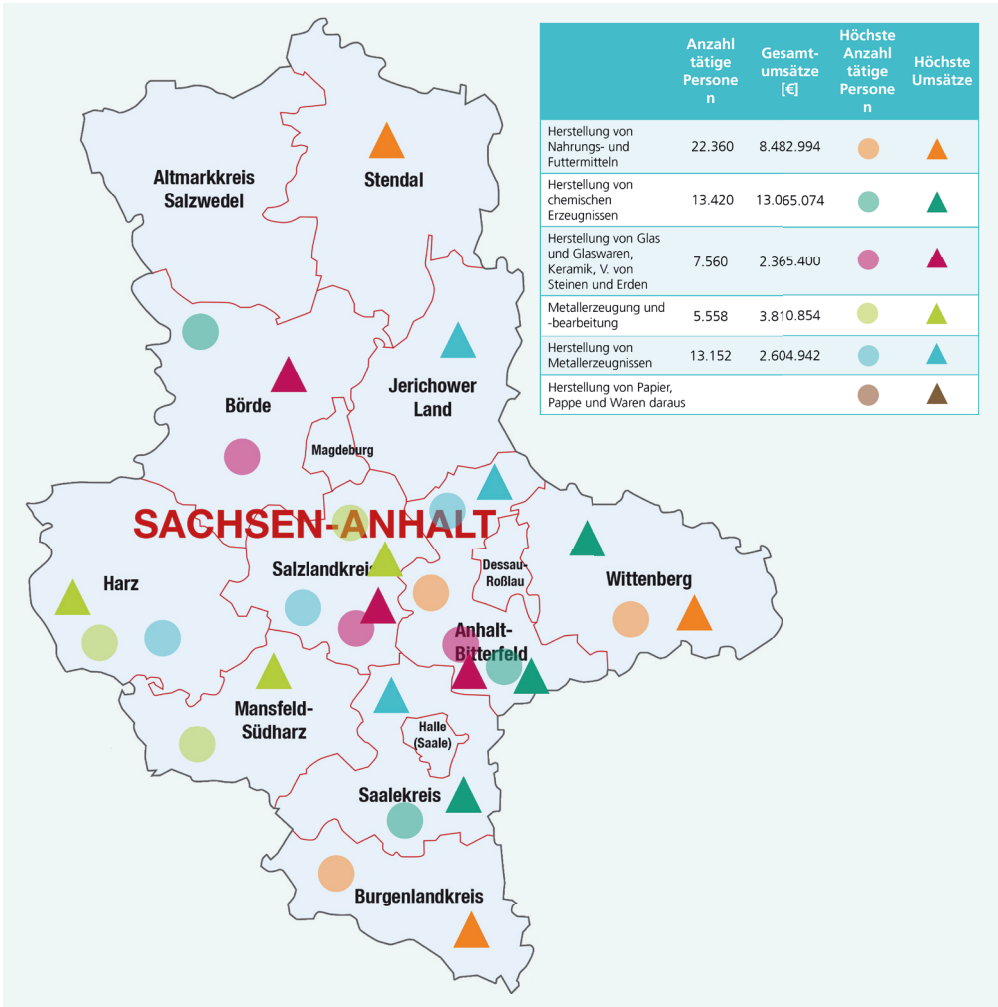


Abb. 14:
Kennzeichnung der energieintensiven Unternehmen mit dem höchsten Umsatz und höchster Anzahl an tätigen Personen je Landkreis in Sachsen-Anhalt – Datenbasis siehe Tabelle 1.
Quelle: Fraunhofer IFF

Die industrielle Prägung Sachsens-Anhalts ist tief in der Geschichte verwurzelt, insbesondere im sogenannten Chemiedreieck Leuna-Bitterfeld-Wolfen-Schkopau (Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitalisierung des Landes Sachsen-Anhalt, 2022). Hier hat sich eine leistungsstarke Chemie- und Kunststoffindustrie etabliert, in der internationale Konzerne wie DOW, BASF und Linde ansässig sind. Dieses Cluster energieintensiver Unternehmen trägt maßgeblich zur Bruttowertschöpfung des Landes bei. Die Industrie macht etwa 25% des BIP Sachsens-Anhalts aus, das 2021 bei rund 63 Milliarden Euro lag (Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, 2022).

In Sachsen-Anhalt sind rund 130.000 Personen im verarbeitenden Gewerbe beschäftigt, das unter anderem die energieintensiven Branchen wie Chemie, Metallverarbeitung und Zementherstellung umfasst. Von etwa 500 gelten ca. 50 bis 60 Unternehmen als besonders energieintensiv und zeichnen sich durch Produktionsstätten aus, die erhebliche Teile des regionalen Stromverbrauchs ausmachen. Während die

industrielle Wertschöpfung eine Stärke darstellt, ist die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern eine zentrale Herausforderung (Land Sachsen-Anhalt – Tätige Personen, 2023).

Sachsen-Anhalt liegt zentral im deutschen und europäischen Wirtschaftsraum und verfügt über eine gut ausgebaute Verkehrsinfrastruktur. Autobahnen wie die A2 und A9, ein dichtes Schienennetz sowie die schiffbare Elbe ermöglichen einen schnellen Zugang zu nationalen und internationalen Märkten. Diese strategische Lage trägt wesentlich zur Attraktivität des Standorts für die Industrie bei.

Zusätzlich stellt der demografische Wandel eine Herausforderung dar. Die Abwanderung junger Menschen und der Fachkräftemangel könnten die Wettbewerbsfähigkeit beeinträchtigen, da energieintensive Branchen auf hochqualifiziertes Personal angewiesen sind. Dennoch bieten die industrielle Tradition, die zentrale Lage und das wachsende Potenzial erneuerbarer Energien eine solide Grundlage, um den Standort zukunftsfähig zu gestalten.

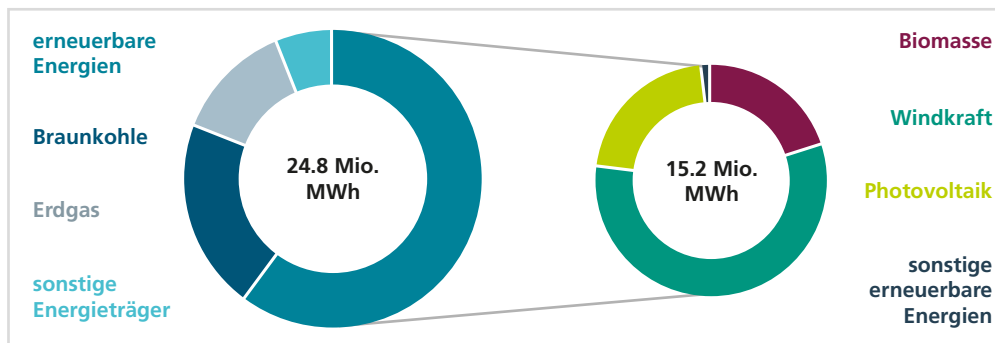
Abbildung 14 verdeutlicht die Verteilung der energieintensiven Branchen in den Landkreisen Sachsens-Anhalts und zeigt die überragende Bedeutung dieser Industriezweige für die regionale Wirtschaft. Die Karte hebt die Schwerpunkte hinsichtlich des Umsatzes und der Beschäftigungszahlen hervor. Insbesondere die südlichen und mittleren Landkreise, die das industrielle Herzstück des Bundeslandes bilden, zeichnen sich durch eine hohe Konzentration energieintensiver Unternehmen aus, während die nördlichen Regionen vergleichsweise gering vertreten sind.

Die energieintensiven Industrien sind nicht nur ein wesentlicher Treiber für die wirtschaftliche Leistungskraft des Landes, sondern auch ein zentraler Garant für Beschäftigung. Die hohe Anzahl an Arbeitsplätzen, die in diesen Branchen bereitgestellt wird, unterstreicht ihre Bedeutung für die soziale und wirtschaftliche Stabilität der Region. Gleichzeitig tragen diese Industrien erheblich zur Bruttowertschöpfung bei, die rund ein Viertel des BIP Sachsens-Anhalts ausmacht.

Vor diesem Hintergrund ist es essenziell, diese Unternehmen durch gezielte Maßnahmen zu unterstützen. Ihre Transformation hin zu einer klimafreundlichen Produktion erfordert nicht nur Investitionen in neue Technologien, sondern auch stabile politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen. Nur durch eine nachhaltige Unterstützung können die energieintensiven Branchen langfristig wettbewerbsfähig bleiben, ihre Schlüsselrolle als Arbeitgeber sichern und ihren Beitrag zur Wertschöpfung des Landes aufrechterhalten.

3.3 Erzeugung erneuerbarer Energie in Sachsen-Anhalt

Sachsen-Anhalt nimmt eine führende Rolle im Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland ein. Im Jahr 2022 lag die Bruttostromerzeugung des Bundeslands bei insgesamt 24,8 Mio. MWh, von denen 15,2 Mio. MWh aus erneuerbaren Quellen stammten. Damit wurde ein Anteil von 60,1 % an der Bruttostromerzeugung erreicht, was einer Steigerung von 3,5 Prozentpunkten im Vergleich zum Vorjahr entspricht. Dies verdeutlicht das kontinuierliche Wachstum im Bereich regenerativer Energien, das entscheidend für die Erreichung der Klimaziele ist. Die Daten der Bruttostromerzeugung ist im Anhang in Tabelle 9 zu finden.



Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Abb. 15:
Bruttostromerzeugung in Sachsen-Anhalt 2022
Quelle: Statistisches Landesamts Sachsen-Anhalt (<https://statistik.sachsen-anhalt.de/news/news-details/mehr-als-die-haelfte-der-bruttostromerzeugung-stammte-2022-aus-erneuerbaren-energien>)

Die Grafik in Abbildung 15 zeigt die Verteilung der Energieträger an der Bruttostromerzeugung. Erneuerbare Energien machen den größten Anteil mit 60% aus, gefolgt von Erdgas mit 21% und Braunkohle mit 13%. Innerhalb der erneuerbaren Energien dominieren Windkraft (57%), Photovoltaik (22%) und Biomasse (20%), wie in der rechten Grafik dargestellt. Diese Verteilung unterstreicht die Bedeutung der Windkraft für die Energieversorgung in Sachsen-Anhalt.

Die saisonale Variabilität der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Sachsen-Anhalt wird in Abbildung 16 deutlich. Während die Windenergie insbesondere in den Wintermonaten Spitzenwerte erreicht, dominiert die Solarenergie in den Sommermonaten. Biomasse hingegen bleibt über das gesamte Jahr hinweg konstant und dient somit als stabilisierender Faktor für die Energieversorgung.

Die hohe Abhängigkeit von wetterabhängigen Quellen wie Wind und Sonne macht Investitionen in Energiespeicher und intelligente Netze unerlässlich. Trotz dieser Herausforderungen bietet der Ausbau erneuerbarer Energien langfristig großes Potenzial, die Energieversorgung für energieintensive Unternehmen in Sachsen-Anhalt nachhaltiger und stabiler zu gestalten.

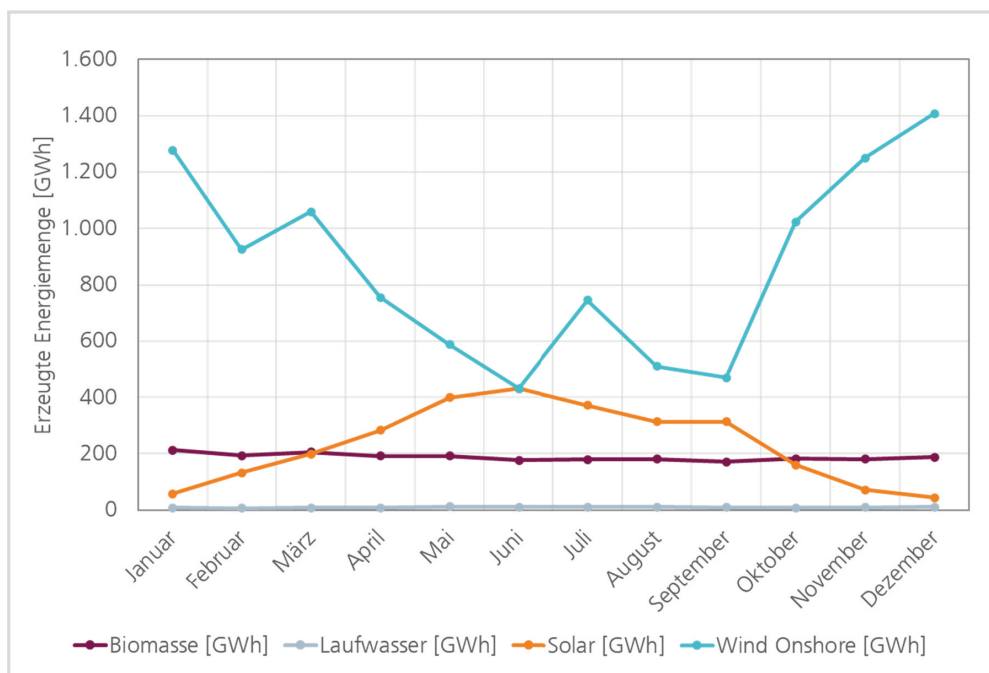


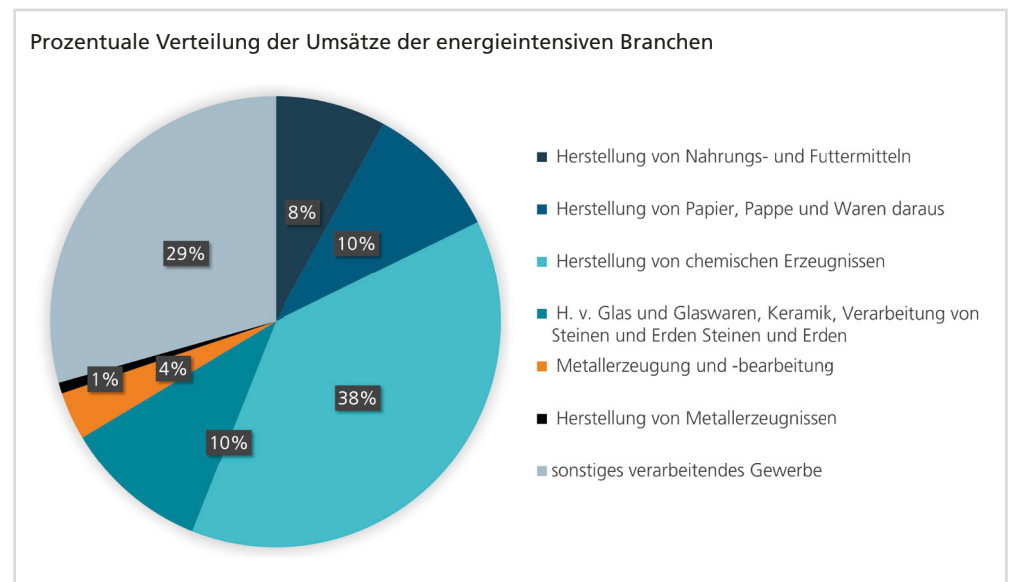
Abb. 16:
Saisonale Verteilung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Sachsen-Anhalt im Jahresverlauf 2022.
Quelle: Fraunhofer IFF

3.4 Wirtschaftlicher Status quo

Die wirtschaftliche Lage in Sachsen-Anhalt wird geprägt durch die energieintensiven Branchen, die einen zentralen Bestandteil der industriellen Struktur des Landes darstellen. Aufgrund ihrer hohen Anzahl an Unternehmen und Beschäftigten spielen diese Sektoren eine Schlüsselrolle in der Wirtschaft des Landes. Mit mehr als 500 Unternehmen und über 65.000 Beschäftigten tragen sie wesentlich zur Wirtschaftskraft Sachsens-Anhalts bei. Der Gesamtumsatz dieser Sektoren beträgt über 50 Milliarden Euro und unterstreicht ihre wirtschaftliche Relevanz.

Die Grafik in Abbildung 16 zeigt deutlich, dass die Herstellung von chemischen Erzeugnissen mit 38% den mit Abstand größten Anteil am Umsatz der energieintensiven Branchen hat. Dahinter folgen die Papierindustrie und die Glas- und Keramikindustrie, die jeweils 10% zum Gesamtumsatz beitragen. Die Nahrungsmittelindustrie nimmt mit 8% eine mittlere Position ein, während die Metallverarbeitung mit 4% und die Herstellung von Metallerzeugnissen mit nur 1% geringere Anteile aufweisen.

Abb. 17:
Prozentuale Verteilung der Umsätze der Branchen des verarbeitenden Gewerbes Sachsen-Anhalt (2022).
Quelle: Land Sachsen-Anhalt – Tätige Personen, U. (2023), Umsatz im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden, 2022 (<https://statistik.sachsen-anhalt.de>)



Diese Verteilung verdeutlicht, dass vor allem Branchen mit komplexen Produktionsprozessen und hohen Wertschöpfungspotenzialen, wie die chemische Industrie, eine zentrale Rolle spielen. Gleichzeitig zeigt sich, dass kleinere Branchen wie die Metallerzeugnisse trotz hoher Energieintensität nur einen geringen wirtschaftlichen Beitrag leisten.

Tabelle 1 enthält Daten aus dem Jahr 2022 über die Struktur und Wirtschaftskraft von Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe und speziell ausgewählten Branchen, einschließlich energieintensiver Gewerbe. Sie ist wie folgt gegliedert: Abteilung und Hauptgruppen, Anzahl Unternehmen, Gesamtzahl der in diesen Unternehmen beschäftigten Personen, die durchschnittliche Anzahl an Beschäftigten pro Betrieb in den jeweiligen Branchen und Umsatz der Unternehmen in der jeweiligen Gruppe in Tausend Euro.

Abteilung und Hauptgruppen	Anzahl Unternehmen [-]	tätige Personen gesamt [-]	tätige Personen je Betrieb im Durchschnitt [-]	Gesamtumsatz [Mio. €]
Verarbeitendes Gewerbe	1.347	126.595	172	58.088
ausgewählte Gewerbe	723	67.322	172	34.085
Anteile	54%	53%	-	59%
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln (WZ08: 10)	172	22.360	210	8.483
Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus (WZ08: 17)	20	2.955	161	2.242
Herstellung von chemischen Erzeugnissen (WZ08: 20)	113	13.941	184	13.793
H. v. Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden (WZ08: 23)	158	7.778	143	2.536
Metallerzeugung und -bearbeitung (WZ08: 24)	41	7.136	220	4.426
Herstellung von Metallerzeugnissen (WZ08: 25)	219	13.152	112	2.605

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Tab. 1:
Übersicht der Unternehmensstruktur, Beschäftigtenzahlen und Umsätze der ausgewählten Branchen im verarbeitenden Gewerbe in Sachsen-Anhalt in 2022.

Quelle: Land Sachsen-Anhalt – Tätige Personen, U. (2023), Bericht Tätige Personen, Umsatz im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden, 2022 (<https://statistik.sachsen-anhalt.de>)

Mit 1.347 Unternehmen ist das verarbeitende Gewerbe eine breit gefächerte und bedeutende Wirtschaftsgröße, die 126.595 Beschäftigte verdeutlichen die arbeitsintensive Natur des Sektors. Jedes Unternehmen beschäftigt im Schnitt 172 Personen. Dies lässt auf eine Mischung aus mittelständischen und größeren Betrieben schließen. Der Gesamtumsatz beträgt 58.088 Mio. €, was auf eine hohe Wirtschaftskraft hinweist.

Die ausgewählten Branchen sind die Branchen mit den meisten energieintensiven Unternehmen im Land Sachsen-Anhalt und machen 54% der Unternehmen und 53% der Beschäftigten aus, wobei sie 59% des Umsatzes generieren.

Innerhalb dieser Gruppe sind 723 Unternehmen aktiv, die 67.322 Personen beschäftigen, wobei jedes Unternehmen im Durchschnitt 172 Personen beschäftigt. Der Gesamtumsatz beläuft sich auf 34.085 Mio. € Umsatz.

Der Herstellung von Metallerzeugnissen sind in Sachsen-Anhalt 219 Unternehmen zuzuordnen. Im Branchenbereich der Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln ist die höchste Anzahl an Beschäftigten zu vermerken (22.360 Beschäftigte). Der größte Umsatz wird, nach der Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln, mit der Herstel-

lung von chemischen Erzeugnissen erzielt (Umsatz: 13.793 Mio. €), was 40% des Umsatzes der ausgewählten Gewerbe entspricht. Diese Branche zeigt die höchste Wertschöpfung pro Beschäftigten und pro Betrieb, was auf innovative und margenstarke Produkte hinweist.

Tabelle 1 zeigt deutliche Unterschiede in der Struktur und Wertschöpfung der einzelnen Branchen des verarbeitenden Gewerbes. Besonders hervorzuheben ist die chemische Industrie, die trotz einer vergleichsweise geringen Anzahl an Unternehmen den höchsten Umsatzanteil generiert. Dies deutet auf eine starke Position in margenstarken Produkten oder Nischenmärkten hin. Auch die Metallherzeugung zeigt eine hohe Effizienz und Wertschöpfung, was auf hochtechnisierte Prozesse und spezialisierte Produkte schließen lässt.

Größere Betriebe sind vor allem in der Nahrungs- und Futtermittelherstellung sowie in der Metallherzeugung und -bearbeitung zu finden, was die arbeitsintensive Natur dieser Branchen unterstreicht. Im Gegensatz dazu dominieren in der Herstellung von Metallherzeugnissen viele kleinere Unternehmen, die jedoch vergleichsweise geringe Umsätze erzielen, was möglicherweise auf standardisierte Produkte und geringere Margen zurückzuführen ist.

Branchen wie Glas, Keramik und die Verarbeitung von Steinen und Erden sowie die Herstellung von Metallherzeugnissen zeigen trotz einer hohen Anzahl von Betrieben und Beschäftigten nur moderate Umsätze. Dies könnte auf weniger margenstarke Produkte oder auf eine geringere Innovationsdynamik hindeuten.

Insgesamt lassen sich wertschöpfungsstarke Branchen identifizieren, die gezielt durch Innovationsprogramme gestärkt werden können, während arbeitsintensive Sektoren von Prozessoptimierung und Vernetzung profitieren könnten.

Die Analyse der Branchen legt nahe, dass unterschiedliche strategische Ansätze erforderlich sind, um das Potenzial der verschiedenen Sektoren optimal zu nutzen. Wertschöpfungsstarke Branchen wie die Chemie- und Metallindustrie eignen sich besonders für gezielte Innovationsförderung, da sie hohe Effizienz und Spezialisierung zeigen. Hier könnten Forschungs- und Entwicklungsprogramme sowie Investitionen in neue Technologien dazu beitragen, ihre führende Position weiter auszubauen.

Gleichzeitig könnten Branchen mit vielen kleinen Unternehmen, wie die der Herstellung von Metallherzeugnissen, durch bessere Vernetzung, Prozessoptimierungen und Skaleneffekte unterstützt werden, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Energieintensive Sektoren wie die Chemie, Glas/Keramik und Metallverarbeitung bieten großes Potenzial für Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Umstellung auf klimafreundliche Technologien, was auch einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten könnte. Insgesamt erfordert die Vielfalt der Branchen einen maßgeschneiderten Ansatz, um ihre spezifischen Herausforderungen zu adressieren und Wachstum sowie Innovation voranzutreiben.

Die Grafik in Abbildung 18 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Anzahl tätiger Personen insgesamt (auf der x-Achse) und dem Umsatz (auf der y-Achse) in verschiedenen Industriebereichen. Die Größe der Blasen gibt die durchschnittliche Anzahl tätiger Personen pro Firma an, was Rückschlüsse auf die Struktur der Unternehmen innerhalb der Branchen erlaubt.

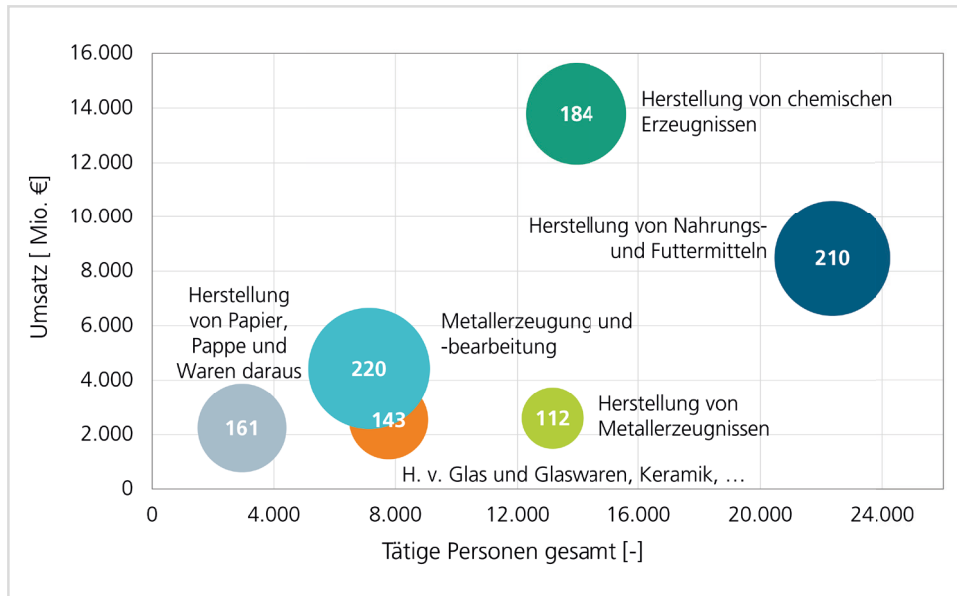


Abb. 18:
Zusammenhang zwischen der Anzahl tätiger Personen, dem Umsatz und der durchschnittlichen Betriebsgröße in ausgewählten Branchen des verarbeitenden Gewerbes in Sachsen-Anhalt in 2022.
Quelle: Land Sachsen-Anhalt – Tätige Personen, U. (2023), Bericht Tätige Personen, Umsatz im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden, 2022 (<https://statistik.sachsen-anhalt.de>)

Es zeigen sich klare Unterschiede zwischen den Branchen in Bezug auf Umsatz, Beschäftigungsstruktur und durchschnittliche Firmengröße: Umsatzstarke und beschäftigungsintensive Branchen wie die chemische Industrie und die Nahrungs- und Futtermittelherstellung haben hohe Beschäftigtenzahlen und große Unternehmen, unterscheiden sich jedoch in ihrer Produktivität pro Person. Metallerzeugung und Glas/Keramik weisen mittlere bis hohe Beschäftigtenzahlen auf, wobei der Umsatz geringer ausfällt. Dies deutet auf personal- und ressourcenintensive Prozesse hin. Papierindustrie und Metallserzeugnisse sind vergleichsweise klein, sowohl in der Anzahl der Beschäftigten als auch im Umsatz. Ihre durchschnittliche Firmengröße ist geringer, was auf spezialisierte oder kleinere Produktionsbetriebe schließen lässt.

Zusammenfassend zeigt die Grafik, dass der Wertschöpfungsgrad, die Produktivität und die Unternehmensstruktur je nach Branche stark variieren. Branchen mit hohem Umsatz und hoher Firmengröße, wie die chemische Industrie, positionieren sich besonders gut, während energie- und arbeitsintensive Branchen wie Glas/Keramik und Papierindustrie vor größeren Herausforderungen stehen.

3.5 Energetischer und umweltpolitischer Status quo

Die energieintensiven Branchen in Sachsen-Anhalt haben einen erheblichen Einfluss auf die CO₂-Emissionen des Landes. Mit etwa 11 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen tragen sie mit rund 37% zu den gesamten Emissionen Sachsens-Anhalts bei. Dies verdeutlicht die zentrale Rolle dieser Sektoren nicht nur in der Wirtschaft, sondern auch in der Umweltpolitik.

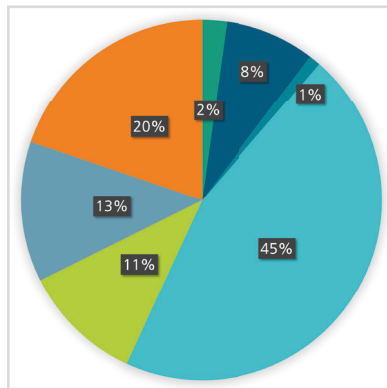
3.5.1 Verteilung der Energieträger je Branche

Die vorliegenden Daten, grafisch dargestellt in Abbildung 19, zeigen deutliche Unterschiede in der Energieverbrauchsstruktur der verschiedenen Industriebranchen in Sachsen-Anhalt. Insgesamt wird Erdgas als dominierender Energieträger in nahezu allen Sektoren genutzt. Der Verbrauch von Strom variiert hingegen stark, abhängig von der jeweiligen Industrie. Fossile Brennstoffe wie Kohle und Heizöl spielen in einigen Sektoren eine Nebenrolle, während erneuerbare Energien bislang nur geringe Anteile einnehmen.

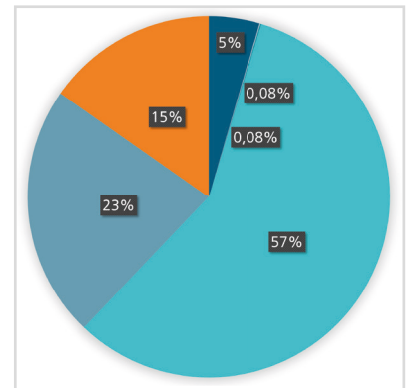
Abb. 19:
Verteilung der Energie-
verbräuche der energie-
intensiven Branchen des
verarbeitenden Gewerbes
in Sachsen-Anhalt
in 2022.

Quelle: Land Sachsen-Anhalt –
Energie (2024), Erhebung über
die Energieverwendung der
Betriebe im Verarbeitenden
Gewerbe sowie im Bergbau
und in der Gewinnung von
Steinen und Erden, 2022
(www.govdata.de/dl-de/by-2-0)

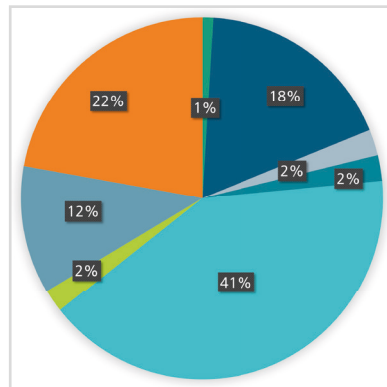
Verarbeitendes Gewerbe



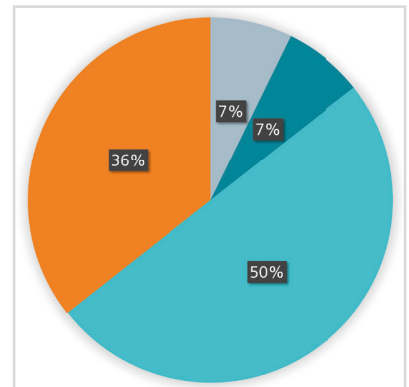
Herstellung von chemischen Erzeugnissen



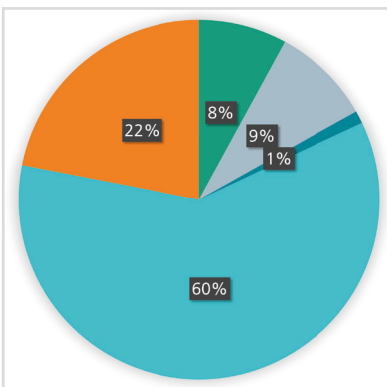
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln



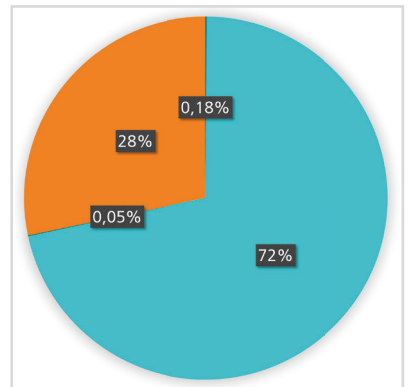
Herstellung von Papier, Pappe und Waren ...



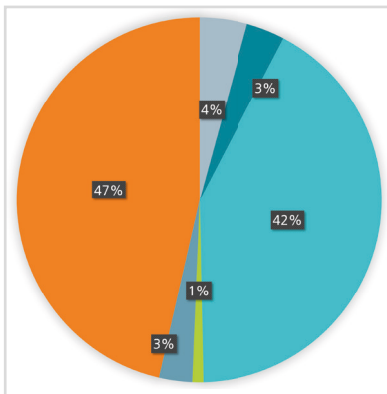
Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik,...



Metallerzeugung und -bearbeitung



Herstellung von Metallerzeugnissen



Verarbeitendes Gewerbe:

Erdgas hat mit 45% den größten Anteil, gefolgt von Strom (20%) und Wärme (13%). Erneuerbare Energien machen 11% aus, während Braunkohle bei 8% liegt.

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Herstellung chemischer Erzeugnisse:

Hier dominiert Erdgas mit 57%, gefolgt von Wärme (23%) und Strom (15%). Braunkohle macht 5% aus, und Heizöl leicht sowie Mineralöle spielen eine marginale Rolle (0,08%).

Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln:

Erdgas führt mit 41%, Strom folgt mit 22%, während Braunkohle 18% erreicht. Wärme trägt 12% bei, erneuerbare Energien liegen bei 2%.

Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus:

Hier liegt Erdgas bei 50%, gefolgt von Strom (36%). Mineralöle und Heizöl leicht machen jeweils 7% aus.

Herstellung v. Glas u. Glaswaren, Keramik, usw.:

Erdgas ist mit 60% dominierend, Strom erreicht 22%. Mineralöle (9%) und Steinkohle (8%) haben mittlere Anteile.

Metallerzeugung und -bearbeitung:

Erdgas spielt die größte Rolle mit 72%, Strom folgt mit 28%. Heizöl leicht und Wärme sind mit jeweils 0,18% und 0,05% vernachlässigbar.

Herstellung von Metallerzeugnissen:

Strom und Erdgas teilen sich nahezu die Führung mit 47% bzw. 42%. Kleinere Anteile entfallen auf Wärme (3%), erneuerbare Energien (1%), Mineralöle (4%) und Heizöl leicht (3%).

Die meisten Industriebereiche sind stark von Erdgas abhängig, insbesondere die Metall- und Chemieindustrie. Strom stellt in vielen Sektoren, wie bei der Metallerzeugung- und Papierherstellung, einen wesentlichen Anteil dar. Andere Energieträger wie Braunkohle oder erneuerbare Energien spielen sektorabhängig eine kleinere Rolle.

3.5.2 Energieverbräuche und Energieintensität

In Tabelle 2 dargestellt, zeigt sich dass das verarbeitende Gewerbe im Jahr 2022 einen Gesamtenergieverbrauch von 64.430 GWh verzeichnete, was die zentrale Rolle dieses Sektors im Energiebedarf unterstreicht. Dabei wird ein Großteil des Verbrauchs durch fossile Energieträger gedeckt: Erdgas machte 35% (22.675 GWh) des Gesamtverbrauchs aus, gefolgt von Strom mit 15% (9.860 GWh). Die eigene Energieerzeugung ist mit 3.017 GWh (4,7%) vergleichsweise gering. Die detaillierte Auflistung der Verbräuche aller Energieträger ist im Anhang Tabelle 10 zu finden.

Ein genauerer Blick auf ausgewählte energieintensive Branchen zeigt, dass diese insgesamt 45.497 GWh Energie verbrauchten, was 71% des gesamten Energieverbrauchs des verarbeitenden Gewerbes entspricht. Diese Branchen weisen eine hohe Abhängigkeit von Erdgas auf, das 21.632 GWh (95% des gesamten Erdgasverbrauchs) ausmacht. Auch der Stromverbrauch ist mit 7.608 GWh (77%) hoch. Die eigene Energieerzeugung dieser Branchen beträgt 1.188 GWh, was 39% der Eigenproduktion des verarbeitenden Gewerbes ausmacht.

Tab. 2:
Auszug der Energieverbräuche der Industriebetriebe in Sachsen-Anhalt nach ausgewählten Energieträgern und wirtschaftlicher Gliederung, sowie Energieintensität für 2022.
Quelle: Land Sachsen-Anhalt – Energie (2024), Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden, 2022 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)

Abteilung und Hauptgruppen	Energieverbrauch gesamt [GWh]	Energieverbrauch Erdgas [GWh]	Energieverbrauch Strom [GWh]	eigene Energieerzeugung [GWh]	Energieverbrauch/ Umsatz [GWh/Mio. €]
Verarbeitendes Gewerbe	64.430	22.675	9.860	3.017	1,11
ausgewählte Gewerbe	45.497	21.632	7.608	1.188	1,33
Anteile	71%	95%	77%	39%	
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	5.136	2.150	1.165	384	0,61
Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	6.286	1.372	978	-	2,80
Herstellung von chemischen Erzeugnissen	24.677	13.685	3.640	754	1,79
H. v. Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	6.682	2.636	961	36	2,64
Metallerzeugung und -bearbeitung	2.214	1.572	623	5	0,50
Herstellung von Metallerzeugnissen	501	218	241	10	0,19

Die chemische Industrie weist mit 24.677 GWh den höchsten Energieverbrauch unter den analysierten Branchen auf. Erdgas stellt mit 13.685 GWh den größten Anteil, während der Stromverbrauch bei 3.640 GWh liegt. Trotz einer moderaten eigenen Energieerzeugung von 754 GWh bleibt die Branche stark von externen Energiequellen abhängig.

Die Papierindustrie verzeichnet einen Energieverbrauch von 6.286 GWh. Ähnlich energieintensiv ist die Glas- und Keramikindustrie mit einem Energieverbrauch von 6.682 GWh. Auch diese Branche steht vor der Herausforderung, ihre energieaufwändigen Prozesse, die hohe Temperaturen erfordern, effizienter zu gestalten.

Im Vergleich dazu sind die Nahrungsmittelproduktion sowie die Metallverarbeitung weniger energieintensiv. Die Nahrungsmittelbranche verzeichnet einen Energieverbrauch von 5.136 GWh, die Metallerzeugung und -bearbeitung einen Verbrauch von 2.214 GWh. Die energieeffizienteste Branche ist die Herstellung von Metallerzeugnissen, die einen Verbrauch von 501 GWh aufweist.

Energieintensität:

Die Energieintensität verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Umsatz der verschiedenen Branchen des verarbeitenden Gewerbes. Die Energieintensität des verarbeitenden Gewerbes in Sachsen-Anhalt lag im Jahr 2022 bei 1,109 GWh/Mio. € Umsatz und verdeutlicht die energieintensive Natur des Sektors sowie die Abhängigkeit von externen Energiequellen.

Hohe Energieintensität:

Branchen wie die Papierindustrie (2,8 GWh/Mio. €) sowie die Glas- und Keramikindustrie (2,6 GWh/Mio. €) haben einen hohen Energieverbrauch bei vergleichsweise niedrigem Umsatz, was auf energieaufwendige Prozesse hindeutet.

Moderate Energieintensität:

Die chemische Industrie erreicht mit 1,8 GWh/Mio. € eine bessere Balance zwischen Energieeinsatz und Wertschöpfung.

Niedrige Energieintensität:

Branchen wie die Nahrungsmittelproduktion (0,6 GWh/Mio. €) und Metallerzeugnisse (0,2 GWh/Mio. €) arbeiten energieeffizient und erzielen hohe Umsätze pro eingesetzter Energieeinheit.

Die Analyse zeigt deutliche Unterschiede in der Energieeffizienz zwischen den Branchen. Besonders energieintensive Industrien stehen unter Druck, ihre Prozesse zu optimieren und energieeffizienter zu gestalten. Branchen wie die Papierindustrie und die Glas- und Keramikindustrie stehen vor großen Herausforderungen aufgrund ihres hohen Energieverbrauchs im Verhältnis zum erzielten Umsatz.

Hier sind Effizienzmaßnahmen besonders notwendig. Die chemische Industrie kombiniert einen hohen absoluten Energieverbrauch mit moderater Energieintensität, was auf hohe Wertschöpfung hinweist. Branchen wie die Metallerzeugung und die Nahrungsmittelproduktion arbeiten vergleichsweise energieeffizient und erzielen mit geringem Energieeinsatz einen höheren Umsatz. Insgesamt zeigt der Vergleich, dass es erhebliche Unterschiede in der Energieintensität der Branchen gibt. Dies ist auf die Art der Produktion, die benötigten Technologien und die Wertschöpfung zurückzuführen. Branchen mit hoher Energieintensität stehen unter besonderem Druck, ihre Prozesse zu optimieren und energieeffizienter zu gestalten.

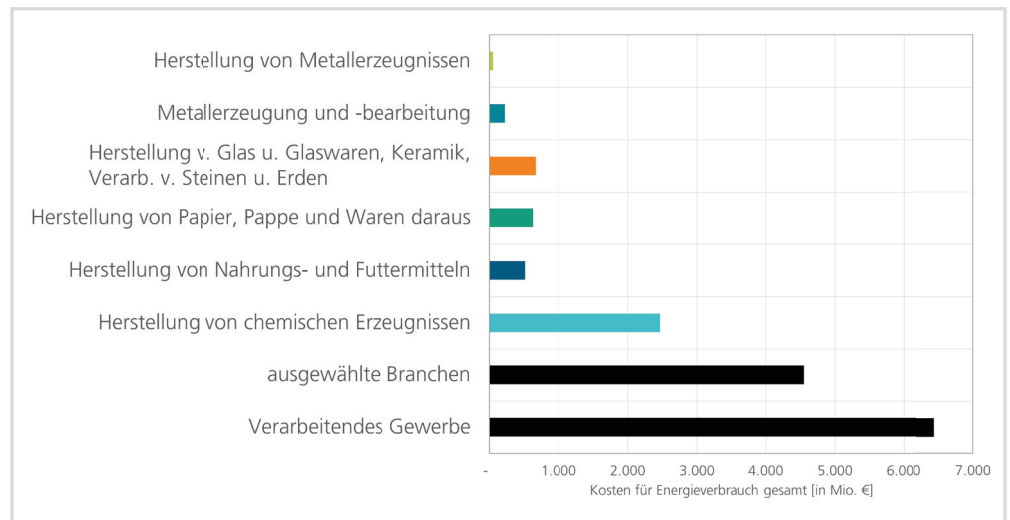
3.5.3 Energiepreise

Die Energiepreise haben einen wesentlichen Einfluss auf die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit energieintensiver Branchen. Neben den direkten Energiekosten, die sich aus dem Gesamtverbrauch und den jeweiligen Energiepreisen ergeben, wirken sie sich auch auf die Energieeffizienz und die Rentabilität der Unternehmen aus. Um diese Zusammenhänge zu analysieren, werden in diesem Abschnitt die Energiekosten der betrachteten Branchen unter verschiedenen Annahmen und Szenarien dargestellt.

Das vorliegende Diagramm in Abbildung 20 veranschaulicht die Energiekosten der untersuchten Branchen des verarbeitenden Gewerbes in Sachsen-Anhalt, basierend auf einem angenommenen durchschnittlichen Energiepreis von 10 ct/kWh. Die Energiekosten wurden sowohl für einzelne Branchen als auch für die zusammengefassten Kategorien »ausgewählte Branchen« und »verarbeitendes Gewerbe insgesamt« analysiert.

Die Energiekosten des gesamten verarbeitenden Gewerbes belaufen sich auf etwa 6,4 Mrd. €, womit die Bedeutung von Energie als zentraler Kostenfaktor für die Branche hervorgehoben wird. Die ausgewählten energieintensiven Branchen tragen dabei mit 4,5 Mrd. € einen erheblichen Anteil von rund 70% zu den Gesamtkosten bei. Dies verdeutlicht ihre zentrale Rolle innerhalb der Energieverbrauchsstrukturen in Sachsen-Anhalt.

Abb. 20:
Kosten für Energieverbrauch
gesamt mit der Annahme von
durchschnittlichen Energieko-
sten von 10 ct/kWh.
Quelle: Fraunhofer IFF



Die Herstellung von chemischen Erzeugnissen hebt sich mit Energiekosten von etwa 2,47 Mrd. € als größter Einzelverbraucherbranche hervor. Diese hohen Kosten spiegeln die energieintensiven Prozesse wider, die typisch für die chemische Industrie sind. Auch die Herstellung von Glas, Keramik sowie Steinen und Erden sowie die Papier-, Pappe- und Warenherstellung weisen mit Energiekosten von 668 Mio. € beziehungsweise 629 Mio. € hohe Werte auf. Diese Zahlen verdeutlichen den erheblichen Energiebedarf, der für die Hochtemperaturprozesse und energieintensiven Produktionsschritte in diesen Branchen erforderlich ist.

Im Vergleich dazu sind die Energiekosten in der Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln mit etwa 514 Mio. € sowie in der Metallerzeugung und -bearbeitung mit 221 Mio. € moderater. Die Herstellung von Metallserzeugnissen weist mit Energiekosten von nur 50 Mio. € die niedrigsten Werte unter den untersuchten Branchen auf. Dies deutet auf weniger energieintensive Prozesse oder eine höhere Energieeffizienz hin.

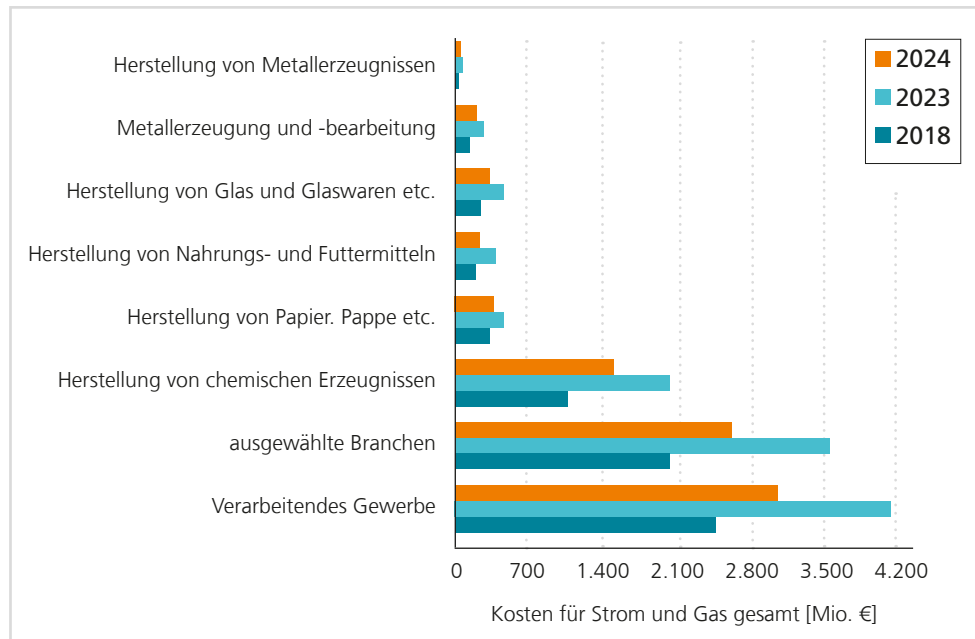
Die Analyse zeigt, dass die Energiekosten je nach Branche stark variieren. Besonders energieintensive Branchen wie die chemische Industrie, die Glas- und Keramikindustrie sowie die Papier- und Pappeherstellung stehen im Fokus, da hier Effizienzsteigerungen einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtkosten und die Wettbewerbsfähigkeit haben könnten. Die vergleichsweise niedrigen Energiekostenanteile in anderen Branchen weisen hingegen auf Potenziale zur weiteren Optimierung der Ressourcennutzung hin.

Die Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit, energieintensive Branchen bei der Entwicklung und Einführung innovativer und effizienter Technologien gezielt zu unterstützen, um wirtschaftliche und ökologische Ziele gleichermaßen zu erreichen.

Die Kosten für den Gas- und Stromverbrauch im verarbeitenden Gewerbe wurden anhand der Energieverbrauchsdaten von 2022 unter Berücksichtigung der Energiepreise für die Jahre 2018, 2023 und 2024 geschätzt. Abbildung 21 verdeutlicht die Entwicklung der Energiekosten in den untersuchten Branchen und zeigt, wie sich die Veränderungen der Energiepreise auf die Gesamtkosten auswirken.

Die Gesamtkosten des verarbeitenden Gewerbes erreichen im Jahr 2023 mit etwa 4,2 Mrd. € ihren höchsten Wert und liegen damit deutlich über dem Niveau von 2018. Im Jahr 2024 ist ein Rückgang auf rund 3,0 Mrd. € erkennbar, der auf leicht sinkende Energiepreise zurückzuführen ist. Die ausgewählten Branchen folgen einem ähnlichen

Trend, mit einem Anstieg der Energiekosten auf etwa 3,6 Mrd. € im Jahr 2023 und einem Rückgang auf ca. 2,6 Mrd. € im Jahr 2024.



Die Herstellung von chemischen Erzeugnissen bleibt über die gesamte Zeitspanne hinweg die kostenintensivste Branche. Die Energiekosten steigen von etwa 1,0 Mrd. € im Jahr 2018 auf ca. 2,0 Mrd. € im Jahr 2023 und sinken anschließend auf etwa 1,5 Mrd. € im Jahr 2024. Auch die Herstellung von Glas und Keramik sowie Steinen und Erden verzeichnet einen deutlichen Anstieg der Energiekosten, die sich von ca. 250 Mio. € im Jahr 2018 auf ca. 500 Mio. € im Jahr 2023 verdoppeln und 2024 leicht auf ca. 330 Mio. € zurückgehen.

Moderate Kostensteigerungen sind in der Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus sowie in der Metallherzeugung und -bearbeitung zu beobachten. Die Energiekosten in der Papierbranche steigen von ca. 200 Mio. € im Jahr 2018 auf ca. 350 Mio. € im Jahr 2023 und sinken im Jahr 2024 geringfügig. In der Metallherzeugung und -bearbeitung steigen die Energiekosten von etwa 150 Mio. € im Jahr 2018 auf ca. 250 Mio. € im Jahr 2023 und bleiben 2024 nahezu stabil.

Die Herstellung von Metallernzeugnissen weist über den gesamten Zeitraum die niedrigsten Energiekosten auf. Diese steigen von ca. 50 Mio. € im Jahr 2018 auf etwa 750 Mio. € im Jahr 2023 und sinken im Jahr 2024 leicht ab.

Die Analyse zeigt, dass die Energiepreissteigerungen zwischen 2018 und 2023 erhebliche Auswirkungen auf die Energiekosten hatten, insbesondere in den energieintensiven Branchen wie der chemischen Industrie und der Glas- und Keramikherstellung. Der leichte Rückgang im Jahr 2024 deutet auf eine Stabilisierung der Energiepreise hin, jedoch bleiben die Gesamtkosten weiterhin deutlich über dem Niveau von 2018.

Die Ergebnisse verdeutlichen die hohe Abhängigkeit energieintensiver Branchen von den Energiepreisen. Um die Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern, sind gezielte Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz sowie die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen erforderlich. Solche Maßnahmen könnten dazu beitragen, die Auswirkungen künftiger Preisentwicklungen abzufedern und die Kosten zu stabilisieren.

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Abb. 21:
Kosten für Gas- und Stromverbrauch mit Energiepreisen Gas und Strom für 2018, 2023 und 2024.

Quellen:
Berechnung Industriestrompreise (inklusive Stromsteuer) in Deutschland:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252029/umfrage/industriestrompreise-inkl-stromsteuer-in-deutschland>

Berechnung Gaspreise für Gewerbe- und Industriekunden in Deutschland:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/168528/umfrage/gaspreise-fuer-gewerbe-und-industriekunden-seit-2006>

Tab. 3:
Energiekosten, mit der Annahme eines durchschnittlichen Energiepreises von 0,10 €, der Umsatz für 2022 und der resultierenden prozentuale Anteil der Energiekosten auf den Gesamtumsatz.

Quellen:
Land Sachsen-Anhalt – Energie (2024), Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden, 2022 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)

Land Sachsen-Anhalt – Tätige Personen, U. (2023), Umsatz im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden, 2022 (<https://statistik.sachsen-anhalt.de>)

Ein Vergleich der Kosten für Gas und Strom zeigt die unterschiedlichen Abhängigkeiten und Belastungen der untersuchten Branchen durch die beiden Energiequellen. Während Gas vor allem in Hochtemperaturprozessen (z. B. in der Glas- und Keramikherstellung) eine dominante Rolle spielt, wird Strom stärker in elektrifizierten Produktionsprozessen genutzt.

	Energiekosten aus Energieverbrauch ¹ insgesamt ^{2, 3} 2022 [Mio. €]	Umsatz gesamt 2022 [Mio. €]	Anteil Energiekosten je Umsatz
Verarbeitendes Gewerbe	6.443	58.088	11%
ausgewählte Gewerbe	4.550	34.085	13%
Herstellung von chemischen Erzeugnissen	2.468	13.793	18%
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	514	8.483	6%
Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	629	2.242	28%
Herstellung v. Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	668	2.536	26%
Metallerzeugung und -bearbeitung	221	4.426	5%
Herstellung von Metallerzeugnissen	50	2.605	2%
Annahme Energiepreis: 10 ct/kWh			

Tabelle 3 verdeutlicht die Beziehung zwischen Energiekosten, Umsatz und dem Anteil der Energiekosten am Umsatz in verschiedenen Branchen des verarbeitenden Gewerbes. Die Energiekosten des gesamten verarbeitenden Gewerbes belaufen sich auf 6,4 Mrd. €, was einem Anteil von 11% am Umsatz entspricht. Die ausgewählten energieintensiven Branchen tragen mit 4,5 Mrd. € (13% des Umsatzes) einen wesentlichen Teil dazu bei.

Die chemische Industrie weist mit 2,5 Mrd. € die höchsten Energiekosten auf, die 18% des Branchenumsatzes ausmachen. Noch höhere Anteile zeigen die Papierindustrie (28%) und die Glas-, Keramik- und Baustoffindustrie (26%), was ihre hohe Energieintensität unterstreicht. Im Gegensatz dazu haben Branchen wie die Nahrungsmittelindustrie (6%), die Metallerzeugung (5%) und die Metallwarenherstellung (2%) vergleichsweise geringe Energiekostenanteile am Umsatz.

3.5.4 CO₂-Emission

Im Jahr 2022 wurden in Sachsen-Anhalt insgesamt 28,6 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente (CO₂-äq) ausgestoßen, wie aus offiziellen Berichten hervorgeht (Landesportal Sachsen-Anhalt (2023)). Ein erheblicher Anteil davon entfällt auf die energieintensiven Industrien, die durch ihren hohen Verbrauch von Erdgas und Strom maßgeblich zur Emissionslast des Landes beitragen. Die folgende Analyse betrachtet die CO₂-Emissionen ausgewählter Branchen, basierend auf spezifischen Emissionsfaktoren, und liefert Einblicke in ihre Bedeutung für die Emissionsstruktur des verarbeitenden Gewerbes.

Die dargestellten Emissionswerte basieren auf einem rein physikalischen Zusammenhang und berücksichtigen ausschließlich den tatsächlichen Emissionsfaktor der Energieträger Erdgas und Strom. Mechanismen des Emissionshandels oder andere externe Einflussfaktoren wurden in dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Die Kalkulation zielt auf eine transparente Darstellung der physikalischen Emissionsintensität der einzelnen Branchen ab.

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Abteilung und Hauptgruppen	CO ₂ -Emission durch Verbrauch Erdgas [t]	CO ₂ -Emission durch Verbrauch Strom [t]	CO ₂ -Emission durch Verbrauch aller Einzelemittenten [t]
Durchschnittlicher Emissionsfaktor [g/kWh]	200	429	-
Verarbeitendes Gewerbe	4.553.172	4.229.773	13.151.288
ausgewählte Gewerbe	4.343.709	3.263.801	10.705.463
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	431.700	499.679	1.579.104
Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	275.504	419.695	800.344
Herstellung von chemischen Erzeugnissen	2.747.917	1.561.515	6.403.656
H. v. Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	529.234	412.213	1.175.358
Metallerzeugung und -bearbeitung	315.584	267.334	584.336
Herstellung von Metallerzeugnissen	43.769	103.364	162.664

Tab. 4:
Auszug der CO₂-Emissionen der verbrauchten Emittenten Erdgas und Strom (alle Werte siehe Anhang Tabelle 11).
Quelle: Fraunhofer IFF und Informationsblatt CO₂-Faktoren, Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss, 2022

Die Tabelle 4 zeigt die CO₂-Emissionen im verarbeitenden Gewerbe, die durch den Einsatz verschiedener Energiequellen verursacht werden. Dabei wird der Schwerpunkt der Studie auf die Emissionen aus Erdgas und Strom gelegt, während die Gesamtemissionen, die auch andere Energiequellen wie Steinkohle, Braunkohle, Mineralöle, Heizöl und Wärme umfassen, im Anhang in Tabelle 11. CO₂-Emissionen der Einzelenergieverbraucher des verarbeitenden Gewerbes und der ausgewählten Branchen werden dort detailliert dargestellt.

Im Jahr 2022 wurden im verarbeitenden Gewerbe Sachsen-Anhalts insgesamt 13,15 Mio. Tonnen CO₂ emittiert, wovon 46% der Gesamtemissionen des Landes (28,6 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente) auf diese Branche entfallen. Erdgas und Strom sind mit Emissionen von 4,55 Mio. Tonnen und 4,23 Mio. Tonnen die größten Einzelverursacher und tragen wesentlich zur Klimabilanz bei.

Die ausgewählten energieintensiven Branchen sind für 81% der Emissionen des verarbeitenden Gewerbes verantwortlich, was 10,7 Mio. Tonnen CO₂ entspricht. Die chemische Industrie ist dabei mit 6,4 Mio. Tonnen der größte Einzelemittent, gefolgt von der Glas-, Keramik- und Baustoffindustrie mit 1,18 Mio. Tonnen und der Nahrungsmittelindustrie mit 1,58 Mio. Tonnen. Branchen wie die Papierherstellung (800.344 Tonnen), die Metallerzeugung (584.336 Tonnen) und die Metallwarenherstellung (162.664 Tonnen) haben vergleichsweise geringere, aber dennoch signifikante Emissionen.

Zusammensetzung der Gesamtemissionen:

- Erdgas (200,8 g/kWh): 4,55 Mio. Tonnen CO₂
- Strom (429 g/kWh): 4,23 Mio. Tonnen CO₂
- Steinkohle, Braunkohle, Mineralöle, Heizöl, erneuerbare Energien und Wärme: 4,37 Mio. Tonnen CO₂

Die Daten zeigen, dass die CO₂-Emissionen der energieintensiven Branchen maßgeblich durch den Einsatz von Erdgas und Strom geprägt sind. Diese beiden Energiequellen zusammen verursachen etwa 67% der Emissionen im verarbeitenden Gewerbe. Der hohe Anteil der chemischen Industrie und anderer energieintensiver Sektoren an den Gesamtemissionen unterstreicht die Bedeutung gezielter Maßnahmen zur Dekarbonisierung, insbesondere durch Effizienzsteigerungen und den Einsatz erneuerbarer Energien.

Die Berücksichtigung aller Energiequellen im Anhang ermöglicht eine umfassende Bewertung, dennoch liegt der Fokus der Studie auf den dominanten Emissionsquellen Strom und Erdgas, um konkrete Handlungsfelder für die energieintensive Industrie in Sachsen-Anhalt aufzuzeigen.

Abb. 22:
Prozentuale Verteilung der
CO₂-Emissionen der energie-
intensiven Branchen.
Quelle: Fraunhofer IFF

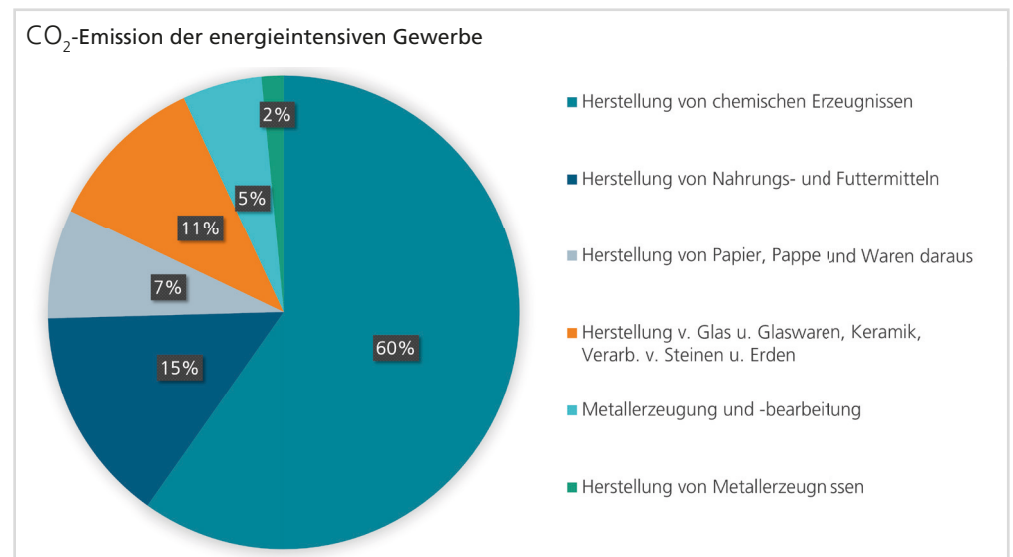


Abbildung 22 zeigt die prozentuale Verteilung der CO₂-Emissionen auf die sechs energieintensiven Branchen des verarbeitenden Gewerbes in Sachsen-Anhalt. Diese Analyse ergänzt die detaillierte Betrachtung der absoluten Emissionswerte und veranschaulicht die jeweilige Bedeutung der einzelnen Branchen für die Emissionslast. Die detaillierte Auflistung der CO₂-Emissionen sind im Anhang in Tabelle 12 hinterlegt.

Die chemische Industrie dominiert mit einem Anteil von 60% an den gesamten Emissionen der energieintensiven Branchen. Dies spiegelt die hohen Energiebedarfe dieser Branche wider, insbesondere durch den intensiven Einsatz von Erdgas und Strom. Die Glas-, Keramik- und Baustoffindustrie folgt mit 15%, was ihre energieintensiven Hochtemperaturprozesse unterstreicht. Die Nahrungsmittelindustrie trägt 11% bei, gefolgt von der Papier- und Pappeherstellung mit 7%. Die Metallerzeugung und -bearbeitung sowie die Herstellung von Metallerzeugnissen haben mit 5% bzw. 2% die geringsten Anteile.

Zusammenführung der Ergebnisse:

Die chemische Industrie ist mit ihren hohen Emissionen sowohl absolut als auch relativ der Hauptemittent. Dies deutet auf ein großes Potenzial für Emissionsminderungen in

dieser Branche hin. Die anderen Sektoren, wie die Glas- und Keramikindustrie sowie die Nahrungsmittelherstellung, weisen ebenfalls signifikante Anteile auf, die durch Effizienzmaßnahmen und die Umstellung auf alternative Energiequellen gesenkt werden könnten.

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Die Zahlen bestätigen, dass 81% der Emissionen im verarbeitenden Gewerbe auf diese sechs Sektoren entfallen. Ein gezielter Fokus auf diese Branchen ist daher entscheidend, um die Gesamtemissionen des Landes zu reduzieren.

3.5.5 Emissionshandelspflichtige Anlagen in Sachsen-Anhalt

Der Klimaschutz und die Reduktion von Treibhausgasemissionen stellen zentrale Herausforderungen für die Wirtschaft und Industrie dar. In diesem Kontext spielt der europäische Emissionshandel (EU-ETS) eine Schlüsselrolle, um die Dekarbonisierung energieintensiver Industrien voranzutreiben. Unternehmen, deren Anlagen den Vorgaben der Emissionshandelspflicht unterliegen, sind gefordert, ihren CO₂-Ausstoß systematisch zu reduzieren, um die strengen Klimaziele zu erreichen. Sachsen-Anhalt, als ein Industriestandort mit einem hohen Anteil an energieintensiven Branchen, beherbergt zahlreiche Unternehmen, die von der Emissionshandelspflicht betroffen sind. Diese Anlagen sind nicht nur wichtige Arbeitgeber und Wirtschaftstreiber, sondern zugleich auch maßgebliche Verursacher von Treibhausgasemissionen.

Dieser Abschnitt beleuchtet die Verteilung, Branchenstruktur und Emissionsprofile der emissionshandelspflichtigen Anlagen in Sachsen-Anhalt. Dabei wird analysiert, welche Industrien besonders stark vom Emissionshandel betroffen sind, welche Strategien zur Emissionsreduktion umgesetzt werden und welche wirtschaftlichen Implikationen dies mit sich bringt. Besonderes Augenmerk wird auf die chemische Industrie, die Nahrungsmittelproduktion sowie die metallverarbeitende Industrie gelegt, da diese Sektoren eine herausragende Rolle in der sachsen-anhaltischen Wirtschaft spielen. Die Analyse zeigt auf, wie Unternehmen auf die Anforderungen des EU-ETS reagieren, welche Fortschritte erzielt werden und welche Herausforderungen bestehen.

Ziel ist es, ein umfassendes Verständnis der emissionshandelspflichtigen Anlagen in Sachsen-Anhalt zu vermitteln, deren wirtschaftliche und ökologische Bedeutung zu analysieren und mögliche Handlungsempfehlungen für eine klimafreundliche Transformation dieser Industrien zu formulieren. Dabei wird aufgezeigt, wie Innovationen, Energieeffizienzmaßnahmen und der Einsatz erneuerbarer Energien dazu beitragen können, die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu sichern und zugleich die klimapolitischen Ziele zu erreichen.

In Sachsen-Anhalt sind insgesamt über 90 emissionshandelspflichtige Anlagen aktiv, die sich auf verschiedene Branchen wie Energieumwandlung, Raffinerien, chemische Industrie, Zement-, Kalk-, Glas- und Papierherstellung sowie Metallverarbeitung verteilen. Diese Anlagen sind geografisch auf wirtschaftliche Zentren wie Leuna, Schkopau, Bernburg, Bitterfeld-Wolfen und Haldensleben konzentriert.

Die Verteilung spiegelt die industrielle Geschichte und Ausrichtung des Landes wider, insbesondere die starke Konzentration von Raffinerien, chemischen Produktionsanlagen und Zementwerken. Insbesondere die Regionen Leuna und Bitterfeld-Wolfen zeichnen sich durch eine hohe Dichte energieintensiver Anlagen aus.

Tabelle 5 zeigt die CO₂-Emissionen für das Jahr 2022 und 2023 und die dazugehörige Zuteilung an Emissionsrechten (EUA) für Branchen, die dem EU-Emissionshandelssystem (EU ETS) unterliegen. Die Gesamtemissionen aller erfassten Sektoren belaufen sich auf 17,48 Mio. Tonnen CO₂ im Jahr 2022, wobei 7,07 Mio. Tonnen CO₂ auf die ausgewählten energieintensiven Branchen entfallen. Die übrigen 10,41 Mio. Tonnen

CO₂ stammen aus anderen Sektoren, insbesondere der Energieerzeugung und -umwandlung (7,91 Mio. Tonnen CO₂) sowie der Raffinerie- und Petrochemiebranche (2,46 Mio. Tonnen CO₂).

Tab. 5:
Auszug der sachsen-anhaltinischen emissionshandelspflichtigen Anlagen (EU ETS) 2023 (DEHSt, 2024).
Quelle: Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt, D. (2022), Emissionshandelspflichtige Anlagen in Deutschland 2021 (Stand 02.05.2022)

Branche	Emissionen 2022 [in Tonnen CO ₂]	Emissionen 2023 [in Tonnen CO ₂]	Zuteilung 2022 [in EUA]	Zuteilung 2023 [in EUA]
Summe	17.475.686	15.614.213	9.371.126	9.236.491
Summe ausgewählte	7.070.143	6.316.171	6.637.902	6.548.012
Papier- und Zellstoffindustrie	319.434	304.878	283.364	285.018
Chemische Industrie	2.787.544	2.635.727	3.303.714	3.200.882
Glas- und Mineralfaserindustrie	618.850	587.840	531.723	518.506
Zement-, Kalk- und Keramikindustrie	3.133.078	2.582.840	2.352.124	2.377.034
Metallverarbeitung	211.237	204.886	166.977	166.572

Die Zuteilungen von Emissionsrechten für 2022 und 2023 spiegeln die regulatorischen Vorgaben wider und zeigen, dass die Branchen nicht für ihren gesamten Bedarf kostenlos Emissionsrechte erhalten.

Zuteilungen nach Branchen:

- Die Chemische Industrie erhält die höchsten Zuteilungen (3,3 Mio. EUA in 2022 und 3,2 Mio. EUA in 2023). Dies zeigt, dass die Branche als strategisch wichtig angesehen wird und stärker entlastet wird, um die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.
- Im Gegensatz dazu erhält die Energieerzeugung und -umwandlung vergleichsweise geringe Zuteilungen (ca. 0,62 Mio. EUA in 2023), obwohl sie die höchsten Emissionen aufweist. Dies unterstreicht den politischen Druck auf die Energiewirtschaft, ihre Emissionen zu reduzieren.

Effizienz und Trends:

- Die meisten Branchen zeigen einen Rückgang der Emissionen von 2022 auf 2023. Dies könnte auf erste Schritte in Richtung Dekarbonisierung, wie den Einsatz erneuerbarer Energien oder energieeffizienterer Technologien, hinweisen. Der Rückgang der Treibhausgasemissionen im Industriesektor hängt aber auch mit den hohen Energiepreisen und der schwachen Konjunktur zusammen.
- Die relative Stabilität der Zuteilungen deutet darauf hin, dass die EU-ETS-Mechanismen eine schrittweise Anpassung an die Dekarbonisierungsziele ermöglichen, ohne den wirtschaftlichen Betrieb der Unternehmen drastisch zu gefährden.

Die dominanten Sektoren wie Energieerzeugung, Chemie sowie Zement-, Kalk- und Keramikindustrie stehen vor großen Herausforderungen, ihre Emissionen zu senken, ohne ihre Wettbewerbsfähigkeit zu verlieren. Die Zuteilungsstrategie unterstützt die energieintensive Industrie, zwingt jedoch gleichzeitig die Energieerzeugung und -umwandlung, innovative Lösungen zu entwickeln. Die Reduzierung der Gesamtemissionen um 10,7% innerhalb eines Jahres zeigt Fortschritte, könnte aber nicht ausreichend sein, um die Klimaziele 2030 zu erreichen.

Die auf Energieverbrauchsdaten basierende CO₂-Tabelle 4 erfasst Emissionen des gesamten verarbeitenden Gewerbes und beläuft sich auf 13,15 Mio. Tonnen CO₂. Dies liegt deutlich unter den EU-ETS-basierten Gesamtemissionen von 17,48 Mio. Tonnen CO₂, was auf unterschiedliche Abdeckungsgrenzen und methodische Ansätze zurückzuführen ist.

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Branchen-Spezifika:

- Die EU-ETS-Tabelle 6 weist detaillierte Daten für emissionsintensive Sektoren wie die Zement-, Kalk- und Keramikindustrie aus (3,13 Mio. Tonnen CO₂), die in der energieverbrauchs-basierten Tabelle nicht getrennt betrachtet werden. Diese Differenz erklärt teilweise die niedrigeren Emissionen in der energieverbrauchs-basierten Tabelle.

Die EU-ETS-Daten liefern eine präzisere und detailliertere Erfassung der CO₂-Emissionen, insbesondere für große Anlagen und emissionsintensive Sektoren. Gleichzeitig verdeutlichen sie die Rolle der Energieerzeugung und -umwandlung, die separat ausgewiesen wird. Die energieverbrauchs-basierte Tabelle bietet hingegen eine breitere Abdeckung, indem sie auch kleinere, nicht-regulierte Anlagen einbezieht. Beide Ansätze ergänzen sich, wobei die EU-ETS-Daten aufgrund ihrer Verlässlichkeit und Genauigkeit für regulatorische und strategische Maßnahmen bevorzugt werden sollten. Die energieverbrauchs-basierte Tabelle bietet hingegen zusätzliche Einblicke in weniger intensiv regulierte Branchen.

Reaktionen der Unternehmen auf den EU-ETS:

Die Einführung und Weiterentwicklung des EU-Emissionshandelssystems (EU-ETS) stellt die Unternehmen in Sachsen-Anhalt vor vielfältige Herausforderungen, hat jedoch auch zu bemerkenswerten Fortschritten geführt. Die meisten Unternehmen haben in den letzten Jahren deutliche Anstrengungen unternommen, ihre Emissionen zu senken. Zwischen 2022 und 2023 konnten zahlreiche Anlagen durch Effizienzsteigerungen und den Einsatz moderner Technologien eine Reduktion ihrer Emissionen um durchschnittlich 10 bis 15% erreichen. Besonders in der Energieumwandlung, Zement- und Kalkherstellung sowie der chemischen Industrie sind signifikante Einsparungen erkennbar.

Ein zentraler Fortschritt liegt in der Integration innovativer Technologien. In Raffinerien und Zementwerken kommen zunehmend Pilotprojekte zur Abscheidung und Nutzung von CO₂ (CCU) oder zur Speicherung von CO₂ (CCS) zum Einsatz. Gleichzeitig setzen chemische Unternehmen auf grünen Wasserstoff, um fossile Energieträger zu substituieren. Auch in der Glas- und Papierindustrie werden Produktionsprozesse zunehmend elektrifiziert und Abwärme effizient genutzt.

Trotz dieser positiven Entwicklungen stehen die Unternehmen vor erheblichen Herausforderungen. Die steigenden Preise für CO₂-Zertifikate belasten vor allem energieintensive Branchen finanziell und gefährden deren Wettbewerbsfähigkeit auf internationalen Märkten. Zudem sind viele Technologien für eine vollständige Dekarbonisierung der Prozesse noch nicht marktreif. Besonders für die Zement- und Kalkindustrie bleibt es schwierig, die prozessbedingten Emissionen kurzfristig zu eliminieren. In der chemischen Industrie führt der hohe Energiebedarf komplexer Produktionsprozesse ebenfalls zu technologischen und wirtschaftlichen Grenzen.

Ein weiterer Aspekt ist der Marktdruck. Unternehmen müssen nicht nur die Anforderungen des EU-ETS erfüllen, sondern auch innovative und klimafreundliche Produkte entwickeln, um international wettbewerbsfähig zu bleiben. Dies verlangt erhebliche Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie die Anpassung bestehender Produktionsprozesse.

3.6 Strategische Weichenstellungen für nachhaltige und klimaneutrale Industrieentwicklung

Energie- und Klimaschutzstrategien auf Bundes- und Landesebene prägen die Entwicklung energieintensiver Industrien und beeinflussen deren Transformationsprozesse hin zu mehr Nachhaltigkeit und Klimaneutralität. Diese Strategien setzen klare Ziele und schaffen Rahmenbedingungen, die sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen. Im Folgenden werden die zentralen Strategien detailliert beschrieben und ihre Bedeutung für energieintensive Industrien in Sachsen-Anhalt hervorgehoben.

3.6.1 Bundesbedeutsame Strategien

a) Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung

Der Klimaschutzplan 2050 bildet die strategische Grundlage für die langfristige Klimapolitik Deutschlands. Im Fokus stehen konkrete Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen: Bis 2030 sollen die Emissionen um mindestens 55% gegenüber 1990 gesenkt werden. Für 2040 wird eine Reduktion um 70% und bis 2050 eine nahezu vollständige Klimaneutralität (80 bis 95%) angestrebt. Damit orientiert sich der Plan am oberen Rand der europäischen und nationalen Zielkorridore.

Bedeutung für energieintensive Industrien:

Anpassung an strengere Regulierungen: Unternehmen in energieintensiven Sektoren müssen ihre Emissionen deutlich reduzieren, um Anforderungen wie dem EU-Emissionshandel gerecht zu werden. Dies erfordert Investitionen in klimafreundliche Technologien und Prozesse.

- Förderung innovativer Technologien: Der Plan unterstützt die Entwicklung und Implementierung von Technologien wie Carbon Capture and Utilization (CCU) und Carbon Capture and Storage (CCS), die Restemissionen reduzieren und wirtschaftlich nutzbar machen können.
- Kosteneinsparungspotenziale: Energieeffizienzmaßnahmen und die Umstellung auf erneuerbare Energien bieten langfristig Chancen, Produktionskosten zu senken.

b) Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie (DNS)

Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie wurde 2016 auf Basis der Agenda 2030 der Vereinten Nationen entwickelt. Sie verfolgt die Umsetzung der 17 Nachhaltigkeitsziele (SDGs) in Deutschland. Für Sachsen-Anhalt leitet sich daraus ab, dass bis 2030 der jährliche CO₂-Ausstoß von 28 auf 18 Millionen Tonnen reduziert und der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch auf 45% sowie am Bruttostromverbrauch auf 100% gesteigert werden soll.

Bedeutung für energieintensive Industrien:

- Dekarbonisierung: Die Strategie schafft Anreize zur Umstellung auf erneuerbare Energien und nachhaltige Energiequellen, wodurch Abhängigkeiten von fossilen Brennstoffen verringert werden.
- Förderung nachhaltiger Produktion: Unternehmen können von der Entwicklung klimafreundlicher Produkte und Kreislaufwirtschaftsmodellen profitieren, was neue Marktchancen eröffnet.

- Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit: Nachhaltigkeitsinitiativen stärken das Image und die Attraktivität der Unternehmen für Kunden und Investoren.

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

c) Industriestrategie des BMWK

Die 2023 vorgestellte Industriestrategie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) hat das Ziel, Deutschland als starken Industriestandort zu erhalten und gleichzeitig die Transformation hin zu einer klimaneutralen Industrie zu fördern. Besonders hervorgehoben wird die Entwicklung und Nutzung moderner Speichertechnologien, die für die Integration erneuerbarer Energien unerlässlich sind.

Bedeutung für energieintensive Industrien:

- Energiespeicherung: Speichertechnologien ermöglichen es, Schwankungen bei erneuerbaren Energien auszugleichen, was eine stabile und verlässliche Energieversorgung für energieintensive Prozesse sicherstellt.
- Innovationsförderung: Die Strategie unterstützt Unternehmen bei der Entwicklung neuer Technologien und Verfahren, um die Dekarbonisierung voranzutreiben.
- Stärkung der Infrastruktur: Der Ausbau von Speichern und Netzkapazitäten schafft langfristige Planungssicherheit für Unternehmen.

3.6.2 Landesbedeutsame Strategien

d) Landesstrategie der Energiesystementwicklung (ESE) (im Aufbau befindend)

Die Energiesystementwicklungsstrategie Sachsen-Anhalts zielt darauf ab, bis 2045 ein klimaneutrales Energiesystem zu etablieren. Wichtige Bestandteile sind der Ausbau erneuerbarer Energien, die Förderung von Sektorenkopplung sowie Investitionen in Speicher- und Netzkapazitäten. Besondere Schwerpunkte liegen auf grünem Wasserstoff und der Integration innovativer Energietechnologien.

Bedeutung für energieintensive Industrien:

- Versorgungssicherheit: Die Diversifizierung der Energiequellen und die Integration von Speichersystemen gewährleisten eine stabile Energieversorgung, die für energieintensive Prozesse essenziell ist.
- Kosten- und Emissionsreduktion: Durch die Nutzung von grünem Wasserstoff können fossile Brennstoffe ersetzt und CO₂-Emissionen reduziert werden, was sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile bringt.

e) Regionale Innovationsstrategie Sachsen-Anhalt (RIS) 2021 bis 2027

Diese Strategie zielt darauf ab, die Innovationskraft des Landes durch Fokussierung auf spezifische Leitmärkte zu steigern. Zu den identifizierten Leitmärkten gehören:

- Energie, Maschinen- und Anlagenbau, Ressourceneffizienz
- Gesundheit und Medizin
- Mobilität und Logistik
- Chemie und Bioökonomie
- Ernährung und Landwirtschaft

Durch die Konzentration auf diese Bereiche sollen die vorhandenen Stärken des Landes genutzt und weiter ausgebaut werden. Ein wesentliches Ziel ist die Förderung der Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Wissenschaft, um den Wissens- und Technologietransfer zu intensivieren. Hierzu wurden unter anderem die KAT-Kompetenzzentren an den Hochschulen eingerichtet, die als Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie dienen.

Bedeutung für energieintensive Industrien:

- Förderung von FuE: Unternehmen erhalten Zugang zu Fördermitteln und Netzwerken, um ihre Innovationsfähigkeit zu steigern.
- Stärkung von Kooperationen: Die Verzahnung von Forschungseinrichtungen und Industrie ermöglicht die Entwicklung neuer, nachhaltiger Produktionsverfahren.

f) Strategie Sachsen-Anhalt Digital 2030

Die Strategie Sachsen-Anhalt Digital 2030 definiert über 150 Ziele in den Bereichen digitale Verwaltung, digitale Innovation und digitale Gesellschaft. Sie fördert die digitale Transformation von Unternehmen und Verwaltung, um die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

Bedeutung für energieintensive Industrien:

- Effizienzsteigerung: Digitale Technologien ermöglichen Prozessoptimierungen und Einsparungen.
- Integration neuer Technologien: Unternehmen können durch digitale Tools wie KI und Big Data ihre Produktionsprozesse nachhaltiger gestalten.

Zur Unterstützung von Unternehmen bei der Umsetzung investiver Digitalisierungsprojekte bietet das Land das Förderprogramm »DIGITAL INNOVATION« an. Dieses Programm hilft Unternehmen, die Herausforderungen der Digitalisierung zu meistern und zukunftsfähig zu bleiben.

g) Wasserstoffstrategie Sachsen-Anhalt

Im Jahr 2021 verabschiedete Sachsen-Anhalt eine Wasserstoffstrategie, die bis 2030 den Aufbau von 1.000 MW Elektrolysekapazität vorsieht. Ziel ist es, bis 2040 den gesamten Wasserstoffbedarf aus CO₂-freien und -neutralen Quellen zu decken. Parallel dazu wird ein Wasserstoffnetz entwickelt, das nationale und internationale Verbindungen ermöglicht.

Bedeutung für energieintensive Industrien:

- Dekarbonisierung von Prozessen: Grüner Wasserstoff ersetzt fossile Energieträger in Branchen wie Chemie und Stahl und trägt zur Klimaneutralität bei.
- Neue Marktchancen: Die Nutzung von Wasserstofftechnologien eröffnet innovative Geschäftsmodelle und stärkt die Wettbewerbsfähigkeit auf internationalen Märkten.
- Regionale Wertschöpfung: Der Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur fördert die Zusammenarbeit mit lokalen Zulieferern und schafft Arbeitsplätze.

Ambitionierte Projekte und Potenziale der Wasserstoffwirtschaft in Sachsen-Anhalt:

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Sachsen-Anhalt positioniert sich als Vorreiter der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und strebt an, eine Modellregion für grünen Wasserstoff zu werden. Mit einer langen Tradition in der Wasserstoffnutzung – darunter eine von deutschlandweit zwei Wasserstoff-Pipelines – und einem hohen Bedarf in der chemischen Industrie, verfügt das Land über optimale Voraussetzungen. Jährlich werden etwa 10 TWh Wasserstoff produziert. Wegweisende Großprojekte, wie der 24-Megawatt-Elektrolyseur in Leuna und die geplante 30-MW-Anlage in Bad Lauchstädt, demonstrieren die technologische Führungsrolle Sachsen-Anhalts. Sachsen-Anhalt nutzt seinen hohen Anteil erneuerbarer Energien (63% im Strommix) zur klimaneutralen Wasserstoffproduktion und sieht in dieser Technologie eine Schlüsselrolle für die Transformation der Industrie. Besonders in energieintensiven Branchen wie der Glas-, Chemie-, Metall- und Logistikindustrie bietet Wasserstoff die Möglichkeit, Erdgas durch einen klimafreundlichen Energieträger zu ersetzen.

Durch den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur, einschließlich des geplanten H₂-Kernnetzes und der Anbindung an das European Backbone, etabliert sich Sachsen-Anhalt als zentraler Knotenpunkt für die Wasserstoffverteilung in Europa. Die netzdienliche Speicherung von Wasserstoff bietet zudem die Chance, Energieengpässe zu vermeiden und regionale Wertschöpfung zu fördern.

Langfristig könnte Sachsen-Anhalt bis zu 38.000 Fachkräfte für die Wasserstoffwirtschaft benötigen. Um dieses Ziel zu erreichen, setzt das Land auf den Ausbau von Qualifizierungsprogrammen und die frühzeitige Ausbildung in Schlüsseltechnologien. Die bereits vorhandene Expertise aus der Energie- und Chemieindustrie bildet dabei eine solide Grundlage, um die Potenziale der Wasserstoffwirtschaft vollständig auszuschöpfen.

Mit ambitionierten Projekten und einer klaren strategischen Ausrichtung schafft Sachsen-Anhalt die Voraussetzungen, eine Vorreiterrolle in der Wasserstoffwirtschaft einzunehmen und die Energiewende aktiv mitzugestalten.

h) Exzellenzstrategie

Sachsen-Anhalt engagiert sich zudem in der Exzellenzstrategie, um die Forschungskapazitäten seiner Hochschulen und außeruniversitären Einrichtungen zu stärken. Ziel ist es, zukunftsfähige Forschungsfelder zu fördern, die internationale Sichtbarkeit zu erhöhen und die Attraktivität des Wissenschaftsstandorts zu steigern.

3.6.3 Netzwerke Sachsen Anhalt

Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke stellen ein wirkungsvolles Instrument dar, um Unternehmen bei der Reduktion ihres Energieverbrauchs und der Förderung des Klimaschutzes zu unterstützen. Sie basieren auf einem moderierten Austausch von Wissen und Best Practices, der Entwicklung konkreter Einsparmaßnahmen sowie der Erarbeitung gemeinsamer Ziele. Dabei profitieren Unternehmen branchenübergreifend von der Zusammenarbeit, teilen technologische und organisatorische Ansätze und können so ihre Wettbewerbsfähigkeit sowie ihre Nachhaltigkeitsziele stärken.

In Sachsen-Anhalt sind derzeit mehrere Netzwerke aktiv, abgeschlossen oder in Vorbereitung, die eine bedeutende Rolle spielen. Tabelle 6 bietet hierzu eine Übersicht.

Die Abbildung 23 zeigt erzielte Einsparungen und Ergebnisse der durchgeführten Maßnahmen des Erfolgsnetzwerkes Energieeffizienz- und Klimaschutznetzwerk Bitterfeld-Wolfen im Zeitraum von 2016 bis 2022.

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Tab. 6:
Übersicht der Netzwerke in
Sachsen-Anhalt – aktiv,
abgeschlossen oder in
Vorbereitung).

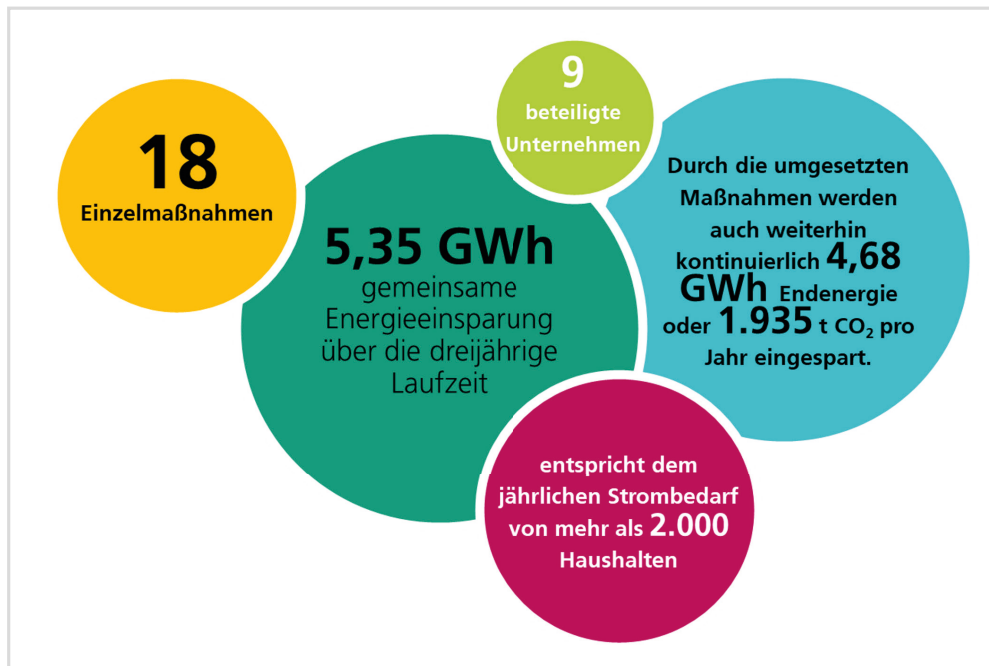
Quellen:
<https://www.effizienznetzwerke.org/>

<https://www.vea.de/newsroom/pressemitteilungen/pressemitteilung/gemeinsam-energieeffizienz-steigern-mitteldeutsche-unternehmen-schliessen-sich-zu-netzwerk-zusammen>

Netzwerk	Netzwerk-träger	Laufzeit	Ziele	Branchen	Firmen
Energieeffizienz-Netzwerk Harz	IHK Magdeburg	01.01.2021 bis 01.01.2026	Austausch zur Steigerung der Energieeffizienz und Optimierung von Prozessen	Chemie, Metall, Automobilzulieferer, Holz, Energie	CIECH Soda, KME, MWG, VEM motors, BOHAI TRIMET, Stadtwerke Staßfurt, u. a.
Energieeffizienz-Netzwerk Magdeburg/Altmark	IHK Magdeburg	01.01.2021 bis 01.01.2026	Regelmäßiger Austausch zur Verbesserung der Energieeffizienz	Papier, Stahl, Nahrung, Holz, Vlies, Automobilzulieferer	Sattler Media, TechnoGuss, Cargill, IFA Powertrain, Joyson Safety Systems, u. a.
Energieeffizienz- und Klimaschutznetzwerk Bitterfeld-Wolfen 3.0	envia THERM GmbH	01.10.2023 bis 30.09.2026	CO ₂ -Einsparung von 3600 t und Energieeinsparung von 15500 MWh/a	Chemie, Energie	Allnex Germany, Bayer Bitterfeld, Dow Deutschland, envia THERM, EVIP
Netzwerk Energie- und Klimaschutzmanagement Mitteldeutschland	ÖKOTEC Energiemanagement GmbH	29.04.2021 bis 29.04.2024	CO ₂ -Einsparung von 8192 t und Energieeinsparung von 31243 MWh/a	Papier, Chemie, Baustoffe, Metall, Dämmstoffe, Keramik, Glas	Schoeller Technocell, RADICI CHIMICA, Etex Building, u. a.
Kooperationsnetzwerk Chemie+	Cluster Chemie/Kunststoffe Mitteldeutschland	Seit 2003, fortlaufend	Umstellung auf nachhaltige Energien, chemisches Recycling, CCU/CCS, Förderung der Kreislaufwirtschaft	Chemie, Raffinerie, Zement, Müllverbrennung	TOTAL Raffinerie, Dow Olefinverbund, u. a.
ITEL – Deutsches Lithiuminstitut		Seit 2021, Forschungszentrum 2024/25 geplant	Umstellung auf nachhaltige Lithium- und Wasserstoff-wertschöpfungsketten, Aufbau einer europäischen Lithiumkreislaufwirtschaft	Baustoffindustrie, Lithiumwirtschaft, Chemie	Rock Tech Lithium, mittelständische Baustoffunternehmen

Ein herausragendes Beispiel für den Erfolg solcher Netzwerke ist das Energieeffizienz-Netzwerk Chemiestandort Bitterfeld-Wolfen, das seit seiner Gründung maßgeblich zur Steigerung der Energieeffizienz in der Region beigetragen hat. Während der dreijährigen Laufzeit des Netzwerks wurden insgesamt 18 Einzelmaßnahmen umgesetzt, die eine beeindruckende Energieeinsparung von 5,35 Gigawattstunden (GWh) erzielten. Dies entspricht dem jährlichen Strombedarf von mehr als 2.000 Haushalten.

Auch langfristig zeigt sich die Wirksamkeit der Maßnahmen: Jährlich werden weiterhin 4,68 GWh Endenergie eingespart, was einer Vermeidung von 1.935 Tonnen CO₂ pro Jahr entspricht. Diese Ergebnisse verdeutlichen den signifikanten Beitrag des Netzwerks zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und zur Förderung des Klimaschutzes am Standort.



Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Abb. 23:
Erzielte Einsparungen und
Ergebnisse der durchgeführten
Maßnahmen des Erfolgsnetz-
werkes Energieeffizienz- und
Klimaschutznetzwerk Bitter-
feld-Wolfen im Zeitraum von
2016 bis 2022.

Quelle: Fraunhofer IFF

Ein entscheidender Erfolgsfaktor für die erreichten Ergebnisse war die wissenschaftlichtechnische Begleitung durch das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF). Die Experten des Instituts unterstützten die Unternehmen bei der Identifikation und Umsetzung technischer Einsparmaßnahmen, der Weiterentwicklung von Energiemanagementsystemen und der Etablierung effektiver Kennzahlen. Durch diese enge Zusammenarbeit konnten die Netzwerkteilnehmer innovative Ansätze entwickeln und zielgerichtet Maßnahmen realisieren.

Neben den erzielten Energie- und CO₂-Einsparungen leisten die Netzwerke einen wichtigen Beitrag zur Stärkung der Wertschöpfung und Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen.

Durch die Zusammenarbeit von Unternehmen, Wissenschaft und Politik soll es gelingen, eine kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz zu erreichen und damit einen bedeutenden Beitrag zur Energiewende und zum Klimaschutz zu leisten. Netzwerke wie Chemiestandort Bitterfeld-Wolfen sind Vorbilder für die erfolgreiche Verbindung von Klimaschutz und wirtschaftlicher Weiterentwicklung – ein Modell, das in anderen Regionen und Branchen ebenfalls erfolgreich umgesetzt werden kann.

Trotz der Vielzahl an Netzwerken in Sachsen-Anhalt fehlt bislang ein Netzwerk, das sich gezielt und ganzheitlich mit den spezifischen Herausforderungen energieintensiver Unternehmen auseinandersetzt. Diese Unternehmen stehen vor besonderen Anforderungen, die über die klassischen Ansätze von Energieeffizienz-Netzwerken hinausgehen. Drei zentrale Herausforderungen prägen die aktuelle Situation:

- Versorgungssicherheit bei steigenden Energiepreisen und volatilen Märkten:
- Energieintensive Unternehmen benötigen Strategien, um eine zuverlässige und kosteneffiziente Energieversorgung zu gewährleisten, insbesondere angesichts der zunehmenden Unsicherheiten auf den Energiemärkten.
- Integration neuer Technologien in bestehende Produktionsprozesse:
- Der Einsatz innovativer Technologien – wie beispielsweise Wasserstoff, Carbon Capture and Utilization (CCU) oder energieeffiziente Brennersysteme – erfordert maßgeschneiderte Anpassungen und Investitionen, die technisch und wirtschaftlich tragfähig sind.

- Regulatorische und ökologische Anforderungen:
- Unternehmen müssen ihre Prozesse so gestalten, dass sie den immer strengeren rechtlichen Vorgaben und den wachsenden Ansprüchen an Klimaneutralität und Nachhaltigkeit gerecht werden.

Ein Netzwerk, das die individuellen Belange solcher Unternehmen nicht nur unternehmensspezifisch, sondern auch standortübergreifend betrachtet, könnte hier eine entscheidende Lücke schließen. Neben der Optimierung interner Prozesse wäre ein zentraler Ansatzpunkt die Förderung von Synergien zwischen Unternehmen. Gemeinsame Projekte zur Verbesserung der Energieeffizienz, zur Nutzung erneuerbarer Energien und zur Integration von Energiespeichern könnten dabei helfen, Kosten zu senken und die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit zu stärken.

Zudem könnte ein solches Netzwerk dazu beitragen, durch koordinierte Maßnahmen die regionale Wertschöpfung zu erhöhen, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu reduzieren und die Resilienz der Unternehmen gegenüber globalen Krisen zu steigern. Eine solche Initiative würde nicht nur die individuellen Herausforderungen der Unternehmen adressieren, sondern gleichzeitig einen wichtigen Beitrag zur langfristigen Sicherung der Wirtschaftskraft und Innovationsfähigkeit des Standorts Sachsen-Anhalt leisten.

3.6.4 Relevante Kompetenzzentren

Das Kompetenzzentrum Energieeffizienz durch Digitalisierung in Industrie und Gebäuden (KEDi) ist eine zentrale Anlaufstelle für Unternehmen, die ihre Energieeffizienz durch digitale Technologien steigern möchten. Es wurde von der Deutschen Energie-Agentur (dena) ins Leben gerufen und hat seinen Sitz in Halle (Saale). Ziel ist es, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sowie Akteure der Gebäudewirtschaft bei der digitalen Transformation im Bereich Energieeffizienz zu unterstützen.

KEDi verfolgt mehrere zentrale Aufgaben:

- Bereitstellung von Informationen: Unternehmen erhalten praxisnahe und verständliche Einblicke in digitale Lösungen für eine effizientere Energienutzung.
- Technologiedemonstration: In Zusammenarbeit mit Partnern werden digitale Anwendungen vorgestellt, die sich bereits in der Praxis bewährt haben.
- Wissenstransfer und Vernetzung: Durch Austauschformate, Workshops und Fachveranstaltungen werden Unternehmen mit Expert:innen, Forschungseinrichtungen und politischen Entscheidungsträgern vernetzt.
- Begleitung regulatorischer Entwicklungen: KEDi unterstützt politische Prozesse und zeigt auf, wie regulatorische Rahmenbedingungen angepasst werden können, um den digitalen Wandel im Energiebereich zu erleichtern.
- Kompetenzaufbau: Durch Schulungen und Weiterbildungen werden Unternehmen und Fachkräfte auf die Herausforderungen der Digitalisierung und Energieeffizienz vorbereitet.

Ein wesentlicher Schwerpunkt liegt auf der Schnittstelle zwischen Digitalisierung und Energieeffizienz. Digitale Technologien wie Echtzeit-Datenanalyse, intelligente Steuerungssysteme und künstliche Intelligenz ermöglichen eine präzisere Steuerung von Energieflüssen, die Vermeidung von Energieverlusten und eine bessere Integration erneuerbarer Energien in industrielle und gebäudetechnische Prozesse.

3.6.5 Strategische Vorteile für energieintensive Industrien: Effizienz, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit

Energieintensive Industrie:
Status quo und Bedeutung

Die beschriebenen Strategien auf Bundes- und Landesebene bieten energieintensiven Industrien in Sachsen-Anhalt klare Leitlinien und unterstützende Maßnahmen, um ihre Prozesse klimafreundlich und zukunftsfähig zu gestalten. Sie fördern Innovation, reduzieren Emissionen und schaffen Anreize für nachhaltige Geschäftsmodelle. Gleichzeitig ermöglichen sie Unternehmen, ihre Wettbewerbsfähigkeit auf globalen Märkten zu sichern und sich als Vorreiter im Bereich der Klimaneutralität zu positionieren. Die Umsetzung dieser Strategien ist entscheidend, um die wirtschaftliche und ökologische Transformation in Sachsen-Anhalt voranzutreiben.

1. Reduzierung der Produktionskosten durch Energieeffizienzmaßnahmen

Strategien wie der Klimaschutzplan 2050, die Landesstrategie zur Energiesystementwicklung (ESE) und die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie zielen auf Energieeinsparungen und Ressourceneffizienz ab. Für energieintensive Industrien können Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz, wie die Einführung moderner Technologien oder die Optimierung von Prozessen, zu erheblichen Kosteneinsparungen führen. Dies stärkt die Wettbewerbsfähigkeit, insbesondere in internationalen Märkten.

2. Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit durch Innovation

Die Förderung von Innovationen, insbesondere durch grünen Wasserstoff, digitale Prozesslösungen und Schlüsseltechnologien, ermöglicht es energieintensiven Industrien, sich zukunftssicher aufzustellen. Strategien wie die regionale Innovationsstrategie (RIS) und die Industriestrategie 2030 schaffen Anreize für die Entwicklung neuer Produkte und Verfahren, die den Anforderungen einer klimaneutralen Wirtschaft entsprechen. Dies ist essenziell, um in globalen Lieferketten wettbewerbsfähig zu bleiben und Marktanteile zu sichern.

3. Zugang zu Fördermitteln und Infrastruktur

Die Umsetzung von Strategien wie der Wasserstoffstrategie Sachsen-Anhalt und der Energiesystementwicklungsstrategie bietet Unternehmen Zugang zu umfangreichen Förderprogrammen und neuer Infrastruktur. Projekte wie der Ausbau von Wasserstoffnetzen und die Entwicklung von Speichertechnologien senken die Investitionsrisiken für Unternehmen und erleichtern den Umstieg auf klimafreundliche Technologien.

4. Reduzierung regulatorischer Risiken

Der Übergang zu klimaneutralen Produktionsverfahren hilft Unternehmen, die Anforderungen des EU-Emissionshandelssystems (EU-ETS) zu erfüllen. Strategien wie die Carbon Management Strategie unterstützen energieintensive Industrien bei der Einführung von CCU/CCS-Technologien und der Integration von CO₂-Kreisläufen. Dadurch können Unternehmen nicht nur die Kosten für Emissionszertifikate reduzieren, sondern auch regulatorische Risiken minimieren, die mit strengeren Klimavorschriften verbunden sind.

5. Stabilisierung der Energieversorgung

Die Landesstrategie zur Energiesystementwicklung und die Wasserstoffstrategie fördern die Integration erneuerbarer Energien und die Sektorenkopplung. Dies trägt dazu bei, eine stabile Energieversorgung zu gewährleisten, die für energieintensive Industrien von zentraler Bedeutung ist. Langfristig führt die Diversifizierung der Energiequellen, etwa durch Wasserstoff und Speicherlösungen, zu einer geringeren Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und schwankenden Energiepreisen.

6. Verbesserung der ökologischen Reputation

Durch die Umsetzung nachhaltiger Produktionsprozesse können energieintensive Industrien ihre ökologische Reputation verbessern. Dies ist insbesondere im Hinblick

auf Investoren, Kunden und politische Entscheidungsträger von Bedeutung, die zunehmend Wert auf Nachhaltigkeit legen. Initiativen wie die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie und der Klimaschutzplan 2050 bieten eine klare Orientierung für nachhaltiges Wirtschaften, das gleichzeitig ökologischen und ökonomischen Mehrwert schafft.

7. Arbeitsplatzsicherung und Fachkräfteentwicklung

Die Transformation hin zu klimaneutralen Produktionsweisen sichert langfristig Arbeitsplätze in energieintensiven Industrien. Strategien wie die regionale Innovationsstrategie und das Strukturentwicklungsprogramm Mitteldeutsches Revier unterstützen zudem die Qualifikation von Fachkräften, insbesondere in zukunftssträchtigen Bereichen wie Wasserstofftechnologie, Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft. Dies gewährleistet eine stabile Beschäftigungssituation und steigert die Attraktivität der Regionen für Fachkräfte.

8. Stärkung regionaler Wertschöpfungsketten

Die Förderung lokaler Innovationen und die Entwicklung regionaler Infrastrukturen, wie sie in der Wasserstoffstrategie oder dem Strukturwandelprogramm vorgesehen sind, stärken regionale Wertschöpfungsketten. Dies hilft energieintensiven Unternehmen, sich besser mit lokalen Partnern zu vernetzen, Transportwege zu verkürzen und die Resilienz gegenüber globalen Störungen zu erhöhen.

9. Eröffnung neuer Marktchancen

Durch die Entwicklung nachhaltiger Produkte und die Nutzung von Technologien wie CCU, grünem Wasserstoff und erneuerbaren Energien können Unternehmen neue Marktchancen erschließen. Die Industriestrategie 2030 und die Energiesystemstrategie fördern die Schaffung neuer Geschäftsmodelle, etwa im Bereich der Kreislaufwirtschaft oder Power-to-X-Technologien, die zunehmend nachgefragt werden.

10. Unterstützung bei der klimafreundlichen Transformation

Die strategischen Ansätze, etwa die Carbon Management Strategie, bieten Unternehmen praktische Unterstützung bei der Transformation. Dazu gehören technologische Entwicklung, Netzwerke und Beratungsangebote, die die Implementierung klimafreundlicher Maßnahmen erleichtern.

3.7 Fazit

Die sechs untersuchten Branchen – chemische Industrie, Glas- und Keramikindustrie, Papierherstellung, Metallerzeugung und -bearbeitung, Metallwarenherstellung sowie Nahrungs- und Futtermittelproduktion – tragen gemeinsam 37% zu den gesamten CO₂-Emissionen des Landes und 81% zu den Emissionen des verarbeitenden Gewerbes bei. Mit einem Energieverbrauch von 45.700 GWh nutzen diese Branchen 71% des Energieverbrauchs des verarbeitenden Gewerbes und sind daher ein Schwerpunkt für Dekarbonisierungsstrategien.

Die chemische Industrie ist mit einem Umsatz von 13,8 Mrd. € und CO₂-Emissionen von 6,4 Mio. Tonnen die dominierende Branche. Sie ist stark von Erdgas als Energieträger abhängig und weist trotz hoher Wertschöpfung mit 18% Energiekostenanteil eine erhebliche Kostenbelastung auf. Die Glas- und Keramikindustrie verursacht 1,18 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen und ist durch energieintensive Hochtemperaturprozesse geprägt, die eine große Herausforderung für die Umstellung auf klimafreundliche Technologien darstellen. Die Papierherstellung, mit 800.344 Tonnen CO₂-Emissionen, hat die höchsten Energiekostenanteile unter den untersuchten Branchen (28% vom Umsatz), was sie besonders anfällig für Energiepreisschwankungen macht.

Die Nahrungs- und Futtermittelindustrie (1,58 Mio. Tonnen CO₂), die Metallerzeugung (584.336 Tonnen CO₂) und die Metallwarenherstellung (162.664 Tonnen CO₂) sind zwar weniger emissionsintensiv, aber dennoch erheblich von Energiepreisen und -verfügbarkeit betroffen. Diese Branchen nutzen teilweise auch Strom als dominierenden Energieträger, was den Druck zur Nutzung erneuerbarer Energien erhöht.

Die Energiepreisentwicklung der letzten Jahre zeigt deutliche Belastungen. Zwischen 2018 und 2023 stiegen die Energiekosten für das verarbeitende Gewerbe erheblich, insbesondere in den energieintensiven Branchen. Im Jahr 2023 erreichten die Gesamtkosten mit 4,2 Milliarden Euro ihren Höchststand, bevor sie 2024 auf 3,6 Milliarden Euro leicht sanken.

Die Energiepreisentwicklung ist dabei ein entscheidender Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit der ausgewählten Branchen. Insbesondere der signifikante Anstieg der Energiepreise in den letzten Jahren hat die wirtschaftliche Belastung dieser Unternehmen erhöht. Die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen wie Erdgas und die begrenzte Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen machen deutlich, dass eine nachhaltige Transformation dieser Industrien notwendig ist. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, die Integration erneuerbarer Energien und der Ausbau von Speichertechnologien sind essenziell, um die Risiken steigender Energiekosten zu mindern.

Kapitel 3 zeigt, dass die ausgewählten Branchen nicht nur entscheidend für die Wirtschaftskraft Sachsen-Anhalts sind, sondern auch die größten Hebel zur Reduktion von Emissionen und zur Dekarbonisierung des verarbeitenden Gewerbes bieten. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, branchenspezifische Strategien zu entwickeln, um eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Zukunft zu sichern.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Transformation der energieintensiven Industrie nicht nur eine ökologische Notwendigkeit, sondern auch eine wirtschaftliche Chance darstellt. Mit gezielten Investitionen in innovative Technologien, der Nutzung von Fördermöglichkeiten und einer klaren strategischen Ausrichtung können Unternehmen ihre Marktstellung sichern und gleichzeitig einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Die strategischen Vorteile machen deutlich, dass der Wandel hin zu einer klimaneutralen Produktion sowohl wirtschaftlich als auch gesellschaftlich unausweichlich und lohnenswert ist.

4 Erkenntnisse aus der Unternehmensbefragung: Herausforderungen, Strategien und Perspektiven der energieintensiven Industrie in Sachsen-Anhalt

Im nachfolgenden Kapitel wird die Bewertung der Antworten von energieintensiven Unternehmen in Sachsen-Anhalt auf eine Unternehmensbefragung vorgestellt. Ziel der Befragung war es, Einblicke in die aktuellen Technologien und Prozesse zur Energieerzeugung sowie deren Bedeutung für Produktionsprozesse und Wettbewerbsfähigkeit zu gewinnen. Es wurden spezifische Herausforderungen bei der Reduzierung des Energieverbrauchs und der Umstellung auf erneuerbare Energien identifiziert. Die Unternehmen wurden auch zu ihren Zielen in Bezug auf CO₂-Reduktion und Energieeffizienz, sowie zu umgesetzten und geplanten Maßnahmen im Bereich Technologie und Innovation befragt. Ein weiterer Fokus lag auf den finanziellen Aspekten, regulatorischen Rahmenbedingungen, und der Rolle von Kooperationen bei der energetischen Transformation. Schließlich umfasste die Befragung auch die Zukunftsperspektiven und Visionen der Unternehmen hinsichtlich der Energieversorgung in den nächsten zehn Jahren. Die gesammelten Daten bieten einen Einblick in die Herausforderungen und Strategien der Unternehmen im Kontext der Energiewende im Land Sachsen-Anhalt. Der Fragebogen ist dem Anhang zu entnehmen.

4.1 Unternehmensprofil und Energieverbrauch

Wie hoch ist Ihr jährlicher Energieverbrauch und wie verteilt er sich auf verschiedene Energieträger (z. B. Strom, Gas etc.)?

Im Rahmen der SETUp-Studie wurden mehrere Unternehmen aus unterschiedlichen energieintensiven Branchen befragt. Die befragten Branchen umfassen Chemie, Keramik, NE-Metalle, Zement und Glas.

Die Gasmengenverbräuche der Unternehmen reichen von 40 GWh/a bis 128 GWh/a. Bei den Stromverbräuchen liegt die Spannweite zwischen 5 GWh/a und 160 GWh/a, bezogen auf das Jahr 2023.

Welche Technologien und Prozesse nutzen Sie derzeit für die Energieerzeugung?

Aktuell wird zur Energieversorgung der energieintensiven Unternehmen vorrangig fossile Energie in Form von Gas verwendet. Es gibt jedoch Pläne und bereits umgesetzte Projekte zur Integration erneuerbarer Energien, die in der Zukunft zur Energieversorgung beitragen soll (bspw. Installation von PV-Anlagen). Zudem wird bereits teilweise die Wärmerückgewinnung zur Erzeugung von Warmwasser eingesetzt, was ebenfalls zur Effizienzsteigerung der Energieerzeugung beiträgt.

Neben der externen Energieversorgung mit Strom und Gas werden derzeit in den befragten Industriebranchen weitere Technologien und Prozesse für die Absicherung der kurzzeitigen Energiebereitstellung genutzt. Hierzu gehören vor allem redundante Versorgungssysteme. Für den Notstrombetrieb kommen i. d. R. Dieselgeneratoren zum Einsatz, um eine sichere Abfahrt der Anlage zu gewährleisten.

Welche Rolle spielt die Energieversorgung für Ihren Produktionsprozess und Ihre Wettbewerbsfähigkeit?

Die Energieversorgung spielt insbesondere für die energieintensiven Unternehmen eine entscheidende Rolle für den Produktionsprozess und die Wettbewerbsfähigkeit in der Industrie. Eine zuverlässige Versorgung mit Brennstoffen und Strom ist unerlässlich, insbesondere für kritische Prozesse wie Schmelz- und Gießverfahren, die nicht unterbrochen werden dürfen. Gas und Strom sind dabei von zentraler Bedeutung.

Die Kosten für die Energieträger machen gleichermaßen einen erheblichen Anteil der Produktionskosten aus, was die Wirtschaftlichkeit beeinflusst. Eine stabile Energieversorgung trägt zur Prozessstabilität bei, was wiederum die gleichbleibende Qualität der produzierten Produkte sichert. Daher ist es laut der befragten Unternehmen wichtig, dass die Energiequellen preiswert und sicher verfügbar sind, um die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu gewährleisten.

4.2 Herausforderungen und Hindernisse

Welche spezifischen Herausforderungen sehen Sie bei der Reduzierung Ihres Energieverbrauchs und der Verbesserung Ihrer Energieeffizienz?

Die Reduzierung des Energieverbrauchs und die Verbesserung der Energieeffizienz in der Industrie stehen vor spezifischen Herausforderungen. Eine Schwierigkeit besteht darin, den Energieverbrauch zu senken, während gleichzeitig die Anforderungen an Produktqualität und Emissionen eingehalten werden müssen. Die Prozessstabilität muss dabei ebenfalls gewahrt bleiben, was insbesondere in der hochenergetischen Glasherstellung eine Herausforderung darstellt.

Zur Verbesserung der Energieeffizienz werden bereits jetzt unterschiedliche Ideen durch die Unternehmen verfolgt. Hierzu wird insbesondere die Nutzung von Abwärme für nachgelagerte Prozesse in Betracht gezogen, und die Implementierung alternativer Energiequellen wie Photovoltaik und Windenergie ist angestrebt. Aufgrund langjähriger Optimierungsprozesse sind bereits viele wirtschaftlich darstellbare Maßnahmen umgesetzt worden, womit weitere Energieeffizienzmaßnahmen schwieriger oder nur mit höherem Aufwand erzielt werden können. Zudem besteht ein Sanierungsbedarf in der vorhandenen Elektro- und Medieninfrastruktur, was mit kostenintensiven Investitionen verbunden ist.

Welche Hürden begegnen Ihnen bei der Umstellung auf erneuerbare Energien oder klimafreundlichere Technologien?

Bei der Umstellung auf erneuerbare Energien oder klimafreundlichere Technologien begegnen der Industrie mehrere Hürden. Insbesondere die Nutzung von Wasserstoff wird in naher Zukunft als unverständlich wahrgenommen, da dieses aus Sicht der Unternehmen bisher wirtschaftlich nicht darstellbar ist. Außerdem gibt es laut Unternehmen eine eher zurückhaltende Unterstützung von kommunalen Stellen, und die Transformation wird durch langwierige Genehmigungsverfahren zusätzlich erschwert.

Für die Integration erneuerbarer Energiesysteme müssen die technischen Voraussetzungen für den Einsatz von Technologien wie Photovoltaik häufig erst geprüft und geschaffen werden, was mit ersten Kosten verbunden ist. Zudem sind die Anmelde- und Genehmigungsprozesse beim Energieversorger und dem Verteilnetzbetreiber als schwierig zu betrachten. Es fehlen teilweise Standardtechnologien für Produktionsanlagen, was die Implementierung kompliziert.

Darüber hinaus herrscht bei dem Einsatz erneuerbarer Energien oft Unwissenheit über Zugang, Kosten, Preise sowie den Einfluss auf die Produktqualität. Ein schlechter Netzausbau im Strombereich stellt ebenfalls eine Herausforderung dar, welche es nach Ansicht der Unternehmen vorrangig anzupassen gilt.

Gibt es technische, wirtschaftliche oder regulatorische Hindernisse, die Sie daran hindern, Ihre Energiesysteme zu modernisieren?

Bei der Modernisierung der Energiesysteme stehen der Industrie technische, wirtschaftliche und regulatorische Hindernisse entgegen. Monetäre Aspekte spielen eine wesentliche Rolle, da die Substitution von Brennstoffen sich in der Entwicklung befindet und eine veraltete Infrastruktur in der Medienversorgung hohe Modernisierungskosten verursacht.

Zudem sind die Genehmigungswege laut der befragten Unternehmen für solche Vorhaben langwierig und kompliziert. Zudem erschweren bürokratische Hürden und wechselnde Regularien die Planung und Umsetzung von Modernisierungsmaßnahmen, was die Fortschritte in diesem Bereich weiter behindert.

4.3 Ziele und Prioritäten

Welche Ziele haben Sie in Bezug auf die Reduktion von CO₂-Emissionen und die Steigerung der Energieeffizienz?

Die Industrie hat sich unterschiedliche Ziele zur Reduktion von CO₂-Emissionen und zur Steigerung der Energieeffizienz gesetzt. Die Unternehmensziele sind dabei unterschiedlich nach Branche und beziehen sich auf unterschiedliche Zeiträume. Die Vorgaben für die Einzelunternehmen werden dabei oftmals durch Konzernstrategien o. Ä. vorgegeben. Senkungen der CO₂-Emissionen sollen aber insbesondere durch die Substitution von Rohstoffen und die Steigerung der Energieeffizienz erreicht werden.

Ein wichtiger Schritt aller Akteure ist der Austausch veralteter Anlagen gegen neue, effizientere Modelle. Auch die Gebäudestruktur der Produktionsbetriebe soll verbessert werden, wobei hier Dachsanierungen oder Gebäudedämmungen im Vordergrund stehen. Zudem sind Prozess- und Lastgangoptimierungen geplant.

Welche kurzfristigen und langfristigen Ziele verfolgen Sie im Bereich der energetischen Transformation?

Im Bereich der energetischen Transformation verfolgt die Industrie sowohl kurzfristige als auch langfristige Ziele. Kurzfristig liegt der Fokus auf dem Bezug von grüner Energie und der Umsetzung von ersten Energieeffizienzmaßnahmen. Ein wichtiger Aspekt ist die geplante Umstellung von Trinkwasserbezug auf die kreislauffähige Nutzung von Prozesswasser.

Mittelfristig plant man die Eigenerzeugung von alternativer Energie durch Photovoltaik oder auch die Elektrifizierung der Fuhrparks. Zudem wird eine kurzfristige Reduzierung der CO₂-Emissionen durch die Substitution von Rohstoffen und die Steigerung der Energieeffizienz angestrebt.

Langfristig strebt man die Transformation zu einem klimafreundlichen und CO₂-neutralen Produktionsprozess an, wobei Dekarbonisierung und Abscheidung im Vordergrund stehen. Weitere langfristige Ziele umfassen insbesondere in der Glasindustrie die Anpassung der Schmelztechnologien, was derzeit erprobt wird, sowie die Substitution von Erdgas durch alternative Brennstoffe u. a. im Gießereibereich.

4.4 Technologie und Innovation

Erkenntnisse aus der
Unternehmensbefragung

Haben Sie bereits Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz oder zur Nutzung erneuerbarer Energien umgesetzt? Wenn ja, welche?

Die Industrie hat bereits zahlreiche Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energien umgesetzt. Dazu gehört die Umstellung auf regelbare Antriebe und Kompressoren oder die beispielhafte Umrüstung auf Frequenzumrichtertechnik bei elektrischen Öfen. Im Rahmen des Energiemanagements wurden viele weitere Maßnahmen implementiert.

Zusätzlich werden Machbarkeitsprüfungen für die Nutzung von Windenergie, Photovoltaik oder auch Biogas durchgeführt. Die Erschließung und Nutzung von Abwärmepotenzialen, bspw. zur Trocknung von Roh- und Brennstoffen, ist ebenfalls Teil der Maßnahmen. Darüber hinaus werden die Anlagenprozesse optimiert, bspw. durch den Einsatz neuer Turbokompressoren. Auch die Leckageminimierung in der Druckluftmedienstruktur ist eine Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz.

Welche Technologien oder Lösungen haben Sie in Erwägung gezogen, aber noch nicht implementiert und warum?

In den energieintensiven Unternehmen gibt es zumeist einen wesentlichen Prozessteil, welcher hochenergieintensiv betrieben wird. So sind dies bspw. die Öfen in Glas- oder Zementherstellung. Insbesondere in der Glasindustrie gibt es Bestrebungen neue Schmelzofentechnologien einzusetzen. Jedoch sind die Investitionskosten und somit das wirtschaftliche Risiko sehr hoch.

Für eine großflächige Integration erneuerbarer Energien werden zudem Machbarkeitsprüfungen für die Nutzung von Windenergie, Photovoltaik und Biogas durchgeführt, um die Potenziale dieser erneuerbaren Energien zu evaluieren. Die Gründe für die bisherige Nicht-Implementierung liegen hauptsächlich in den noch zu klärenden technischen und regulatorischen Voraussetzungen.

Sind Sie offen für die Erprobung neuer Technologien und welche Anforderungen müssten diese erfüllen?

Die energieintensiven Unternehmen zeigen sich offen für die Erprobung neuer Technologien und haben ein positives Interesse daran. Einige Unternehmen engagieren sich bereits jetzt aktiv in der Bewertung und Erprobung innovativer Technologien. Insbesondere wird an der Substitution von Erdgas durch alternative Brennstoffe wie Wasserstoff und Biogas gearbeitet, wobei auch prozesstechnische Entwicklungen bspw. im Bereich des Aufschmelzens von Kupfer betrachtet werden.

Eine wichtige Anforderung ist, dass die Infrastruktur zur Versorgung mit den jeweiligen Brennstoffen vorhanden sein muss. Zudem muss die Produktherstellung wirtschaftlich durch die neuen Energieformen abgebildet werden, ohne die Produktqualität zu beeinträchtigen. Die angestrebten Technologien sollten zudem dem Ziel der Klimaneutralität dienen und müssen sowohl technologisch sinnvoll als auch wirtschaftlich darstellbar sein.

4.5 Wirtschaftlichkeit und Finanzierung

Welche finanziellen Aspekte sind für Sie bei der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen oder bei der Umstellung auf klimafreundlichere Technologien entscheidend?

»Bei der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen und der Umstellung auf klimafreundlichere Technologien spielen mehrere finanzielle Aspekte eine entscheidende Rolle. Ein wichtiger Faktor ist die Erwartung eines Returns on Investment (ROI) von wenigen Jahren. Zudem ist die Unterstützung durch Fördermittel für die Finanzierung von hohen Investitionen in klimafreundliche Technologien essenziell, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

Die Investitionen sollten stufenweise möglich sein, da nicht alle Maßnahmen auf einmal umgesetzt werden können. Es ist auch wichtig, dass Standardtechnologien entwickelt und für die Produktion beschafft und eingesetzt werden können.

Ein zentrales Ziel ist die Senkung der Energiekosten sowie die Reduzierung der CO₂-Emissionen und der erforderlichen Zertifikate, was für die Wirtschaftlichkeit entscheidend ist. Allerdings sind die hohen Investitionskosten und die Wirtschaftlichkeit neuer Technologien Herausforderungen. Diese Technologien könnten einen steigenden spezifischen Energiebedarf an klimaneutral erzeugter Energie mit sich bringen, was wiederum die spezifischen Energiekosten erhöhen könnte. Zudem stellen unklare und ständig wechselnde Rahmenbedingungen laut der Unternehmen eine zusätzliche Unsicherheit dar.

Gibt es Förderprogramme, Finanzierungsmodelle oder Partnerschaften, die für Ihr Unternehmen attraktiv wären?

Für die Unternehmen sind unterschiedliche Förderprogramme, Finanzierungsmodelle und Partnerschaften von Interesse. Besonders im Fokus stehen die Förderprogramme des Bundes, wie das BAFA-Programm zur Energieeffizienz, sowie die Angebote der länderspezifischen Investitionsbanken. Diese Programme werden regelmäßig auf ihre Anwendbarkeit durch die Unternehmen geprüft. Allerdings gestaltet sich dieser Prozess nach Ansicht der Unternehmen oftmals als kapazitiv personal- und zeitaufwendig.

4.6 Regulatorische und politische Rahmenbedingungen

Wie beeinflussen aktuelle gesetzliche Vorschriften und Regulierungen Ihre Entscheidungen im Bereich der Energieversorgung und -nutzung?

Aktuelle gesetzliche Vorschriften und Regulierungen haben einen erheblichen Einfluss auf die Entscheidungen des Unternehmens im Bereich der Energieversorgung und -nutzung. Die Vorschriften und Gesetze werden teilweise als unverständlich wahrgenommen, was dazu führt, dass sie als hemmend empfunden werden. Zudem wird kritisiert, dass die Zusammenarbeit zwischen den Behörden unzureichend ist, was die Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben zusätzlich erschwert.

Welche Änderungen in der Gesetzgebung oder politischen Unterstützung würden Sie sich wünschen um die energetische Transformation zu erleichtern?

Um die energetische Transformation zu erleichtern, wünscht sich die Industrie mehrere Änderungen in der Gesetzgebung und politische Unterstützung. Eine Anpassung der Netzentgelte für die Industrie wird gefordert, ebenso schnellere und einfachere

Genehmigungsprozesse. Eine Stabilität in den Vorschriften und Regulierungen ist laut Unternehmen entscheidend, um eine bessere Planungssicherheit zu gewährleisten.

Erkenntnisse aus der
Unternehmensbefragung

Zudem sollte der bürokratische Aufwand in einen für die Unternehmen machbaren Rahmen gebracht werden. Es wird angeregt, die Gesetzesumgebung zu straffen, um gleiche Themen nicht in unterschiedlichen Gesetzen zu behandeln.

Wie bewerten Sie die aktuelle Förderlandschaft und die Unterstützung durch die Landes- oder Bundesregierung?

Die aktuelle Förderlandschaft und die Unterstützung durch die Landes- oder Bundesregierung werden eher kritisch bewertet. Es besteht ein hohes Maß an bürokratischem und regulatorischem Aufwand, der die Industrie belastet. Viele Unternehmen empfinden die Förderlandschaft als unübersichtlich und nicht ausreichend zielgerichtet.

Obwohl es Möglichkeiten zur Förderung gibt, wird angeregt, die Erarbeitung der erforderlichen Unterlagen auf ein Mindestmaß zu beschränken und die Bürokratie nicht weiter auszuweiten. Die Förderlandschaft wird zwar als breit aufgestellt wahrgenommen und bietet grundsätzlich Chancen, jedoch sind die Regelungen oft kompliziert und unverständlich.

Ein weiteres Problem sind die fehlenden einheitlichen Regularien, da unterschiedliche Voraussetzungen für ökologische Gegenleistungen bestehen, was die Inanspruchnahme von Förderungen zusätzlich erschwert.

4.7 Kooperation und Vernetzung

Sind Sie an Kooperationen mit anderen Unternehmen, Forschungseinrichtungen oder Technologieanbietern interessiert, um die energetische Transformation voranzutreiben?

Die Industrie zeigt ein starkes Interesse an Kooperationen mit anderen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Technologieanbietern, um die energetische Transformation voranzutreiben. Solche Kooperationen finden bereits statt und werden aktiv betrieben und forciert. Die Unternehmen sind grundsätzlich offen für weitere Partnerschaften.

Welche Formen der Zusammenarbeit oder Netzwerke wären für Ihr Unternehmen hilfreich, um die Herausforderungen der energetischen Transformation zu bewältigen?

Für die Bewältigung der Herausforderungen der energetischen Transformation halten die Unternehmen unterschiedliche Formen der Zusammenarbeit und Netzwerke für hilfreich. Einen wesentlichen Mehrwert kann laut der Unternehmen die Bildung zusätzlicher Netzwerke für spezifische Projekte und Technologiene Erfahrungsaustausche liefern. Die Klärung dieser Netzwerke sollte auf Gesamtunternehmensebene erfolgen, um eine effektive Zusammenarbeit und den Austausch von Wissen und Erfahrungen zu fördern.

4.8 Zukunftsperspektiven und Visionen

Wie stellen Sie sich die Energieversorgung Ihres Unternehmens in 10 Jahren vor?

In 10 Jahren stellt sich ein Teil der Unternehmen eine Energieversorgung vor, die stark auf erneuerbaren Energien basiert. Geplant ist eine Eigenerzeugung von Elektroenergie, wobei etwa ein Drittel aus alternativen Energien und zwei Drittel aus dem Bezug von grüner Energie stammen sollen. Der Anteil an erneuerbaren Energien soll perspektivisch einen wesentlichen Bestandteil der Energieversorgung ausmachen. Eine stabile Versorgung ist für das Unternehmen essenziell.

Allerdings wird auch erwartet, dass etwa zwei Drittel der Energieversorgung in 10 Jahren noch ähnlich wie aktuell sein wird, da die Genehmigungsverfahren, bspw. für Windenergieanlagen als langwierig und kompliziert wahrgenommen werden. Zudem ist die Sanierung der Infrastruktur am Standort notwendig, um Produktions- und Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Der tatsächliche Energiebedarf wird aufgrund der Dekarbonisierung voraussichtlich um ein Vielfaches höher sein als der aktuelle Bedarf.

Welche langfristigen Trends oder Entwicklungen sehen Sie als besonders relevant für Ihre Branche in Bezug auf Energie und Klimaschutz?

Langfristige Trends und Entwicklungen, die als besonders relevant für die Branche in Bezug auf Energie und Klimaschutz angesehen werden, sind vor allem die Dekarbonisierung und die Substitution von Brennstoffen. Diese Veränderungen sind entscheidend, um die Umweltauswirkungen der Industrie zu minimieren.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Verbesserung des Endprodukts zur Energieeinsparung sowie die mittelfristige Anpassung der Produktions- und Energietechnologien.

Zudem wird der Bedarf an Standardtechnologien für Produktionsanlagen betont, um die Effizienz zu steigern und die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen zu erleichtern. Diese Trends sind entscheidend, um die Branche nachhaltig und zukunftssicher zu gestalten.

Was sind Ihre größten Bedenken hinsichtlich der zukünftigen Energieversorgung und wie könnten diese adressiert werden?

Die größten Bedenken hinsichtlich der zukünftigen Energieversorgung in der Branche beziehen sich auf die ganzjährige stabile Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien. Um die Klimaneutralität zu erreichen, wird ein Vielfaches der bisher benötigten Energie erforderlich sein, die zudem klimaneutral erzeugt werden muss. Die Verfügbarkeit und der Transport der notwendigen Energiemengen erscheinen unter den aktuellen Bedingungen auf kommunaler, Landes- und Bundesebene nicht zeitgerecht umsetzbar. Adressiert werden können diese Schwerpunkte u. a. durch Netzwerkarbeit, in denen ein Austausch zwischen Wirtschaft, Politik und Forschung stattfindet.

4.9 Fazit

Die befragten Unternehmen in Sachsen-Anhalt betonen die zentrale Rolle einer stabilen und kosteneffizienten Energieversorgung für ihre Produktionsprozesse und Wettbewerbsfähigkeit. Trotz erster Fortschritte bei der Integration erneuerbarer Energien, wie Photovoltaik und Wärmerückgewinnung, bleiben fossile Energieträger dominant. Hohe Investitionskosten, langwierige Genehmigungsverfahren und unklare Regularien erschweren die Transformation hin zu klimafreundlichen Technologien.

Die Unternehmen verfolgen ambitionierte Ziele zur CO₂-Reduktion und Energieeffizienz, stoßen jedoch an Grenzen, da viele wirtschaftlich umsetzbare Maßnahmen bereits ausgeschöpft sind. Förderprogramme sind entscheidend, werden jedoch oft als bürokratisch und ineffizient wahrgenommen. Kooperationen mit Forschungseinrichtungen und Technologieanbietern sowie der Austausch in Netzwerken gelten als vielversprechende Ansätze zur Bewältigung der Herausforderungen. Langfristig streben die Unternehmen eine Energieversorgung mit erneuerbaren Energien an, sehen jedoch die Stabilität und Verfügbarkeit als kritische Faktoren. Die Dekarbonisierung und die Substitution fossiler Brennstoffe bleiben zentrale Ziele, die jedoch erhebliche technologische und infrastrukturelle Anpassungen erfordern.

5 Fortschritte in der Transformation energieintensiver Industrien

Die größte Herausforderung für die Industrie in Deutschland besteht darin, CO₂-Emissionen zu reduzieren und gleichzeitig die globale Nachfrage nach industriellen Produkten zu decken. Dies birgt Chancen für Unternehmen, Regionen und Volkswirtschaften, aber auch Risiken. Der steigende Infrastrukturbedarf in sich entwickelnden Volkswirtschaften macht es erforderlich, emissionsmindernde Technologien sowie entsprechende Infrastrukturen auf regionaler, nationaler und globaler Ebene voranzutreiben.

Die Europäische Union hat im Februar 2023 den Green-Deal-Industrieplan veröffentlicht, der zuletzt durch den Clean Industrial Deal ergänzt wurde. Ziel ist es, Investitionsanreize für klimaneutrale Industrien zu vereinfachen, zu beschleunigen und zu harmonisieren. Dennoch fehlen bislang spezifische Maßnahmen für besonders energieintensive Sektoren wie die Zementindustrie. Der Net Zero Industry Act (NZIA) der EU ermöglicht es, CCU- und CCS-Technologien als strategische Netto-Null-Technologien zu klassifizieren und zu fördern.

Auch auf nationaler Ebene schreitet die regulatorische Anpassung voran. Mit der novellierten Industrieemissions-Richtlinie (IED) wird die Erstellung von Transformationsplänen künftig Bestandteil der verpflichtenden Umweltmanagementsysteme für Industrieanlagen. Diese Pläne sollen Maßnahmen für eine nachhaltige, schadstofffreie, kreislauforientierte und klimaneutrale Industrieproduktion enthalten.

Um die Umsetzung zu erleichtern, hat die Bundesregierung 2024 das Gesetz „Klimaschutz im Immissionsschutz“ verabschiedet, das die Genehmigungsprozesse im Immissionsschutzrecht beschleunigt. Dies kann dazu beitragen, Transformationsmaßnahmen in der Industrie schneller und effizienter umzusetzen.

In den folgenden Abschnitten werden aktuelle Forschungsaktivitäten und technologische Fortschritte zur Dekarbonisierung, darunter innovative Verfahren zur Elektrifizierung, Wasserstoffnutzung, CO₂-Abscheidung und -Nutzung (CCU/CCS) sowie Kreislaufwirtschaftskonzepte, näher betrachtet. Darüber hinaus werden branchenspezifische Herausforderungen und Erfolge analysiert, um Einblicke in den aktuellen Stand der Transformation in verschiedenen Industriezweigen zu geben.

5.1 Fortschritte in Technologien zur Dekarbonisierung

5.1.1 Net-Zero Energy Factories

Die Transformation der Industrieproduktion hin zu Net-Zero Energy Factories (NZE) stellt eine der entscheidendsten Herausforderungen und gleichzeitig Chancen für die Dekarbonisierung dar. In einer Zeit, in der die Reduktion von Treibhausgasemissionen im Einklang mit den Klimazielen steht, bietet die Planung und Umsetzung von NZE eine innovative und nachhaltige Lösung. NZE sind darauf ausgelegt, ihre gesamte Energie aus erneuerbaren Quellen zu beziehen und dabei durch intelligente Technologien und Prozesse eine maximale Energieeffizienz zu gewährleisten. Dieser Ansatz erfordert jedoch eine umfassende Strategie, die sowohl technologische als auch organisatorische und politische Aspekte integriert.

Ein zentraler Aspekt der Planung von NZE ist die detaillierte Analyse des Energieverbrauchs in bestehenden Produktionsprozessen. Hierbei werden alle energetischen

Ströme innerhalb der Fabrik erfasst, um Ineffizienzen und potenzielle Energieverluste zu identifizieren. Diese Analyse bildet die Grundlage für die Einführung energieeffizienter Maschinen und Anlagen sowie die Optimierung von Produktionsabläufen. Durch die Implementierung fortschrittlicher Steuerungs- und Regelungstechniken kann der Energiebedarf signifikant gesenkt werden, was nicht nur zu einer besseren Ressourcennutzung, sondern auch zu einer erheblichen Reduktion der Betriebskosten führt.

Fortschritte in der Transformation
energieintensiver Industrien

Ein weiterer Schlüsselbereich ist die Integration erneuerbarer Energiequellen in das Energiesystem der Fabrik. NZEF nutzen vor allem lokale erneuerbare Energien, wie Photovoltaik auf Fabrikdächern, Windkraftanlagen auf dem Gelände oder Geothermie zur Wärmeengewinnung. Diese Technologien ermöglichen eine autarke Energieversorgung, reduzieren die Abhängigkeit von externen Energielieferanten und leisten einen direkten Beitrag zur Verringerung der CO₂-Emissionen. Die Planung dieser Energiequellen muss sorgfältig auf den spezifischen Standort und die Produktionsbedürfnisse abgestimmt werden. Zum Beispiel können intelligente Energiespeichersysteme wie Batterien oder thermische Speicher dazu beitragen, die Schwankungen bei der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien auszugleichen und eine kontinuierliche Energieversorgung sicherzustellen.

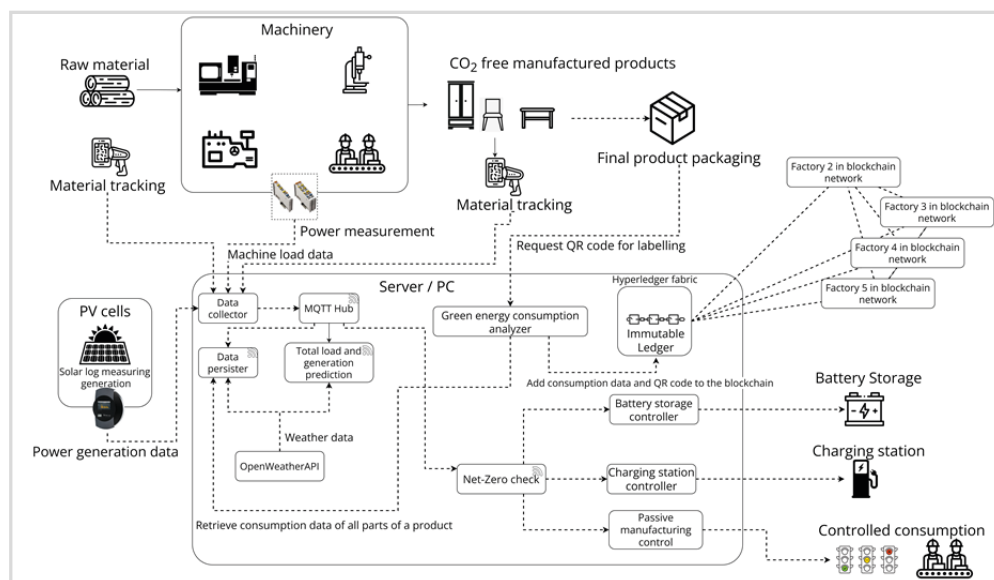


Abb. 24:
IT-Infrastruktur für die
Implementierung der Block-
chain-basierten Lösungen bei
der Tischlerei aRTE Möbel.
Quelle: Fraunhofer IFF

Ein Beispiel für die Umsetzung einer Net-Zero Energy Factory wurde vom Fraunhofer IFF bei der Tischlerei aRTE Möbel realisiert (Abbildung 24). Dieses Projekt zeigt, wie erneuerbare Energien und energieeffiziente Technologien in einem Betrieb integriert werden können. Das Energiemanagementsystem der Tischlerei ermöglicht eine optimale Nutzung der erzeugten Solarenergie und steigert durch moderne Maschinen und verbesserte Prozesssteuerung die Energieeffizienz. Besonders innovativ ist die Möglichkeit, den Lebenszyklus der Produkte zu verfolgen. Durch QR-Codes auf den Möbeln können Kunden Informationen über die Herkunft der Materialien, den Produktionsprozess und den ökologischen Fußabdruck abrufen. Dieses Projekt zeigt, wie Nachhaltigkeit und Hightech-Handwerk kombiniert werden können. Digitalisierung spielt eine zentrale Rolle bei der Verwirklichung von NZEF. Digitale Plattformen ermöglichen die Überwachung und Optimierung der Produktionsprozesse in Echtzeit. Daten aus Energie- und Produktionssystemen werden zentral gesammelt, um den Ressourceneinsatz zu minimieren. Ein zukunftsweisender Ansatz ist die Verwendung von Blockchain-Technologien, um die Transparenz und Vertrauenswürdigkeit der Daten zu erhöhen. In NZEF können Blockchain-Systeme genutzt werden, um die Herkunft von Rohstoffen,

den Energieverbrauch und den CO₂-Fußabdruck zu dokumentieren. Diese Technologie garantiert die Unveränderbarkeit der Daten und ermöglicht eine nachvollziehbare Produktionskette. Für Verbraucher bedeutet dies, dass sie fundierte Entscheidungen treffen können. Die Digitalisierung und der Einsatz von Blockchain könnten neue Geschäftsmodelle fördern. Pay-per-Use-Modelle oder Energiehandelsplattformen könnten über Blockchain-Systeme effizient abgewickelt werden. Gleichzeitig erfordert die Umsetzung von NZEF ein integriertes Energiemanagementsystem, das die Energieflüsse in der Fabrik in Echtzeit überwacht und an die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien anpasst.

Net-Zero Energy Factories stellen eine wegweisende Antwort auf die Herausforderungen der industriellen Dekarbonisierung dar. Sie bieten nicht nur die Möglichkeit, die Klimaziele zu erreichen, sondern eröffnen auch neue Perspektiven für eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Industrieproduktion. Durch die Kombination von technologischen Innovationen, digitaler Transformation und der Nutzung von Blockchain-Technologien können NZEF zu einem zentralen Bestandteil einer klimafreundlichen Zukunft werden.

5.1.2 Elektrifizierung von Prozessen

Angesichts der Bemühungen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und zur Förderung nachhaltiger Produktionsmethoden bietet die Elektrifizierung eine vielversprechende Strategie, um fossile Brennstoffe durch erneuerbare Energiequellen zu ersetzen und die Energieeffizienz zu steigern. Insbesondere in Sektoren wie der Stahl-, Zement- und chemischen Industrie wird die Elektrifizierung als Schlüsseltechnologie zur Dekarbonisierung betrachtet.

Ein Beispiel für ein innovatives Projekt in diesem Bereich ist die Errichtung eines Elektrolichtbogenofens (EAF) durch Primetals Technologies am Voestalpine Standort in Linz zur Erzeugung grünen Stahls. Die EAF benötigen im Vergleich zu traditionellen Hochöfen weniger Energie, zudem ermöglichen sie eine schnellere Schmelz- und Produktionszeit, was die Reaktionsfähigkeit auf Marktbedürfnisse erhöht. Zudem können diese Systeme einen Großteil der Abwärme nutzen und in den Produktionsprozess zurückführen, was die Gesamteffizienz weiter steigert.

Weiterhin wird auch die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf elektrische Heiztechnologien in der Zementproduktion erforscht. Die Verwendung von Elektrodenöfen anstelle von traditionellen Brennöfen könnte nicht nur die Emissionen senken, sondern auch die Energieeffizienz steigern. Einen vielversprechenden Ansatz verfolgt das internationale Projekt »ECem«. Das Projekt ist im Herbst 2024 gestartet und läuft für dreieinhalb Jahre. Es wird vom Innovationsfonds Dänemark mit 21 Millionen Dänischen Kronen (rund 2,8 Millionen Euro) gefördert. Das Ziel des Projektes »ECem« besteht darin, durch die Entwicklung elektrischer Heiztechnologien den CO₂-Ausstoß bei der Zementherstellung drastisch zu reduzieren und eine klimafreundlichere Alternative zu traditionellen Heizprozessen zu schaffen. Die Projektpartner wollen die Technologie im Labormaßstab validieren und prüfen, ob sie auf industrielle Maßstäbe hochskaliert werden kann, um letztlich die Zementindustrie klimaneutraler zu gestalten.

Ein bedeutender Aspekt der Elektrifizierung ist auch die Speicherung von Energie, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Aktuelle Forschung in diesem Bereich konzentriert sich auf die Entwicklung von Batteriespeichersystemen und anderen Energiespeichertechnologien, die es ermöglichen, überschüssige elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen effizient zu nutzen. Das Forschungsprojekt »Battery 2030+« zielt darauf ab, neue Batterietechnologien zu entwickeln, die nicht nur leistungsfähiger, sondern auch nachhaltiger sind.

Zusätzlich zur technologischen Entwicklung ist die Schaffung eines geeigneten politischen und wirtschaftlichen Rahmens von entscheidender Bedeutung. Insbesondere die notwendigen Rahmenbedingungen und Anreize, um die Elektrifizierung in der Industrie voranzutreiben und Investitionen zu fördern sind von entscheidender Bedeutung und spiegeln sich in der Befragung der energieintensiven Unternehmen wider. Insbesondere die sehr hohen Investitionskosten bei Technologien wie Elektrolichtbogenöfen und den damit verbundenen wirtschaftlichen Risiken sind ein Hemmer für die Integration solcher energieeffizienteren Technologien.

Insgesamt zeigt sich jedoch, dass die Elektrifizierung in energieintensiven Branchen ein vielversprechender Ansatz zur Reduktion von CO₂-Emissionen und zur Förderung nachhaltiger Produktionsmethoden ist. Die aktuellen Forschungsprojekte verdeutlichen das Potenzial dieser Strategie, die Industrie zu transformieren und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen.

5.1.3 Prozesswärmebereitstellung und Abwärmenutzung

Die Erzeugung von Prozesswärme in energieintensiven Branchen wie der Zement-, Stahl- und Chemieindustrie ist ein weiterer Schwerpunkt, insbesondere im Hinblick auf die Reduktion von CO₂-Emissionen und die Steigerung der Energieeffizienz. Dabei kann die Bereitstellung von Prozesswärme bis 2045 nahezu CO₂-neutral gestaltet werden, wenn geeignete Technologien und Maßnahmen implementiert werden. Der Bedarf an Prozesswärme in der Industrie wird bis zum Jahr 2045 auf etwa 67,5 TWh geschätzt, wobei die Technologien zur Bereitstellung dieser Energie entscheidend sind. Dabei können erneuerbare Energien, insbesondere Solarthermie und Biomasse, sowie die Nutzung von Abwärme als Schlüsselressourcen fungieren (Kurzstudie: Energieeffiziente und CO₂-freie Prozesswärme, 2024). Viele der befragten Unternehmen planen und setzen bereits Projekte in der Prozesswärmebereitstellung und -abwärmenutzung um.

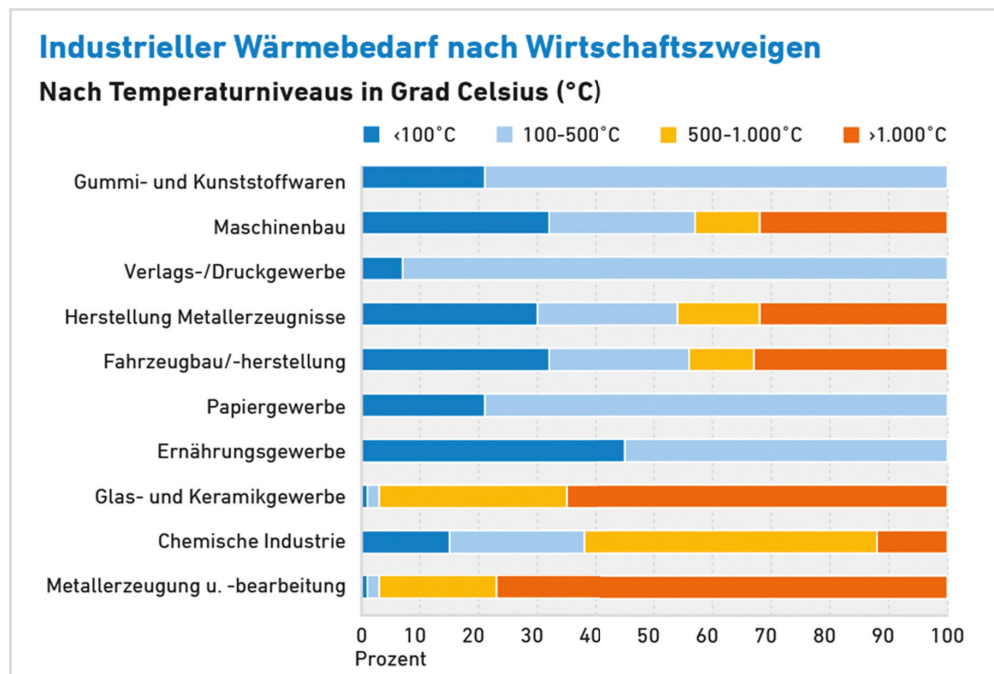


Abb. 25:
Industrieller Wärmebedarf
nach Wirtschaftszweigen.
Quelle: Ifeu/DLR/ZSW 2010
(Stand 6/2017)
© Agentur für Erneuerbare
Energien e.V.

Zusätzlich kann hervorgehoben werden, dass die Implementierung von Best Practices und die Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen in der Industrie entscheidend sind, um den Wärmebedarf nachhaltig zu reduzieren. Insbesondere Schlüsseltechnologien,

darunter hocheffiziente Heizsysteme wie Hochtemperaturwärmepumpen oder die Nutzung von elektrischer Prozesswärme (vgl. Kapitel 5.1.2), die erhebliche Einsparpotenziale bieten, bringen ein hohes Potential mit sich.

Hochtemperaturwärmepumpen (HTWP) sind Technologien, die in der Lage sind, Abwärme aus industriellen Prozessen zu nutzen und diese auf höhere Temperaturen zu bringen, die für verschiedene Anwendungen geeignet sind. Diese Pumpen können Temperaturen von bis zu 150 °C erreichen und bieten damit eine wertvolle Ergänzung zu konventionellen Heizmethoden. Sie können nicht nur die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringern, sondern auch die Energieeffizienz erheblich steigern.

Aktuelle Forschungsprojekte in diesem Bereich beleuchten die Integration und Optimierung von Hochtemperaturwärmepumpen in industriellen Anwendungen. Ein Beispiel hierfür wird über das Forschungsprogramm »Transformation des Energiesystems Niedersachsen (TEN.efzn)« abgebildet, in dem u. a. die Anforderungen an Großwärmepumpen mit thermischen Speichern für industrielle Prozesse dargestellt, Modellbibliotheken erstellt und die Systeme an Prüfständen validiert werden. Ziel dieses Projekts ist es, die technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile der Hochtemperaturwärmepumpen zu evaluieren und ihre Anwendbarkeit in der Industrie zu testen.

Zusätzlich wird in der Forschung auch die Kombination von Hochtemperaturwärmepumpen mit anderen Technologien zur Abwärmenutzung untersucht. U.a. wie hybride Systeme, die sowohl Hochtemperaturwärmepumpen als auch Solarthermie oder Biomasse integrieren, eine nachhaltige Lösung für die Wärmeversorgung in der Industrie bieten können. Diese Systeme könnten nicht nur die Effizienz steigern, sondern auch die Flexibilität der Wärmeversorgung erhöhen.

Ein weiterer bedeutender Aspekt ist die Entwicklung geeigneter Rahmenbedingungen und Marktmechanismen, die die Implementierung von Abwärmenutzung und Hochtemperaturwärmepumpen fördern. Sowohl politische und wirtschaftliche Faktoren, die für eine erfolgreiche Umsetzung notwendig sind, sowie Empfehlungen, um Investitionen in diese Technologien zu fördern müssen erarbeitet werden und nach Angabe der befragten Unternehmen auch langfristig handhabbar und darstellbar sein.

Insgesamt zeigt sich, dass die Abwärmenutzung und der Einsatz von Hochtemperaturwärmepumpen ein enormes Potenzial für die Reduktion von CO₂-Emissionen und die Verbesserung der Energieeffizienz in energieintensiven Branchen bieten. Die fortlaufenden Forschungsprojekte und die Entwicklung innovativer Ansätze können dazu beitragen, die industriellen Prozesse nachhaltiger zu gestalten und einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele zu leisten.

5.1.4 Energieeffizienz, Flexibilisierung und Sektorenkopplung

5.1.4.1 Energieeffizienz

Übergeordnet gibt es ein generelles und stetiges Bestreben insbesondere in energieintensiven Branchen die Steigerung der Energieeffizienz zu verbessern, da diese einen entscheidenden Beitrag zur Reduzierung von Betriebskosten und zur Verringerung der Umweltauswirkungen leisten kann. Hierfür wurden bei den befragten Unternehmen bereits Fachgruppen gebildet und eine Vielzahl an Projekten bereits umgesetzt, welche mit geringerem Aufwand und einem schnellen ROI gekennzeichnet sind.

Ein zentrales Thema ist neben der einzelnen technologischen Integration die Implementierung von intelligenten Energiemanagementsystemen und digitalen Assistenzsystemen, die den Energieverbrauch in Echtzeit überwachen und optimieren. Diese Systeme

nutzen Datenanalysen und Künstliche Intelligenz, um Einsparpotentiale zu identifizieren und den Energieeinsatz in verschiedenen Betriebsphasen zu steuern.

Fortschritte in der Transformation
energieintensiver Industrien

Entwicklungen im Bereich des Energiemanagements werden bspw. am Energieleitstand der Elbfabrik des Fraunhofer IFF erprobt. Der Energieleitstand der Elbfabrik umfasst die energetische Überwachung und das Echtzeit-Monitoring des gesamten Produktionsprozesses. Dabei werden spezifische Kennzahlen (KPI) für jedes Produkt ermittelt, wie der Energie- und CO₂-Fußabdruck, der Anteil von Grünstrom aus dem Netz und der Anteil von selbst erzeugtem lokalen Grünstrom, ermittelt. Der Grünstromanteil im Netz wird kontinuierlich online überwacht, um ein genaues Bild der aktuellen Erzeugungs- und Verbrauchssituation zu erhalten. Dank kostengünstiger IoT-basierter Erfassungssysteme ist dieser Ansatz jederzeit erweiterbar und kann mit dem Unternehmen wachsen. Dies trägt zur Erstellung eines Produktenergieausweises bei, der eine transparente Darstellung der tatsächlichen energetischen Aspekte des Produkts ermöglicht. Die erfassten KPIs können mithilfe der Blockchain-Technologie fälschungssicher und effizient an nachfolgende Prozesse (Weiterverarbeitung, Auslieferung) weitergegeben werden, wodurch das Unternehmen Scope-3-ready wird.

5.1.4.2 Flexibilisierung

Die Flexibilisierung umfasst verschiedene Ansätze, die darauf abzielen, den Energieverbrauch in der Industrie an die variierenden Rahmenbedingungen anzupassen. Ein wichtiger Aspekt der Flexibilisierung ist die Nutzung von Energiespeichern. Diese Technologien ermöglichen es Unternehmen, überschüssige Energie zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt zu nutzen.

Das Projekt Prospektive Flexibilitätsoptionen in der produzierenden Industrie des Fraunhofer IFF untersuchte bereits 2020 die technische und marktseitige Integration industrieller Flexibilität im deutschen Energiesystem. Es bot eine umfassende Analyse des aktuellen Forschungsstands, der regulatorischen Rahmenbedingungen sowie der wirtschaftlichen Potenziale flexibler Energienutzung in der Industrie. Ziel war es, Energiemanager, Produktionsverantwortliche, Akteure der Energiewirtschaft, Forschende sowie regulatorische Entscheidungsträger mit fundierten Informationen und praxisnahen Werkzeugen auszustatten. Dies befähigt Unternehmen, energetische Flexibilitätsoptionen zu identifizieren, zu modellieren und wirtschaftlich zu nutzen, um so zur nachhaltigen Transformation der Industrie beizutragen.

So trägt u. a. das Kopernikus-Projekt »SynErgie – Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Anpassung von Industrieprozessen an eine schwankende Energieversorgung« entscheidend zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende durch innovative Ansätze bei. Das Projekt erweitert die bisherigen umfassenden Maßnahmen der deutschen Industrie zur Steigerung der Energieeffizienz um die Berücksichtigung der Anforderungen an eine flexible Energienachfrage. Mit diesem neuartigen Konzept wird es möglich, den zukünftigen Energiebedarf von Produktionsprozessen effizient mit dem variierenden Energieangebot abzustimmen. Dadurch profitieren Unternehmen von besseren Bedingungen bei der Energiebeschaffung und schaffen zusätzliche, leicht verfügbare Flexibilitätskapazitäten für das Stromsystem.

Des Weiteren wird die Flexibilisierung durch den Einsatz von Demand Response (Nachfragesteuerung) gefördert. Unternehmen erhalten Anreize, ihren Energieverbrauch in Zeiten hoher Nachfrage zu reduzieren oder ihre Produktion in Zeiten niedriger Energiepreise anzupassen. Das Forschungsprojekt DELFINE »Dynamisches Demand-Response-System für eine nachhaltige Fertigung durch informationstechnische Vernetzung zur effizienten Energienutzung, -vermarktung und -erzeugung« untersucht, wie industrielle Prozesse so gestaltet werden können, dass sie flexibel auf Preissignale reagieren.

Hierbei werden fortschrittliche Algorithmen und digitale Plattformen entwickelt, die eine automatisierte Anpassung des Energieverbrauchs ermöglichen. Im Rahmen des Kopernikus-Projektes »Ariadne« werden die Preissignale ebenfalls als ein wichtiger Faktor bestätigt.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt auf der Digitalisierung von Produktionsabläufen. Durch den Einsatz von Industrie 4.0-Technologien, wie dem Internet der Dinge (IoT), können Unternehmen Echtzeitdaten zu ihrem Energieverbrauch sammeln und analysieren. Diese Daten werden genutzt, um Prozesse zu optimieren und die Flexibilität zu erhöhen.

Zusätzlich wird die Flexibilisierung auch durch die Entwicklung von hybriden Energiesystemen vorangetrieben, die verschiedene Energiequellen kombinieren, um die Versorgungssicherheit zu erhöhen. Im Rahmen des Projekts »HyFlexPower« wird untersucht, wie Wasserstoff als flexibler Energieträger in verschiedenen industriellen Anwendungen eingesetzt werden kann. Dies könnte dazu beitragen, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern und die Energiewende in der Industrie voranzutreiben.

Insgesamt zeigt sich, dass die Flexibilisierung in energieintensiven Branchen ein vielschichtiges und dynamisches Forschungsfeld ist. Die aktuellen Forschungsprojekte verdeutlichen das Potenzial, das in der Flexibilisierung steckt, um den Herausforderungen einer sich wandelnden Energielandschaft zu begegnen.

5.1.4.3 Sektorenkopplung und Wasserstoff

Der Begriff Sektorenkopplung beschreibt die Integration und Vernetzung von verschiedenen Energiesektoren, insbesondere Strom, Wärme und Mobilität, um Synergien zu nutzen und die Effizienz des Energiesystems zu steigern. In einer Zeit, in der der Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung stetig zunimmt, wird die Sektorenkopplung als ein Weg angesehen, um die Herausforderungen von intermittierenden Energiequellen wie Wind- und Solarenergie zu bewältigen.

Ein wichtiger Aspekt der Sektorenkopplung ist die Nutzung von Wasserstoff als flexiblen Energieträger. Wasserstoff kann durch Elektrolyse aus überschüssigem Strom aus erneuerbaren Quellen gewonnen werden und anschließend in verschiedenen Sektoren eingesetzt werden, sei es zur Erzeugung von Wärme, als Kraftstoff im Verkehr oder als Rohstoff in der chemischen Industrie. Aktuelle Forschungsprojekte wie »H₂Giga« in Deutschland zielen darauf ab, kostengünstige und skalierbare Technologien zur Wasserstoffproduktion zu entwickeln und die Integration in bestehende Energiesysteme zu fördern.

Wasserstoff spielt somit eine Schlüsselrolle in der Transformation energieintensiver Industrien wie der Glas-, Zement- und Aluminiumherstellung. Hybride Technologien, wie wasserstoffbefeuerte Öfen, zeigen vielversprechende Ergebnisse. Zum Beispiel konnte in einem Pilotprojekt in Sachsen-Anhalt eine Reduktion von CO₂-Emissionen um 30% erzielt werden (Quelle: Fraunhofer ISE, 2023). Der prognostizierte Wasserstoffbedarf der Industrie wird sich laut einer Studie des Bundesministeriums für Wirtschaft bis 2045 verdoppeln. Laut der befragten Unternehmen ist Wasserstoff aktuell jedoch noch eine teure Alternative, zudem müssen die Medienversorgungsstrukturen an das neue Medium angepasst werden, was einen hohen Aufwand für die Unternehmen bedeutet.

Darüber hinaus spielt die Digitalisierung eine entscheidende Rolle in der Sektorenkopplung. Die Implementierung intelligenter Netze (Smart Grids) und die Nutzung von Datenanalysen ermöglichen es, Energieflüsse in Echtzeit zu steuern und die Nachfrage dynamisch anzupassen. Projekte wie »Smart Energy System« untersuchen, wie digitale Plattformen und IoT-Technologien (Internet of Things) zur Optimierung der Sektorenkopplung beitragen können.

Die Herausforderungen der Sektorenkopplung sind jedoch nicht nur technischer Natur. Auch regulatorische Rahmenbedingungen und Marktmechanismen müssen angepasst werden, um die Integration der verschiedenen Sektoren zu fördern. Auf Basis der vorhergehenden Projekte und Entwicklungen lässt sich sagen, dass in einer zunehmend vernetzten Welt die Sektorenkopplung eine zunehmende Schlüsselrolle in der Transformation des Energiesystems spielt.

5.1.5 CCU/ CCS

Trotz aller Bemühungen zur Vermeidung und Reduzierung von Emissionen bleiben in bestimmten Prozessen, wie der Zement- oder Stahlproduktion, Restemissionen unvermeidbar. Technologien zur Nutzung und Speicherung von CO₂ können hier eine Schlüsselrolle spielen. Studien zeigen, dass durch Carbon Capture and Storage (CCS) in Europa jährlich bis zu 310 Millionen Tonnen CO₂ bis 2050 gespeichert werden könnten. Sachsen-Anhalt nimmt dabei eine Vorreiterrolle ein, mit Pilotprojekten wie der Nutzung von abgeschiedenem CO₂ zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe im Chemiepark Leuna.

CCS umfasst die Abscheidung von CO₂ aus industriellen Prozessen oder der Energieerzeugung, dessen anschließender Transport und Lagerung in geologischen Formationen. Ein Beispiel für ein aktuelles Forschungsprojekt in diesem Bereich ist das »Northern Lights«-Projekt in Norwegen, das Teil des europäischen Projekts »Longship« ist. Dieses Projekt zielt darauf ab, eine umfassende Infrastruktur für die Abscheidung, den Transport und die Speicherung von CO₂ zu entwickeln, die als Modell für andere Länder dienen könnte. Hierbei wird CO₂ aus verschiedenen Quellen in einer unterirdischen Lagerstätte gespeichert, um die Emissionen zu reduzieren.

Im Bereich der CCU wird das abgeschiedene CO₂ nicht nur gespeichert, sondern auch in nützliche Produkte umgewandelt. Dies kann beispielsweise die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen, Chemikalien oder Baumaterialien umfassen. Ein Projekt in diesem Zusammenhang ist das »Carbon2Chem«-Projekt in Deutschland, das darauf abzielt, CO₂ aus der Stahlproduktion in chemische Produkte zu transformieren. Durch die Nutzung von CO₂ als Rohstoff sollen nicht nur die Emissionen verringert, sondern auch neue, nachhaltige Wertschöpfungsketten geschaffen werden.

Im Rahmen des Projekts »CapTransCO₂« wird die Machbarkeit einer klimaneutralen mitteldeutschen Industrie durch den Aufbau einer vernetzten CO₂-Transportinfrastruktur für CCU/CCS untersucht. Das Projekt zielt darauf ab, eine zukunftsfähige CO₂-Infrastruktur für die Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen zu schaffen, um industrielle CO₂-Emissionen zu reduzieren und CO₂ als Rohstoff nutzbar zu machen. Insgesamt zeigt sich, dass CCS und CCU einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung energieintensiver Branchen leisten können. Die aktuellen Forschungsprojekte verdeutlichen das Potenzial dieser Technologien, sowohl zur Reduzierung von CO₂-Emissionen als auch zur Schaffung neuer Wertschöpfungsketten.

5.2 Branchenspezifische Fortschritte und Herausforderungen

Neben den generellen Forschungsaktivitäten zu den Schwerpunkten aus Kapitel 5.1 gehen die energieintensiven Unternehmen auch Branchenspezifische Projekte an. In Kapitel 5.2 soll ein Einblick in aktuelle Projekte gegeben werden.

5.2.1 Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln

Food-Pinch – Thermische Vernetzung von Prozessen in der Lebensmittelindustrie

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.03.2020 bis zum 31.08.2024. Unter der Leitung der ÖKOTEC Energiemanagement GmbH und der Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sind mehrere Partner (Westfälische Fleischwarenfabrik Stockmeyer GmbH, Nestlé Wagner GmbH und Nestlé Deutschland AG bzw. Maggi Werk Singen) beteiligt. Das Ziel des Projektes besteht in der Verkopplung von Prozesswärme und -kälte, um Wärmeströme prozessintern geschickter nutzen zu können und den CO₂-Ausstoß zu verringern, indem der Zugriff auf externe Betriebsmittel (bspw. Dampf) reduziert wird. In Hinblick auf kontinuierlich betriebene Prozesse und sich ändernde Parameter stellt die Pinch-Analyse eine etablierte Methode dar, um energieeffizienzsteigernde Potenziale zu identifizieren. Im Projekt sollen Investitionspläne für die Erweiterung von Anlagen sowie ein Demonstrator entwickelt werden, welcher die Anlagen entsprechend regelt. Somit könnte pro Betrieb bis zu 25% Energie eingespart werden.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes umfassen die Installation eines Demonstrators im MAGGI Werk im März 2023, welcher die Vorlauftemperatur der Kühlwasserversorgung regelt. Dazu wurde die Anlagensteuerung mittels EnEffReg weiterentwickelt, was zu positiven Ergebnissen führte. Außerdem war es möglich, bei den drei Partnern Optimierungen zu identifizieren, die durch eine manuelle Regelung berücksichtigt werden konnten.

Im Ausblick wird festgestellt, dass eine thermische Vernetzung von Prozessen nicht nur in der Lebensmittelindustrie nützlich sein kann, sondern auch in Prozessen anderer Sektoren, in denen Abwärme abfällt, integriert werden sollte, um den Bedarf an externen Betriebsmitteln sowie die Produktion von CO₂ zu senken.

ENOUGH-Projekt – Strategien zur Dekarbonisierung der Nahrungskette

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.10.2021 bis 30.09.2025. Unter der Koordination von SINTEF Ocean in Norwegen und der Förderung durch das Forschungs- und Innovationsprogramm HORIZON 2020 der Europäischen Union sind 28 Partner wie Ennstal Milch KG, EFFoST, EPTA S.p.A. oder Frost X sowie Experten aus 9 EU-Ländern, der Türkei, Norwegen und dem Vereinigten Königreich beteiligt. Das Hauptziel des Projektes ist die Unterstützung der europäischen Strategie »Farm to Fork« sowie die Reduzierung von CO₂-Emissionen bis 2030 und das Erreichen von CO₂-Neutralität im Lebensmittelsektor bis 2050. Die gesamte Kette der Lebensmittelversorgung soll dabei zunächst beschrieben werden, um anschließend für jeden Teil der Kette (Ernte bis Verbrauch) Praktiken zu entwerfen und zu etablieren.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes umfassen die Demonstration von verschiedenen technologischen Lösungsstrategien an mehreren europäischen Standorten, um aufzuzeigen, dass und wie CO₂-Emissionen in der Lebensmittelindustrie gesenkt werden können. Ein Demonstrator für die Langzeitlagerung von Lebensmit-

teln in Polen präsentiert beispielsweise eine Anlage zur Gefriertrocknung für den Haushalt mit dem Ziel, Lebensmittelverschwendung zu reduzieren und eine Lagerung sowie den Transport ohne externe Kühlung zu gewährleisten. Im Vereinigten Königreich wird wiederum Demand-Side-Response (DSR) im Einzelhandel demonstriert, indem Vitрины genutzt werden, um thermische Energie zu speichern. Dadurch ist es möglich, sie für kurze Zeiträume abzuschalten.

Im Ausblick wird festgestellt, dass es mithilfe der Demonstration verschiedener innovativer Lösungsstrategien möglich ist, Unternehmen und Investoren, aber auch Bürger und politische Entscheidungsträger in Hinblick auf die Dekarbonisierung der Lebensmittelindustrie zu sensibilisieren und sie in die Richtung einer CO₂-neutralen Zukunft zu lenken.

GREENFOODS – Wettbewerbsfähigkeit durch gesteigerte Energieeffizienz und geringere CO₂-Emissionen

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom April 2013 bis zum November 2015. Unter der Koordination des AEE – Institut für Nachhaltige Technologien und der Kofinanzierung durch das Programm Intelligent Energy Europe der EU sind mehrere Partner beteiligt. Darunter die Forschungseinrichtungen Österreichische Energieagentur, Technische Universität Graz oder das Technologiezentrum Ainia, aber auch Verbände und Firmen wie Wirtschaftskammer Österreich, Aiguasol und einige andere. Das Ziel des Projektes besteht in der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit kleinerer und mittlerer Unternehmen, indem CO₂-Emissionen und Produktionskosten gesenkt und europäische Standorte gesichert werden.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes umfassen die Entwicklung eines Branchenkonzepts, welches Tools und Informationen enthält, mit denen Maßnahmen in Hinblick auf die Integration erneuerbarer Energien sowie zur Energieeffizienzsteigerung identifiziert und bewertet werden können. Des Weiteren wurde ein Online-Handbuch mit Informationen über Prozesstechnologien, Grundoperationen, erneuerbare Energien sowie Beispiele in Form von Fallstudien erstellt. Ergänzt werden diese Hilfsmittel durch Energie-Audits, Ausbildungen und Mechanismen zur Förderung und Finanzierung. Durch über 200 Energieanalysen war es möglich, Energiemaßnahmen zu identifizieren, detaillierte Konzepte für 20 Betriebe zu erstellen und 11 Unternehmen bei der Integration dieser Maßnahmen zu betreuen. Es wird prognostiziert, dass dadurch pro Jahr 600 t CO₂-Emissionen eingespart werden können.[#] Im Ausblick wird festgestellt, dass durch die umfangreiche Bereitstellung von Informationen, Schulungen und Tools sowie die direkte Betreuung von Unternehmen energieeffizienzsteigernde Maßnahmen umgesetzt sowie die Dekarbonisierung der Lebensmittelindustrie maßgebend vorangetrieben werden kann.

5.2.2 Herstellung von Waren aus Papier, Karton und Pappe

Innovative Trocknungstechnologien und Recyclingansätze haben den Energieverbrauch in der Papierindustrie erheblich gesenkt. Deutschland führt mit einer Recyclingquote von 80%, während die Einführung von Hochtemperaturwärmepumpen den Energieverbrauch um bis zu 30% reduziert hat (Quelle: KEAN, 2024).

SAHARA-Projekt – Pilotanlage für CO₂-armes Herstellungsverfahren von Papierhandtüchern

Das Forschungsprojekt »SAHARA« zielt darauf ab, ein innovatives, CO₂-armes Herstellungsverfahren für Papierhandtücher zu entwickeln, das durch die Zusammenarbeit der Essity Operations Mannheim GmbH und der J.M. Voith SE & Co. KG realisiert

wird. In der Pilotanlage in Heidenheim an der Brenz forschen die beiden Unternehmen an einem elektrifizierten Verfahren, das die bisher energieintensive und wasserreiche Produktion von Papierhandtüchern revolutionieren soll. Ziel ist es, die CO₂-Emissionen während der Fertigung erheblich zu reduzieren – voraussichtlich um etwa 600 Kilogramm CO₂ pro Tonne Tissuepapier, insbesondere wenn Grünstrom eingesetzt wird. Traditionell erfordert die Herstellung von Papierhandtüchern große Mengen Wasser und fossile Brennstoffe, was hohe Emissionen zur Folge hat. Im Rahmen des SAHARA-Projekts sollen diese wasserintensiven Prozesse durch nahezu trockene Verfahren ersetzt werden, wodurch der Energieaufwand für die thermische Trocknung weitgehend entfällt. Durch den Einsatz elektrischer Trocknung und den Bezug von erneuerbaren Energien wird eine CO₂-freie Produktion angestrebt. Die Pilotanlage ermöglicht die Erprobung neuer Prozessschritte und chemischer Hilfsmittel, um die gewohnte Produktqualität sicherzustellen.

Nach erfolgreichem Projektverlauf wird angestrebt, die entwickelten Verfahren auch auf andere Papiersorten zu übertragen und somit zur Dekarbonisierung der gesamten Papierindustrie beizutragen.

5.2.3 Herstellung von chemischen Erzeugnissen

In Deutschland ist die chemische Industrie ein zentraler Bestandteil der Wirtschaft und trägt erheblich zur Energieverwendung bei. Diese Branche ist für etwa 20% des gesamten industriellen Energieverbrauchs verantwortlich, was rund 9% des nationalen Gesamtenergieverbrauchs entspricht. Um den Herausforderungen der Energiewende und den Klimazielen gerecht zu werden, sind zahlreiche Forschungsaktivitäten zur Verbesserung der Energieeffizienz in der chemischen Produktion angestrebt oder werden bereits durchgeführt.

CODA – Entwicklung eines umweltfreundlichen Verfahrens zur Herstellung von Soda

Das Forschungsprojekt CODA (Carbon-negative sODA ash plant) zielt darauf ab, ein umweltfreundliches und nachhaltiges Verfahren zur Herstellung von kalzinierter Soda (Natriumcarbonat) zu entwickeln. Im Rahmen des Projekts wird ein neuartiger Prozess erprobt, der Steinsalzsole, erneuerbare Energie und Luft-CO₂ nutzt, um kalzinierte Soda auf eine Weise herzustellen, die signifikant weniger CO₂-Emissionen verursacht als das traditionelle Ammoniak-Soda-Verfahren.

Ein zentrales Ziel des CODA-Projekts ist die Elektrolyse von Steinsalzsole, um Natronlauge zu gewinnen, wobei gleichzeitig Wasserstoff und Chlor als wertvolle Nebenprodukte anfallen. Der innovative CODA-Prozess zielt darauf ab, Kohlendioxid-Emissionen zu vermeiden (Carbon Direct Avoidance, CDA) und zusätzlich CO₂ aus der Umgebungsluft zu absorbieren (Carbon Capture and Utilization, CCU). Dadurch können voraussichtlich etwa 900 kg CO₂ pro produzierter Tonne Soda eingespart werden, wobei rund 500 kg durch CDA und 400 kg durch CCU vermieden oder aufgenommen werden.

Eine besondere Herausforderung stellt die Abhängigkeit des Verfahrens von Wetterbedingungen dar, da die Gewinnung erneuerbarer Energien aus Sonne und Wind sowie die CO₂-Absorption von klimatischen Faktoren wie Luftfeuchtigkeit und Temperatur beeinflusst wird. Daher wird das Verfahren so gestaltet, dass es über ein breites Prozessfenster an unterschiedliche klimatische Bedingungen angepasst werden kann. Im Verlauf des Projekts werden zunächst die physikalisch-chemischen Grundlagen erarbeitet und experimentelle Arbeiten im Labor- und Technikumsmaßstab durchgeführt. Anschließend wird eine Versuchsanlage (TLR5) im Sodawerk der CIECH Soda

Deutschland in Staßfurt errichtet, um das Verfahren unter praxisrelevanten Bedingungen zu testen. Die Nachhaltigkeit des CODA-Prozesses wird anhand der gesammelten Versuchs- und Modelldaten bewertet, mit dem Ziel, bei positivem Verlauf die Ergebnisse für die Planung einer industriellen Produktionsanlage zu nutzen.

Fortschritte in der Transformation
energieintensiver Industrien

5.2.4 Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden

5.2.4.1 Herstellung von Glas und Glaswaren

Eine Auswahl an Projekten zur Emissionsminderung im Bereich der Glasindustrie wird im Folgenden dargestellt. Diese zielen insbesondere auf die Substitution der bisher eingesetzten CO₂-emissionsreichen Energieträger ab, als auch auf die Nutzung des entstehenden CO₂ in den Schmelzprozessen.

MiGWa – Innovative Technologien zur Vermeidung von CO₂ in der Glasproduktion

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.01.2021 bis zum 31.12.2024. An dem Projekt sind mehrere Partner (SCHOTT AG, das Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. sowie die TU Bergakademie Freiberg) beteiligt. Das Ziel des Projektes besteht in der Entwicklung von zwei innovativen Technologien zur Reduzierung von CO₂-Emissionen in der Glasherstellung. Zum einen wird die Nutzung von Mikrowellenenergie angestrebt, um die Glasrohstoffe effizient und klimaneutral aufzuschmelzen. Zum anderen sollen Wasserstoffbrenner zur Beheizung der Schmelzwanne und der Heißnachverarbeitung eingesetzt werden. Zudem ist es das Ziel, fossile Brennstoffe wie Erdgas durch klimaneutralen Wasserstoff oder regenerativ erzeugte elektrische Energie zu ersetzen, um signifikante Mengen an Treibhausgasemissionen zu vermeiden. Die Effizienz und Umweltfreundlichkeit dieser Technologien sollen bestätigt und ihre industrielle Anwendbarkeit demonstriert werden.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes umfassen die Erforschung der Grundlagen zur Mikrowellenabsorption in Glas und Feuerfestmaterialien sowie die Entwicklung schadstoffarmer, effizienter H₂-Oxy-Brenner für die Glasschmelze. Darüber hinaus wurden Technikumsversuche durchgeführt, um die Technologien unter realen Produktionsbedingungen zu testen, und die Auswirkungen auf Schmelzprozesse, Glaseigenschaften und Emissionen untersucht.

Der Ausblick zeigt, dass die erfolgreiche Implementierung dieser Technologien zu einem Technologiewandel in der Glasindustrie führen könnte und Bestandsanlagen langfristig dekarbonisieren kann.

Glas-CO₂: Nutzung des aus dem Glasschmelzprozess freiwerdenden Kohlendioxids zur Kreislaufführung und Herstellung synthetischer Brennstoffe

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.04.2021 bis zum 31.03.2024. An dem Projekt sind mehrere Partner beteiligt, darunter das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) sowie die Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG) e.V. Das Ziel des Projektes ist die Reduktion der CO₂-Emissionen in der Glasherstellung durch die Kreislaufführung von CO₂ und dessen Umwandlung in synthetische Brennstoffe. Dabei wird CO₂ aus den Abgasen der Glasschmelze abgeschieden und mithilfe von grünem Wasserstoff in Brennstoffe umgewandelt. Ein zentraler Aspekt ist die Schaffung eines CO₂-neutralen Kreislaufprozesses, der sowohl Emissionen aus der Verbrennung als auch aus karbonatischen Rohstoffen minimiert.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes umfassen die Analyse der technischen und ökonomischen Machbarkeit von CO₂-Kreisläufen sowie den Vergleich und die Bewertung bestehender Technologien hinsichtlich ihrer Effizienz und Kosten. Zudem wurde ein Modell entwickelt, das die Interaktion der Prozessschritte sowie die wirtschaftlichen Aspekte berücksichtigt, um eine wirtschaftliche und CO₂-neutrale Glasproduktion zu ermöglichen.

Im Ausblick wird angestrebt, dass die Ergebnisse des Projekts nicht nur der Glasindustrie zugutekommen, sondern auch auf andere energieintensive Thermoprozessanlagen anwendbar sind. Langfristig soll die CO₂-neutrale Glasproduktion unabhängig vom fossilen Brennstoffmarkt werden, indem bekannte Technologien weiterentwickelt und genutzt werden.

5.2.4.2 Herstellung von keramischen Baumaterialien

Spaltgas: Grünes Spaltgas als Brenngas zur Ziegelherstellung

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.07.2021 bis zum 30.06.2024. An dem Projekt sind mehrere Partner beteiligt, darunter das Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM, das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, die IBS Industrie-Brenner-Systeme GmbH, die JUWÖ POROTON-WERKE Ernst Jungk Sohn GmbH sowie die whs Gesellschaft für Energietechnik GmbH. Das Ziel des Projektes besteht in der Entwicklung eines CO₂-freien Brennprozesses für die Ziegelherstellung durch den Einsatz von grünem Ammoniak als Brennstoff. -Hierbei wird Spaltgas, ein Gemisch aus N₂ und H₂, durch die Spaltung von Ammoniak hergestellt, um Erdgas zu ersetzen. Zudem wird die Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Praktikabilität des Verfahrens in Versuchen bis hin zu TRL 6 (Technologie-Reifegrad 6) untersucht.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes zeigen, dass Spaltgas erfolgreich aus Ammoniak erzeugt und auf seine Verbrennungseigenschaften getestet wurde. Ein Demonstrator-Ziegelstein wurde gebrannt, und die Ergebnisse liefern die Basis für die Planung eines Pilotreaktors. Positive Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Verfahren zur Decarbonisierung der Ziegelherstellung beitragen kann und auf andere Industrien, wie die Glasindustrie, übertragbar ist.

Im Ausblick wird festgestellt, dass die Projektergebnisse eine Grundlage für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit des Verfahrens bieten werden. Zudem könnte das Verfahren auf andere Anwendungen ausgeweitet werden, beispielsweise zur CO₂-freien Beheizung von Wohnhäusern.

PaKerNat (Papiertechnische Keramikkomponenten für nachhaltige Thermo-prozesse)

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.02.2023 bis zum 31.01.2026. An dem Projekt sind mehrere Partner beteiligt, darunter das Fraunhofer ISC, Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL in Bayreuth, die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), die OecoPac Grunert Verpackungen GmbH, die Papiertechnische Stiftung (PTS) sowie die Paul Rauschert GmbH & Co. KG.

Das Ziel des Projektes ist die Verbesserung der CO₂-Bilanz von Hochtemperaturprozessen durch neuartige, papierabgeleitete keramische Leichtbaustrukturen. Darüber hinaus soll die Entwicklung von Strahlungsschirmen und Brennhilfsmitteln erfolgen, die durch bessere Isolierung und geringeres Gewicht signifikante Energieeinsparungen in thermischen Prozessen ermöglichen.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes umfassen die Entwicklung neuartiger Werkstoffe sowie topologisch und mikrostrukturell optimierter Geometrien für Strahlungsschirme und Brennhilfsmittel. Zudem wird eine Verbesserung der thermischen Prozesse in Industrieöfen erzielt, die signifikante Energieeinsparungen durch den Einsatz der neuen Materialien ermöglicht. Erste Langzeittests in Industrieöfen wurden durchgeführt, um die Energieeinsparungen zu ermitteln.

Im Ausblick wird festgestellt, dass erfolgreiche Ergebnisse den Einsatz dieser Technologien in anderen energieintensiven Industrien fördern könnten, insbesondere zur Verbesserung der Energieeffizienz in Hochtemperaturprozessen.

H₂O – Entwicklung einer neuen wasserstoffbasierten Ofentechnologie

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.01.2023 bis zum 31.12.2025. An dem Projekt sind mehrere Partner beteiligt, darunter das Forschungsinstitut für Glas – Keramik (FGK), das IZF Institut für Ziegelforschung Essen e.V., die Keramischer OFENBAU GmbH, die KERATEK GmbH, die KTS Kärlicher Ton- und Schamottewerke Mannheim & Co. KG, die Kueppers Solutions GmbH sowie die Transferstelle Bingen (TSB) des ITB – Institut für Innovation, Transfer und Beratung gemeinnützige GmbH.

Das Ziel des Projektes besteht in der Entwicklung einer innovativen Tunnelofentechnologie, die auf grünem Wasserstoff basiert, als Alternative zu fossilen Brennstoffen für die energieintensive Keramikindustrie. Zudem wird die technische Machbarkeit und wirtschaftliche Umsetzung von wasserstoffbetriebenen Brennprozessen zur Produktion von keramischen Schamottesteinen erforscht. Ein weiterer Aspekt ist die Sicherstellung der langfristigen Zukunftsfähigkeit der Keramikindustrie in Deutschland durch den Umstieg auf Wasserstoff.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes umfassen die Entwicklung eines lokalen Energiekonzepts zur Versorgung eines Produktionsbetriebs mit grünem Wasserstoff sowie die Entwicklung einer wasserstoffbasierten Tunnelofentechnologie unter Berücksichtigung von Emissionen und der Integration von Brennwerttechnik. Zudem wird die Untersuchung der Materialeigenschaften von keramischen Schamotten unter den neuen Prozessbedingungen, insbesondere in einer wasserdampfhaltigen Atmosphäre, durchgeführt, um angepasste Schamotterezepturen für den Wasserstoffbrand zu entwickeln.

Im Ausblick wird festgestellt, dass die Projektergebnisse die Umsetzbarkeit und den Investitionsbedarf für den Einsatz von Wasserstoff in der Keramikindustrie aufzeigen sollen und den Übergang zu emissionsfreien Brennprozessen in der Industrie vorantreiben könnten.

5.2.4.3 Herstellung von Erzeugnissen aus Beton, Zement und Gips

K4 – Kohlendioxidreduktion durch kalkarme Klinker und Karbonatisierungshärtung bei der Betonherstellung

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.08.2021 bis zum 31.07.2025. An dem Projekt sind mehrere Partner beteiligt, darunter das cbm Centrum Baustoffe und Materialprüfung der Technischen Universität München, das GeoZentrum Nordbayern, Lehrstuhl für Mineralogie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, die Heidelberg Materials AG, die IBU-tec advanced materials AG, die Kraft Curing Systems GmbH sowie die Lithonplus GmbH & Co. KG.

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung von kalkarmen Klinkern zur Reduktion von CO₂-Emissionen in der Zement- und Betonherstellung. Dabei wird Recycled Concrete Paste (RCP) als Kalziumquelle genutzt, um den Einsatz von Kalkstein zu reduzieren und CO₂-neutrale Betonprodukte zu erzeugen. Ein weiterer Aspekt ist die dauerhafte Einbindung von CO₂ in Beton durch Karbonatisierungshärtung, was zur CO₂-neutralen Zementproduktion beiträgt.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes beinhalten die Entwicklung eines Prozesses zur Herstellung von kalkarmen, belitischen Klinkern, die weniger Kalzium benötigen und somit CO₂-Emissionen um bis zu 530 kg CO₂ pro Tonne Klinker reduzieren. Zudem ermöglicht die Verwendung von karbonatisierungsgehärteten Betonsteinprodukten eine jährliche Reduktion von etwa 1,7 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen in Deutschland. Das K4-Projekt zeigt, dass diese Technologien nicht nur eine nachhaltige Zement- und Betonproduktion ermöglichen, sondern auch die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Zementindustrie trotz strengerer EU-Emissionszertifikate erhalten können.

Im Ausblick wird festgestellt, dass der Erfolg des K4-Projekts einen bedeutenden Beitrag zur CO₂-neutralen Zementindustrie leisten könnte und die Technologie in anderen Bereichen der Baustoffindustrie gefördert werden kann.

RESycling – Klimafreundliche Lösungen zur Aufbereitung und Verwertung von Roheisenentschwefelungsschlacke (RES)

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.01.2022 bis zum 31.12.2025. An dem Projekt sind mehrere Partner beteiligt, darunter das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP, die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), das Südbayerische Portland-Zementwerk (RZ) sowie thyssenkrupp MillServices & Systems (tkMSS).

Das Ziel des Projektes besteht in der Entwicklung eines innovativen Aufbereitungsverfahrens zur vollständigen Verwertung von Roheisenentschwefelungsschlacke (RES) in der Stahl-, Zement- und Düngemittelindustrie. Zudem soll die Reduktion von Treibhausgasemissionen durch die ressourcenschonende Nutzung von RES in branchenübergreifenden Anwendungen erfolgen.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes umfassen die Entwicklung eines mehrstufigen Prozesses zur Rückgewinnung von metallischem Eisen und zur Verwertung des mineralischen Materials für Düngemittel, Zementrohstoffe und Calciumsulfate. Außerdem wurde eine Technikumsanlage zur Weiterentwicklung des Verfahrens und der industriellen Umsetzung konzipiert und gebaut. Begleitende Lebenszyklusanalysen wurden durchgeführt, um das Einsparpotenzial von Energie und Treibhausgasen zu ermitteln.

Im Ausblick wird festgestellt, dass das Projekt hochwertige Verwendungsstrategien für bisher deponierte Schlacken aufzeigen könnte und zur Einführung innovativer Recyclingprozesse in der Industrie beitragen kann. Die branchenübergreifende Zusammenarbeit der Projektpartner fördert zudem die nachhaltige Nutzung von Rohstoffen und die Entwicklung von ressourcenschonenden Produkten.

PHöMixBeton – Prozess zur Herstellung alkalisch aktivierter Binder durch das Schmelzen mineralischer Reststoffe für ein ökologisch gesteuertes Mixdesign von Beton

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.02.2022 bis zum 31.01.2026. An dem Projekt sind mehrere Partner beteiligt, darunter die EWW – Elektrowerke Weisweiler, die

REMEX Mineralstoff GmbH, die RWTH Aachen (Institut für metallurgische Prozesstechnik), die TU Berlin (Fachgebiet Baustoffe und Bauchemie) sowie ASCEM/BTE (Fertigbetonteilhersteller).

Fortschritte in der Transformation
energieintensiver Industrien

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines ökologischen Bindemittels auf der Grundlage von Sekundärrohstoffen für Beton, um eine CO₂-Reduktion von bis zu 80% gegenüber traditionellem Beton mit Portlandzement zu erreichen. Zudem soll ein zirkulärer Ansatz zur Verwendung von bislang ungenutzten Reststoffen, wie metallurgischen Schlacken und Müllverbrennungsaschen, als Bindemittel geschaffen werden.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes umfassen die Charakterisierung von Schlacken und Müllverbrennungsaschen sowie die Optimierung der Schmelz- und Granulierprozesse zur Herstellung alkalisch aktivierter Binder. Darüber hinaus wurden Bindemittelrezepturen und Aktivator entwickelt und evaluiert. Ein Demonstrator wurde hergestellt, um die neue Betonmischung zu validieren und die Bindemittel- sowie Betonperformance zu untersuchen.

Im Ausblick wird festgestellt, dass der Erfolg des Projekts dazu beitragen könnte, die CO₂-Bilanz der Beton- und Zementindustrie signifikant zu verbessern und ungenutzte Reststoffe in zirkulären Wertschöpfungsketten einzubinden.

5.2.5 NE-Metallerzeugung und -bearbeitung/ Herstellung von NE-Metallerzeugnissen

Werkstoffliche Grundlagenuntersuchungen für den Einsatz von regenerativem Wasserstoff bei der Herstellung von Sekundäraluminium (H₂-Alu)

Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.10.2022 bis zum 30.06.2024. An dem Projekt sind mehrere Partner beteiligt, darunter das Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., die HMT Höfer Metall Technik GmbH & Co KG sowie die Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung.

Das Ziel des Projektes besteht in der materialtechnischen Untersuchung der Auswirkungen einer Wasserstoff-Zumischung zum Erdgas auf die Aluminiumqualität. Zudem soll ein CFD-Simulationsmodul entwickelt werden, das die Auswirkungen der Wasserstoffzumischung im Vorfeld theoretisch vorhersagen kann. Weitere Ziele sind die Untersuchung der Auswirkungen von mit sauerstoffangereicherter Verbrennungsluft auf die Aluminiumqualität und die Erarbeitung von Kompensationsansätzen, um negative Effekte der Wasserstoffnutzung auf die Aluminiumproduktion zu mindern. Auch die Darstellung des CO₂-Reduktionspotenzials für die gesamte Aluminiumindustrie unter verschiedenen Szenarien der Wasserstoffbereitstellung ist ein Bestandteil des Projekts.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes umfassen erste Laborversuche und Simulationsmodelle, die detaillierte Einblicke in die Auswirkungen der Wasserstoff- und Sauerstoffanwendung auf die Aluminiumproduktion liefern sollen. Das entwickelte Simulationswerkzeug wird theoretische Vorhersagen zur Aluminiumproduktion ermöglichen, bevor Wasserstoff in realen Prozessen angewendet wird. Zudem sollen Lösungsansätze für mögliche Beeinträchtigungen der Aluminiumqualität erarbeitet und in zukünftigen Produktionsprozessen umgesetzt werden.

Im Ausblick wird festgestellt, dass das Projekt die Sekundäraluminiumindustrie dabei unterstützen könnte, CO₂-neutrale Technologien zu entwickeln, indem grüner Wasserstoff anstelle von Erdgas eingesetzt wird, und somit einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der Emissionen leisten kann.

5.3 Fazit

Die Transformation energieintensiver Industrien erfordert kontinuierliche Innovationsanstrengungen, regulatorische Unterstützung und finanzielle Anreize. Die bisherigen Fortschritte zeigen, dass Klimaneutralität durch Synergien zwischen Technologie, Politik und Wirtschaft erreichbar ist. Zum Beispiel könnten durch die breitere Einführung von Hochtemperaturwärmepumpen jährliche CO₂-Emissionen in Deutschland um bis zu 50 Millionen Tonnen gesenkt werden (Quelle: KEI Studie Flexipro, 2024). Handlungsempfehlungen für die kommenden Jahre umfassen die Förderung von Sektorenkopplung, den Ausbau erneuerbarer Energien und die Entwicklung von Leuchtturmprojekten. Die Transformation energieintensiver Industrien erfordert kontinuierliche Innovationsanstrengungen, regulatorische Unterstützung und finanzielle Anreize. Die bisherigen Fortschritte zeigen, dass Klimaneutralität durch Synergien zwischen Technologie, Politik und Wirtschaft erreichbar ist. Handlungsempfehlungen für die kommenden Jahre umfassen die Förderung von Sektorenkopplung, den Ausbau erneuerbarer Energien und die Entwicklung von Leuchtturmprojekten.

6 Analyse der Energieversorgung und Bedarfsdeckung in Bernburg

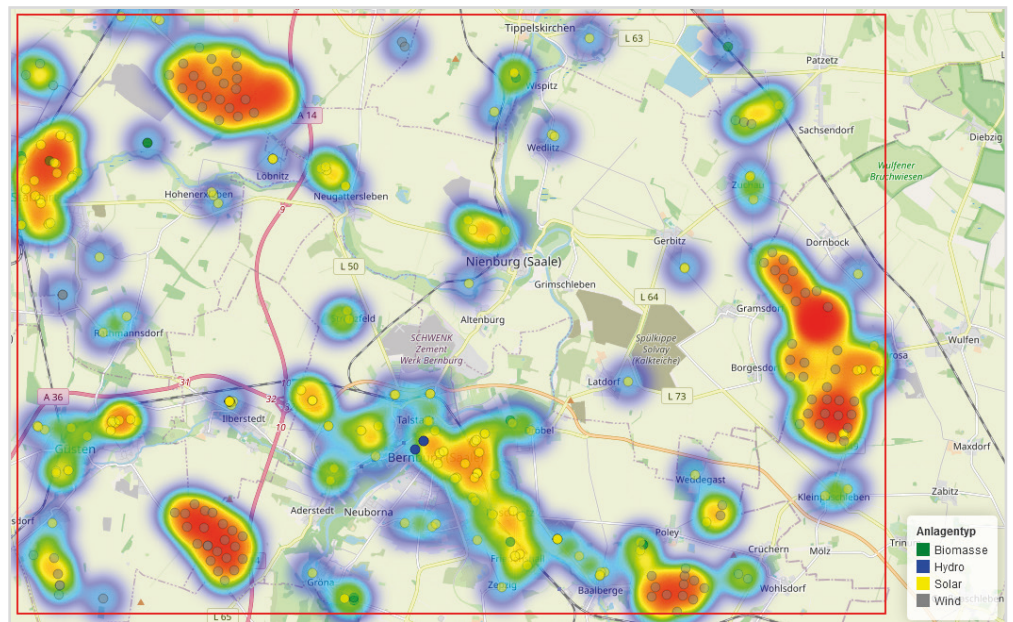
Im Rahmen der Studie wird das Gebiet Bernburg im Salzlandkreis aufgrund seiner industriellen Struktur und der Präsenz energieintensiver Unternehmen ausgewählt, um eine vertiefte Analyse zur Bedarfsdeckung durch erneuerbare Energien (EE) durchzuführen. Hierzu wurden Datenerhebungen bei drei ansässigen energieintensiven Unternehmen durchgeführt, die sowohl Lastprofile als auch Energieverbrauchsdaten für Strom und Gas des Jahres 2023 bereitstellten.

Ein Abgleich dieser Verbrauchsdaten mit den Erzeugungsdaten erneuerbarer Energien für das Jahr 2023 erfolgte anhand öffentlich zugänglicher Quellen. Hierbei wurden die regionalen Gegebenheiten und installierten EE-Kapazitäten in Bernburg sowie im näheren Umkreis berücksichtigt. Die Analyse erlaubt eine erste Einschätzung über die Diskrepanz zwischen EE-Erzeugung und dem Energiebedarf der Unternehmen und bietet eine Grundlage für mögliche Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Bedarfsdeckung.

6.1 Bestand und Potenzial der erneuerbaren Energien im ausgewählten Bereich um Bernburg

Zur Erstellung eines Erzeugungsprofils wurde auf Daten von Energy-Charts.info zurückgegriffen. Die öffentlich zugänglichen Nettostromerzeugungsdaten Deutschlands aus dem Jahr 2023 wurden normiert und – soweit möglich – anhand der monatlichen installierten Leistung auf Bernburg übertragen. Für Laufwasserkraftwerke wurden mangels detaillierter Daten Jahreswerte verwendet und als konstant über das Jahr angenommen. Aufgrund der zentralen Lage Bernburgs in Deutschland ist diese Annahme als valide einzustufen, wenngleich die Nutzung spezifischer Daten der lokalen Netzbetreiber zu bevorzugen gewesen wäre.

Abb. 26:
Visualisierung der räumlichen Verteilung verschiedener Arten erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen im Bereich Bernburg mittels Heatmap.
Quelle: Fraunhofer IFF



Bernburg weist eine heterogene Struktur an erneuerbaren Energiequellen auf. Innerhalb der Stadtgrenzen dominieren Photovoltaikanlagen (PV), ergänzt durch einige Laufwasserkraftwerke. In einem Umkreis von gewählten 10 km befinden sich drei

Windparks, die den größten Anteil der Nettonennleistung ausmachen. Zusätzlich existieren Biomasseanlagen, die einen weiteren Beitrag zur EE-Erzeugung leisten.

Abbildung 26 zeigt eine Heatmap des Gebiets um Bernburg (Saale), die die räumliche Verteilung verschiedener Arten erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen visualisiert. Die Farbgebung verdeutlicht die Dichte der Anlagen in unterschiedlichen Regionen, wobei rot hohe Konzentrationen und blau geringe Konzentrationen anzeigt.

Besonders auffällig sind zum einen die hohen Dichten an Windenergieanlagen (grau markiert) im östlichen und westlichen Bereich des Gebiets, als auch die Konzentrationen von Solarenergieanlagen (gelb markiert) innerhalb der Stadt Bernburg sowie in deren unmittelbarem Umfeld. Biomasseanlagen (grün markiert), die eher im südlichen Bereich zu finden sind, liegen nur vereinzelt vor.

Diese Karte bietet eine visuelle Grundlage für die Analyse der verfügbaren erneuerbaren Energiequellen und deren potenzielle Integration in die Energiebedarfsdeckung der ansässigen Unternehmen.

Das Gebiet Bernburg zeichnet sich durch ein diversifiziertes Portfolio erneuerbarer Energien aus, das insbesondere durch Solar- und Windenergie geprägt ist. Mit insgesamt 162 in Betrieb befindlichen Solarenergieanlagen und einer Nettonennleistung von 105,74 MW sowie 109 aktiven Windkraftanlagen mit 217,15 MW stellt die Region eine starke Basis für die nachhaltige Energieversorgung. Ergänzend tragen 12 Biomasseanlagen (5,37 MW) und acht Wasserkraftwerke (2,50 MW) zur Erzeugung bei (siehe Tabelle 7).

Die Gesamtnettonennleistung aller in Betrieb befindlichen Anlagen beträgt 330,76 MW, während die Bruttoleistung bei 342,34 MW liegt. Solar- und Windenergie haben den größten Anteil an der Leistung und bieten aufgrund geplanter Anlagen weiteres Wachstumspotenzial. Biomasse und Hydroenergie tragen zur Diversität des Energiemixes bei, bleiben jedoch in ihrer Leistung begrenzt.

Trotz der hohen Kapazitäten besteht weiterhin Optimierungsbedarf. Maßnahmen wie der Ausbau erneuerbarer Energien, die Flexibilisierung industrieller Lasten, die Integration von Speichertechnologien und die effizientere Nutzung bestehender Infrastrukturen könnten die regionale Energieversorgung weiter verbessern.

Das Gebiet Bernburg verfügt mit einer Gesamtnettonennleistung von über 330 MW über eine solide Grundlage für die Energiewende. Durch gezielte Investitionen kann die Region nicht nur ihren Eigenbedarf decken, sondern auch einen Beitrag zur Versorgung angrenzender Gebiete leisten. Dieses Potenzial macht Bernburg zu einem strategisch wichtigen Standort für erneuerbare Energien in Deutschland.

	In Betrieb	In Planung	Vorübergehend stillgelegt	Endgültig stillgelegt	Nettonennleistung [MW]	Bruttoleistung [MW]
Solar	162	3	0	0	105,74	116,82
Wind	109	14	0	11	217,15	217,15
Biomasse	12	0	1	1	5,37	5,44
Hydro	8	0	0	0	2,50	2,93

Tab. 7:
Überblick der aktuellen Betriebszustände, sowie Leistungen der erneuerbaren Energieanlagen in Bernburg und deren Umgebung.
Quelle: <https://www.sachsen-anhalt-energie.de/de/marktstammdatenregister.html>

Abb. 27:
Stromerzeugungsleistung aus
erneuerbaren Energien im
Gebiet Bernburg für das Jahr
2023.
Quelle: Fraunhofer IFF

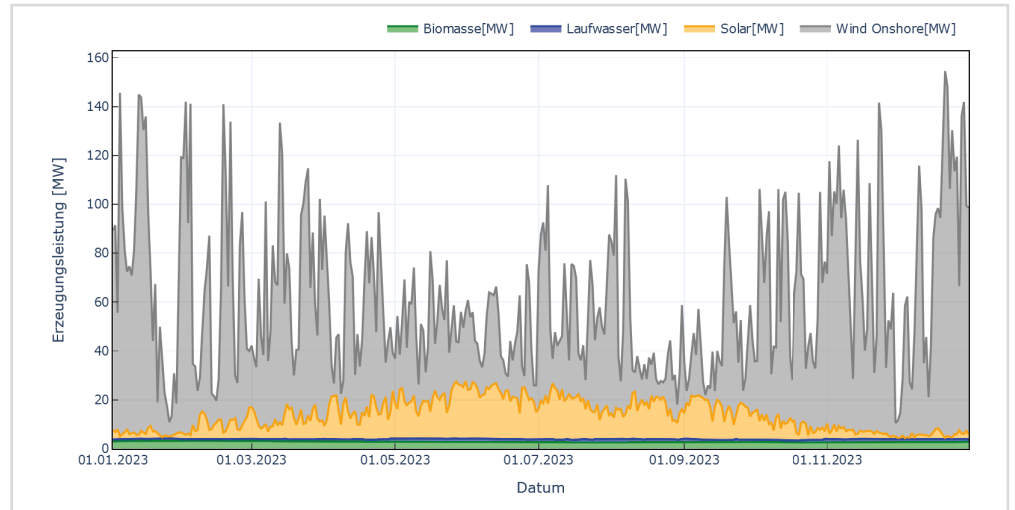


Abbildung 29 zeigt die tägliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Gebiet Bernburg für das Jahr 2023, aufgeschlüsselt nach Windenergie, Solarenergie, Biomasse und Laufwasserkraft. Sie verdeutlicht die unterschiedlichen Beitragsmuster der Technologien sowie deren saisonale und wetterbedingte Schwankungen.

Die Windenergie stellt den größten Anteil an der Energieerzeugung und zeigt insbesondere in den Winter- und Frühjahrsmonaten hohe Spitzenwerte, die teilweise über 140 MW pro Tag erreichen. Diese Technologie weist jedoch auch die stärksten Schwankungen auf, was ihre Abhängigkeit von den Windverhältnissen unterstreicht. Die Solarenergie ergänzt die Windkraft, indem sie vor allem in den Sommermonaten (Mai bis August) hohe Werte liefert. Während dieser Zeit ist ihre Erzeugung am höchsten, wodurch sie die geringeren Beiträge der Windenergie, unter Berücksichtigung von Tageszeit, örtlichen meteorologischen Randbedingungen und Größenordnung der installierten Anlagen, ausgleicht.

Die Biomasse trägt mit einer konstanten Leistung von etwa 5 MW pro Tag zuverlässig zur Gesamtenergieversorgung bei und stellt eine stabile Basislast dar. Ähnlich verhält es sich mit der Laufwasserkraft, die jedoch mit knapp 3 MW pro Tag einen noch geringeren, aber ebenfalls konstanten Beitrag leistet. Der konstante energetische Beitrag geht jedoch mit einem deutlich geringeren Flächenertrag im Vergleich zu PV- und insbesondere Windenergieanlagen einher, was bei der Bewertung von Biomasseanlagen zu berücksichtigen ist, siehe Tabelle 8.

Tab. 8:
Vergleich von Windkraftanlagen,
Photovoltaik-Anlagen
und Silomais hinsichtlich
Energieertrag, Flächenbedarf,
CO₂-Bilanz und Energierück-
laufzeit.
Quelle:
Bayrisches Landesamt, 2021
(ausführliche Quelle siehe
Literaturverzeichnis)

	Windpark	PV-Park	Silomais
Elektroenergie pro ha im Jahr	1.000 MWh bis 1.500 MWh	400 MWh bis 500 MWh	15 MWh bis 25 MWh
Wärmeenergie pro ha im Jahr	-	-	60 MWh bis 100 MWh
Flächenbedarf	1% (Fundamente und Zuwegung)	100% (2%* – Agrar-PV lässt alternative Nutzung zu)	100%
CO ₂ -Bilanz (CO ₂ /Energie)	11g/kWh (ca. 3 bis 5 Monaten bis CO ₂ -Ausstoß Herstellung amortisiert)	50g/kWh (ca. 1 bis 1,5 Jahren CO ₂ -Ausstoß zur Herstellung amortisiert)	400 bis 500g/kWh (Treibhausgas-Bilanz kaum besser als die von Erdgas)



Schadstoffe	CO ₂ -Äquivalent in CO ₂ -Bilanz enthalten	CO ₂ -Äquivalent in CO ₂ -Bilanz enthalten (Si-PV unproblematisch, Dünnschichttechnologien enthalten z. T. Schadstoffe)	Emissionen aus z. B. Düngemittel (Lachgas (N ₂ O)), Ernte, Transport und Verarbeitung der Energiepflanzen (Treibstoff, Strom, Wärme etc.)
Energy-Payback-Time, EPBT (Amortisation Eingesetzte Energie zum Energieertrag)	2,5 bis 3,5 Monate (Abhängig von Technologie, Herstellungsland, Anlagengröße und Typ, Windeignung)	2,0 bis 2,1 Jahre (Abhängig von Technologie, Herstellungsland, Anlagengröße und Typ)	33% bis 40% des eingespeisten Biogas-Stromanteils basieren auf fossilen Energieträgern (Diesel, Dünger, Strom, Wärme etc.)*[CAU2006]

.....
Analyse der Energieversorgung
und Bedarfsdeckung in Bernburg
.....

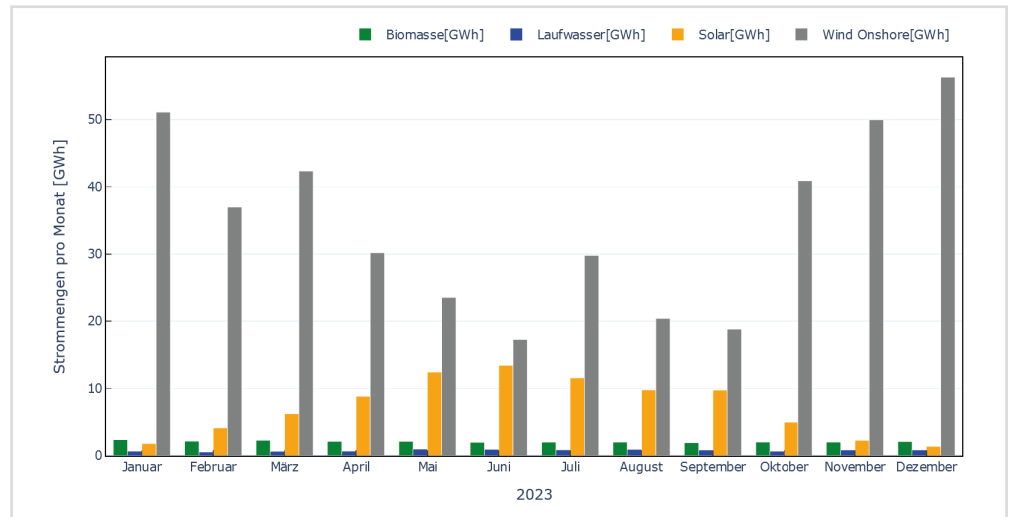
Die Erzeugungsstruktur bietet eine solide Grundlage, um den regionalen Energiebedarf zu decken, erfordert jedoch Maßnahmen zur Flexibilisierung, wie den Ausbau von Energiespeichern, eine bessere Laststeuerung oder die Integration von Sektorenkopplung, um die Schwankungen der Wind- und Solarenergie abzufedern und eine sichere Versorgung zu gewährleisten.

Zusätzlich zeigt Abbildung 28 die monatliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EE) im Gebiet Bernburg für das Jahr 2023. Sie verdeutlicht saisonale Schwankungen sowie die unterschiedliche Rolle der einzelnen Technologien im Energiemix.

Die Windenergie ist mit Abstand die dominierende erneuerbare Energiequelle und erreicht ihre höchsten Erzeugungswerte in den Wintermonaten Januar und Dezember mit jeweils über 50 GWh. Im Sommer sinkt die Erzeugung merklich, bleibt jedoch weiterhin bedeutend. Im Gegensatz dazu zeigt die Solarenergie ein gegenläufiges Muster: Sie erreicht ihre höchsten Beiträge in den Sommermonaten Mai bis August, mit Spitzen von etwa 13 GWh im Juni, während sie im Winter stark abfällt und weniger als 3 GWh pro Monat erzeugt. Biomasse trägt mit etwa 1,5 GWh pro Monat konstant zur Stromerzeugung bei und stellt eine verlässliche Grundlastquelle dar. Auch die Laufwasserkraft liefert einen stabilen Beitrag von mindestens 0,5 GWh pro Monat, unabhängig von saisonalen Schwankungen. Insgesamt sind in den Sommermonaten etwas geringere Energiemengen verfügbar als im Winter.

Um den Energiebedarf zu decken, ist jedoch nicht allein die Leistung entscheidend, sondern auch der jährliche Ertrag pro Watt installierter Leistung. Diese Ertragszahl, ausgedrückt in Volllaststunden (VLH), variiert je nach Energiequelle: Photovoltaikanlagen erreichen heute rund 1.000 VLH, Windkraftanlagen an Land je nach Standort 1.700 bis 2.150 VLH und Wind offshore sogar bis zu 3.100 VLH. Biomasse zeichnet sich mit 6.000 VLH und Wasserkraft mit 4.600 VLH durch besonders hohe Werte aus, die ihre Bedeutung für die Grundlastversorgung unterstreichen (Zahlen und Fakten zur Stromversorgung in Deutschland 2016, 2016).

Abb. 28:
Monatliche Stromerzeugung
aus erneuerbaren Energien
(EE) im Gebiet Bernburg für
das Jahr 2023.
Quelle: Fraunhofer IFF

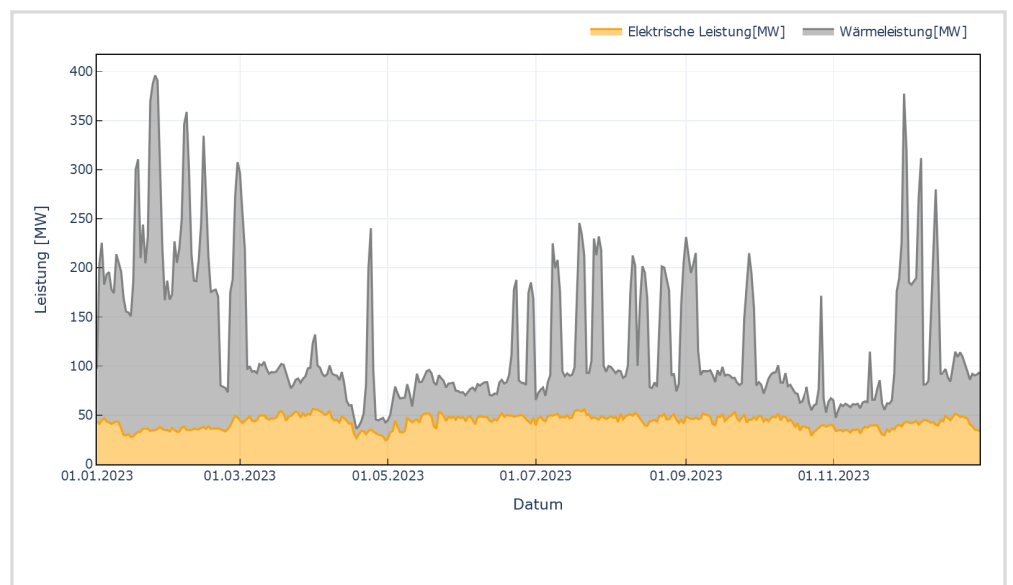


6.2 Betrachtung energieintensiver Industrien im ausgewählten Bereich um Bernburg

In Abbildung 29 sind die aggregierten Lastgänge dreier energieintensiver Unternehmen im Gebiet Bernburg für das Jahr 2023, basierend auf viertelstündlichen elektrischen Leistungswerten und täglichen Gasbedarfswerten zu sehen. Die Lastgänge wurden durch die Aufsummierung der Daten aller Unternehmen und anschließende Mittelung über einen Tag erstellt.

Die elektrische Leistung bleibt über das Jahr hinweg relativ konstant und weist nur geringe saisonale Schwankungen auf. Die durchschnittliche elektrische Grundlast liegt bei etwa 50 MW pro Tag, mit leicht erhöhten Werten in den Winter- und Herbstmonaten. Dies deutet auf eine gleichmäßige Produktionsauslastung der Unternehmen hin, unabhängig von witterungsbedingten Einflüssen.

Abb. 29:
Aggregierte Lastgänge für
Strom und Erdgas dreier
energieintensiver Unterneh-
men im Gebiet Bernburg für
das Jahr 2023.
Quelle: Fraunhofer IFF



Der Wärmebedarf, dargestellt durch den Gasverbrauch, zeigt hingegen deutliche saisonale Schwankungen. Besonders in den Wintermonaten (Januar bis März und Oktober bis Dezember) steigen die Spitzenlasten auf über 300 MW pro Tag, was auf den erhöhten Heiz- und Prozesswärmebedarf hinweist. In den Sommermonaten (Juni bis August) sinkt der Wärmebedarf merklich und bleibt auf einem niedrigeren Niveau, was typisch für die saisonale Abhängigkeit von Wärmebedarfen ist. Die ungewöhnlich hohen Peaks der Wärmeleistung zwischen Juli und September, trotz der typischerweise niedrigeren Sommerbedarfe, lassen sich durch prozessspezifische Anforderungen der Unternehmen erklären. Mögliche Ursachen sind produktionsintensive Phasen mit erhöhtem Prozesswärmebedarf, Instandhaltungs- oder Anfahrprozesse, kühle Witterungsphasen mit zusätzlichem Heizbedarf oder Sonderproduktionen. Auch eine ineffiziente Nutzung von Gas, etwa durch suboptimale Steuerung bei der Abwärmee-nutzung, könnte eine Rolle spielen. Zur genauen Klärung wären detaillierte Einblicke in die Betriebsabläufe und Energieverbräuche in diesem Zeitraum erforderlich, die zugleich Optimierungspotenziale im Energiemanagement aufzeigen könnten.

6.2.1 Diskrepanz zwischen Leistung EE und Verbrauch Gas und Strom der Industrie im ausgewählten Bereich um Bernburg

Die Diskrepanz zwischen der Leistung der erneuerbaren Energien (EE) im Umkreis von Bernburg und dem kombinierten Strom- und Wärmebedarf der drei betrachteten energieintensiven Unternehmen für das Jahr 2023 ist in Abbildung 30 dargestellt. Unter der Annahme, dass die EE-Leistung 1:1 zur Deckung von Strom- und Wärmebedarfen eingesetzt wird, zeigt sich, dass die erneuerbaren Energien erheblich unterdimensioniert sind.

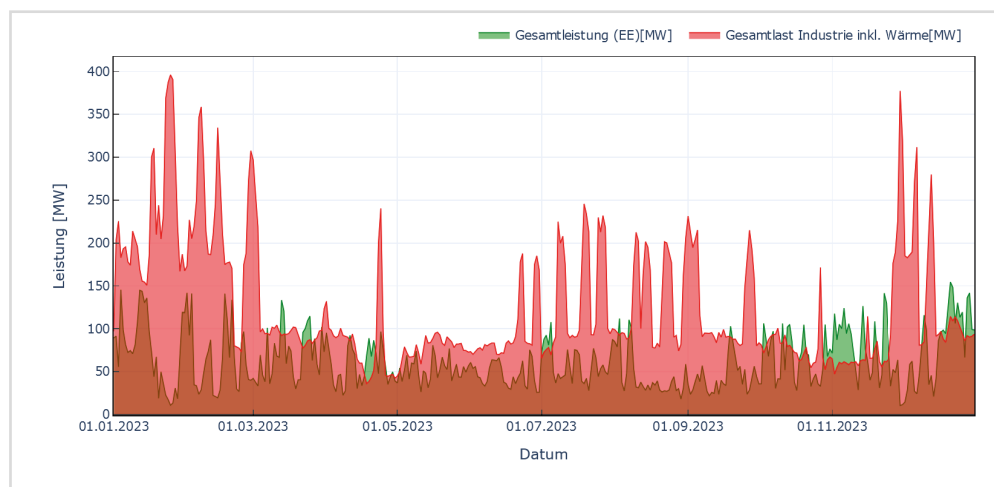


Abb. 30:
Leistung der erneuerbaren
Energien (EE) im Umkreis von
Bernburg und der kombinierte
Strom- und Wärmebedarf der
drei betrachteten energiein-
tensiven Unternehmen für das
Jahr 2023.
Quelle: Fraunhofer IFF

Die grüne Kurve, welche die EE-Leistung darstellt, bleibt über den größten Teil des Jahres deutlich unter der roten Kurve, die den kombinierten industriellen Strom- und Wärmebedarf der drei Unternehmen repräsentiert. Nur an wenigen Tagen, insbesondere bei Spitzen in der Wind- oder Solarenergieerzeugung, übersteigt die EEG-Leistung die industrielle Last. Diese Überdeckungen sind jedoch selten und nur von kurzer Dauer, während der Energiebedarf der Unternehmen kontinuierlich hoch bleibt.

Der industrielle Energiebedarf zeigt saisonale Schwankungen, mit Spitzen in den Wintermonaten (Januar bis März sowie Oktober bis Dezember), die durch den erhöhten Heiz- und Prozesswärmebedarf verursacht werden. Auch in den Sommermonaten treten Peaks auf, die vermutlich auf prozessbedingte Anforderungen zurückzuführen

sind. Die EE-Leistung bleibt jedoch selbst in den Sommermonaten, wo der Wärmebedarf tendenziell niedriger ist, weitgehend unzureichend.

Die Analyse zeigt, dass der Energieverbrauch der drei untersuchten Unternehmen bereits den größten Teil der derzeitigen erneuerbaren Energieerzeugung (EE) in der Region übersteigt. Während die EE-Leistung im Jahr 2023 bei insgesamt 540 GWh lag, belief sich der kombinierte Gesamtenergieverbrauch der drei Unternehmen auf 1.100 GWh, was eine Differenz von 100% darstellt. Dabei ist zu beachten, dass diese Analyse ausschließlich den Energiebedarf dieser drei Industrien berücksichtigt. Die Region umfasst jedoch eine Vielzahl weiterer Unternehmen, die zukünftig ebenfalls auf grüne Produktionsweisen umstellen sollen. Zudem müssen auch Kommunen sowie andere industrielle und private Verbraucher mit erneuerbarer Energie versorgt werden.

Dies unterstreicht, dass die derzeitige EE-Leistung nicht nur für die untersuchten Unternehmen, sondern auch für die Region insgesamt unzureichend ist. Um den Energiebedarf zu decken und gleichzeitig den Fluktuationen zwischen Verbrauch und Einspeisung gerecht zu werden, wird ein Vielfaches an erneuerbarer Energieerzeugung benötigt. Ein massiver Ausbau der EE-Kapazitäten ist daher unverzichtbar. Ergänzend sind innovative Flexibilitätsmaßnahmen wie Energiespeicher, Lastmanagement und Technologien zur Sektorenkopplung notwendig, um saisonale Schwankungen auszugleichen. Nur durch eine Kombination aus technologischem Fortschritt, Infrastrukturentwicklung und gezielten Flexibilitätslösungen kann eine sichere und nachhaltige Energieversorgung für Industrie, Kommunen und private Verbraucher langfristig gewährleistet werden.

In den folgenden Abschnitten wird daher dazu übergegangen, lediglich das Verhältnis der regional erzeugten erneuerbaren Energien (EE) zum reinen elektrischen Energiebedarf der drei untersuchten Unternehmen zu untersuchen. Dieser fokussierte Vergleich ermöglicht eine präzisere Einschätzung der Diskrepanz zwischen der verfügbaren erneuerbaren Energieerzeugung und dem tatsächlichen elektrischen Energiebedarf der Unternehmen, ohne weitere Energieträger wie Wärme oder Gas zu berücksichtigen.

6.2.2 Vergleich zwischen Leistung EE und Verbrauch Strom der Industrie im ausgewählten Bereich um Bernburg

In Abbildung 31 ist der Vergleich zwischen der Leistung erneuerbarer Energien (EE) und dem reinen elektrischen Energiebedarf dreier Unternehmen zu sehen. Im Gegensatz zur kombinierten Betrachtung von Strom- und Wärmebedarf ergibt sich bei alleiniger Betrachtung des elektrischen Bedarfs ein deutlich ausgewogeneres Bild.

Die erneuerbaren Energien sind über weite Teile des Jahres in der Lage, den elektrischen Energiebedarf der untersuchten Unternehmen vollständig zu decken. Besonders in den Frühjahrs- und Herbstmonaten übersteigt die EEG-Leistung den Bedarf regelmäßig, was auf günstige Wetterbedingungen mit starker Wind- und Solarenergieerzeugung zurückzuführen ist. Diese Überschüsse könnten effizient genutzt werden, beispielsweise durch Energiespeicher, die Wasserstoffproduktion oder Power-to-Heat-Technologien, um zusätzliche Synergien zu schaffen und die Systemeffizienz zu erhöhen.

Es gibt jedoch vereinzelte Tage, insbesondere in den Wintermonaten, an denen die EE-Erzeugung den elektrischen Energiebedarf nicht vollständig decken kann. Diese Unterdeckungen sind auf saisonale Einflüsse wie geringere Sonneneinstrahlung oder schwächere Windverhältnisse zurückzuführen. Trotz dieser Phasen ist die Anzahl der

Tage mit Unterdeckung im Vergleich zur Gesamtbetrachtung gering, und die Differenz zur benötigten Leistung fällt moderat aus.

Analyse der Energieversorgung und Bedarfsdeckung in Bernburg

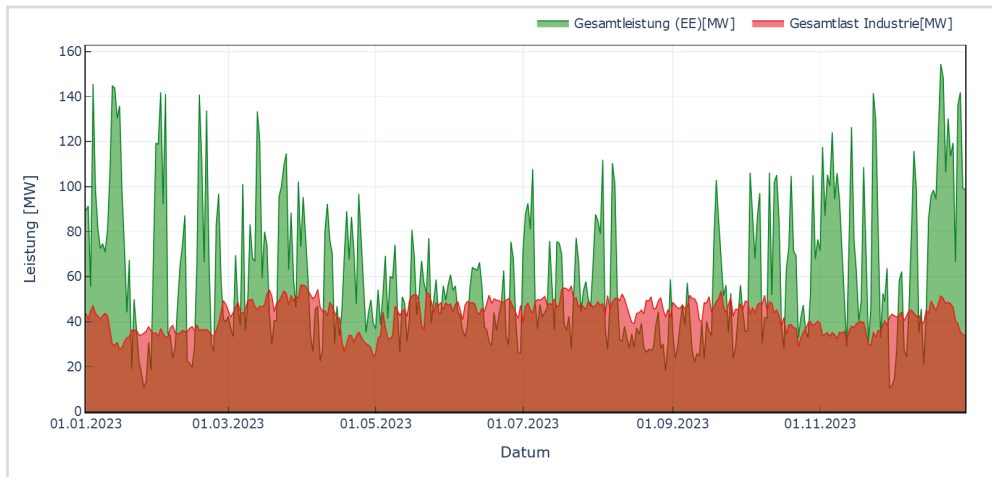


Abb. 31:
Vergleich zwischen der Leistung erneuerbarer Energien (EE) und dem reinen elektrischen Energiebedarf dreier Unternehmen.
Quelle: Fraunhofer IFF

6.2.3 Differenzleistung der erzeugten EE-Leistung und dem elektrischen Energiebedarf

Die Differenzleistung, dargestellt in Abbildung 32 zeigt die Abweichung zwischen der erzeugten EEG-Leistung und dem elektrischen Energiebedarf der Industrie in Viertelstundenwerten. Insgesamt weist das Jahr 2023 einen Überschuss von 160,47 GWh auf, während sich das Defizit auf 58,25 GWh beläuft. Der Überschuss verdeutlicht, dass die erneuerbaren Energien in Summe mehr elektrische Energie liefern, als benötigt wird.

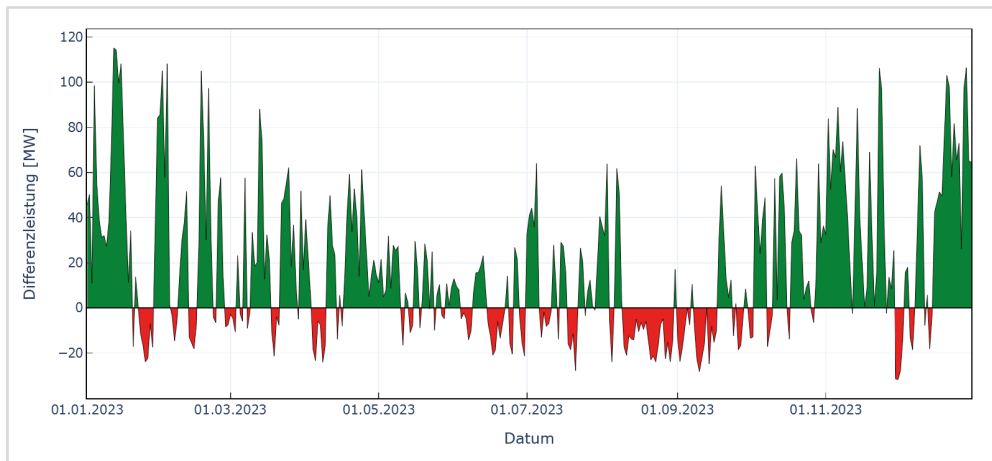
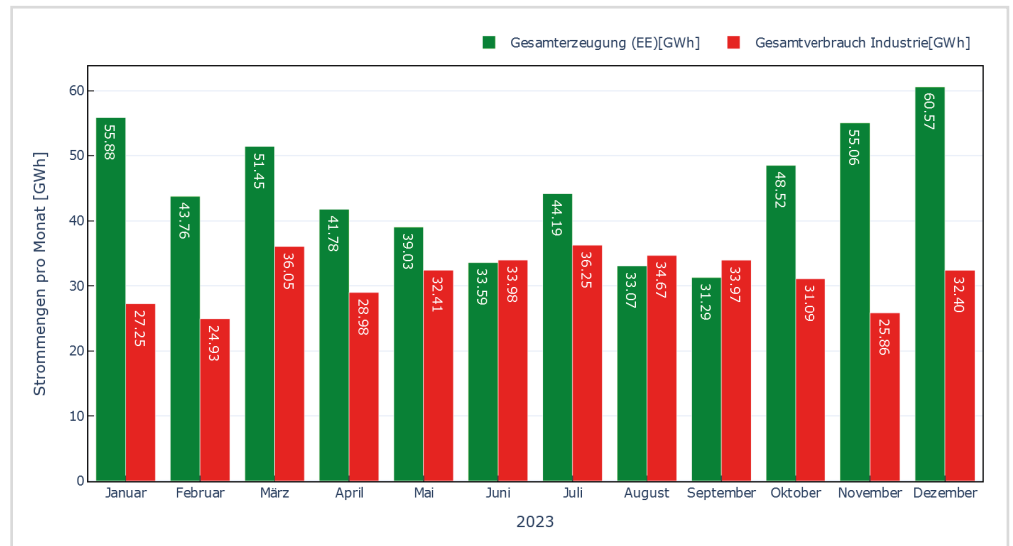


Abb. 32:
Differenzleistung der erzeugten EEG-Leistung und dem elektrischen Energiebedarf.
Quelle: Fraunhofer IFF

Trotz dieses positiven Gesamtergebnisses treten in windarmen Phasen deutliche Defizite auf, die sich vor allem in der roten Fläche der Grafik zeigen. Diese Phasen stellen das größte Problem dar, da sie die kontinuierliche Versorgungssicherheit gefährden. Besonders im September ist ein kritischer Zeitraum erkennbar, in dem sowohl die PV-Leistung abfällt als auch eine längere windarme Phase auftritt. Dieser Monat trägt wesentlich zum jährlichen Defizit bei und verdeutlicht die Bedeutung einer ausgewogenen Erzeugung aus unterschiedlichen erneuerbaren Energiequellen.

Abb. 33:
Vergleich der monatlich
aggregierten Werte der
Stromerzeugung und des
-verbrauchs.
Quelle: Fraunhofer IFF



Die monatlich aggregierten Werte in Abbildung 33 zeigen ein differenziertes Bild der Stromerzeugung und des -verbrauchs. In den meisten Monaten des Jahres übersteigt die EEG-Erzeugung den Bedarf der Industrie, was durch die grüne Fläche dargestellt wird. Lediglich in den Monaten Juni, August und September treten Defizite auf, wobei der September mit einem Verbrauchsüberschuss von fast 3 GWh besonders auffällt. Dies lässt sich auf den Rückgang der Solarenergie in Kombination mit einer schwachen Windenergieerzeugung zurückführen. In den übrigen Monaten, insbesondere im Frühling und Herbst, sind die Überschüsse besonders ausgeprägt.

Da sowohl die Lastgänge als auch die EE-Erzeugung produktionsbedingten, saisonalen und meteorologischen Schwankungen unterliegen, handelt es sich hierbei um eine qualitative Bewertung. Die repräsentativen Szenarien-Betrachtungen dienen daher vor allem der Bestimmung von Größenordnungen, Verhältnissen und Potenzialen.

6.3 Szenarienergebnisse

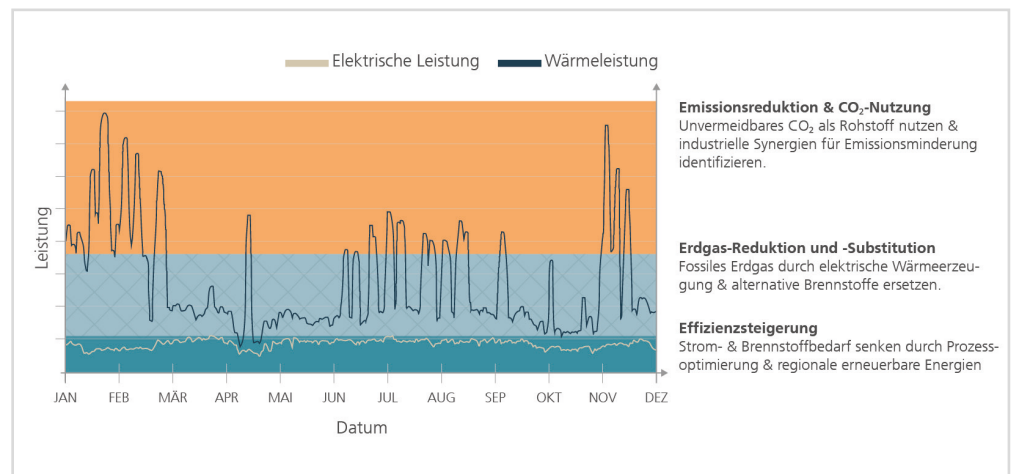
Die Unternehmen weisen eine stabile elektrische Grundlast auf, die eine kontinuierliche Energieversorgung über das gesamte Jahr hinweg erfordert. Gleichzeitig zeigt der stark schwankende Wärmebedarf Potenziale für Flexibilitätsmaßnahmen, insbesondere durch Technologien wie Power-to-Heat, Wärmespeicher oder Sektorenkoppelungslösungen. Diese Technologien könnten überschüssige erneuerbare Energien effizient nutzbar machen und gleichzeitig den hohen Gasverbrauch, insbesondere in Spitzenlastzeiten, signifikant reduzieren. Die Kombination aus einer konstanten elektrischen Grundlast und einem variablen Wärmebedarf verdeutlicht die Notwendigkeit integrierter Energiekonzepte, um die Energieeffizienz und Nachhaltigkeit der Unternehmen langfristig zu steigern.

Die Analyse der Lastgänge hinsichtlich des Strom- und Gasverbrauchs der untersuchten Unternehmen zeigt erste Diskrepanzen zwischen der aktuellen EE-Erzeugung und den Energiebedarfen auf. Diese Ergebnisse machen zentrale Handlungsfelder deutlich, insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung und Implementierung innovativer Energielösungen, die eine sichere, nachhaltige und wirtschaftliche Energieversorgung gewährleisten können.

7 Handlungsempfehlung zur energetischen Transformation energieintensiver Unternehmen hin zur klimaneutralen Industrie

Die Transformation energieintensiver Unternehmen hin zu einer klimaneutralen Industrie ist eine der zentralen Aufgaben unserer Zeit. Ziel ist es, die CO₂-Emissionen signifikant zu senken, indem fossile Energieträger schrittweise ersetzt werden und im weiteren Verlauf eine CO₂-Kreislaufwirtschaft etabliert wird, um unvermeidbare CO₂-Emissionen abzufangen und diese wieder als Rohstoff in den industriellen Kohlenstoff einzubringen.

Abb. 34:
Darstellung zentraler
Handlungsfelder für die
Transformation energie-
intensiver Industrien.
Quelle: Fraunhofer IFF



7.1 Flexibilität der Transformationspfade für die Industrie

Die Transformation energieintensiver Industrien erfordert eine differenzierte Betrachtung der möglichen Handlungsfelder, da nicht alle Unternehmen dieselben technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen mitbringen. Die drei zentralen Transformationspfade (siehe Abbildung 34) – Prozessoptimierung und Nutzung erneuerbarer Energien, Elektrifizierung thermischer Prozesse sowie die Nutzung von unvermeidbarem CO₂ – sind nicht zwangsläufig sequenziell zu durchlaufen. Vielmehr können sie unabhängig voneinander oder in Kombination verfolgt werden, abhängig von den spezifischen Anforderungen und Möglichkeiten der jeweiligen Industrie.

Prozessoptimierung und Effizienzsteigerung als Basisstrategie für alle Industrien

Die initiale Phase der industriellen Transformation ist bereits eingeleitet. Durch den zunehmenden Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung wird der CO₂-Fußabdruck des industriellen Stromlastgangs sukzessive reduziert. Ein weiterhin erheblicher Handlungsbedarf besteht jedoch in der Optimierung bestehender Prozesse, um sowohl den Strom- als auch den Brennstoffbedarf der Industrie durch Effizienzsteigerungen nachhaltig zu senken.

Durch Effizienzmaßnahmen lässt sich der Strom- und Brennstoffbedarf in vielen Branchen signifikant reduzieren. Ein erster und wesentlicher Schritt für alle Unternehmen ist deshalb die Optimierung bestehender Prozesse, um den Energieverbrauch zu senken und die Effizienz der Produktionsverfahren zu steigern. Der zunehmende

Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung führt zudem dazu, dass Unternehmen bereits heute durch eine bewusste Steuerung ihres Energieeinsatzes den CO₂-Fußabdruck ihrer Produktion verringern können.

Für manche Industrien stellt die Prozessoptimierung die einzige umsetzbare Maßnahme dar, da die Substitution fossiler Energieträger bzw. eine vollständige Elektrifizierung technisch oder wirtschaftlich nicht realisierbar ist. In diesen Fällen muss parallel eine Lösung für die Nutzung des unvermeidbaren CO₂ entwickelt werden.

Maßnahmen zur Umsetzung der Basisstrategie:

- Dokumentation zu Mengengerüsten, Verbrauchsstellen, Minimum-/Maximum-Abnahmen und Versorgungskonzepten
- Erstellung eines datengestützten Katalogs mit relevanten Informationen über vorhandene Erzeuger, Speicher, Transporteure und Verbraucher entlang der branchenspezifischen Wertschöpfungsketten
- Potenzialabschätzungen und Bedarfsanalysen für innovative Energieversorgungssysteme
- Identifikation und Definition der verfahrenstechnischen Schnittstellen entlang der Energie- und Ressourcenwertschöpfungsketten

Reduktion von fossilem Erdgas durch Elektrifizierung thermischer Prozesse, Biomassenutzung und Substitution durch Wasserstoff und Synthesegase

Die Elektrifizierung industrieller Prozesse ist ein zentraler Hebel zur Reduktion von CO₂-Emissionen, erfordert jedoch erhebliche Investitionen in die Infrastruktur und den Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung. Zusätzlich bieten Biomassenutzung sowie die Substitution durch Wasserstoff und Synthesegase weitere Alternativen, um fossile Brennstoffe in thermischen Prozessen zu ersetzen. Während in einigen Branchen eine elektrische Wärmeerzeugung technisch realisierbar ist, können andere Industrien durch den Einsatz von nachhaltiger Biomasse, grünem Wasserstoff oder synthetischen Gasen ihren CO₂-Fußabdruck effektiv reduzieren. Während in einigen Branchen eine elektrische Wärmeerzeugung technisch realisierbar ist, müssen andere Industrien weiterhin Verbrennungsprozesse betreiben, um die dort nötigen Prozesstemperaturen zu erreichen. Hier müssen alternative Wege zur CO₂-Reduktion gefunden werden, beispielsweise durch die gezielte Nutzung von Biomasse als Brennstoff, die Integration von Wasserstoff in Hochtemperaturprozesse oder die Nutzung synthetischer Gase als Substitutionsoption. Parallel kann auch die CO₂-Abscheidung und -Nutzung (CCU) eine Rolle spielen, um unvermeidbare Emissionen in Kreislaufprozesse zu überführen.

Unternehmen, die sich für eine Elektrifizierung entscheiden, müssen zudem sicherstellen, dass der erforderliche Strom aus erneuerbaren Quellen stammt. Andernfalls wird das volle Potenzial der Elektrifizierung zur CO₂-Reduktion nicht ausgeschöpft. Eine umfassende Implementierung elektrischer Prozesse erfordert daher neben technologischen Anpassungen auch wirtschaftlich tragfähige Rahmenbedingungen.

Der Ausbau des Wasserstoffkernnetzes in Sachsen-Anhalt soll dazu die notwendige Infrastruktur schaffen, um die Substitution fossiler Brennstoffe durch grünen Wasserstoff in energieintensiven Industrien zu ermöglichen. Neue Pipelineverbindungen, darunter der Anschluss des H₂-Clusters Burgenlandkreis sowie die Ost-West-Verbindung zwischen Magdeburg und Helmstedt, sollen eine zuverlässige Versorgung mit Wasserstoff für industrielle Hochtemperaturprozesse sichern. Dies eröffnet insbesondere für Branchen, in denen eine vollständige Elektrifizierung nicht umsetzbar ist, eine praktikable Alternative zur Dekarbonisierung. Die Nutzung von grünem Wasserstoff in thermischen Prozessen kann nicht nur den CO₂-Ausstoß erheblich reduzieren, sondern

Handlungsempfehlung zur
energetischen Transformation
energieintensiver Unternehmen
hin zur klimaneutralen Industrie

auch die regionale Wertschöpfung stärken. Um die Integration von Wasserstoff langfristig zu gewährleisten, sind jedoch koordinierte Investitionen in Infrastruktur, Speicherlösungen und die Skalierung der Erzeugung erforderlich.

Maßnahmen:

- Entwicklung ganzheitlicher Energie- und Ressourcenkreisläufe mit Abwärmeeinnutzung und Substitutionsmöglichkeiten von fossilen Energieträgern z. B. über digitale Zwillinge.
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der einzelnen Transformationspfade unter Berücksichtigung der aktuellen regulatorischen Rahmenbedingungen.
- Modellierung einzelner Prozessschritte zur Identifikation wirtschaftlicher Einsparpotenziale.
- Pilotierung erster elektrisch betriebener Prozesse in der Industrie zur Evaluierung von Effizienz und Skalierbarkeit.

Unvermeidbares CO₂ als Rohstoff nutzen

Unvermeidbares CO₂ soll nicht als Abfallprodukt betrachtet, sondern als wertvolle Ressource genutzt werden. Die stoffliche Nutzung von CO₂ in der chemischen Industrie kann dazu beitragen, fossile Rohstoffe langfristig zu ersetzen. Vielversprechende Technologien wie Co-Elektrolyse oder die katalytische Umwandlung von CO₂ in Grundchemikalien befinden sich bereits in der Entwicklung und können dazu beitragen, industrielle Produktionsketten nachhaltiger zu gestalten. Insbesondere in Sachsen-Anhalt gibt es hierfür vielversprechende Rahmenbedingungen, da industrielle Cluster mit hohen erneuerbaren Energiekapazitäten bestehen und eine CO₂-Infrastruktur aufgebaut werden kann.

In vielversprechenden Forschungsprojekten wurden Elektrolyseverfahren im Labor- und Technikumsmaßstab erfolgreich getestet, bei denen CO₂ durch Co-Elektrolyse genutzt wird. Dabei entstehen aus Wasser, elektrischem Strom und CO₂ chemische Rohstoffe wie Kohlenmonoxid, Ethylen, Methanol oder Synthesegas. Solche Technologien bieten großes Potenzial und befinden sich weiterhin im Fokus der Forschung, (Quentmeier et al., 2023), (Gerschel et al., 2024) und (Fraunhofer UMSICHT, 2024).

Sachsen-Anhalt bietet durch seine hohen Kapazitäten an erneuerbarer Energie großes Potenzial, um Industriestandorte wie Staßfurt, Bernburg, Bitterfeld oder Leuna mit CCU-Anlagen auszustatten und zukunftsweisende Industrieparks zu schaffen. Ehemalige Braunkohlestandorte wie die der MIBRAG könnten als Energiedrehscheiben im mitteldeutschen Raum dienen. Das mitteldeutsche Chemiedreieck, einschließlich Staßfurt und Bernburg, könnte über CO₂-Pipelines miteinander verbunden werden. Unvermeidbare Industrieemissionen könnten hier abgeschieden, transportiert und in Chemieparks der Zukunft weiterverarbeitet werden.

Vorausgehende Maßnahmen zur Nutzung von CO₂:

- Skalierung von CO₂-Abscheidungstechnologien für verschiedene industrielle Anwendungen.
- Optimierung von CO₂-basierten Syntheseprozessen (z. B. Methanol, Ethylen, Kohlenmonoxid) zur Nutzung in der Chemieindustrie.
- Entwicklung neuer chemischer Verfahren zur Nutzung von CO₂ als Rohstoff für nachhaltige Produkte.

Smart Industry Orchestration: Ein integrierter Transformationsansatz für Sachsen-Anhalt

Für Unternehmen, die weiterhin prozessbedingte CO₂-Emissionen aufweisen – sei es durch die Nutzung fossiler Brennstoffe oder durch verfahrenstechnisch bedingte Emissionen – bietet die Smart Industry Orchestration eine Lösung zur Schaffung eines CO₂-Kreislaufs.

Die erfolgreiche Umsetzung der Smart Industry Orchestration in Sachsen-Anhalt erfordert einen ganzheitlichen Transformationsansatz, der auf drei zentralen Säulen basiert:

- Den Ausbau erneuerbarer Energien,
- Die Etablierung eines leistungsfähigen Wasserstoffkernnetzes,
- Die Errichtung eines CO₂-Backbones.

Die Bereitstellung von CO₂-freiem Strom ist eine grundlegende Voraussetzung für die Dekarbonisierung energieintensiver Industrien und die effiziente Nutzung von Wasserstoff in Hochtemperaturprozessen. Ein flächendeckendes Wasserstoffnetz schafft die erforderliche Infrastruktur für eine klimaneutrale Produktion, während ein CO₂-Backbone die Abscheidung, den Transport und die stoffliche Nutzung von CO₂ ermöglicht, um industrielle Kreislaufwirtschaftskonzepte zu realisieren.

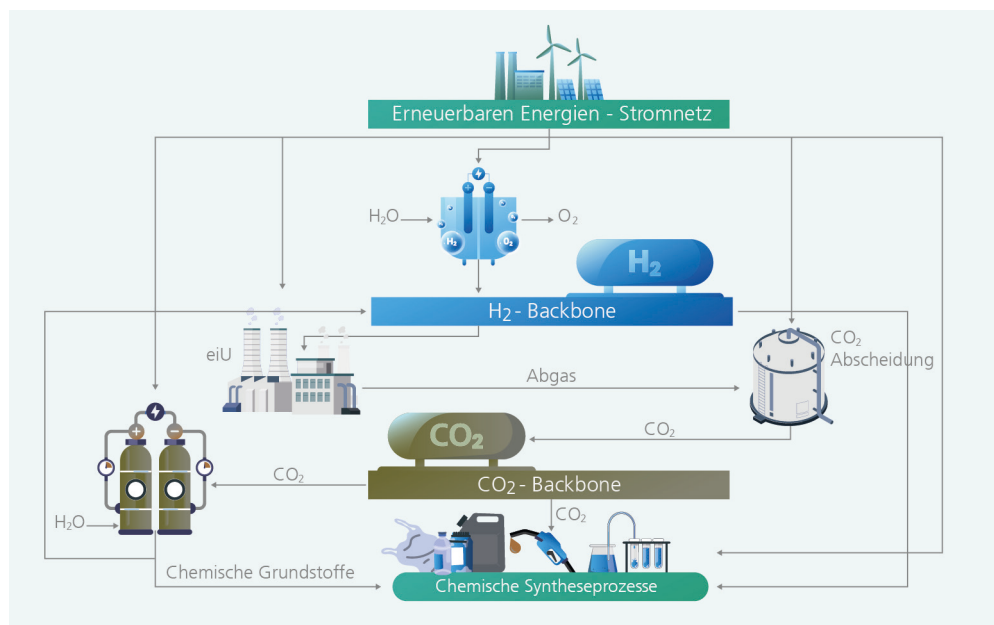


Abb. 35:
Skizzierung der Smart
Industry Orchestration.
Quelle: Fraunhofer IFF

Wie in Kapitel 3 aufgezeigt, sind die CO₂-Lieferanten in Sachsen-Anhalt gesichert. Dies bietet eine wirtschaftlich tragfähige und ökologisch wertvolle Grundlage für die Transformation der Industrie. Die Smart Industry Orchestration nach dem in Abbildung 35 dargestellten Modell setzt auf CO₂-neutrale Prozesse und erfordert erhebliche Mengen an emissionsfreiem Strom, vorzugsweise aus Wind-, Solar- oder Wasserkraft. Ergänzend kann die Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur nachhaltigen Ressourcensicherung beitragen.

Das SETUp-Netzwerk übernimmt eine Schlüsselrolle in diesem Transformationsprozess. Durch die systematische Erhebung und Analyse von Wasserstoff-, CO₂- und Strombedarfen sowie die gezielte Integration erneuerbarer Energien entsteht eine resiliente Infrastruktur, die sowohl die industrielle Wettbewerbsfähigkeit stärkt als auch einen

entscheidenden Beitrag zur Erreichung nationaler und europäischer Klimaziele leistet. Zudem dient dieser Transformationsansatz nicht nur als Klima- und Energiefahrplan für Sachsen-Anhalt, sondern liefert auch eine fundierte Argumentationsgrundlage gegenüber der Bundesregierung, um den nationalen und internationalen Ausbau elektrischer Stromnetze zu beschleunigen. Denn eins ist klar: Deutschland kann seinen Energiebedarf nicht allein durch heimische Wind- und Solarstromerzeugung decken, wenn es weiterhin eine führende Industrienation bleiben möchte. Eine vernetzte Infrastruktur mit leistungsfähigen Stromnetzen, Wasserstoffpipelines und CO₂-Transportwegen ist daher essenziell, um langfristig eine sichere, klimaneutrale und wirtschaftlich tragfähige Energieversorgung für die Industrie zu gewährleisten.

Nur durch das koordinierte Zusammenspiel dieser drei Infrastrukturbereiche – erneuerbare Energien, Wasserstoffkernnetz und CO₂-Backbone – kann Sachsen-Anhalt eine Vorreiterrolle in der nachhaltigen Transformation energieintensiver Industrien übernehmen und langfristig als Standort für innovative, klimaneutrale Produktionsprozesse etabliert werden.

Maßnahmen zur Umsetzung der Orchestrierung:

- Konzeptentwicklung für ein CO₂-Backbone, das industrielle Emissionen erfasst und transportiert.
- Ausbau des Wasserstoffkernnetzes und Aufbau von CO₂-Infrastrukturen zur Weiterverarbeitung in Chemieparks der Zukunft.
- Analyse potenzieller Partner für eine überregionale CO₂-Nutzung und Marktstrategie für CO₂-basierte Produkte.
- Pilotierung und Demonstration von CO₂-Nutzungstechnologien zur Evaluierung der Skalierbarkeit und wirtschaftlichen Tragfähigkeit.

Flexible Dekarbonisierungspfade für verschiedene Industrien

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Transformation energieintensiver Industrien nicht nach einem starren Stufenmodell erfolgen kann. Vielmehr müssen Unternehmen individuelle Transformationspfade wählen, die ihren technologischen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen entsprechen.

- Für einige Unternehmen reicht eine Optimierung bestehender Prozesse, um signifikante Einsparungen zu erzielen.
- Andere Industrien können durch die Elektrifizierung thermischer Prozesse einen großen Hebel zur CO₂-Reduktion nutzen.
- Unternehmen mit unvermeidbaren CO₂-Emissionen sollten eine stoffliche Nutzung in Betracht ziehen, um Kreislaufwirtschaftskonzepte in ihren Produktionsprozess zu integrieren.

Durch eine strategische Kombination dieser Maßnahmen kann die Industrie einen nachhaltigen und wirtschaftlich tragfähigen Transformationsprozess gestalten.

Bedeutung für Kommunen und das Land Sachsen-Anhalt

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Smart Carbon Industry Orchestration ist eine klare politische und wirtschaftliche Strategie erforderlich. Die Schaffung eines H₂- und CO₂-Backbones bildet die infrastrukturelle Grundlage für eine industrielle Transformation, während gezielte Förderprogramme und Kooperationen zwischen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und öffentlichen Akteuren den Technologietransfer beschleunigen.

Eine datengetriebene Planung ist essenziell, um Energiebedarfe, Elektrifizierungsgrade und CO₂-Mengen in die strategische Entscheidungsfindung zu integrieren. Gleichzeitig müssen regulatorische Anreize geschaffen werden, um Investitionen in nachhaltige Technologien wirtschaftlich attraktiv zu gestalten.

Die Umsetzung dieser Maßnahmen stellt hohe Anforderungen an Planung, Finanzierung und gesellschaftliche Akzeptanz. Der Aufbau neuer Infrastrukturen sowie die Umrüstung bestehender Produktionsanlagen erfordern erhebliche Investitionen, weshalb frühzeitige Planungen und gezielte Förderprogramme unerlässlich sind. Die Elektrifizierung thermischer Prozesse macht eine Erweiterung der erneuerbaren Energieinfrastruktur notwendig, insbesondere im Hinblick auf Netzkapazitäten und Speichersysteme. Dies setzt eine enge Zusammenarbeit mit Netzbetreibern und politischen Entscheidungsträgern voraus.

Darüber hinaus müssen Kommunikations- und Partizipationsstrategien entwickelt werden, um die Akzeptanz neuer Technologien wie CO₂-Abscheidung und -Nutzung zu erhöhen. Die Koordination zwischen Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Kommunen und politischen Akteuren muss klar strukturiert sein und durch transparente Regelungen unterstützt werden, um effiziente und reibungslose Abläufe zu gewährleisten. Gleichzeitig ist es entscheidend, die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie im Blick zu behalten. Die mit der Transformation verbundenen zusätzlichen Kosten müssen durch innovative Geschäftsmodelle und Synergien innerhalb der Wertschöpfungskette abgedeckt werden.

Die konsequente Umsetzung dieser Maßnahmen ermöglicht es Sachsen-Anhalt, eine Vorreiterrolle in der klimaneutralen Industrie zu übernehmen. Durch die Kombination aus innovativen Technologien, nachhaltigen Konzepten und regionaler Zusammenarbeit wird eine zukunftsorientierte Wirtschaftsstruktur geschaffen, in der wirtschaftlicher Erfolg und Klimaschutz Hand in Hand gehen.

Handlungsempfehlung zur
energetischen Transformation
energieintensiver Unternehmen
hin zur klimaneutralen Industrie

7.2 Empfohlene Schlüsselaktivitäten

Für einen erfolgreichen Aufbau der Smart Carbon Industry Orchestration und einen nachhaltigen Transformationsprozess ist ein strukturiertes Vorgehen erforderlich. Die Umsetzung sollte in drei Phasen erfolgen:

1. Initiierung und Netzwerkbildung
2. Strategische Planung und Roadmap-Entwicklung
3. Umsetzung und Erfolgskontrolle

1. Initiierung und Netzwerkbildung

Ein zentraler erster Schritt ist die Gründung des SETUp-Netzwerks, das energieintensive Unternehmen mit relevanten Akteuren wie der Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt (LENA) als Moderatorin und dem Fraunhofer IFF als wissenschaftlich-technischem Begleiter zusammenführt. Ziel dieses Netzwerks ist es, einen strukturierten Austausch zu etablieren, die spezifischen Bedarfe der Unternehmen systematisch zu erfassen und Synergien zwischen den Beteiligten zu identifizieren. Durch diese koordinierte Zusammenarbeit wird eine fundierte Grundlage für Transformationsstrategien geschaffen, die zudem eine enge Abstimmung mit regionalen und überregionalen Akteuren erleichtert.

Parallel dazu sollte die Erweiterung der Kommunikation und die Einbindung bestehender Netzwerke erfolgen. Die Zusammenarbeit mit bereits etablierten Initiativen und Branchenclustern ist essenziell, um bestehendes Wissen zu nutzen, Doppelarbeiten zu vermeiden und bewährte Methoden effizient in den Transformationsprozess zu integrieren.

rieren. Zudem sind innovative Kommunikationsstrategien zu entwickeln, um die gesellschaftliche Akzeptanz zu stärken und den wirtschaftlichen sowie ökologischen Nutzen der Transformation anschaulich zu vermitteln.

2. Strategische Planung und Roadmap-Entwicklung

Auf Basis der erfassten Bedarfe und Potenziale wird eine Transformations-Roadmap erstellt, die klare Maßnahmen in kurzfristige, mittelfristige und langfristige Schritte unterteilt. Vorrangig sind Prozessoptimierungen sowie der verstärkte Einsatz regionaler erneuerbarer Energien zu realisieren. Langfristig bildet der Aufbau eines CO₂-Backbones die Grundlage für eine nachhaltige industrielle Infrastruktur. Die Roadmap stellt sicher, dass alle relevanten Akteure abgestimmt handeln und priorisierte Maßnahmen zielgerichtet umgesetzt werden.

Darüber hinaus muss die Ausarbeitung von Finanzierungsmodellen frühzeitig erfolgen. Dies umfasst die Identifikation und Entwicklung passender Förderprogramme sowie innovativer Finanzierungsinstrumente, die Unternehmen bei der Umsetzung ihrer Transformationspläne unterstützen. Steuerliche Anreize, Subventionen für Investitionen in grüne Technologien sowie die Schaffung gemeinsamer Fonds für Netzwerkpartner sind hierbei zentrale Bausteine. Die finanzielle Absicherung der Transformation ist essenziell, um Investitionen anzureizen und langfristige Planungssicherheit zu gewährleisten.

3. Umsetzung und Erfolgskontrolle

Ein effektives Monitoring- und Evaluierungssystem ist erforderlich, um Fortschritte kontinuierlich zu messen und Maßnahmen bei Bedarf zu optimieren. Die Definition klarer KPIs ermöglicht eine objektive Bewertung der Umsetzungserfolge und stellt sicher, dass gesetzte Ziele eingehalten werden. Regelmäßige Berichte und Feedbackprozesse sorgen für Transparenz und ermöglichen eine datenbasierte Anpassung der Strategien.

Durch diese strukturierte Vorgehensweise wird der Grundstein für eine erfolgreiche Umsetzung der Smart Carbon Industry Orchestration gelegt. Eine enge Abstimmung zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik sowie gezielte Investitionen und eine transparente Erfolgskontrolle sind essenziell, um Sachsen-Anhalt als Vorreiter für eine klimaneutrale Industrie zu positionieren.

Die konsequente Umsetzung dieser Maßnahmen ermöglicht eine resiliente und wettbewerbsfähige Industrie in Sachsen-Anhalt, die ökologische Verantwortung mit wirtschaftlicher Innovationskraft vereint und als Vorbild für nachhaltige Transformationen in Deutschland und Europa dient.

Schlussfolgerung

Die konsequente Umsetzung dieser Maßnahmen ermöglicht eine resiliente und wettbewerbsfähige Industrie in Sachsen-Anhalt, die ökologische Verantwortung mit wirtschaftlicher Innovationskraft vereint und als Vorbild für nachhaltige Transformationen in Deutschland und Europa dient.

Allerdings erfordert dieser Wandel erhebliche Investitionen, da nachhaltige Technologien und Infrastrukturen hohe Anfangskosten mit sich bringen. Zudem bleibt fraglich, ob regional verfügbare erneuerbaren Energien ausreichen, um den enormen Energiebedarf der hiesigen energieintensiven Industrien vollständig zu decken.

Dies macht zusätzliche Maßnahmen wie Effizienzsteigerungen, Speichertechnologien und eine diversifizierte Energieversorgung notwendig. Gleichzeitig stellen langwierige

Genehmigungsprozesse, bürokratische Hürden und unklare regulatorische Rahmenbedingungen zentrale Herausforderungen dar, die eine zügige Umsetzung erschweren.

Der Transformationsprozess erfordert zudem eine enge Abstimmung zwischen zahlreichen Akteuren aus Industrie, Forschung, Politik und Verwaltung, wodurch der Koordinierungsaufwand erheblich steigt.

Die Initiative betrifft mehrere Ministerien in Sachsen-Anhalt, die für den Erfolg der Transformation essenziell sind: Das Ministerium für Umwelt, Energie und Wissenschaft ist maßgeblich für die Förderung erneuerbarer Energien und Klimaschutzstrategien verantwortlich. Das Ministerium für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten spielt eine zentrale Rolle bei der wirtschaftlichen Umsetzung und Förderung innovativer Geschäftsmodelle. Das Ministerium für Infrastruktur und Digitales trägt zur Entwicklung einer intelligenten und resilienten Energieinfrastruktur bei, während das Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Gleichstellung die arbeitsmarktpolitischen und sozialen Aspekte der Transformation adressiert. Eine enge ministerielle Zusammenarbeit ist entscheidend, um Synergien zu nutzen und eine koordinierte Umsetzung sicherzustellen.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind gezielte politische Weichenstellungen, pragmatische regulatorische Anpassungen und eine verstärkte Zusammenarbeit aller Beteiligten unerlässlich.

Durch ein koordiniertes Vorgehen, gezielte Investitionen und eine enge Zusammenarbeit kann Sachsen-Anhalt eine führende Rolle in der klimaneutralen Industrie einnehmen und einen bedeutenden Beitrag zur Energiewende leisten.

Handlungsempfehlung zur
energetischen Transformation
energieintensiver Unternehmen
hin zur klimaneutralen Industrie

8 Anhang

Anlagentyp	Nettonennleistung [MW]	Bruttoleistung [MW]	Anzahl
Biomasse	485.202.160	52.010.390	667
Hydro	31.941.000	3.247.300	66
Solar	3.400.097.845	383.594.474	7156
Wind	5.431.100.000	543.110.000	2718

Tab. 9:

zu Abschnitt 3.3: installierte Leistung EE in Sachsen-Anhalt, 2022.

Quelle: <https://www.sachsen-anhalt-energie.de/de/marktstammdatenregister.html>

Energieverbrauch der Industriebetriebe in Sachsen-Anhalt nach ausgewählten Energieträgern und wirtschaftlicher Gliederung [in MWh]												
Abschnitt Abteilung ¹	Energiever- brauch ¹ insgesamt ² 3	Summe aus Einzelver- bräuchen	Differenz		Energie- verbrauch ¹ Stein- kohlen	Energiever- brauch ¹ Braun- kohlen	Energiever- brauch ¹ Mineralöle insgesamt	Energiever- brauch ¹ Mineralöle Heizöl leicht	Energiever- brauch ¹ Erdgas	Energiever- brauch ¹ erneuer- bare Energien ⁴	Energiever- brauch ¹ Wärme ⁵	Energiever- brauch ¹ Strom
Verarbei- tendes Gewerbe	64.429.537	49.846.260	14.583.277	23%	1.098.681	4.039.118	-	525.631	22.675.157	5.356.759	6.291.305	9.859.610
WZ08-20 Chemie	24.677.025	23.826.779	850.247	3%	-	1.076.648	19.494	18.748	13.684.844	-	5.387.151	3.639.895
WZ08-10 Nahrung	5.136.045	5.257.172	-121.128	-2%	50.261	940.276	122.247	121.127	2.149.902	108.842	599.765	1.164.752
WZ08-17 Papier	6.285.877	2.746.819	3.539.057	56%	-	-	198.580	197.895	1.372.034	-	-	978.311
WZ08-23 Glas, Keramik, Zement	6.682.379	4.384.365	2.298.015	34%	348.103	-	390.244	49.519	2.635.628	-	-	960.871
WZ08-24 Metaller- zeugung	2.213.920	2.199.927	13.993	1%	-	-	-	3.929	1.571.633	-	1.208	623.156
WZ08-25 Metallver- arbeitung	501.405	519.091	-17.686	-4%	-	-	22.154	17.686	217.975	5.108	15.225	240.943

Tab. 10:

zu Abschnitt 3.5.2: Energieverbrauch aller Energieträger der Industriebetriebe in Sachsen-Anhalt und wirtschaftlicher Gliederung, sowie Energieintensität für 2022.

Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale)

¹ Betriebe von Unternehmen mit im Allgemeinen 20 und mehr tätige Personen

² Soweit Energieträger als Brennstoff zur Stromerzeugung in eigenen Anlagen eingesetzt werden, enthält der Gesamtenergieverbrauch Doppelzählungen, die sowohl den Energiegehalt der eingesetzten Brennstoffe als auch des erzeugten Stroms umfassen.

³ einschließlich nicht energetische Nutzung

⁴ ab Berichtsjahr 2018 einschließlich biogenen Anteil Abfall und Klärschlamm

⁵ ab Berichtsjahr 2011 Fernwärme und Dampf, vorher nur Fernwärme

Hinweis zur Datenlage Land Sachsen-Anhalt – Energie. (2024). Bericht Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden Jahr 2022.

Die Analyse der Energieverbräuche in den betrachteten Branchen basiert auf den vorliegenden Datengrundlagen (Land Sachsen-Anhalt – Energie, 2024) für das Jahr 2022. Dabei zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen den Angaben zum Gesamtenergieverbrauch und der Summe der Einzelerfassungen der Verbräuche. Diese Abweichungen sind insbesondere bei der »Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus« (56%) sowie der »Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden« (34%) signifikant, während sie in anderen Bereichen wie der »Metallerzeugung und -bearbeitung« (1%) weniger ausgeprägt sind.

Diese Differenzen deuten darauf hin, dass die Methodik der Datenerfassung sowie die Veröffentlichung der Daten im Land Sachsen-Anhalt überarbeitet und verbessert werden sollten, um in Zukunft eine noch genauere und konsistentere Datengrundlage für Analysen und Entscheidungsprozesse zu schaffen. Dies ist besonders wichtig, um gezielte und belastbare Handlungsempfehlungen im Bereich der Energie- und Klimapolitik ableiten zu können.

Ungeachtet der beschriebenen Herausforderungen wurde die vorliegende Analyse auf Basis der verfügbaren Daten durchgeführt, da sie trotz der Unstimmigkeiten wichtige Hinweise auf den Energieverbrauch und mögliche Effizienzpotenziale in den einzelnen Branchen liefert. Eine Optimierung der Datenerfassung und -aufbereitung bleibt jedoch eine zentrale Aufgabe für zukünftige Studien und Veröffentlichungen.

Kosten für Strom und Gas in Mio. €									
	Gas			Strom			gesamt		
	2018	2023	2024	2018	2023	2024	2018	2023	2024
Preis in €/kWh	0,029	0,078	0,062	0,180	0,245	0,167			
Verarbeitendes Gewerbe	648,51	1.757,32	1.410,39	1.770,79	2.411,66	1.641,63	2.419,30	4.168,99	3.052,02
ausgewählte Branchen	618,68	1.676,48	1.345,51	1.366,38	1.860,90	1.266,72	1.985,06	3.537,38	2.612,23
Herstellung von chemischen Erzeugnissen	391,39	1.060,58	851,20	653,73	890,32	606,04	1.045,11	1.950,89	1.457,24
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	61,49	166,62	133,72	209,19	284,90	193,93	270,68	451,52	327,66
Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	39,24	106,33	85,34	175,70	239,29	162,89	214,94	345,63	248,23
Herstellung v. Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	75,38	204,26	163,94	172,57	235,03	159,98	247,95	439,29	323,92
Metallerzeugung und -bearbeitung	44,95	121,80	97,76	111,92	152,42	103,76	156,87	274,23	201,51
Herstellung von Metallerzeugnissen	6,23	16,89	13,56	43,27	58,93	40,12	49,51	75,83	53,68

Tab. 11:

Zu Abschnitt 3.5.3, Abbildung 21: Kosten für Strom und Gas für die Jahre 2018, 2023 und 2024.

Quellen: Zur Berechnung der Industriestrompreise (inklusive Stromsteuer) in Deutschland:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252029/umfrage/industriestrompreise-inkl-stromsteuer-in-deutschland>

Zur Berechnung der Gaspreise für Gewerbe- und Industriekunden in Deutschland: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/168528/umfrage/gaspreise-fuer-gewerbe-und-industriekunden-seit-2006>

CO ₂ -Emission der Einzelenergieverbraucher in t [Faktor in g/KWh]									
Abteilung und Hauptgruppen	Steinkohle	Braunkohle	Mineralöle gesamt	Heizöl leicht	Erdgas	erneuer- bare Energien	Wärme	Strom	Summe
	338,2	399,6	263,9	266,5	200,8	58,1	307	429	-
Verarbeitendes Gewerbe	371.574	1.614.031	-	140.081	4.553.172	311.228	1.931.431	4.229.773	13.151.288
ausgewählte Gewerbe	134.727	805.963	198.643	108.973	4.343.709	6.621	1.843.028	3.263.801	10.705.463
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	16.998	375.734	32.261	32.280	431.700	6.324	184.128	499.679	1.579.104
Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	-	-	52.405	52.739	275.504	-	-	419.695	800.344
Herstellung von chemischen Erzeugnissen	-	430.229	5.144	4.996	2.747.917	-	1.653.855	1.561.515	6.403.656
Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	117.729	-	102.986	13.197	529.234	-	-	412.213	1.175.358
Metallerzeugung und -bearbeitung	-	-	-	1.047	315.584	-	371	267.334	584.336
Herstellung von Metallerzeugnissen	-	-	5.846	4.713	43.769	297	4.674	103.364	162.664

Tab. 12:
zu Abschnitt 3.5.2: Energieverbrauch aller Energieträger der Industriebetriebe in Sachsen-Anhalt und wirtschaftlicher Gliederung, sowie Energieintensität für 2022.

Quelle:

Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale),

Informationsblatt CO₂-Faktoren, Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss, 2022

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Datengrundlage dieser Analyse mit Unsicherheiten behaftet ist. Auffällige Differenzen zwischen den Gesamtemissionen und der Summe der Einzelmittenten deuten auf methodische Lücken und Unstimmigkeiten in der Datenerfassung hin. Dies schränkt die Aussagekraft der Ergebnisse ein und erschwert die Ableitung präziser Maßnahmen zur Emissionsreduktion.

Abb. 35 bis 43:
zu Abschnitt 2.3: Fragebogen an die Unternehmen.
Quelle: Fraunhofer IFF

Abb. 36:

1. Unternehmensprofil und Energieverbrauch

Wie hoch ist Ihr jährlicher Energieverbrauch und wie verteilt er sich auf verschiedene Energieträger (z.B. Strom, Gas, etc.)?

- ...
- ...
- ...

Welche Technologien und Prozesse haben bei Ihnen den höchsten Energieverbrauch?

- ...
- ...
- ...

Welche Technologien und Prozesse nutzen Sie derzeit für die Energieerzeugung?

- ...
- ...
- ...

Welche Rolle spielt die Energieversorgung für Ihren Produktionsprozess und Ihre Wettbewerbsfähigkeit?

- ...
- ...
- ...

Seite 3
11.02.2025
© Fraunhofer
vertraulich

Abb. 37:

2. Herausforderungen und Hindernisse

Welche spezifischen Herausforderungen sehen Sie bei der Reduzierung Ihres Energieverbrauchs und der Verbesserung Ihrer Energieeffizienz?

- ...
- ...
- ...

Welche Hürden begegnen Ihnen bei der Umstellung auf erneuerbare Energien oder klimafreundlichere Technologien?

- ...
- ...
- ...

Gibt es technische, wirtschaftliche oder regulatorische Hindernisse, die Sie daran hindern, Ihre Energiesysteme zu modernisieren?

- ...
- ...
- ...

Seite 4
11.02.2025
© Fraunhofer
vertraulich

Abb. 38:

3. Ziele und Prioritäten

Welche Ziele haben Sie in Bezug auf die Reduktion von CO₂-Emissionen und die Steigerung der Energieeffizienz?

- ...
- ...
- ...

Welche kurzfristigen und langfristigen Ziele verfolgen Sie im Bereich der energetischen Transformation?

- ...
- ...
- ...

Seite 5 11.02.2025 © Fraunhofer vertraulich

Abb. 39:

4. Technologie und Innovation

Haben Sie bereits Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz oder zur Nutzung erneuerbarer Energien umgesetzt? Wenn ja, welche?

- ...
- ...
- ...

Welche Technologien oder Lösungen haben Sie in Erwägung gezogen, aber noch nicht implementiert, und warum?

- ...
- ...
- ...

Sind Sie offen für die Erprobung neuer Technologien, und welche Anforderungen müssten diese erfüllen?

- ...
- ...
- ...

Seite 6 11.02.2025 © Fraunhofer vertraulich

Abb. 40:

5. Wirtschaftlichkeit und Finanzierung

Welche finanziellen Aspekte sind für Sie bei der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen oder bei der Umstellung auf klimafreundlichere Technologien entscheidend?

- ...
- ...
- ...

Gibt es Förderprogramme, Finanzierungsmodelle oder Partnerschaften, die für Ihr Unternehmen attraktiv wären?

- ...
- ...
- ...

Seite 7 11.02.2025 © Fraunhofer vertraulich

Abb. 41:

6. Regulatorische und politische Rahmenbedingungen

Wie beeinflussen aktuelle gesetzliche Vorschriften und Regulierungen Ihre Entscheidungen im Bereich der Energieversorgung und -nutzung?

- ...
- ...
- ...

Welche Änderungen in der Gesetzgebung oder politischen Unterstützung würden Sie sich wünschen, um die energetische Transformation zu erleichtern?

- ...
- ...
- ...

Wie bewerten Sie die aktuelle Förderlandschaft und die Unterstützung durch die Landes- oder Bundesregierung?

- ...
- ...
- ...

Seite 8 11.02.2025 © Fraunhofer vertraulich

Abb. 42:

7. Kooperation und Vernetzung

Sind Sie an Kooperationen mit anderen Unternehmen, Forschungseinrichtungen oder Technologieanbietern interessiert, um die energetische Transformation voranzutreiben?

- ...
- ...
- ...

Welche Formen der Zusammenarbeit oder Netzwerke wären für Ihr Unternehmen hilfreich, um die Herausforderungen der energetischen Transformation zu bewältigen?

- ...
- ...
- ...

Seite 9 11.02.2025 © Fraunhofer vertraulich

Abb. 43:

8. Zukunftsperspektiven und Visionen

Wie stellen Sie sich die Energieversorgung Ihres Unternehmens in 10 Jahren vor?

- ...
- ...
- ...

Welche langfristigen Trends oder Entwicklungen sehen Sie als besonders relevant für Ihre Branche in Bezug auf Energie und Klimaschutz?

- ...
- ...
- ...

Was sind Ihre größten Bedenken hinsichtlich der zukünftigen Energieversorgung und wie könnten diese adressiert werden??

- ...
- ...
- ...

Seite 10 11.02.2025 © Fraunhofer vertraulich

Abb. 44:

Persönliche Anmerkungen und Hinweise

- ...
- ...
- ...

Seite 11

11.02.2025

© Fraunhofer

vertraulich

- Achtelik, C., Schimmel, M., & Rhiemeier, J.-M. (2019). Energiewende in der Industrie Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor Branchensteckbrief der Grundstoffchemie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie von Bähr, & Cornelius. (2023). Die Zukunft energieintensiver Industrien in Deutschland Studie.
www.iwconsult.de
- Burchardt, J., Herhold, P., Richenhagen, E., Schaefer, T., & Goecke, H. (2024). Transformationspfade für das Industrieland Deutschland Eckpunkte für eine neue industriepolitische Agenda.
- DEHSt. (2024). Emissionshandelspflichtige Anlagen in Deutschland 2023 (Stand 02.05.2024).
- Flexibilisierung elektrifizierter Industrieprozesse (2024).
- FORSCHUNG KOMPAKT. (2024). Soda-Herstellung mit doppeltem Klima-Bonus – Chemieproduktion in Deutschland.
www.ikts.fraunhofer.de
- Godin, H. (2019). Energiewende in der Industrie Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor Branchensteckbrief der Papierindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiewende-in-der-industrie-ap2a-branchensteckbrief-papier.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Gühl, S., Schwarz, M., & Schimmel, M. (2019). Energiewende in der Industrie Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor Branchensteckbrief der Nahrungsmittelindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Hübner, T., Andrej Guminski, F., & Dr.-Ing. Serafin von Roon, F. (2019). Energiewende in der Industrie Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor Branchensteckbrief der Keramikindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Hübner, T., Andrej Guminski, F., Elsa Rouyrre, F., & Serafin von Roon, F. (2019). Energiewende in der Industrie Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor Branchensteckbrief der NE-Metallindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Hübner, T., Andrej Guminski, F., Serafin von Roon, F., & Elsa Rouyrre, F. (2019). Energiewende in der Industrie Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor Branchensteckbrief der Zement- und Kalkindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Land Sachsen-Anhalt – Energie. (2024). Bericht Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden Jahr 2022.
www.govdata.de/dl-de/by-2-0
- Land Sachsen-Anhalt – Tätige Personen, U. (2023). Bericht Tätige Personen, Umsatz im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden Jahr 2022.
<https://statistik.sachsen-anhalt.de>

- Landesportal Sachsen-Anhalt (2023). Sachsen-Anhalt stößt 2022 deutlich weniger Treibhausgase aus.
<https://mwu.sachsen-anhalt.de/artikel-detail/sachsen-anhalt-stoesst-2022-deutlich-weniger-treibhausgase-aus>
- Leisin, M. (2019). Energiewende in der Industrie Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor Branchensteckbrief der Glasindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Rittmann, U., Hock, S., Weiss, M., Fitzner, V., & Jung, B. (2024). Eine Studie zur Zukunft des energieintensiven Mittelstands in Deutschland.
www.pwc.de/familienunternehmen
- Schulz, J., von Barga, M., & Küther, B. (2014). Energieeffizienz in Bäckereien – Energieeinsparungen in Backstube und Filialen.
www.eneff-baeckerei.net
- Statistisches Bundesamt. (2008). Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008).
www.destatis.de/kontakt
- Verpoort, P., & et. al. (2024). Transformation der energieintensiven Industrie-Wettbewerbsfähigkeit durch strukturelle Anpassung und grüne Importe Ariadne-Report.
<https://doi.org/10.48485/pik.2024.019>
- Zahlen Und Fakten Zur Stromversorgung in Deutschland 2016 (2016). Kapitel 1
- Bedeutung der energieintensiven Industriezweige in Deutschland. (n.d.). Statistisches Bundesamt.
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeiten-des-Gewerbe/produktionsindex-energieintensive-branchen.html>
- Sachsen-Anhalt, U. W. M. (2024, March 24). Strukturwandel: Umbruch oder Abbruch – Zeitenwende für Sachsen-Anhalts Industrie? MDR.DE.
<https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen-anhalt/industrie-zeitenwende-strukturwandel-kohle-100.html>
- Regenerative Energien, Erträge und Randbedingungen: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Fachagentur Windenergie an Land, Bayerisches Landesamt für Umwelt)
- CLIMATE CHANGE 35/2021, Für Mensch & Umwelt, Abschlussbericht, Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen
- Energieerträge zu Biomasse: Webseite Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), OT Gülzow Hofplatz 1, 18276 Gülzow-Prüzen

Impressum

SETUp Sachsen-Anhalt

Systemische und nachhaltige Energietransformation für die Zukunft der energieintensiven Grundstoffindustrie

am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb
und -automatisierung IFF, Magdeburg

Herausgeberin
Prof. Dr. Julia C. Arlinghaus, Institutsleiterin

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
Sandtorstraße 22 | 39106 Magdeburg
Telefon +49 391 4090-0 | Fax +49 391 4090-596
ideen@iff.fraunhofer.de | www.iff.fraunhofer.de

Veröffentlicht am 17. April 2025
DOI: XXXXXXXXXXXXXXX

Autoren
Dr.-Ing. Franziska Sondej, Prof. Dr. oec. Julia Arlinghaus, Dr.-
Ing. Marc Richter, Dr.-Ing. Pio Alessandro Lombardi,
Dr.-Ing. Christoph Wenge, Dr.-Ing. Stephan Balischewski,
Dipl.-Ing. Marcus Kögler, Sebastian Jentsch M.Sc.,
Sven Schiffner M.Sc., Mostafa Ashkavand M.Eng.,
Samuel Mitchell, Meike Sandt

Satz/Layout/Grafik
Ina Dähre, Maral Hanna-Luft

Titelbild
adydyka2780 (links), malp (rechts) – stock.adobe.com [M]

Alle Rechte vorbehalten
Für den Inhalt der Vorträge zeichnen die Autorinnen und
Autoren verantwortlich. Dieses Werk ist einschließlich
aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung,
die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes
hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages
unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfäl-
tigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die
Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handels-
namen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme,
dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen-
und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten
wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.
Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze,
Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI) Bezug genommen
oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine
Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität
übernehmen.