Fraunhofer ISE

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

DIE DEKARBONISIERUNG DER ENERGIE-INTENSIVEN INDUSTRIE – ERGEBNISSE EINER UNTERNEHMENSBEFRAGUNG

Ergebnisbericht Umfrage IND-E

DIE DEKARBONISIERUNG DER ENERGIEINTENSIVEN INDUSTRIE – ERGEBNISSE EINER UNTERNEHMENSBEFRAGUNG

Ergebnisbericht Umfrage IND-E

Autorinnen

Jessica Berneiser, Felicitas Fornefeld

Wir danken dem gesamten IND-E Projektteam für die Unterstützung bei der inhaltlichen und methodischen Konzeptionierung der Befragung.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
in Freiburg

Förderkennzeichen: 03EI1026
Datum: 05.03.2025
Projektpartner: Fraunhofer ISE, Öko-Institut, Universität Freiburg, Hochschule Offenburg

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis **4**

Kurzzusammenfassung **5**

1 Einleitung und Hintergrund **6**

2 Methode **8**
2.1 Forschungsdesign 8
2.2 Stichprobe 8
2.3 Fragebogeninhalt 9

3 Ergebnisse **11**
3.1 Klimaneutralitätsstrategien der Industrieunternehmen 11
3.2 Heutiger und zukünftiger Einsatz von Energieträgern 13
3.3 Erfolgte und geplante Investitionen zur Prozessdekarbonisierung 15
3.4 Flexibilitätsbereitstellung durch Industrieunternehmen 18
3.5 Voraussetzungen für die Dekarbonisierung industrieller Prozesse 21
3.6 Einflussfaktoren auf Investitionsentscheidungen zur Prozessdekarbonisierung 25
3.6.1 Ergebnisse Experteninterviews zu Einflussfaktoren Investitionsprozess 29
3.6.2 Ergebnisse Experteninterviews kleine und mittlere Unternehmen 30
3.7 Limitationen der Ergebnisse 30

4 Zusammenfassung und Fazit **31**

Literatur **33**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Verteilung der Unternehmensgröße innerhalb der Stichprobe 9
Abbildung 2. Anzahl Unternehmen mit Klimaneutralitätsstrategie 11
Abbildung 3. Zieljahre für die angestrebte Klimaneutralität in den befragten Unternehmen 12
Abbildung 4: Primär anvisierte Dekarbonisierungsoptionen der befragten Unternehmen 12
Abbildung 5: Anteil Energieträger am Gesamtenergieverbrauch der befragten Unternehmen heute und in der Zukunft 13
Abbildung 6. Anteil Energieträger an Gesamtenergieverbrauch heute 14
Abbildung 7. Anteil Energieträger an Gesamtenergieverbrauch zukünftig 14
Abbildung 8. Temperaturniveau bereits dekarbonisierter industrieller Prozesse nach Branche 15
Abbildung 9. Vorzeitiger Austausch fossiler Technologien/Verfahren 17
Abbildung 10. Einschätzung der Unternehmensstrategie zur Nutzung bestehender Technologien bis zum Lebensende 18
Abbildung 11. Häufigkeit der Flexibilitätsbereitstellung durch Industrieunternehmen 18
Abbildung 12. Dauer der Produktionsverschiebung bzw. Verlagerung des Strombezugs 19
Abbildung 13. Erfolgte Auseinandersetzung mit Flexibilitätsbereitstellung 20
Abbildung 14. Zukünftige Relevanz von Flexibilitätsbereitstellung für die Unternehmen 20
Abbildung 15. Gründe gegen eine Bereitstellung von Flexibilität 21
Abbildung 16. Voraussetzungen für Investitionen in Dekarbonisierungsmaßnahmen 22
Abbildung 17. Wahrgenommene Dekarbonisierungsambitionen anderer Industrieunternehmen 24
Abbildung 18. Wahrgenommene Anforderungen von Kund:innen 24
Abbildung 19. Wahrgenommene Anforderungen durch die Gesellschaft 25
Abbildung 20. Primäre Entscheidungskriterien für Investitionen zur Dekarbonisierung 26
Abbildung 21. Relevante Faktoren bei der Initiierung einer Investition 27
Abbildung 22. Relevante Faktoren bei der Identifizierung von Technologieoptionen 27
Abbildung 23. Relevante Faktoren bei der Planung einer Investition in Dekarbonisierungsmaßnahmen 28
Abbildung 24. Relevante Faktoren bei der Umsetzung von Investitionen in Dekarbonisierungsmaßnahmen 28

Kurzzusammenfassung

In dieser Studie wurden 82 Unternehmensvertreter:innen der deutschen energieintensiven Industrien zur ihren Klimaneutralitätsbestrebungen, anvisierten Strategien und Einflussfaktoren auf entsprechende Investitionen befragt.

Zusammenfassend führte die Umfrage zu folgenden Ergebnissen:

1) Viele Unternehmen der energieintensiven Industrie streben eine Elektrifizierung ihrer industriellen Prozesse an. Nur die Dekarbonisierungsoptionen Energieeffizienzmaßnahmen, Abwärmenutzung und Grünstrombezug spielen für eine noch größere Anzahl an Unternehmen eine primäre Rolle.
2) Bei der Dekarbonisierung ihrer Prozesse sind die Unternehmen mit zahlreichen Herausforderungen konfrontiert, die technische, finanzielle, regulatorische, aber auch organisatorische Aspekte umfassen.
3) Planungssicherheit hinsichtlich der Verfügbarkeit von (kostengünstigem) Strom sowie ausreichende Netzanschlusskapazitäten wurden von den befragten Unternehmen übergreifend als essenziell erachtet, um in Elektrifizierungsmaßnahmen zu investieren. Die Sicherstellung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit ist zudem für die befragten Unternehmen entscheidend.
4) Die zeitliche Verlagerung von Strombezug (Flexibilisierung) wird bereits von einem Teil der Unternehmen angewendet. Viele sehen dies derzeit jedoch nicht als zukünftig relevantes Thema an.
5) Eine dem Klimaschutz zugewandte Unternehmensführung, eine richtungsweisende Dekarbonisierungsstrategie, der Aufbau von bzw. Einbezug externer Fachkompetenz sowie finanzielle Anreize werden von Stakeholdern in der deutschen Industrie als grundsätzlich förderlich für einen Investitionsentscheidungsprozess identifiziert.
6) Insbesondere in der frühen Phase der Elektrifizierung sind politische Anreize und Unterstützung essenziell. Fördermittel wurden als relevant eingestuft, um die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Elektrifizierung sicherzustellen und die Wahrscheinlichkeit einer Umsetzung von Investitionen zu erhöhen.
7) Kleine und mittlere Unternehmen können aufgrund einer vergleichsweise hierarchiearmen Entscheidungsfindung Maßnahmen ggf. schneller umsetzen, benötigen jedoch möglicherweise zusätzliche Unterstützung bei der Transformation, insbesondere beim Wissensmanagement.

1
Einleitung und Hintergrund

Die Dekarbonisierung der energieintensiven Industrie ist eine entscheidende Maßnahme für den Klimaschutz. Strom- und wärmeintensive Prozesse werden jedoch nach wie vor hauptsächlich mit fossilen Brennstoffen betrieben. Die Elektrifizierung und Flexibilisierung industrieller Prozesse zur Nutzung erneuerbaren Stroms wird daher zukünftig eine zentrale Rolle spielen (Ueckert et al., 2021). Für viele Prozesse existieren bereits umsetzbare Technologien (Fraunhofer ISI, 2024). Gleichzeitig sind bisher nur geringfügige Fortschritte bei der Elektrifizierung von Prozessen erkennbar (Expertenrat für Klimafragen, 2025). Aktuelle und zukünftige Investitionsentscheidungen in Dekarbonisierungsmaßnahmen der energieintensiven Industrien haben somit einen erheblichen Einfluss auf das Erreichen der deutschen Klimaschutzziele. Auf dem Weg zur Umsetzung der Dekarbonisierungsoptionen sehen sich Unternehmen jedoch mit zahlreichen Barrieren konfrontiert, welche die erstrebte Transformation der Industrie erschweren und verlangsamen. Darunter fallen technische Hemmnisse, wie die mangelnde Marktreife von Technologien (Agora Energiewende und Wuppertal Institut, 2019; Oberthür et al., 2021), und ökonomische Hemmnisse, wie die stark kapital-intensiven Produktionsanlagen und langen Amortisationsphasen (Åhman et al., 2017; Bataille et al., 2018). Eine Elektrifizierung bzw. Dekarbonisierung der industriellen Prozesse ist dadurch mit hohen Kosten verbunden. Auch die Sicherstellung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit ist eine Barriere für die Dekarbonisierung, insbesondere, wenn eine Diskrepanz in den internationalen Klimaschutzambitionen besteht (Agora Energiewende und Wuppertal Institut, 2019). Um die (wettbewerblich nachteiligen) Auswirkungen der CO_2-Bepreisung im Rahmen des EU-ETS 1 auf Industrieunternehmen abzufedern, wurde im Jahr 2023 auf EU-Ebene das CO_2-Grenzausgleichssystem (Carbon Border Adjustment Mechanismen, CBAM) eingeführt (PE/7/2023/REV/1). Dadurch soll einer Produktionsverlagerung von emissionsintensiven Gütern ins nicht-EU Ausland (Carbon Leakage) vorgebeugt werden (Expertenrat für Klimafragen, 2025). Gleichzeitig wurden und werden energieintensive Industrien bereits von Entgelten befreit (Hirth et al., 2024) und erhielten zudem in der Vergangenheit frei zugeteilte Emissions-Zertifikate (Europäische Kommission, 2025). Allgemein wird in der Literatur Planungssicherheit bzw. der Mangel an langfristig verlässlichen politischen Rahmenbedingungen als Investitionshemmnisse erachtet (Chiappinelli et al., 2021; Oberthür et al., 2021; Wesseling et al., 2017). Auch die Verfügbarkeit von Grünstrom und Wasserstoff sowie die dafür benötigte Infrastruktur werden als einschränkende Faktoren für eine Dekarbonisierung angesehen (Agora Energiewende und Wuppertal Institut, 2019; Chiappinelli et al., 2021; Nurdiawati & Urban, 2021).

Neben den übergreifenden Herausforderungen und Barrieren sind Investitionsentscheidungen von Unternehmen in Dekarbonisierungsmaßnahmen von einer Vielzahl an Faktoren beeinflusst. Äußere Einflüsse umfassen dabei laut Hafner et al. (2022) folgende Aspekte:

- Regulatorische Faktoren, wie die Stabilität politischer Rahmenbedingungen (Buettner, König, et al., 2022), Steuern und Abgaben (Hafner et al., 2022), Bürokratie (Neri et al., 2021)
- Ökonomische Faktoren, wie Wirtschaftlichkeit (Scharnhorst et al., 2024), marktbezogene Unsicherheiten (Buettner, König, et al., 2022), Wettbewerbsfähigkeit, externe Schocks (Samandari et al., 2022)
- Technologische Faktoren, wie die technologische Verfügbarkeit (Agora Energiewende und Wuppertal Institut, 2019), technisches Wissen (Fleschutz et al., 2022), Lock-In Effekte (Sato et al., 2021)

- Gesellschaftliche Faktoren, wie Nachfrage (Neri et al., 2021) und gesellschaftlicher Druck (Buettner, Schneider, et al., 2022)

Zudem sind auch weitere Aspekte, wie die unternehmensinterne Geschäftsstrategie oder das Engagement des Managements für die Investitionsentscheidung in Dekarbonisierungsmaßnahmen relevant (Neri et al., 2021).

Zusammenfassend stehen insbesondere energieintensive Industrien aufgrund ihres hohen Energiebedarfs im Vergleich zu anderen (verarbeitenden) Industrien vor zahlreichen Herausforderungen. Eine Transformation der energieintensiven Industrien zu einer klimaneutralen Produktion benötigt daher deutliche Anstrengungen. Deshalb ist es von grundlegender Bedeutung, die Perspektiven und Strategien von Industrieunternehmen verschiedener Branchen und Größen in Bezug auf Dekarbonisierung zu untersuchen. Darüber hinaus ist es relevant, die Faktoren zu verstehen, die die Investitionsentscheidungen zur Dekarbonisierung industrieller Prozesse in energieintensiven Industrien beeinflussen. Ob und wie sich die Relevanz der Faktoren über den Investitionsprozess verändert, ist bisher unzureichend untersucht. Erkenntnisse darüber können helfen, effektive Lösungen zur Förderung und Unterstützung der Transformation der Industrie zu entwickeln. In dieser Studie wurden 82 Unternehmen zu ihren Klimaneutralitätsbestrebungen und -strategien, bereits dekarbonisierten Prozessen, den wahrgenommenen Herausforderungen sowie Einflussfaktoren auf ihre Investitionsentscheidungen befragt. Zur Ergänzung einer externen Perspektive sowie Validierung der Ergebnisse zu Investitionsabläufen wurden vier Expert:inneninterviews geführt.

Folgende Forschungsfragen werden mit dieser Studie beantwortet:

1. Welche Dekarbonisierungsstrategien verfolgen energieintensive Industrieunternehmen in Deutschland?
2. Welche Energieträger werden derzeit für industrielle Prozesse eingesetzt und wie wird sich dies in Zukunft ändern?
3. Inwieweit wird Flexibilitätsbereitstellung bzw. Demand Response bereits in Unternehmen eingesetzt? Sehen Unternehmen der deutschen energieintensiven Industrie darin ein relevantes Thema für die Zukunft?
4. Welche Faktoren beeinflussen die Dekarbonisierung der Industrie?
5. Welche Faktoren sind in den unterschiedlichen Phasen des Investitionsprozesses für Dekarbonisierungsmaßnahmen energieintensiver Industrieunternehmen von Bedeutung?

Nachfolgend wird zunächst die angewandte Methode zur Datenerhebung und -analyse vorgestellt, bevor die Ergebnisse im Kontext der aufgestellten Fragen detailliert erläutert werden.

2
Methode

2.1 Forschungsdesign

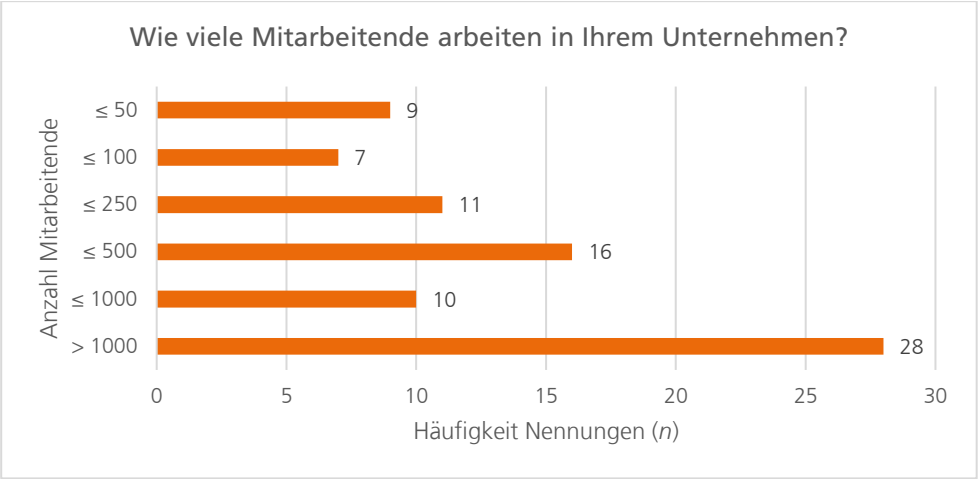
Die Umfrage wurde im Rahmen des Forschungsprojekts IND-E durchgeführt, in welchem die Dekarbonisierung der Industrie im Zuge der Transformation aus unterschiedlichen Perspektiven (Gesamtsystemperspektive, Einzelunternehmensbetrachtung, Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einzelner Produktionsprozesse, Hemmnisse und Akteure) untersucht wurde. Für die Erstellung der Umfrage wurde das Online-Umfragetool LimeSurvey verwendet. Der Fragebogen wurde in deutscher Sprache und unter Wahrung der Anonymität der Teilnehmenden vom 24.01.2024 bis zum 15.03.2024 online durchgeführt. Zur Validierung der Ergebnisse der Umfrage im Bereich der Investitionsentscheidungen wurden zudem vier Experteninterviews durchgeführt.[1] Die Datenanalyse erfolgte mittels Excel (Version 2021) und dem Statistikprogramm Jasp.

2.2 Stichprobe

Zielgruppe der Umfrage waren Unternehmen der energieintensiven Industrien in Deutschland. Innerhalb der jeweiligen Unternehmen wurden Geschäftsführer:innen sowie Mitarbeitende, die sich mit dem Thema Dekarbonisierung in ihrem Unternehmen beschäftigen, angesprochen. Der Fragebogen wurde neben der direkten Ansprache von Unternehmen über Unternehmenslisten auch über Projektkanäle, Projektpartner, das Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe sowie relevante Konferenzen verteilt. Durch eine kontinuierliche, breite Verteilung des Fragebogens und die Bitte an relevante Branchenverbände und -initiativen, die Umfrage an ihre Mitglieder und Netzwerke weiterzugeben, wurde die Stichprobe so breit wie möglich angesprochen. Insgesamt besteht die Stichprobe aus 82 Teilnehmenden. Von diesen wurden 65 Fragebögen vollständig beantwortet, 17 Fragebögen waren in Teilen verwertbar. Die meisten Teilnehmenden arbeiten im Bereich Management (n = 28), gefolgt von Energiewesen (n = 18), Nachhaltigkeit (n = 14), und Technik (n = 11). Auch Mitarbeitende aus den Bereichen Produktion (n = 5), Rechnungswesen (n = 2), Beschaffung und Materialwirtschaft (n = 1), Kommunikation (n = 1) sowie Sonstigem (n = 2) nahmen an der Befragung teil. Die Größe der teilnehmenden Unternehmen war dabei divers, die höchste Teilnahmerate wiesen jedoch große Unternehmen >1000 Mitarbeitende auf, wie in Abbildung 1 ersichtlich.

[1] Die Dauer der Interviews lag zwischen 24 und 36 Minuten. Die Befragten stammten aus unterschiedlichen Bereichen (Unternehmensberatung, Initiativen und Verein). Aus Gründen der Anonymität werden keine weiteren Angaben zu den Interviewpartnern gemacht. Vor Beginn der Aufzeichnung wurde die mündliche und schriftliche Zustimmung der Befragten eingeholt. Dies umfasste die Zustimmung zur Aufzeichnung, Transkription und anonymisierten schriftlichen Verwendung der Inhalte. Die Interviews wurden online über Microsoft Teams geführt. Die Aufzeichnung und Transkription erfolgten ebenfalls in Microsoft Teams und wurden anschließend manuell überprüft. Für weitere Informationen siehe Fornefeld (2024).

Abbildung 1. Verteilung der Unternehmensgröße innerhalb der Stichprobe



2.3 Fragebogeninhalt

Im Fragebogen wurden unterschiedliche Aspekte abgefragt. Im Folgenden ist knapp aufgeführt, welche Fragenbereiche abgedeckt wurden.

- *Klimaneutralitätsstrategien*: In diesem Abschnitt wurde erfasst, inwiefern Unternehmen bereits Klimaneutralitätsstrategien formuliert haben, welche Zieljahre und Emissions-Scopes[1] darin anvisiert werden. Darüber hinaus wurden die primär anvisierten Methoden zur Dekarbonisierung des Unternehmens erfasst. Auch sollte beantwortet werden, inwiefern gesellschaftlicher Druck, Kund:innenanforderungen und Ambitionen anderer Unternehmen zur Dekarbonisierung wahrgenommen werden.
- Zudem wird abgefragt, wie hoch die Unternehmensvertreter:innen die derzeitigen und zukünftigen prozentualen *Anteile verschiedener Energieträger* am Gesamtenergieverbrauch der industriellen Prozesse einschätzen.
- Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Betrachtung bereits erfolgter und geplanter *Investitionen in die Prozessdekarbonisierung*. Hierbei wurden sowohl die getätigten Investitionen als auch zukünftige Planungen hinsichtlich der Technologien zur Reduzierung von CO_2-Emissionen und den damit verbundenen Temperaturanforderungen betrachtet.
- Zusätzlich wurde die Einstellung zu einem frühzeitigen Austausch fossil betriebener Technologien und Verfahren untersucht.
- Ein weiterer Aspekt ist das Ausmaß der Anwendung und die Gründe für sowie gegen die zeitliche Verlagerung des Strombezugs. Hierbei wurde die aktuelle

[1] In der Treibhausgasbilanzierung und -berichterstattung wird zwischen direkten und indirekten Emissionsquellen bzw. verschiedenen Emissions-Scopes unterschieden. Scope 1 Emissionen umfassen alle direkten THG-Emissionen, die sich im Besitz oder unter Kontrolle des Unternehmens befinden, z.B. Emissionen aus der Verbrennung in eigenen Kesseln. Scope 2 berücksichtigt die THG-Emissionen des eingekauften, vom Unternehmen verbrauchten Stroms. Scope 3 behandelt andere indirekte THG-Emissionen, die als Folge der Aktivitäten des Unternehmens, aber nicht durch dieses selbst entstehen. Für weitere Informationen siehe auch das Greenhouse Gas Protocol (https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf).

Praxis der zeitlichen Verlagerung des Strombezuges sowie die wahrgenommene zukünftige Relevanz dieses Themas untersucht.

Methode

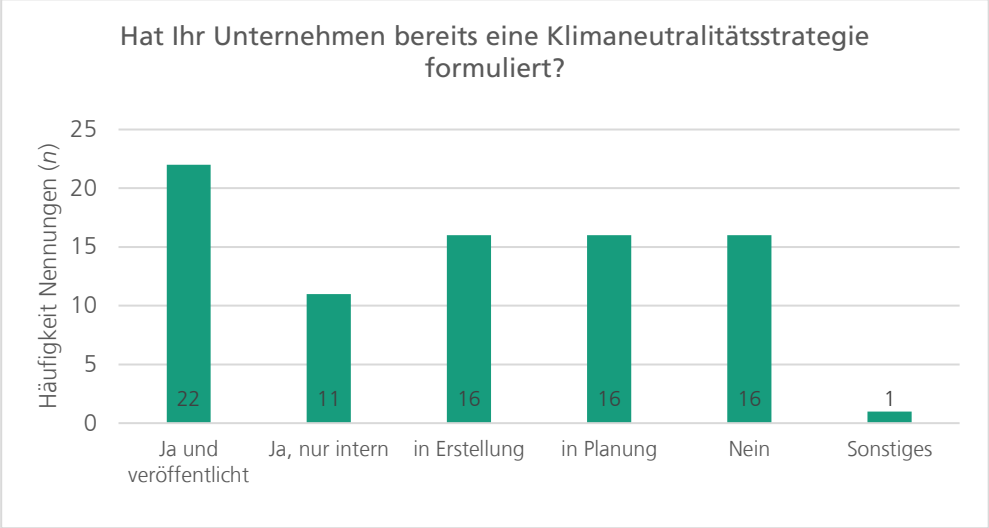
- Darüber hinaus wurden notwendige *Voraussetzungen* erfasst, damit Investitionen in die Dekarbonisierung industrieller Prozesse erfolgen.
- *Einflussfaktoren auf die Investitionsentscheidung in Dekarbonisierung*: Es wurde gefragt, was die primären Entscheidungskriterien für Investitionen in die Dekarbonisierung von industriellen Prozessen sind. Folgende Auswahlmöglichkeiten bestanden: Wirtschaftlichkeit, Gesetzesrahmen (national), Gesetzesrahmen/Direktiven (EU), Marktumfeld/Wettbewerb (national sowie international), Nachhaltigkeitsstrategie/Klimaneutralitätsstrategie, Absicherung gegen langfristige Preissteigerungen fossiler Energieträger, EU-ETS, Stromnetznutzungsentgelte, vorhandene Infrastruktur (Stromnetz, Wasserstoffnetz), Außenwirkung/Reputation des Unternehmens, Vorreiterrolle/Progressivität innerhalb der Branche, Sonstiges.
- Zudem sollten die Teilnehmenden einordnen, zu welchem *Zeitpunkt im Investitionsablauf* welche Faktoren relevant sind. Der Ablauf war in vier Phasen von dem Beginn des Prozesses (Initiierung) über die technischen und planerischen Aspekte bis hin zur Umsetzung unterteilt. Eingeordnet werden sollten: politisch-regulatorische Aspekte, EU ETS 1-Zertifikathandel (z.B. steigende Preise, Verknappung), Marktumfeld und Wettbewerb, Anforderungen von Kund:innen, unternehmerische Nachhaltigkeits- und Klimaneutralitätsstrategie, internes fachliches Wissen, personelle Kapazitäten, Haltung der Führungsebene/des Vorstands, Beratung durch Externe und Verbände, Technologieverfügbarkeit/-reife, Förderprogramme, Investmentbudget und externe Einflüsse (Covid, etc.).

3
Ergebnisse

3.1 Klimaneutralitätsstrategien der Industrieunternehmen

Von den befragten Unternehmen gab die Mehrheit an, bereits eine Klimaneutralitätsstrategie beschlossen zu haben oder diese derzeit zu erstellen. 28 Unternehmen wollen dabei Scope 1-3 Emissionen abdecken, 26 Unternehmen Scopes 1 und 2, und 3 Unternehmen gaben an, nur Scope 1 Emissionen in ihrer Klimaneutralitätstrategie zu berücksichtigen.

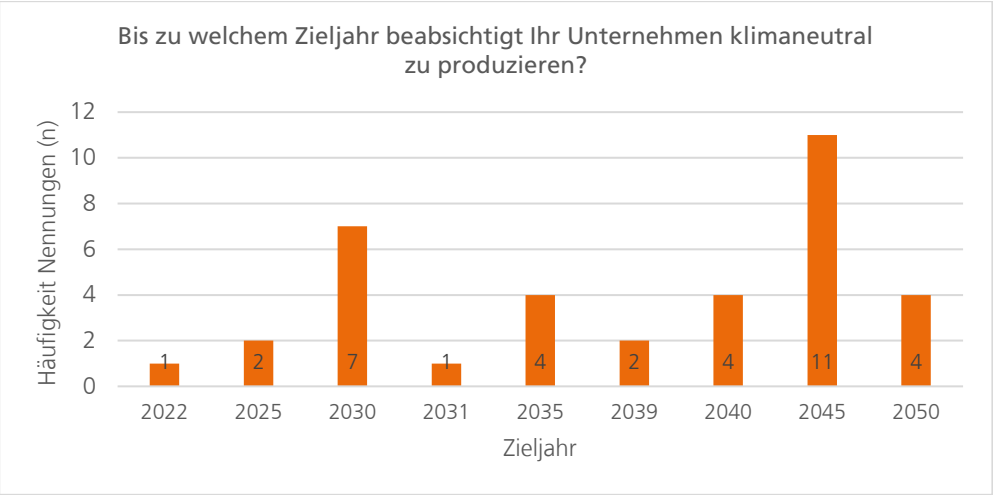
Abbildung 2. Anzahl Unternehmen mit Klimaneutralitätsstrategie



Anmerkung. $N = 82$

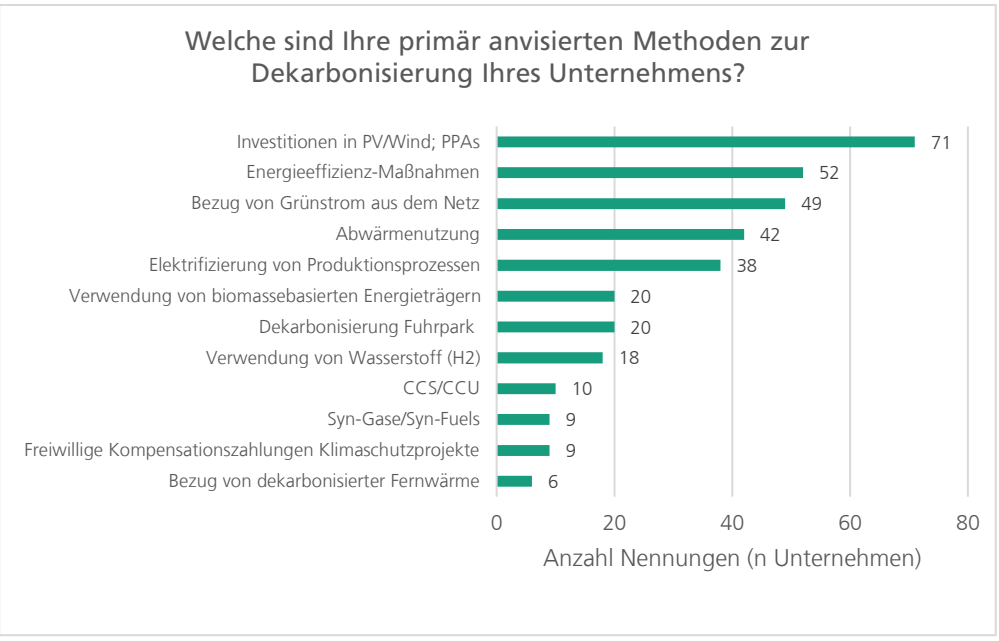
Davon gaben 36 an, bereits ein Zieljahr beschlossen zu haben, 29 nicht (fehlende Werte: $n = 17$). Die von den Unternehmen beschlossenen Zieljahre variieren dabei, mit Peaks in den Jahren 2030 und 2045.

Abbildung 3. Zieljahre für die angestrebte Klimaneutralität in den befragten Unternehmen



Die primär anvisierten Dekarbonisierungsoptionen der befragten Unternehmen sind in Abbildung 4 dargestellt. Eigene Investitionen in Photovoltaik-Anlagen (PV) und Windenergie sowie Power Purchase Agreements (PPAs) für Grünstrom werden von fast allen befragten Unternehmen angestrebt. Auch allgemeine Effizienz-Maßnahmen sowie der Bezug von Grünstrom aus dem Netz spielen eine maßgebliche Rolle bei der Dekarbonisierung für die Unternehmen.

Abbildung 4: Primär anvisierte Dekarbonisierungsoptionen der befragten Unternehmen



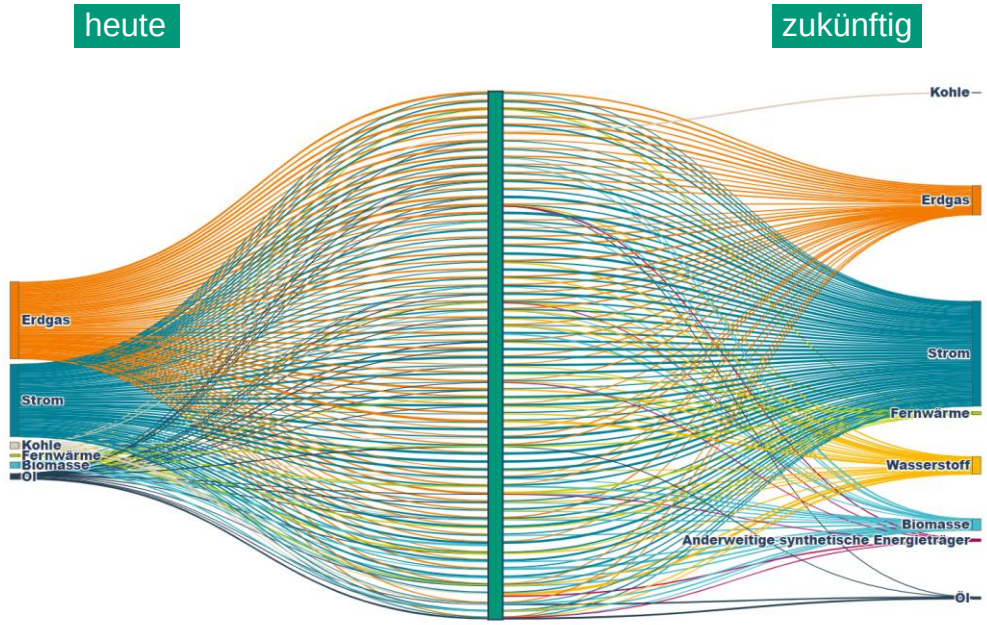
Anmerkung. Mehrfachantworten möglich.

Die Elektrifizierung von Produktionsprozessen wurde von knapp der Hälfte der Unternehmen als primäre Dekarbonisierungsoption erachtet. Die Verwendung von Wasserstoff als synthetischen erneuerbaren Energieträger wird hingegen von weniger als einem Viertel der befragten Unternehmen angestrebt.

3.2 Heutiger und zukünftiger Einsatz von Energieträgern

Die Relevanz von Elektrifizierung bzw. Strom als Energieträger spiegelt sich auch in Ergebnissen bezüglich der heutigen vs. zukünftigen[1] Energieträgerverwendung wider. Zwei Drittel der Unternehmen, die heute Erdgas verwenden, gaben an, Erdgas auch zukünftig weiterhin verwenden zu wollen. Dabei könnte aus Unternehmensperspektive der Anteil von Erdgas von derzeit durchschnittlich 46 % auf 28 % am Gesamtenergieverbrauch zurückgehen. Strom wird derzeit von allen befragten Unternehmen eingesetzt. Der durchschnittliche Anteil von Strom am Gesamtenergieverbrauch der befragten Unternehmen könnte zukünftig von 44 % auf 64 % zunehmen.[2] In Abbildung 5 ist der durch die Unternehmen geschätzte heutige vs. zukünftige Anteil der jeweiligen Energieträger am Gesamtenergieverbrauch über die Unternehmen hinweg dargestellt. Berücksichtigt in der Darstellung ist sowohl die Anzahl an Nennungen als auch die jeweiligen angegebenen Anteile am Gesamtenergieverbrauch.

Abbildung 5: Anteil Energieträger am Gesamtenergieverbrauch der befragten Unternehmen heute und in der Zukunft

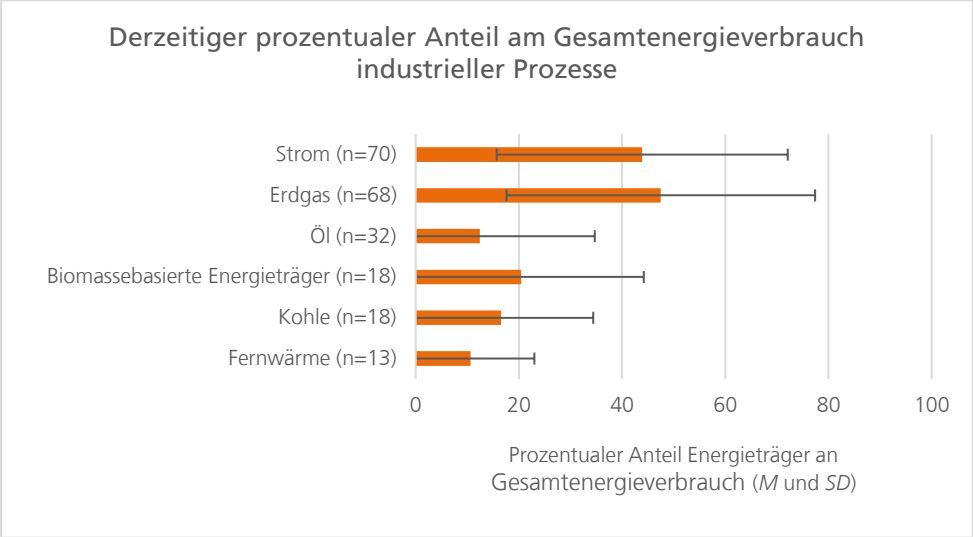


In den nachfolgenden Abbildungen ist dargestellt, wie stark die geschätzten derzeitigen und perspektivischen Anteile der Energieträger am Gesamtenergieverbrauch über die Unternehmen hinweg schwanken. Es sind sowohl jeweils die Mittelwerte als auch die Standardabweichungen ausgewiesen.

[1] In der Studie wurde kein Zeitraum angegeben, es wurde lediglich nach der heutigen vs. zukünftigen anteiligen Energieträgerverwendung gefragt.

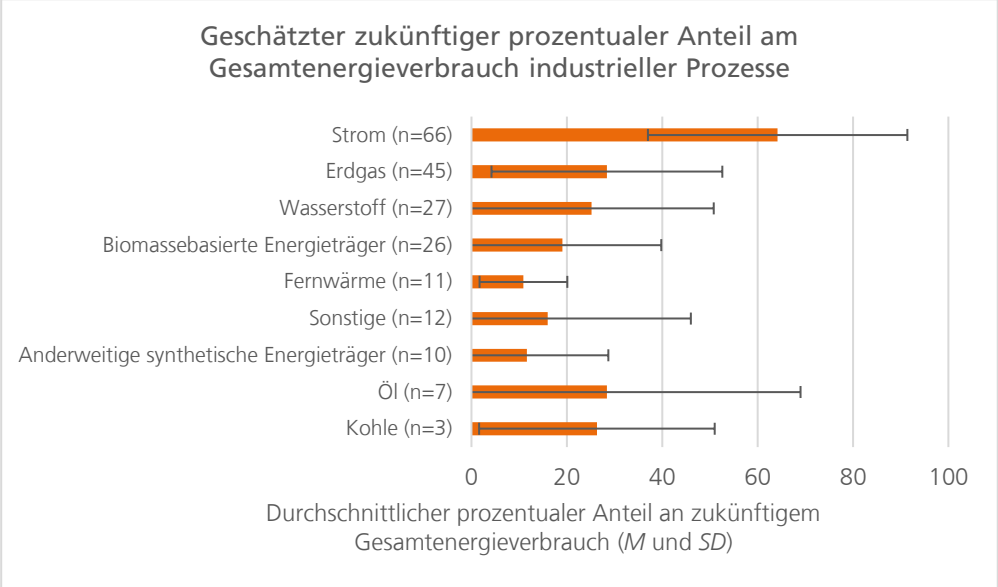
[2] Hierbei ist zu beachten, dass die Anteile am Gesamtenergieverbrauch sowohl für die heutigen als auch zukünftigen Angaben eine hohe Varianz zwischen den Unternehmen aufweisen. Die Standardabweichung bzgl. der mittleren Anteile liegt jeweils zwischen 24 % und 30 %.

Abbildung 6. Anteil Energieträger an Gesamtenergieverbrauch heute



Anmerkung. Frage: „Wie hoch ist nach Ihrer Schätzung der derzeitige prozentuale Anteil der folgenden Energieträger am Gesamtenergieverbrauch Ihrer industriellen Prozesse?". Angegeben sind Mittelwert und Standardabweichung.

Abbildung 7. Anteil Energieträger an Gesamtenergieverbrauch zukünftig

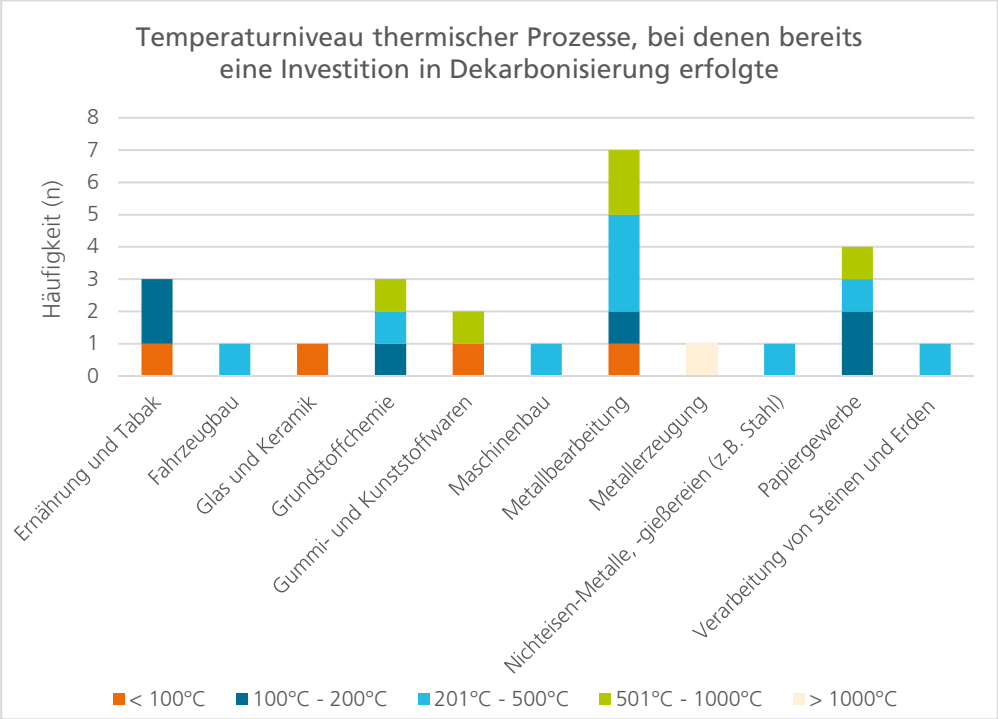


Anmerkung. Frage: „Wie hoch ist nach Ihrer Schätzung der zukünftige prozentuale Anteil der folgenden Energieträger am Gesamtenergieverbrauch Ihrer industriellen Prozesse?". Angegeben sind Mittelwert und Standardabweichung.

3.3 Erfolgte und geplante Investitionen zur Prozessdekarbonisierung

Insgesamt gaben 35 Unternehmen an, bereits in die Dekarbonisierung von Industrieprozessen investiert zu haben, 27 verneinten dies. Von diesen 35 Unternehmen sind besonders viele in der Branche Metallbearbeitung angesiedelt, gefolgt von Papiergewerbe sowie Ernährung und Tabak sowie Grundstoffchemie. Die Temperaturniveaus der thermischen Prozesse, bei denen bereits eine Investition in Dekarbonisierungsmaßnahmen erfolgte, sind in Abbildung 8 dargestellt.

Abbildung 8. Temperaturniveau bereits dekarbonisierter industrieller Prozesse nach Branche



In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die von den unternehmen angegebenen, bereits dekarbonisierten industriellen Prozesse im Detail aufgeführt.

Tabelle 1. Bereits erfolgte Investitionen in Prozessdekarbonisierung

Branche	Dekarbonisierter industrieller Prozess	Temperaturniveau	Art der Dekarbonisierung	Vorherige Technologie
Metallbearbeitung	Prozesswärme	501°C - 1000°C	Direktelektrifizierung	Umstellung von Gas auf Strom
	Elektrifizierung von Wärmebehandlung von Stahl	501°C - 1000°C	Direktelektrifizierung	
	Abwärmenutzung	< 100°C	Direktelektrifizierung, Abwärme	Freie Kühlung und Kompressionskältemaschinen, keine weitere Nutzung
	Gaseinsparung durch Umstellung der Prozesse	201°C - 500°C	Direktelektrifizierung, Biomasse, Abwärme	

	Gesamter Prozess durch Anlagen Neubau	201°C - 500°C	Direktelektrifizierung	Erdöl
	Fertigung	201°C - 500°C	sonstige Technologien	
	100 % Ökostrom, Kompensation von CO_2 aus Scope 1 und Scope 2	100°C - 200°C	Abwärme	
	Umstellung auf 100% Ökostrom			
	Umstellung des Schmelzbetriebs von Kupolofen- auf Mittelfrequenz-Induktionstiegelofenanlage	> 1000°C	Direktelektrifizierung	früher: Koks- und Erdgas-befeuerter Kupolofen
Ernährung und Tabak	Dampf- und Stromerzeugung	100°C - 200°C	Biomasse	Holz / Kohle und Gas
	Energiewandlung	100°C - 200°C	andere Effizienzmaßnahmen	-
	Pasteurisieren von Lebensmittel (per Prozessoptimierung, Wärmerückgewinnungen und Bereitstellung von Wärme effizienter gestalten)	< 100°C	Abwärme, andere Effizienzmaßnahmen, sonstige Technologien	-
Fahrzeugbau	Lackierprozesse	201°C - 500°C	Direktelektrifizierung	gasbasierte Wärmeerzeugung
Glas und Keramik	Wärme	< 100°C	Abwärme	-
Gummi- und Kunststoffwaren	Heizenergie	501°C - 1000°C	Biomasse, Abwärme	Jetzt Holzpelletheizung vorher Öl
	Abwärmenutzung statt fossiler Heizung von Gebäuden	< 100°C	Abwärme	Erdgas

Die Teilnehmenden wurden zudem gefragt, ob (weitere) Investitionen in die Dekarbonisierung industrieller Prozesse geplant sind. Die detaillierteren Antworten zeigt Tabelle 2.

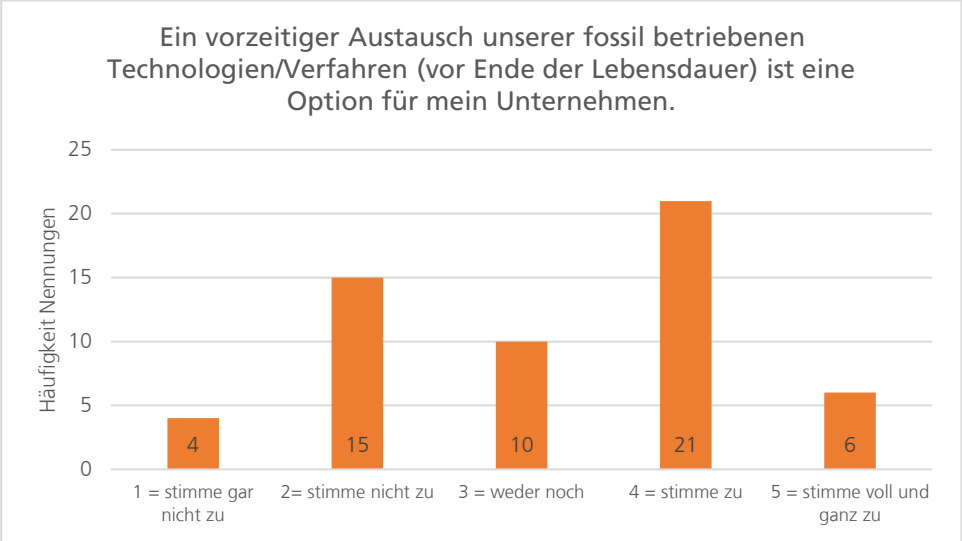
Tabelle 2. Geplante Investitionen in die Prozessdekarbonisierung

Branche	Investitionsentscheidung erfolgt in…	Industrieller Prozess	Temperaturniveau	Technologie verfügbar?
Metallbearbeitung	2 bis 5 Jahren	Feuerverzinkung von Stahlbauteilen	201°C - 500°C	Nein, passende Technologien werden erforscht
	< 2 Jahren	Erwärmung von Schmiedeteilen	Sonstiges	Nein, passende Technologien werden erforscht
	2 bis 5 Jahren		201°C - 500°C	Nein, passende Technologien existieren (noch) nicht
Metallerzeugung	6 bis 10 Jahren	Eisen schmelzen	> 10000°C	Ja, passende Technologien sind auf dem Markt verfügbar
	< 2 Jahren	Heizung	< 100°C	Ja, passende Technologien sind auf dem Markt verfügbar
Papiergewerbe	2 bis 5 Jahren	thermischer Trocknungsprozess in der Papierproduktion	201°C - 500°C	Ja, passende Technologien sind auf dem Markt verfügbar
	< 2 Jahren		100°C - 200°C	Ja, passende Technologien sind auf dem Markt

				verfügbar
	6 bis 10 Jahren	CO_2-Abscheidungsanlagen		Ja, passende Technologien sind auf dem Markt verfügbar
	2 bis 5 Jahren	Energieerzeugung	201°C - 500°C	Nein, passende Technologien existieren (noch) nicht

Für einen Großteil der befragten Unternehmen ist zudem ein vorzeitiger Austausch der mit fossilen Brennstoffen betriebenen Technologien und Verfahren vor Ende deren eigentlicher Lebensdauer eine Option. Dies ist insofern relevant, da technisch mögliche Lebensdauern fossiler Technologien somit nicht vollständig realisiert werden, auch wenn heute noch Investitionsentscheidungen für fossile Lösungen getroffen werden.

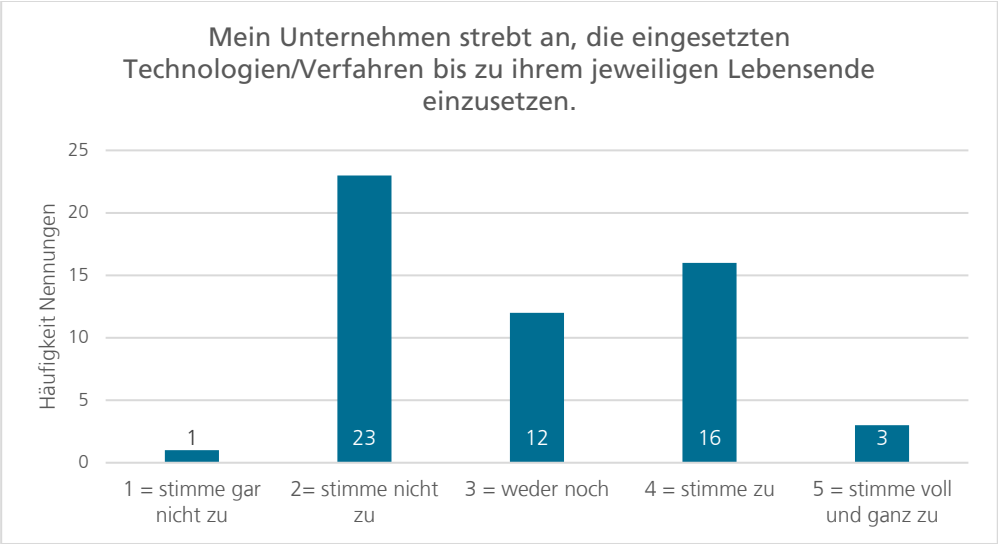
Abbildung 9. Vorzeitiger Austausch fossiler Technologien/Verfahren



Anmerkung. n = 56

Zudem streben nicht alle Unternehmen an, die derzeit eingesetzten Technologien bzw. Verfahren bis zu ihrem jeweiligen Lebensende einzusetzen (siehe Abbildung 10).

Abbildung 10. Einschätzung der Unternehmensstrategie zur Nutzung bestehender Technologien bis zum Lebensende

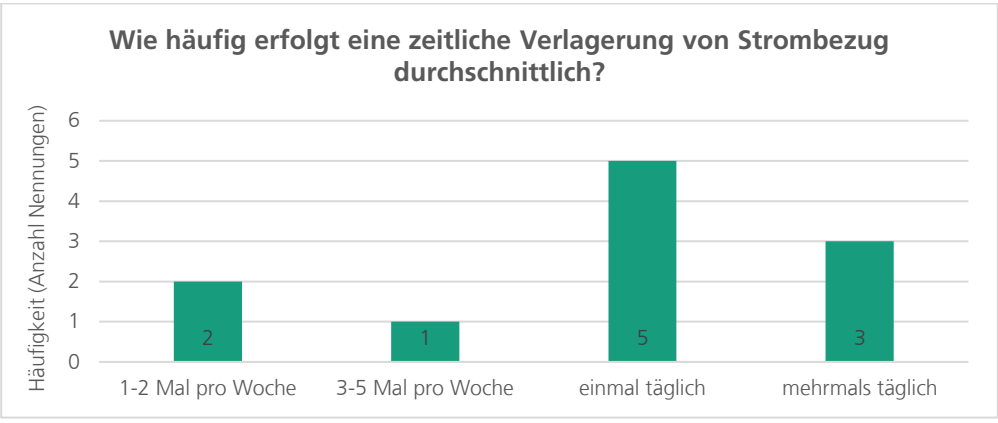


Anmerkung. n = 55

3.4 Flexibilitätsbereitstellung durch Industrieunternehmen

Knapp die Hälfte der befragten Unternehmen (49 %) gab an, einen festen Stromtarif (Arbeitspreis / Leistungspreis) zu beziehen, 38 % nutzen bereits einen variablen Stromtarif. Die übrigen 13 % gaben einen sonstigen Strombezug an, welcher vor allem einen Einkauf an der Börse, einen Mix aus Basisversorgung per festem Tarif und Mengenflex-Tarif als OnSet oder eine Kombination aus Terminmarkt-Absicherung, PPAs und Spot-Preisen umfasst. Eine Flexibilisierung bzw. zeitliche Verlagerung von Strombezug (Demand Response) wird lediglich von einem Teil der energieintensiven Industrieunternehmen als attraktiv und perspektivisch relevant wahrgenommen wird. Knapp ein Viertel (22 %) der befragten 82 Unternehmen wendet dabei bereits heute eine zeitliche Verlagerung des Strombezugs an. Dies erfolgt laut Unternehmensangaben meist aus Gründen der Spitzenlastkappung zur Reduktion des Leistungspreises der Netzentgelte sowie einer Ausnutzung von günstigen Strombezugszeiten (variabler Tarif). In den meisten Fällen wird die Produktion bzw. der Strombezug dabei mindestens einmal täglich (siehe Abbildung 11) verschoben.

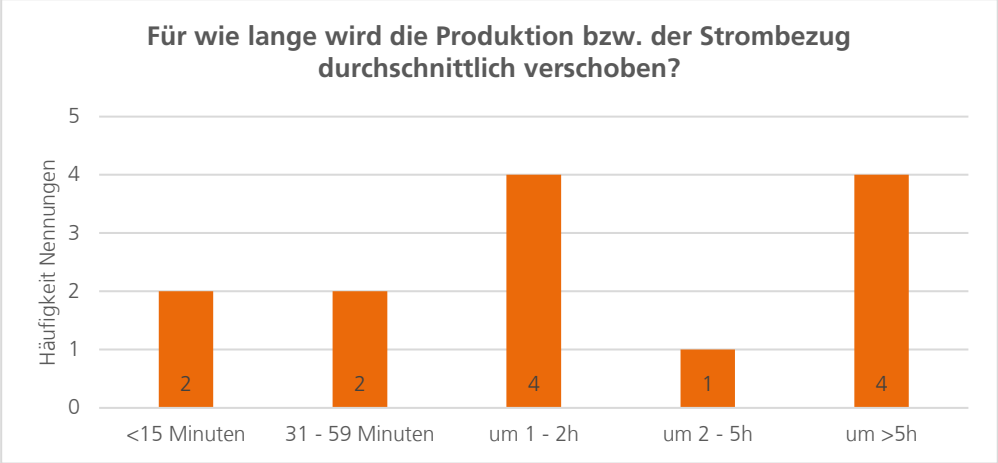
Abbildung 11. Häufigkeit der Flexibilitätsbereitstellung durch Industrieunternehmen



Anmerkung. n = 14

Die Dauer der Produktionsverschiebung schwankt dabei. Die häufigsten Nennungen liegen im Bereich von ein bis zwei Stunden oder mehr als fünf Stunden (siehe Abbildung 12).

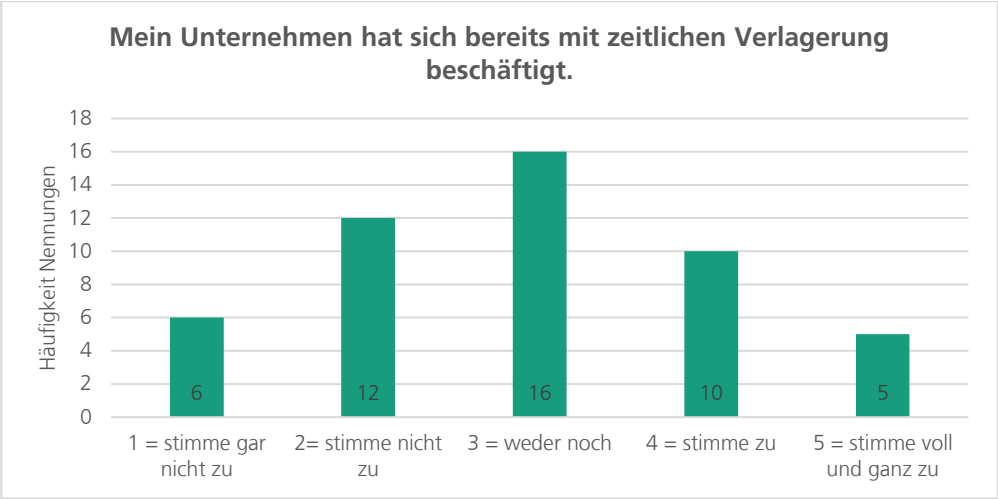
Abbildung 12. Dauer der Produktionsverschiebung bzw. Verlagerung des Strombezugs



Anmerkung. *n* = 14

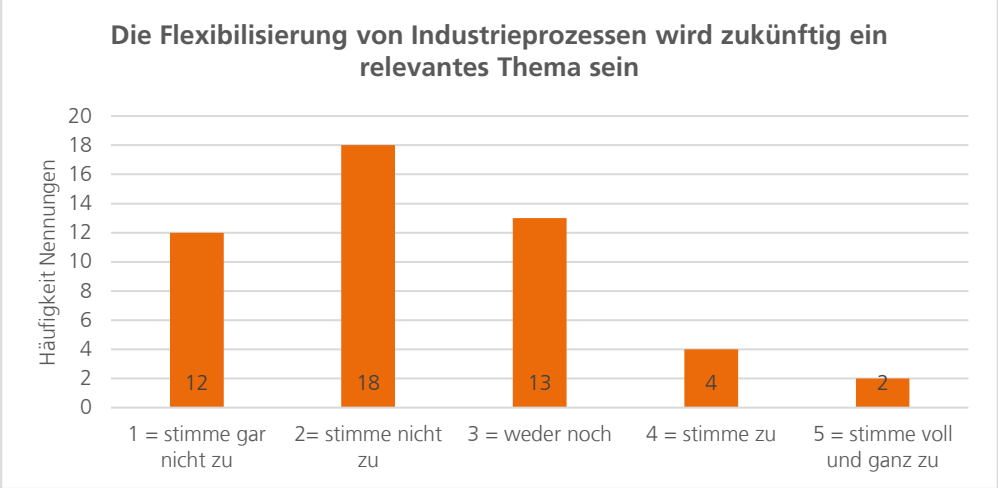
Für folgende Prozesse wurde eine Flexibilitätsbereitstellung angegeben: Altpapieraufbereitung, Betrieb der Induktionsöfen zum Erschmelzen von Eisen, Flüssigeisen-Erzeugung in einer 3,5 t-Mittelfrequenz-Induktionstiegelofenanlage, Ladeprozesse, Produktionsprozesse, Schmelzprozesse, Starten von Maschinen inkl. Aufheizen von schweren (>200kg) Metallwerkzeugen auf ~200°C, Trocknung sowie Zementmahlung. Zudem wurden die Unternehmen gefragt, wie hoch die Leistungsänderung aufgrund von zeitlicher Verlagerung von Strombezug verglichen zur Nennleistung ausfällt. Eine Leistungsänderung von <10 % wurde drei Mal genannt, von 10-30 % wurde vier Mal genannt, von 31-50 % wurde zwei Mal angegeben. Darüber hinaus wurde einmal „sonstiges“ angegeben, was im offenen Antwortformat als 75 %-ige Leistungsänderung bei einer Flüssigeisen-Erzeugung in einer 3,5 t-Mittelfrequenz-Induktionstiegelofenanlage erläutert wurde.
Unternehmen, die Strombezug bisher nicht zeitlich verlagern (*n* = 49), gaben mehrheitlich an, dass die Flexibilisierung von Industrieprozessen zukünftig eher kein relevantes Thema sein wird, sie auch Abbildung 13 und Abbildung 14.

Abbildung 13. Erfolgte Auseinandersetzung mit Flexibilitätsbereitstellung



Anmerkung. n = 49

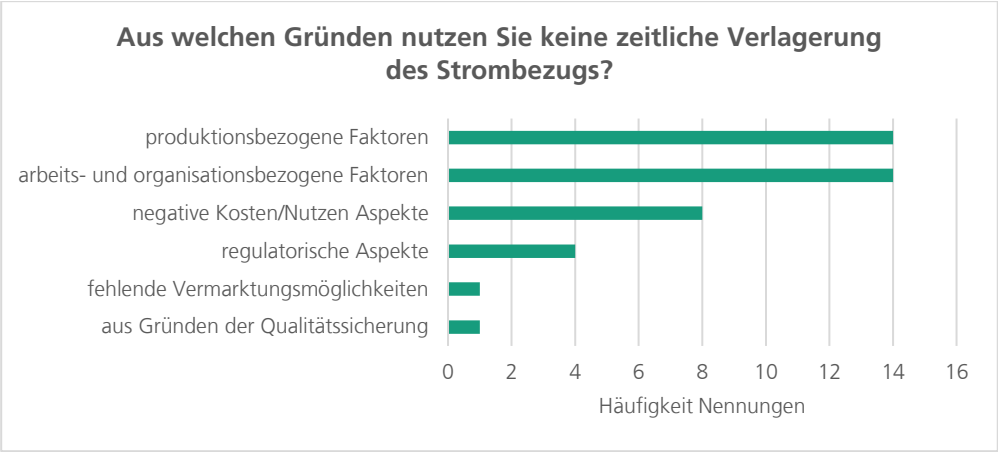
Abbildung 14. Zukünftige Relevanz von Flexibilitätsbereitstellung für die Unternehmen



Anmerkung. n = 49

Gründe, die gegen eine zeitliche Verlagerung von Strombezug sprechen, sind aus Sicht der Unternehmen primär produktionsbezogene Faktoren, arbeits- und organisationsbezogene Faktoren sowie negative Kosten/Nutzen Aspekte (siehe Abbildung 15).

Abbildung 15. Gründe gegen eine Bereitstellung von Flexibilität



Anmerkung. Unter „sonstiges" wurde zudem einmal angegeben: fehlender Wille / fehlende Priorität.

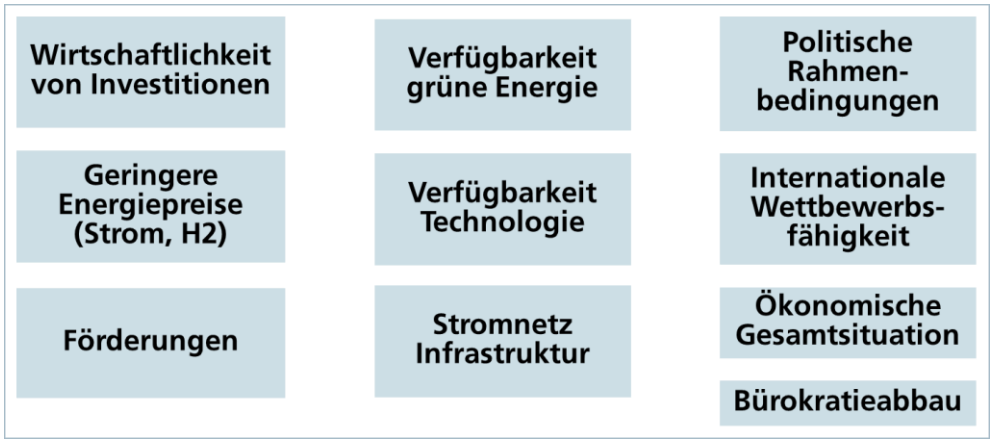
In einem offenen Antwortformat konnten die Gründe spezifiziert werden. Folgende Aspekte wurden dort genannt:

- „24/7 Produktion"
- „Die Auftragslage ist entscheidend und damit auch die Personalplanung im Werk. Dieses kann nicht zu spontan angepasst werden."
- „Durchgehender Produktionsprozess über den gesamten Tag."
- „Eine teure Produktionsanlage läuft im Idealfall rund um die Uhr von Sonntagnacht bis Freitagabend. Ansonsten bin ich nicht wettbewerbsfähig. Daher sind anlagenspezifische Prozesse auf eine kontinuierliche stabile Stromverfügbarkeit angewiesen. In nicht so anlagenintensiven Bereichen gilt dasselbe im 1-2 Schicht Betrieb tagsüber. Man kann nicht einfach nicht produzieren, wenn es grad keinen Strom oder keinen günstigen Strom gibt. Man bräuchte ja dann Überkapazitäten, um im Angebotsfall produzieren zu können. Wer zahlt mir diese Überkapazitäten wenn ich gerade nicht produziere?"
- „Ganztagesbetrieb / ohnehin Dreischichtbetrieb; Keine Betriebsgenehmigung für Nachtarbeit (Hammerwerk) Verkettete Prozesse mit Warmübergaben Arbeitszeitregelungen / Gesetze"
- „Hoher Produktionsdruck. Flexibilität ist in Form eines Kühlhauses und zukünftig bei einer elektrischen Dampferzeugung mit entsprechenden Pufferkapazitäten möglich."
- „Sicherstellung der gewünschten Produktionshöhe zur gewünschten Zeit."
- „Zweischicht Betrieb."
- „zu wenige MA [Mitarbeitende, Anm. der Autorinnen]"

3.5 Voraussetzungen für die Dekarbonisierung industrieller Prozesse

Übergreifend wurden die Teilnehmenden in einem offenen Antwortformat zunächst gefragt, welche Voraussetzungen für die Dekarbonisierung industrieller Prozesse für sie prinzipiell gegeben sein müssen. Folgende Aspekte wurden genannt:

Abbildung 16. Voraussetzungen für Investitionen in Dekarbonisierungsmaßnahmen



Anmerkung. Als "grüne Energie" wurden grüner Strom, H2 sowie Biomasse/Biogas/Biomethan genannt.

Die Aspekte sind Erkenntnisse auf einem offenen Antwortformat. Im Folgenden sind die Faktoren auf Basis der Antworten näher erläutert:

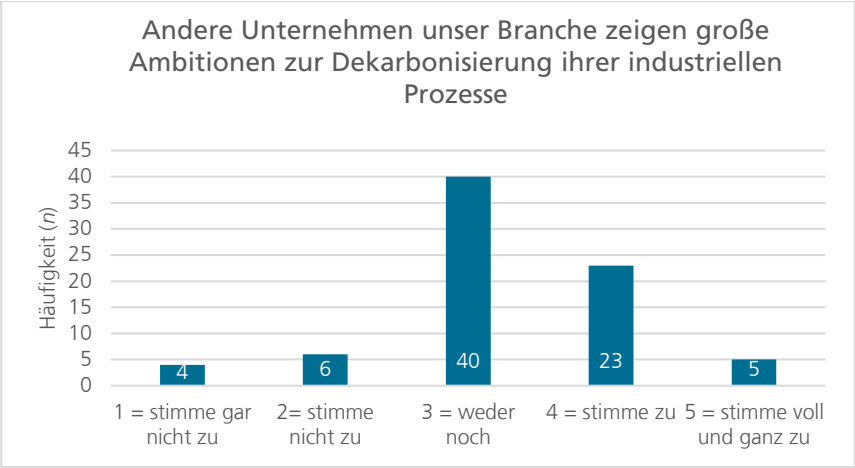
1. **Förderungen**: Es müsste Förderungen und Marktanreize geben, da Kunden oft nicht bereit seien, die höheren Kosten für grüne Technologien zu tragen. Eine 50% Förderung und ausreichende Fördermöglichkeiten seien entscheidend.
2. **Ökonomische Gesamtsituation**: Eine positive wirtschaftliche Lage müsse notwendig sein, um Investitionen in Dekarbonisierungsmaßnahmen zu ermöglichen.
3. **Politische Rahmenbedingungen**: Verlässliche und klare politische Rahmenbedingungen seien erforderlich. Unternehmen möchten nicht als Betreiber von Versorgungsanlagen fungieren und wünschten sich einfache Meldepflichten. Umweltbelange wie Wasser- und Immissionsrecht müssten beherrschbar sein. Es seien gesetzliche Verpflichtungen zu beachten, insbesondere die Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen und die Nutzung von Biomasse und Biogas, die als nachhaltig und CO_2-neutral eingestuft werden müssten.
4. **Bürokratie**: Der Umsetzungsprozess sollte unkompliziert sein, ohne bürokratische Hürden, insbesondere bei der Bilanzierungspflicht von PPAs in der Windenergie.
5. **Internationale Wettbewerbsfähigkeit**: Die Unternehmen sähen sich massiven Wettbewerbsnachteilen gegenüber, wenn sie regenerative Brennstoffe anstelle fossiler Brennstoffe nutzen würden. Nationale Emissionshandelssysteme würden diese Wettbewerbsnachteile nicht lösen, da sie international bestünden. Der langfristige wirtschaftliche Einsatz neuer Technologien müsste gewährleistet sein, um im internationalen Wettbewerb, insbesondere in Asien und den USA, bestehen zu können. Kund:innen seien zudem oft nicht bereit, die Mehrkosten zu tragen, was die Investitionsentscheidung zusätzlich erschweren.
6. **Wirtschaftlichkeit von Investitionen**: Die Wirtschaftlichkeit eines Projektes müsse generell gegeben sein. Am Ende müsse es bezahlbar sein, wobei Kosten und Erlös zusammenpassen müssten (dies könnte die Lebensmittelerzeugung und -verarbeitung in der Region gefährden; lebensmittelrechtliche Anforderungen, insbesondere die Sicherheit, müssten erfüllt werden, und die Qualitätsansprüche würden derzeit steigen) - Ausführung eines Lebensmittelherstellers [*Anm. der Autor:innen*]. Es müssten ausreichend liquide Mittel zur Verfügung stehen, um die Investition stemmen zu können. Die mit der Investition verbundenen Risiken müssten überschaubar und abschätzbar sein. Investitionen müssten zumindest einigermaßen wirtschaftlich sein, wobei die Investiti-

onskosten so hoch seien, dass der ROI erst in über 10 Jahren liege. Bessere Abschreibungsfristen sollten gelten. Die Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit von Alternativen und Maßnahmen würden eine maßgebliche Rolle spielen.

7. **Netzauslastung/Infrastruktur**: Die Auslastung des Stromnetzes sei durch den aktuellen Netzanschluss begrenzt. Es müsste eine Erhöhung von Netzanschlusskapazitäten geben, um die Elektrifizierung der Wärmeerzeugung umzusetzen, insbesondere durch Hochtemperaturwärmepumpen und Elektrokessel. Die elektrische Infrastruktur, sowohl lokal als auch im Netz, müsse angepasst werden. Die Verfügbarkeit von grünem Strom in ausreichender Menge sei aktuell nicht gesichert, und der Netzausbau, einschließlich der Umstellung von 10 kV auf 110 kV Einspeisung, sei teuer und zeitintensiv (4-7 Jahre). Um zukünftig auch mehr extern erzeugten grünen Strom einsetzen zu können, müsse die Infrastruktur sowohl intern als auch extern angepasst werden.
8. **Verfügbarkeit Technologie**: Es müsste verfügbare, bezahlbare Technik und alternative Technologien geben. Eine verlässliche Technologie müsse vorhanden sein und gefördert werden, um die Wärmebehandlung weiterhin betreiben zu können, da diese für die Herstellung der Produkte unerlässlich sei. Zurzeit existiere jedoch keine sinnvolle Lösung für Hochtemperatur-Wärmebehandlungsprozesse im Großformat. Die Wasserstoff-Brennertechnologie sei technisch noch nicht verfügbar, und Wasserstoff sei weder verfügbar noch bezahlbar. Die Technologie zum Einsatz von Wasserstoff sei zwar getestet und möglich.
9. **Geringere Energiepreise** (Strom, H2): Die Nachfrage nach industrieller Abwärme durch den lokalen Energieversorger müsse gegeben sein. Der Prozess dürfe sich nicht verkomplizieren, und ein angemessener Strompreis sollte vorhanden sein. Grünstrom sollte günstiger am Markt erhältlich sein als grauer Strom. Wasserstoff müsse in großen Mengen verfügbar werden und auf dem Preisniveau von Flüssigerdgas (liquefied natural gas; LNG) liegen, da der Preis von Wasserstoff momentan noch viel zu hoch sei. Andernfalls drohe Carbon Leakage und eine Verlagerung an außereuropäische Standorte. Die Wirtschaftlichkeit erfordere deutlich geringere Strompreise, idealerweise Strompreise, die gleich oder niedriger als die Gaspreise seien.
10. **Energieverfügbarkeit**: Die elektrische Infrastruktur müsse angepasst werden, und die Lieferung von Wasserstoff sowie ausreichend Grünstrom müsse gewährleistet sein. Politische Rahmenbedingungen sollten perspektivisch den Zugang zu günstiger Energie ermöglichen, wobei nicht nur die Erzeugungskosten, sondern die Gesamtkosten berücksichtigt werden müssten. Eine Produktionsunterbrechung aufgrund von Strommangel sei keine Option, weshalb neben der Elektrifizierung der Prozesse weiterhin auf Eigenproduktion von Wärme und Strom (KWK) gesetzt werden müsse. Energieträger sollten Biomasse und Biogas, erzeugt aus Restbiomasse aus dem Prozess, sein.
11. **Sonstiges**: Diverse andere Gründe, wie Prozessqualität und OEE [Anm. der Autor:innen: „overall equipment effectiveness"], wären zu berücksichtigen. Wesentlich sei die Verfügbarkeit von dekarbonisiertem Stahl, die in den nächsten Jahren beginnen solle, mit einer Planung von ca. 30% bis 2030 [*Anm. der Autor:innen*: Erwartungen eines Unternehmens].

Neben übergreifenden Vorgaben bzw. Voraussetzungen, die gegeben sein müssen, damit Industrieunternehmen nach eigener Angabe Investitionen in Erwägung ziehen, gibt es auch weitere Aspekte, die Ambitionen beeinflussen können. So bspw. das gesellschaftliche oder anderweitige unternehmerische Umfeld (siehe auch König, 2020). Im Folgenden sind daher die wahrgenommenen Dekarbonisierungsambitionen anderer Industrieunternehmen (Abbildung 17) sowie wahrgenommene Anforderungen von Kund:innen (Abbildung 18) und der Gesellschaft (Abbildung 19) dargestellt.

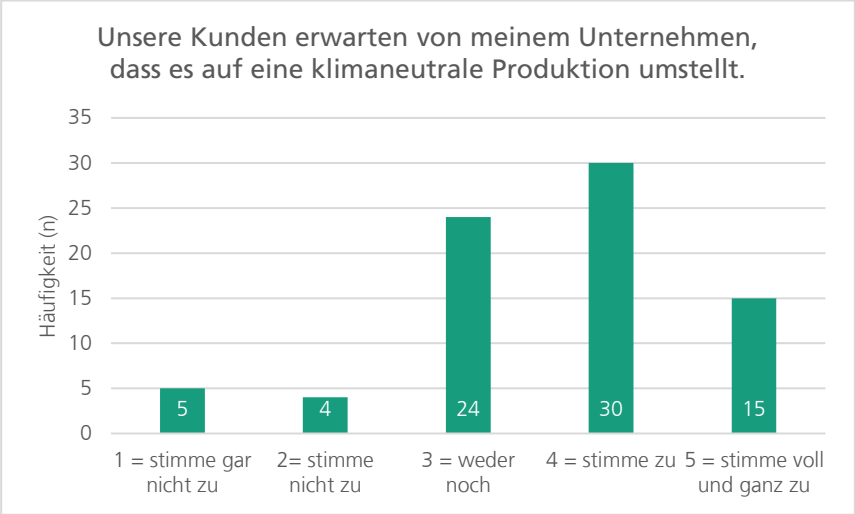
Abbildung 17. Wahrgenommene Dekarbonisierungsambitionen anderer Industrieunternehmen



Anmerkungen. *n* = 78

Es zeigt sich, dass andere Unternehmen als indifferent bis eher ambitioniert erachtet werden. Nur wenige Umfrageteilnehmer:innen nehmen andere Unternehmen als sehr unambitioniert wahr. Obwohl in den offenen Antwortformaten darauf hingewiesen wurde, dass viele Kund:innen derzeit nicht bereit seien, Mehrkosten durch grüne Produktion zu zahlen, gaben viele Teilnehmer:innen an, dass eine Erwartungshaltung zur Dekarbonisierung bestünde.

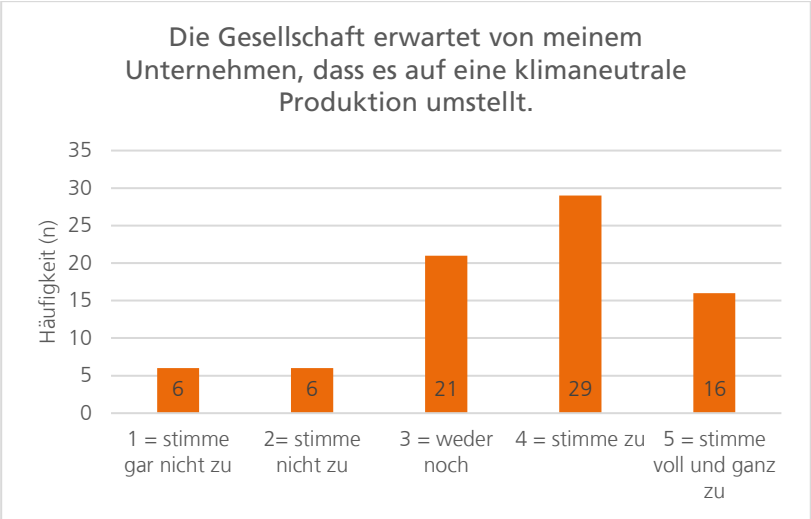
Abbildung 18. Wahrgenommene Anforderungen von Kund:innen



Anmerkung. *n* = 78

Die Befragten gaben zudem mehrheitlich an, dass sie Erwartungshaltungen aus der Gesellschaft an eine Dekarbonisierung ihres Unternehmens wahrnehmen. Einzelne Unternehmensvertreter:innen stimmten dem jedoch (gar) nicht zu.

Abbildung 19. Wahrgenommene Anforderungen durch die Gesellschaft

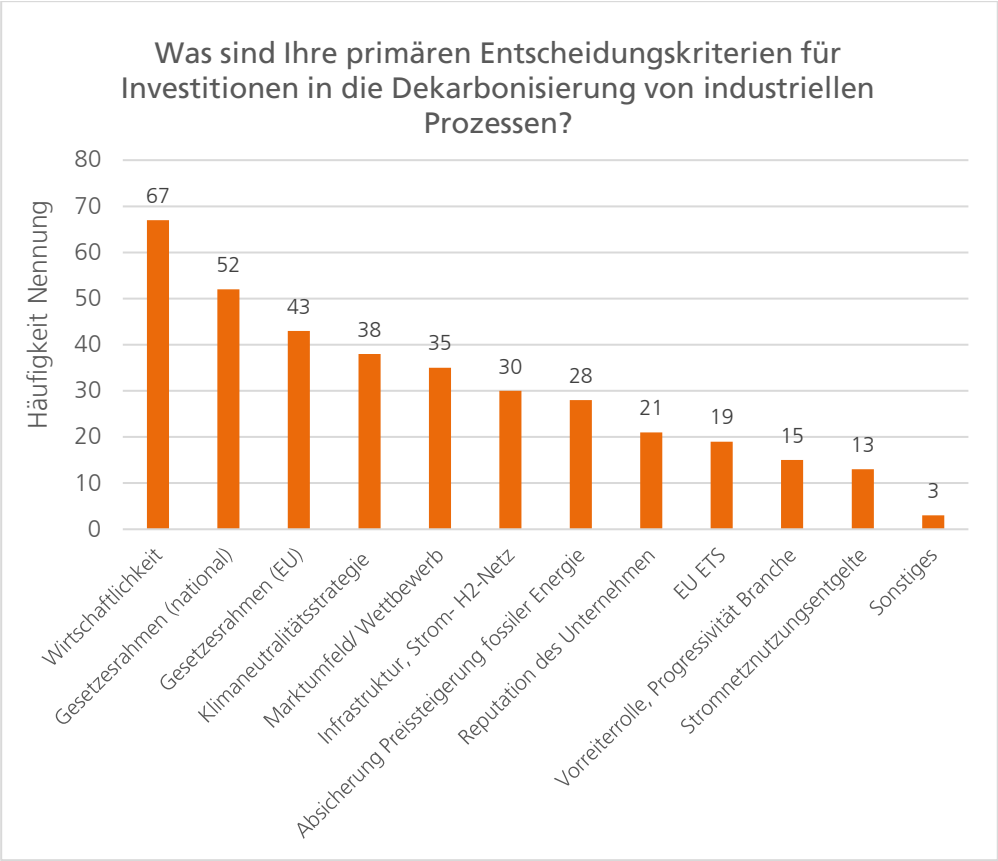


Anmerkung. n = 78

3.6 Einflussfaktoren auf Investitionsentscheidungen zur Prozessdekarbonisierung

Im Folgenden sind primäre Entscheidungskriterien für Investitionen in die Dekarbonisierung von Industrieprozessen dargestellt. Abbildung 20 veranschaulicht die Häufigkeiten der Nennungen der einzelnen Kriterien. Auf die Frage nach den wichtigsten Aspekten einer Dekarbonisierungsinvestition wurde die Rentabilität am häufigsten genannt. Der nationale Rechtsrahmen wurde am zweithäufigsten genannt, gefolgt vom EU-Rechtsrahmen. Dicht darauf folgen die Kriterien Klimaneutralitätsstrategie sowie das Marktumfeld/Wettbewerb.

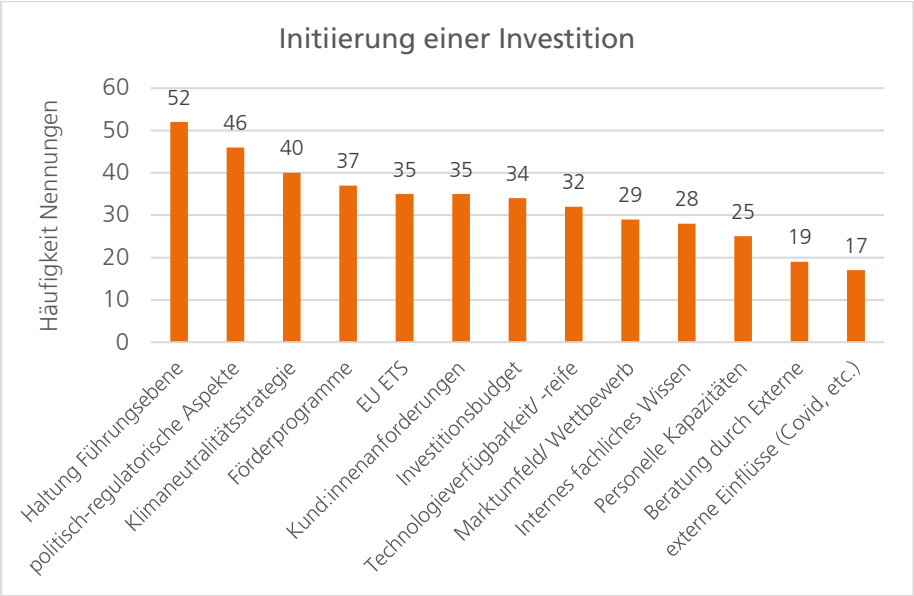
Abbildung 20. Primäre Entscheidungskriterien für Investitionen zur Dekarbonisierung



Anmerkung. Mehrfachnennungen möglich

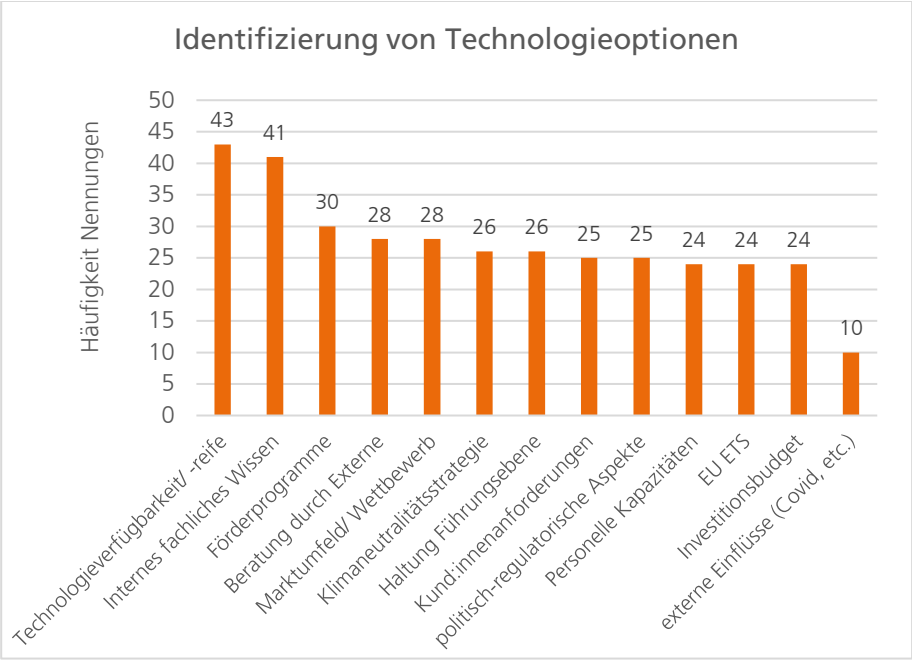
Die folgenden Abbildungen zeigen, welche Faktoren in unterschiedlichen Phasen eines Investitionsablaufs von der Initiierung einer Investition, der Identifizierung von Technologieoptionen, zur Planung und letztlich bei der Umsetzung als besonders relevant erachtet werden. Für eine Initiierung von Investitionen in Dekarbonisierungsmaßnahmen (Abbildung 21) wurden vor allem die Haltung der Führungsebene sowie politisch-regulatorische Aspekte als entscheidend angesehen. Auch eine Klimaneutralitätsstrategie sowie entsprechende Förderprogramme wurden als relevant erachtet. Die Beratung durch Externe sowie mögliche externe Einflüsse bzw. Schocks spielen in dieser Phase laut den Angaben der befragten Unternehmen eine untergeordnete Rolle.

Abbildung 21. Relevante Faktoren bei der Initiierung einer Investition



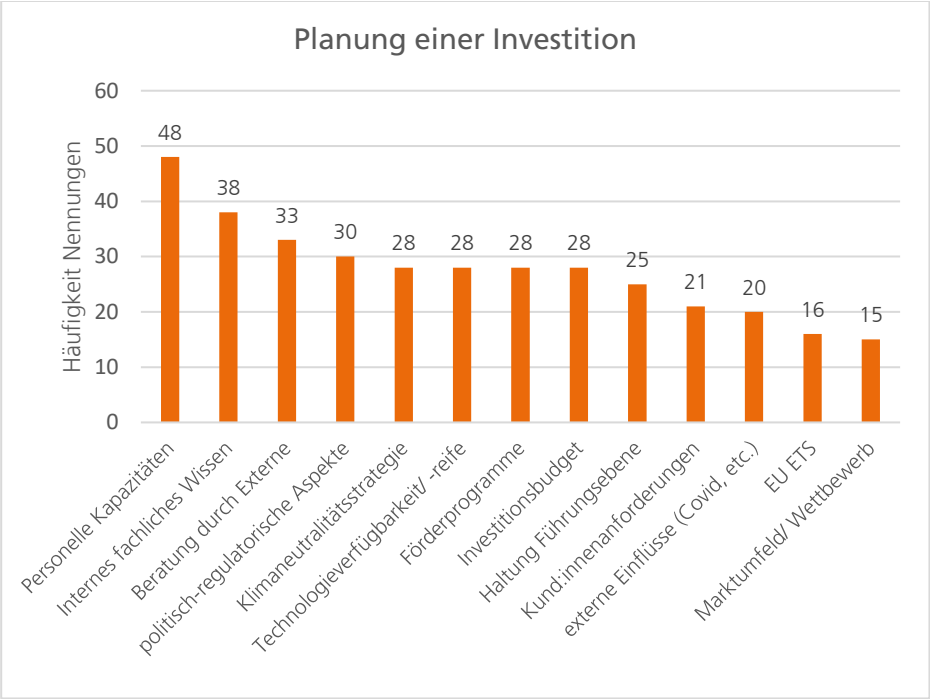
Bei der Identifizierung von Technologieoptionen sind unseren Ergebnissen zufolge insbesondere deren Verfügbarkeit und Reife wichtig, aber auch das Vorhandensein internen fachlichen Wissens (siehe Abbildung 22).

Abbildung 22. Relevante Faktoren bei der Identifizierung von Technologieoptionen



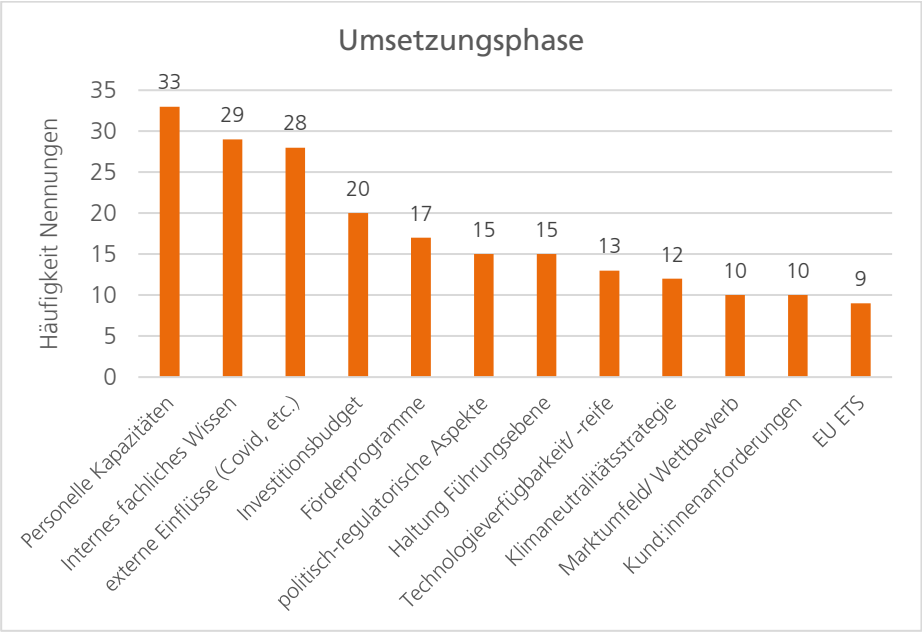
Bei der Planung einer Investitionsmaßnahme wurden insbesondere personelle Kapazitäten als wichtigen Faktor genannt. Auch internes Fachwissen sowie die Beratung durch Externe und politisch-regulatorische Aspekte scheinen in dieser Phase bedeutsam (siehe Abbildung 23).

Abbildung 23. Relevante Faktoren bei der Planung einer Investition in Dekarbonisierungsmaßnahmen



Für die Umsetzung von Investitionen in Dekarbonisierungsmaßnahmen sind den Ergebnissen unserer Umfrage zufolge vor allem personelle Kapazitäten und vorhandenes internes Fachwissen relevant (siehe Abbildung 24). Auch externe Einflüsse und Schocks beeinflussen besonders deutlich in dieser Phase, ob Maßnahmen umgesetzt werden. Letztgenannter Faktor wies in den vorherigen Phasen des Investitionsprozesses eher eine untergeordnete Bedeutung auf.

Abbildung 24. Relevante Faktoren bei der Umsetzung von Investitionen in Dekarbonisierungsmaßnahmen



offen

Fazit: Damit eine Investition in Dekarbonisierungsmaßnahmen überhaupt näher betrachtet wird und eine genauere Auseinandersetzung damit erfolgt, sind sowohl externe als auch interne Faktoren entscheidend. Dies können einerseits politisch-regulatorische Vorgaben sein, aber vor allem auch die Haltung der Führungsebene. Wird zudem eine Klimaneutralitätsstrategie verfolgt, kann dies die Chancen erhöhen, dass Investitionen angeregt werden. Die Ergebnisse der Umfrage unterstreichen daher die Bedeutung einer engagierten Unternehmensführung. Aus klimaschutzpolitischer Sicht ist zudem hervorzuheben, dass sowohl Förderprogramme als auch der EU-ETS1 als relevante Faktoren für die Initiierung eines Investitionsprozesses genannt wurden. Aspekte wie Investitionsbudgets oder Kund:innenanforderungen wurden auch von einer gewissen Anzahl an Unternehmen als wichtige Faktoren betrachtet, in Summe scheinen sie jedoch über die Unternehmen hing von geringerer Bedeutsamkeit als personelle oder technologische Aspekte. In den späteren Phasen eines Investitionsprozesses scheinen insbesondere unternehmensinterne Aspekte, wie personelle Kapazitäten und fachliches Wissen relevant. Externe Beratung ist insbesondere in der Planungsphase von Bedeutung.

3.6.1 Ergebnisse Experteninterviews zu Einflussfaktoren Investitionsprozess

Die vier Interviewpartner:innen (V1 bis V4) beleuchteten verschiedene Aspekte des *Initiierungsprozesses* für Investitionen. Ein Interviewter hob hervor, dass der Prozess häufig mit einer öffentlichen Ankündigung zur Dekarbonisierung beginne, gefolgt von der eigentlichen Arbeit (V2). Laut einem anderen Teilnehmer (V4) starte der Investitionsprozess mit der Analyse bestehender Alternativen und der Überprüfung potenzieller Kosten. Die Inanspruchnahme externer Beratung diene oft von Beginn an der Bewertung von Optionen und der Durchführung von Machbarkeitsstudien (V2, V4). Die *Planung* einer Investition benötige in der Regel die meiste Zeit und werde von verschiedenen Faktoren beeinflusst. In diesem Rahmen werde eine Dekarbonisierungsstrategie entwickelt, Prozesse angepasst und personelle Kapazitäten, wie spezifische Positionen, geschaffen (V1). Regulatorische Anforderungen und Rentabilität seien entscheidend für die Gestaltung des Plans, während ausreichende personelle Ressourcen und Fachkenntnisse zur Projektleitung unerlässlich seien (V1, V4). Ein Interviewpartner merkte an, dass oft eher die möglichen Nachteile von Investitionen diskutiert würden, während die Vorteile weniger Beachtung fänden, da das Management tendenziell risikoscheu sei (V2). Zudem erklärte ein anderer Teilnehmer, dass Unternehmen vor der Wahl stünden, ob sie radikale, oft teurere und zeitaufwändigere Maßnahmen ergreifen oder schrittweise, schnellere Ansätze verfolgen wollten, die geringere Einsparungen mit sich brächten (V4). Die *Umsetzung* könne jedoch zügig erfolgen, wenn das Management engagiert sei, besonders in kleineren Unternehmen mit weniger interner Koordination (V4). Insgesamt betonten die Interviewpartner, dass die Prozesse je nach Unternehmen und Branche variieren könnten (V1, V3).

Faktoren, die hemmend auf Investitionen in Dekarbonisierungsmaßnahmen wirken, sind laut der Expert:innen die aktuellen regulatorischen Anforderungen, Planungsunsicherheit, Bürokratie, (internationaler) Marktwettbewerb und Fachkräftemangel. Externe Schocks, wie Energiepreissteigerungen, wurden von den Expert:innen als ambivalent in ihrer Wirkung eingeordnet. Einerseits könnten sie sich negativ auf anfängliche Entscheidungen auswirken, langfristig jedoch dazu beitragen, dass verantwortliche Instanzen in Unternehmen den Dekarbonisierungspfad überdenken.

3.6.2 Ergebnisse Experteninterviews kleine und mittlere Unternehmen

In den Experteninterviews wurde zudem untersucht, inwiefern Unterschiede zwischen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) und großen Industrieunternehmen hinsichtlich ihrer Investitionsprozesse bestehen. Mehrere Befragte gaben an, dass motivierte kleine Unternehmen am schnellsten von der Initiierung einer Investition bis zur Realisierung der vereinbarten Maßnahme sein können. Aufgrund der hierarchiearmen Entscheidungsfindung und der wenigen beteiligten Personen und Abteilungen könne die Investitionsentscheidung schnell von allen relevanten Parteien getragen und unterzeichnet werden (V1, V4). Da in kleinen Unternehmen externe Verbände oder Berater meist direkt mit der Geschäftsführung zusammenarbeiteten, verliefen Kommunikation und Planung schneller (V1, V3). Laut V3 seien KMU jedoch manchmal von den Entscheidungen der großen Unternehmen abhängig, da diese sie beliefern. Bemerkenswerterweise gab es unterschiedliche Antworten auf die Frage, inwieweit es einen Wissensunterschied zwischen den Unternehmensgrößen gibt. Größere Unternehmen verfügten häufig über Forschungs- und Entwicklungsabteilungen und benötigten daher nur Unterstützung bei der Anpassung der Strategie und des Entscheidungsprozesses (V1, V4). Die Verbreitung von Wissen sei in großen Unternehmen wahrscheinlicher, da verschiedene Abteilungen und Beteiligte an dem Prozess beteiligt seien (V1). Im Gegensatz dazu benötigten KMU häufig Unterstützung beim Wissensmanagement sowie externe Expertise, um den Prozess überhaupt zu starten (V1, V4). Darüber hinaus betonte V4 das Fehlen einer strategischen Sichtweise, mit der einige kleine Unternehmen konfrontiert seien, da sie im Tagesgeschäft feststeckten und ihren Status quo verteidigten. Die kontinuierliche Erweiterung des Wissens durch externe Akteure sei vor allem für KMU entscheidend, so V1 und V4. V2 betonte jedoch, dass die Bezahlung externer Berater oder die Teilnahme an Verbänden für kleine Unternehmen zu kostspielig sein kann.

3.7 Limitationen der Ergebnisse

Die dargestellten Ergebnisse unterliegen Einschränkungen in ihrer Aussagekraft. Eine repräsentative Zusammensetzung der Stichprobe war nicht gegeben. Außerdem ist es möglich, dass eher Unternehmen den Fragebogen ausgefüllt haben, die sich bereits mit der Dekarbonisierung befassen und Kenntnisse über das Thema haben. Daher ist ein Selektionsbias wahrscheinlich (Bethlehem, 2010). Dies bedeutet eine mögliche Überrepräsentation von aktiven Unternehmen und eine Unterrepräsentation von Unternehmen, die bisher wenig in diesem Bereich gearbeitet haben (Bethlehem, 2010). Einige Teilnehmende sind aus der Umfrage ausgestiegen, bevor sie den entsprechenden Fragenblock erreicht haben, weshalb die Zahl der Antworten je nach Frageblock unterschiedlich hoch ausfiel.

4
Zusammenfassung und Fazit

Die empirische Erhebung der Unternehmensperspektive hinsichtlich der Dekarbonisierung der industriellen Prozesse ergab, dass viele Unternehmen einer Dekarbonisierung generell positiv gegenüberstehen. Die Elektrifizierung der Prozesswärme wird dabei weniger häufig angestrebt als beispielsweise Energieeffizienzmaßnahmen, Abwärmenutzung oder Grünstrombezug. Einige Unternehmen, die an den im Projekt durchgeführten Erhebungen teilnahmen, setzten bereits verschiedene Maßnahmen um. Zudem wurden geplante Investitionen in den nächsten Jahren ausgeführt. Nicht immer ist nach Angabe der Unternehmen die entsprechende Technologie bereits verfügbar. Unternehmen sehen sich außerdem mit diversen Hemmnissen konfrontiert. Hierzu zählen: Unsicherheiten über die Entwicklung der (als zu hoch erachteten) Strompreise und die Verfügbarkeit von alternativen Energieträgern sowie techno-ökonomischen Herausforderungen. Hinsichtlich des Erreichens der Klimaschutzziele 2045 erscheint jedoch relevant, dass für einen Großteil der befragten Unternehmen ein vorzeitiger Austausch der mit fossilen Brennstoffen betriebenen Technologien und Verfahren vor Ende deren eigentlicher Lebensdauer eine Option darstellt. Eine Flexibilisierung industrieller Prozesse, also zeitliche Verlagerung von Strombezug, wird derzeit bereits von knapp einem Viertel der befragten 82 Unternehmen angewendet. Dies erfolgt laut Unternehmensangaben meist aus Gründen der Spitzenlastkappung zur Reduktion des Leistungspreises der Netzentgelte sowie einer Ausnutzung von günstigen Strombezugszeiten im Rahmen eines variablen Tarifs. Diejenigen Unternehmen, die keine zeitliche Verlagerung von Strombezug nutzen, stehen einer Flexibilisierung ihrer Prozesse tendenziell kritisch gegenüber. Lediglich ein Teil der Befragten erachtet die Bereitstellung von Flexibilitäten als attraktives und perspektivisch relevantes Thema. Gründe, die gegen eine zeitliche Verlagerung von Strombezug sprechen, sind aus Sicht der Unternehmen primär produktionsbezogene Faktoren, arbeits- und organisationsbezogene Faktoren sowie negative Kosten/Nutzen Aspekte.

Die befragten Unternehmen gaben folgende Aspekte als Voraussetzungen bzw. Entscheidungsfaktoren für eine Dekarbonisierung ihrer industriellen Prozesse an:

- die Wirtschaftlichkeit von Investitionen,
- die Verfügbarkeit geeigneter Technologien zur Elektrifizierung industrieller Prozesse,
- die Verfügbarkeit grüner Energie (Grünstrom, Wasserstoff, Biomasse/Biogas/Biomethan),
- geringere Energiepreise, insbesondere für Strom,
- die Bereitstellung entsprechender Fördermittel,
- ein notwendiger Ausbau der Stromnetz-Infrastruktur,
- verlässliche und schlankere politische Rahmenbedingungen,
- die Sicherstellung internationaler Wettbewerbsfähigkeit,
- die ökonomische Gesamtsituation (hinsichtlich konjunktureller Aussichten, Investitionsklimas),
- sowie Bürokratieabbau.

Die Wahrscheinlichkeit von Investitionen in Dekarbonisierungsmaßnahmen kann dabei stark vom Engagement des Top-Managements, der Entwicklung einer umfassenden Strategie und der vorhandenen personellen Kapazitäten sowie internen Fachwissens abhängen. Auch politisch-regulatorische Rahmenbedingungen (z.B. regulatorische

Vorgaben, EU-ETS1, Förderprogramme), das wettbewerbliche Umfeld und die Rentabilität einer Investition stellen nach unseren Umfrageergebnissen relevante Einflussgrößen für Investitionen in die Dekarbonisierung dar.

Die vorliegenden Ergebnisse verdeutlichen die Komplexität der Dekarbonisierung in der energieintensiven Industrie. Neben den technologischen, ökonomischen und politischen Herausforderungen erweist sich die Berücksichtigung interner Unternehmensfaktoren zur Förderung industrieller Dekarbonisierung als entscheidend. Eine engagierte Führung, ausreichend personelle Ressourcen und unternehmensinternes fachliches Wissen sind unseren Ergebnissen zufolge wichtige Elemente für Entscheidungen und Prozesse zur Dekarbonisierung. Es erscheint daher essenziell, diese Aspekte zukünftig stärker zu berücksichtigen, um die Transformation zu einer klimaneutralen Industrie erfolgreich zu gestalten.

5
Literatur

Agora Energiewende und Wuppertal Institut. (2019). *Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement.* https://www.agora-industrie.de/publikationen/klimaneutrale-industrie-hauptstudie

Åhman, M [Max], Nilsson, L. J [Lars J.], & Johansson, B. (2017). Global climate policy and deep decarbonization of energy-intensive industries. *Climate Policy*, *17*(5), 634–649. https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1167009

Bataille, C., Åhman, M [Max], Neuhoff, K., Nilsson, L. J [Lars J.], Fischedick, M., Lechtenböhmer, S [Stefan], Solano-Rodriquez, B., Denis-Ryan, A., Stiebert, S., Waisman, H., Sartor, O., & Rahbar, S. (2018). A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement. *Journal of Cleaner Production*, *187*, 960–973. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.107

Bethlehem, J. (2010). Selection Bias in Web Surveys. *International Statistical Review*, *78*(2), 161–188. https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2010.00112.x

Buettner, S. M., König, W., Vierhub-Lorenz, F., & Gilles, M. (2022). *What Motivates Companies to Take the Decision to Decarbonise?* https://doi.org/10.20944/preprints202210.0395.v2

Buettner, S. M., Schneider, C., König, W., Mac Nulty, H., Piccolroaz, C., & Sauer, A. (2022). How Do German Manufacturers React to the Increasing Societal Pressure for Decarbonisation? *Applied Sciences*, *12*(2), 543. https://doi.org/10.3390/app12020543

Chiappinelli, O., Gerres, T., Neuhoff, K., Lettow, F., Coninck, H. de, Felsmann, B., Joltreau, E., Khandekar, G., Linares, P., Richstein, J., Śniegocki, A., Stede, J., Wyns, T., Zandt, C., & Zetterberg, L. (2021). A green COVID-19 recovery of the EU basic materials sector: identifying potentials, barriers and policy solutions. *Climate Policy*, *21*(10), 1328–1346. https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1922340

Verordnung (EU) 2023/956 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 10. Mai 2023 zur Schaffung eines CO2-Grenzausgleichssystems (Text von Bedeutung für den EWR). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0956&qid=1685455175202

Europäische Kommission. (2025). *Allocation to industrial installations*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-industrial-installations_en

Expertenrat für Klimafragen. (2025). *Zweijahresgutachten 2024. Gutachten zu bisherigen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsgesamtmengen und Jahresemissionsmengen sowie Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz)*. https://www.expertenrat-klima.de/

Fornefeld, F. (2024). *Factors influencing investment decision processes in decarbonization in German energy-intensive industries* (Masterarbeit).

Fraunhofer ISI (2024). Direkte Elektrifizierung von industrieller Prozesswärme. Eine Bewertung von -Techno- logien, Potenzialen und Zukunftsaussichten für die EU. Zusammenfassung im Auftrag von -Agora Industrie. https://www.agora-industrie.de/publikationen/direkte-elektrifizierung-von-industrieller-prozesswaerme

Hafner, S., Speich, M., Bischofberger, P., & Ulli-Beer, S. (2022). Governing industry decarbonisation: Policy implications from a firm perspective. *Journal of Cleaner Production*, *375*, 133884. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133884

Hirth, L., Tiedemann, S., & Schill, W.-P. (2024). *Was sind eigentlich… Netzengelte?* https://doi.org/10.48485/pik.2024.020

Neri, A., Cagno, E., & Trianni, A. (2021). Barriers and drivers for the adoption of industrial sustainability measures in European SMEs: Empirical evidence from chemical and metalworking sectors. *Sustainable Production and Consumption*, *28*, 1433–1464. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.08.018

Nurdiawati, A., & Urban, F. (2021). Towards Deep Decarbonisation of Energy-Intensive Industries: A Review of Current Status, Technologies and Policies. *Energies*, *14*(9), 2408. https://doi.org/10.3390/en14092408

Oberthür, S., Khandekar, G., & Wyns, T. (2021). Global governance for the decarbonization of energy-intensive industries: Great potential underexploited. *Earth System Governance*, *8*, 100072. https://doi.org/10.1016/j.esg.2020.100072

Samandari, H., Pinner, D., Bowcott, H., & White, O. (2022). *The net-zero transition in the wake of the war in Ukraine: A detour, a derailment, or a different path?* (McKinsey Quarterly 1-11). https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/the-net-zero-transition-in-the-wake-of-the-war-in-ukraine-a-detour-a-derailment-or-a-different-path

Sato, I., Elliott, B., & Schumer, C. (2021). *What Is Carbon Lock-in and How Can We Avoid It?* World Resource Institute. https://www.wri.org/insights/carbon-lock-in-definition

Scharnhorst, L., Sloot, D., Lehmann, N., Ardone, A., & Fichtner, W. (2024). Barriers to demand response in the commercial and industrial sectors – An empirical investigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *190*, 114067. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114067

Ueckert, F., Pfluger, B., Odenweller, A., Günther, C., Knodt, M., & Kemmerzell, J. e. a. (2021). *Durchstarten trotz Unsicherheiten: Eckpunkte einer anpassungsfähigen Wasserstoffstrategie. Wie die Politik Wasserstoffpfade hin zur Klimaneutralität 2045 finden kann.* https://ariadneprojekt.de/media/2021/11/Ariadne_Kurzdossier_Wasserstoff_November2021.pdf

Wesseling, J. H., Lechtenböhmer, S [S.], Åhman, M [M.], Nilsson, L. J [L. J.], Worrell, E., & Coenen, L. (2017). The transition of energy intensive processing industries towards deep decarbonization: Characteristics and implications for future research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *79*, 1303–1313. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.156