Agora Industrie



STUDIE

Mittelstand stärken mit elektrischer Prozesswärme

Chancen für geringere Energiekosten und mehr Resilienz

FfE

Bitte zitieren als:

Agora Energiewende und Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2026): Mittelstand stärken mit elektrischer Prozesswärme. Chancen für geringere Energiekosten und mehr Resilienz. https://www.agora-industrie.de/publikationen/mittelstand-staerken-mit-elektrischer-prozesswaerme

Studie
Mittelstand stärken mit elektrischer Prozesswärme:
Chancen für geringere Energiekosten und mehr Resilienz

Erstellt von
Agora Industrie
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin
T +49 (0)30 700 14 35-000
www.agora-industry.org
info@agora-industrie.de

In Kooperation mit
Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft (FfE) mbH
Am Blütenanger 71 | 80995 München
www.ffe.de

Projektleitung
Lea Mohnen | Lea.mohnen@agora-industrie.de
Aïcha Platzdasch | aplatzdasch@ffe.de
Katharina Gruber | kgruber@ffe.de

Autorinnen
Lea Mohnen (Agora Industrie)
Aïcha Platzdasch (FfE)
Katharina Gruber (FfE)

Projektteam
Lea Mohnen, Dr. Julia Metz, Paul Münnich, Antonia Helena Sanllorente, Aylin Shawkat, Theo Winkels (alle Agora Industrie); Aïcha Platzdasch, Katharina Gruber, Dr.-Ing. Anna Gruber, Dr.-Ing. Andrej Guminski (alle FfE)

Die Inhalte der Kapitel 2 bis 5, mit Ausnahme von Abschnitt 4.4, wurden von der FfE erarbeitet. Die Synthese der Ergebnisse, Schlussfolgerungen und politischen Handlungsempfehlungen wurden von Agora Industrie verfasst.

Danksagung
Erst das Engagement vieler weiterer Kolleginnen und Kollegen hat diese Studie möglich gemacht.
Für die tatkräftige Unterstützung bedanken möchten wir uns daher bei Dr. Julia Metz, Paul Münnich, Antonia Helena Sanllorente, Aylin Shawkat, Theo Winkels (alle Agora Industrie), Jasper Eitze (ehemals Agora Industrie), Julia Bläsius, Janne Görlach, Mareike Herrndorff, Fabian Hueneke, Dr. Jahel Mielke, Josephine Schäfer, Alexandra Steinhardt, Anja Werner (alle Agora Energiewende). Im Projekt haben wir Gespräche mit Vertreterinnen und Vertretern aus der Wirtschaft durchgeführt. Unser Dank gilt allen Mitwirkenden für ihre Unterstützung, Expertise und die konstruktiven Diskussionen.

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

ein Großteil der Industrieunternehmen in Deutschland gehört dem Mittelstand an. Er ist das Rückgrat der deutschen Wirtschaft – geprägt von regionaler Verankerung und Innovationskraft.

In der vorliegenden Studie untersuchen wir, was mittelständische Industrieunternehmen für den Umstieg auf klimafreundliche Produktion brauchen – und welche Chancen sich daraus für Kostensenkung, wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und Resilienz ergeben. Denn die aktuell drastisch gestiegenen Ölpreise in Folge des Krieges im Nahen Osten zeigen erneut, wie wichtig es ist, Abhängigkeiten von importierten Rohstoffen zu verringern.

Die hierfür notwendigen Technologien sind bereits verfügbar und können durch die Umstellung von Strom auf Gas signifikante Kosteneinsparungen erzielen. Insbesondere hohe Anfangsinvestitionskosten und lange Amortisationszeiten hemmen jedoch bislang den Umstieg. Hier braucht es eine Politik, die gezielt Anreize schafft, um langfristig günstige und planbare Strompreise für den Mittelstand sicherzustellen sowie einmalig höhere Anfangsinvestitionen zu stemmen. Sie können Investitionen im industriellen Mittelstand auslösen und so den Kapitalstock auf Basis innovativer Zukunftstechnologien modernisieren. In unserer Studie zeigen wir, wie dies gelingen kann.

Ich wünsche eine angenehme Lektüre!

Julia Metz
Direktorin, Agora Industrie

Ergebnisse auf einen Blick

1 **Der industrielle Mittelstand zeichnet sich vielfach durch innovative Marktführerschaft aus; bei der Energieversorgung setzen die meisten Unternehmen jedoch weiterhin auf fossile Brennstoffe.** Mittelständische Unternehmen verbrauchen rund 40 Prozent des energiebezogenen Erdgasbedarfs der Industrie. Steigende Gaspreise treffen sie daher besonders stark, zumal sie Preisschwankungen oft weniger gut abfedern können. Dabei bietet der Umstieg auf strombasierte Prozesswärme in vielen Fällen eine günstigere Alternative.

2 **Drei Anwendungsbeispiele zeigen: Unternehmen können bereits heute mit der Elektrifizierung ihrer Prozesse Energiekosten sparen.** Bei Trocknungsprozessen unter 100 °C senkt der Umstieg von Gas auf Strom die Energiekosten über die ersten 5 Jahre um 33 Prozent. Auch bei über 100 °C kommt es zu Kosteneinsparungen, im betrachteten Konvektionsofen beispielsweise um 28 Prozent. Diesen Einsparungen stehen jedoch hohe Anfangsinvestitionen und lange Amortisationszeiten gegenüber, die den Umstieg derzeit hemmen.

3 **Mit modernen, strombasierten Anlagen kann der industrielle Mittelstand von günstigen Energiekosten profitieren – dafür braucht es jedoch unterstützende Rahmenbedingungen.** Gezielte Finanzierungs- und Förderangebote können hohe Anfangsinvestitionen abfedern. Ein planbares Strom-Gas-Preisverhältnis, etwa über vereinfachte CO_2-Differenzverträge, senkt das Risiko der Investition. Beratungsangebote können Unternehmen dabei unterstützen, ihren Strombezug aktiv zu managen und Prozesse flexibler an günstigen Strompreisen auszurichten.

4 **Gezielte politische Impulse für Investitionen in moderne elektrische Anlagen im industriellen Mittelstand kombinieren Innovations- und Wettbewerbspolitik mit Resilienz- und Klimaschutzzielen.** Sie ermöglichen es Unternehmen, Energiekosten zu senken und die Abhängigkeit von Energieimporten zu reduzieren, modernisiert den Kapitalstock durch kosteneffiziente Zukunftstechnologien und stärkt zugleich den heimischen Maschinen- und Anlagenbau.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis 5

1 Elektrifizierung im industriellen Mittelstand – Chancen erkennen und Herausforderungen adressieren 7

2 Status Quo des Klimaschutzes im industriellen Mittelstand 10
2.1 Definition und Struktur des industriellen Mittelstandes 10
2.2 Klimaschutzinvestitionen im industriellen Mittelstand 13

3 Chancen der Elektrifizierung für den industriellen Mittelstand 15
3.1 Vermeidung fossiler Preisschocks und Innovation als Motiv in der Praxis 15
3.2 Langfristig steigende Erdgaspreise als Anreiz für Klimaschutzinvestitionen 17
3.3 Modernisierungsanreize durch Förderprogramme 18

4 Potenziale für die Elektrifizierung der Prozesswärme im Mittelstand wirkungsvoll heben – eine Analyse anhand von Fallbeispielen 20
4.1 Fallbeispiel 1 – Elektrifizierung eines Trocknungsprozesses in der Lebensmittelindustrie 22
4.2 Fallbeispiel 2 – Elektrifizierung eines Konvektionsofens in der metallverarbeitenden Industrie 26
4.3 Fallbeispiel 3 – Teil-Elektrifizierung eines Kalanderprozesses in der kunststoffverarbeitenden Industrie 30
4.4 Synthese der Ergebnisse 34

5 Die Wirkung struktureller Eigenschaften des industriellen Mittelstands auf Chancen und Herausforderungen der Elektrifizierung 36
5.1 Organisatorische und kulturelle Unterschiede als Chance für Investitionen in innovative Technologien 37
5.2 Wirtschaftliche Hürden hemmen die Transformation im industriellen Mittelstand 38
5.3 Technische und regulatorische Hürden 41

6 Politische Handlungsempfehlungen 43
6.1 Günstige Strompreise und bessere Planbarkeit für den Mittelstand 43
6.2 Investitionskosten senken und Finanzierungsbedarfe im Mittelstand gezielt adressieren 45
6.3 Den Mittelstand durch effektive Informations- und Beratungsangebote unterstützen 47

7 Anhang 48
7.1 Methodik 48
7.2 Bestehende Förderlandschaft für den industriellen Mittelstand 56

Literaturverzeichnis 58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Temperaturbedarfe für Prozesswärme im Verarbeitenden Gewerbe

Abbildung 2 Definition des industriellen Mittelstands

Abbildung 3 Wirtschaftliche Bedeutung kleiner und mittlerer Unternehmen, 2023

Abbildung 4 Sektorspezifische Prozesswärmebedarfe und der Beitrag von KMUs, 2023

Abbildung 5 Motive des Mittelstands für Klimaschutzinvestitionen

Abbildung 6 Klimaschutzinvestitionen im Mittelstand nach Verwendung und Finanzierungsart

Abbildung 7 Schlaglichter aus der Praxis: Projektbeispiel I – Milchverarbeitung

Abbildung 8 Schlaglichter aus der Praxis: Projektbeispiel II – Zuckerverarbeitung

Abbildung 9 Schlaglichter aus der Praxis: Projektbeispiel III – Hightech Labels

Abbildung 10 Ausblick auf die Entwicklung des Erdgaspreises

Abbildung 11 Entwicklung der Strom- und Erdgaspreise in den Fallbeispielen

Abbildung 12 Herausforderungen der Transformation im industriellen Mittelstand

Abbildung 13 Strompreisentwicklung in der Industrie, 2020–2025

Abbildung I Trockner – Kosten, Erlöse sowie vermiedene Emissionen

Abbildung II Konvektionsofen – Kosten, Erlöse sowie vermiedene Emissionen

Abbildung III Kalander – Kosten, Erlöse sowie vermiedene Emissionen

Abkürzungsverzeichnis

Begriff	Erläuterung
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie e. V.
BECV	BEHG-Carbon-Leakage-Verordnung
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BEP	Break-Even-Point
BIK	Bundesförderung Industrie und Klimaschutz
CCfD	CO_2-Differenzverträge (Carbon Contract for Difference)
CID	Clean Industrial Deal
COP	Coefficient of Performance, Leistungszahl
EEW	Bundesförderung Energie- & Ressourceneffizienz in der Wirtschaft
EnEfG	Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland
EnSiG	Gesetz zur Sicherung der Energieversorgung
EU	Europäische Union
EU ETS I	Europäisches Emissionshandelssystem
EU ETS II	Europäischen Emissionshandelssystem für den Gebäude- und Transportsektor
IGK	Investitionsgesamtkosten
IMK	Investitionsmehrkosten
JAZ	Jahresarbeitszahl
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KW	Kapitalwert
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
Mio. t CO_2-Äq	Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente
nEHS	Nationales Emissionshandelssystem
PPA	Power Purchase Agreement
PV	Photovoltaik
PVC	Polyvinylchlorid
SBTi	Science Based Targets initiative
STAU	Steuern, Abgaben, Umlagen
StromNEV	Stromnetzentgeltverordnung
VALERI	DIN 17463 (Valuation of Energy Related Investments)

1 Elektrifizierung im industriellen Mittelstand – Chancen erkennen und Herausforderungen adressieren

Ein starker, innovativer Mittelstand ist ein zentraler Erfolgsfaktor des deutschen Wirtschaftsmodells. Mittelständische Unternehmen sind integraler Bestandteil vieler Wertschöpfungsketten und von hoher Bedeutung für die Wertschöpfung und die Arbeitsplätze im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland. 2024 beschäftigten Unternehmen mit weniger als 250 Mitarbeitenden rund 34 Prozent der Beschäftigten und erwirtschafteten 15 Prozent des Umsatzes im Verarbeitenden Gewerbe. Unternehmen mit weniger als 500 Beschäftigten generierten 33 Prozent des Umsatzes (Statistisches Bundesamt 2025). Auch zur Exportstärke der deutschen Industrie leistet der industrielle Mittelstand einen wichtigen Beitrag. Im Jahr 2023 lag die Exportquote bei kleinen und mittleren Unternehmen bei rund 23 Prozent (IfM Bonn 2024). Zudem zeichnet sich der Mittelstand in Deutschland durch sogenannte „Hidden Champions" aus, das heißt Unternehmen, die sich durch ihre Innovationsaktivität in einem weltweit spezialisierten Markt marktführend positionieren. Diese konnten in der Vergangenheit Marktneuheiten häufiger einführen als nicht-mittelständische Unternehmen (EFI 2026). Ein resilienter und wettbewerbsfähiger Mittelstand ist somit ein wichtiger Erfolgsfaktor für die deutsche Industrie.

Der industrielle Mittelstand ist anfällig für Preisschwankungen bei fossilen Energien. Der Krieg im Nahen Osten und die Blockade der Straße von Hormus haben zuletzt erneut gezeigt, wie schnell sich geopolitische Konflikte auf Öl- und Gaspreise auswirken und weltweit Versorgungs- und Planungsunsicherheiten auslösen. So lag der Erdgaspreis an der niederländischen Börse – dem wichtigsten europäischen Referenzmarkt für Erdgas – wenige Tage nach Beginn der Eskalation zeitweise rund 70 Prozent höher als zuvor (ICE 2026). Auch schon zuvor zeigt sich strukturell ein deutlicher Preisanstieg: 2025 lagen die Gaspreise für mittelgroße Verbraucher in Deutschland (nicht nur Industrie) nahezu doppelt so hoch wie Anfang 2021 (Eurostat 2026). Gleichzeitig setzt eine expansive chinesische Industriepolitik, Veränderungen in den globalen Handelsströmen in Folge der amerikanischen Handelspolitik und eine schwache Binnennachfrage die Produktion im Verarbeitenden Gewerbe unter Druck und schlagen sich in sinkenden Produktionsindizes in der Breite des Verarbeitenden Gewerbes nieder (Agora Energiewende 2026). Neben den akuten wirtschaftlichen Effekten sind die aktuellen Verschiebungen aber auch Indikatoren langfristiger Umbrüche in der Welthandelsordnung, auf die das deutsche Wirtschaftsmodell – und damit Großunternehmen ebenso wie der industrielle Mittelstand – eine Antwort finden muss.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Wirtschaftslage stehen alle Unternehmen der deutschen Industrie vor der Aufgabe, Wettbewerbsfähigkeit langfristig sicherzustellen und Produktionsprozesse im Einklang mit den deutschen und europäischen Klimazielen zu modernisieren. Im deutschen Klimaschutzgesetz hat sich Deutschland verpflichtet, die Industrieemissionen bis 2030 auf 118 Mio. t CO_2-Äq zu reduzieren und bis 2045 sektorübergreifend Klimaneutralität zu erreichen (Bundes-Klimaschutzgesetz 2019). Hierfür ist die Dekarbonisierung der Prozesswärmebedarfe in der Industrie von zentraler Bedeutung, denn auf sie entfallen rund 67 Prozent der Endenergiebedarfe des Sektors und rund 75 Prozent der Emissionen (Fraunhofer ISI 2024, UBA 2025c).

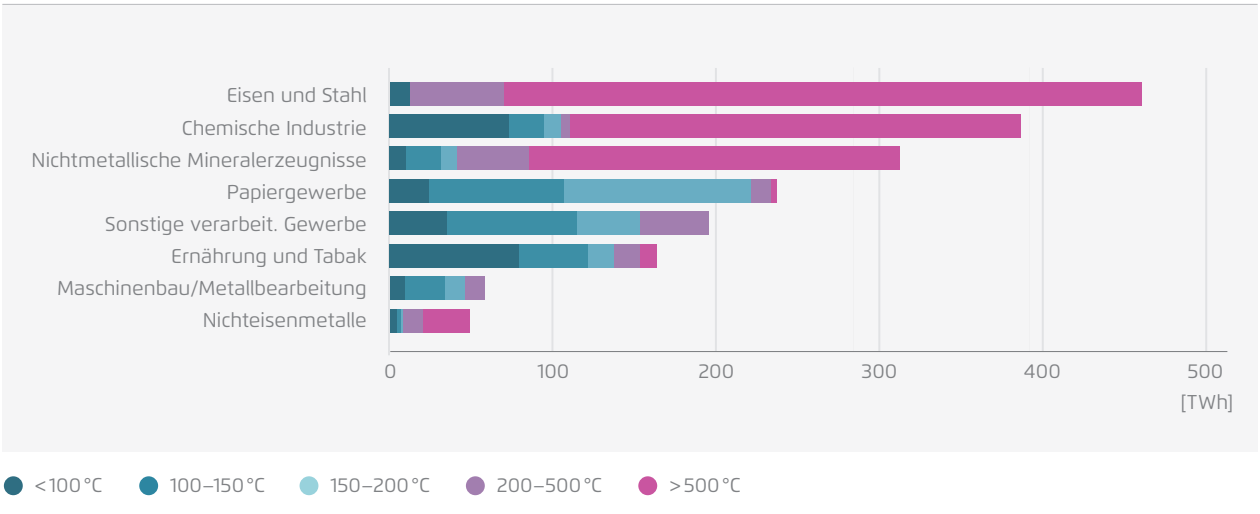
Bei der Elektrifizierung der Prozesswärme im industriellen Mittelstand können das Ziel der Energiekostensenkung und die Emissionsreduktion Hand in Hand gehen – denn die Analyse dieser Studie zeigt, der Ersatz von Erdgaskesseln durch Wärmepumpen oder flexibel betriebene Elektrokessel können schon heute die Energiekosten im industriellen Mittelstand signifikant senken. In vielen stark mittelständisch geprägten Branchen des Verarbeitenden Gewerbes – wie der Papier-,

Lebensmittel- oder der kunststoffverarbeitenden Industrie – dominieren Temperaturbedarfe von unter 200 Grad die Prozesswärmebedarfe (siehe Abbildung 1). Insbesondere für Temperaturbedarfe bis zu 100 Grad können industrielle Wärmepumpen aufgrund einer hohen energetischen Effizienz bereits bei heutigen Energiepreisverhältnissen Prozesswärme zu geringeren operativen Kosten bereitstellen als ein Erdgaskessel. Und auch bei höheren Temperaturbedarfen ist – unter passenden Rahmenbedingungen – eine Senkung der Energiekosten durch die Nutzung von Wärmepumpen oder eines flexibel betriebenen Elektrokessel möglich. Im Status quo sind jedoch sowohl Wärmepumpen als auch elektrische Dampferzeuger mit deutlichen Mehrkosten in Bezug auf die Anfangsinvestitionsbedarfe verbunden, die es zu überwinden gilt.

Investitionen in der Praxis zeigen, dass Unternehmen des industriellen Mittelstands dieses Kostensenkungspotenzial erkennen und zudem in der Elektrifizierung eine Chance sehen, betriebliche Risiken durch eine Diversifizierung der Energieversorgung zu senken und Erfahrungswerte mit neuen Technologien aufzubauen. Konkrete Umsetzungsbeispiele verdeutlichen, dass Unternehmen bereits Investitionen in die Elektrifizierung der Prozesswärme planen und umsetzen. Dabei ist eine kurz- oder langfristige Senkung der Energiekosten ein wichtiges Motiv. Aber auch die Sammlung von Erfahrungswerten mit neuen Technologien und die Steigerung der Unabhängigkeit von importierten Rohstoffen sind ein wichtiger Entscheidungsfaktor. Denn wenngleich für viele Prozesse grundsätzlich auch eine Dekarbonisierung auf Basis von Wasserstoff oder Biomasse denkbar ist, handelt es sich hier um Rohstoffe, deren Verfügbarkeit absehbar ebenfalls mit deutlichen Importanhängigkeiten verbunden sein wird. Und auch die langfristigen Preisentwicklungen sind aufgrund unsicherer Kapazitätsausbaupfade von Wasserstoff und begrenzter Verfügbarkeit von Biomasse mit hohen Unsicherheiten belastet. Insbesondere für Wasserstoff zeigen die ersten Auktionsergebnisse der europäischen Wasserstoffbank mit Abnehmerpreisen in Europa in Höhe von 5–10 EUR/kg, dass dies auf absehbare Zeit sehr teuer bleiben wird (Europäische Kommission 2026). Im Gegensatz dazu stellt die Elektrifizierung der Prozesswärmebedarfe insbesondere für niedrige und mittlere Temperaturbedarfe die energetisch effizienteste Möglichkeit dar, Prozesswärmebedarfe klimaneutral und auf Basis heimischer Energieressourcen umzustellen, und ist zudem technisch bereits heute vielfach möglich.

Temperaturbedarfe für Prozesswärme im Verarbeitenden Gewerbe

→ Abb. 1



Agora Industrie und Fraunhofer ISI (2024), basierend auf FORECAST Modell

Die Elektrifizierung der Prozesswärme kann Energiekosten auf Unternehmensebene senken und so Wettbewerbsfähigkeit und Standorterhalt unterstützen, aber auch volkswirtschaftlich einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Resilienz und zur Senkung der Emissionen leisten. Bislang wird die überwiegende Mehrheit der Energiebedarfe im Verarbeitenden Gewerbe auf Basis fossiler, größtenteils importierter Ressourcen gedeckt. Auch in Branchen mit einer hohen mittelständischen Prägung dominieren fossile Brennstoffe die Deckung der Prozesswärmebedarfe. Insgesamt sind Unternehmen mit weniger als 500 Mitarbeitenden für schätzungsweise rund 40 Prozent des Verbrauchs fossiler Gase verantwortlich. Über 80 Prozent der fossilen Gase werden dabei für die Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt[1]. Eine Reduktion der Erdgasbedarfe zur Prozesswärmeerzeugung im industriellen Mittelstand ist somit ein zentraler Baustein, um deutsche und europäische Resilienz- und Klimaziele zur erreichen.

Trotz erster erfolgreicher Umsetzungsbeispiele werden die Potenziale der Elektrifizierung bislang jedoch noch nicht in der Breite des Mittelstandes gehoben. Zum einen ergeben sich aus hohen Anfangsinvestitionsbedarfen und unsicheren Energiepreisentwicklungen lange Amortisationszeiträume, die viele Unternehmen für sich als nicht wirtschaftlich bewerten. Zudem führen geringere personelle Ressourcen dazu, dass Mittelständler seltener direkt von niedrigen Strompreisen im Großhandel profitieren können und Fördermöglichkeiten seltener in Anspruch nehmen. Gleichzeitig ist der Mittelstand in Deutschland von einer besonderen Unternehmenskultur geprägt, die aufgrund von Innovationsfreude, regionaler Verankerung, langfristigen Planungshorizonten und anderen Entscheidungsstrukturen positiv auf die Umsetzung von Elektrifizierungsinvestitionen wirken kann. Um diese Chancen zu heben, ist somit ein politischer Rahmen notwendig, der die besonderen Herausforderungen des Mittelstandes berücksichtigt und seine Potenziale wirkungsorientiert adressiert.

Diese Studie analysiert die wirtschaftlichen Chancen und Hemmnisse der Elektrifizierung der Prozesswärme für den industriellen Mittelstand in der Breite sowie anhand von drei konkreten Fallbeispielen praxisnah und aus Unternehmensperspektive. Hierzu werden drei Kernprozesse im industriellen Mittelstand betrachtet – ein Trocknungsprozess in der Lebensmittelindustrie, ein Beschichtungsprozess in der metallverarbeitenden Industrie und ein formgebender Prozess in der kunststoffverarbeitenden Industrie. Für diese drei Fallbeispiele wird die Wirtschaftlichkeit einer Elektrifizierung auf Grundlage aktueller Marktinformationen und möglicher verschiedener Rahmenbedingungen praxisnah bewertet. Ergänzend dazu werden die besondere strukturellen Eigenschaften des Mittelstandes und ihre Wirkung auf die Bewertung und Umsetzung von Klimaschutzinvestitionen analysiert. Auf dieser Basis werden Handlungsempfehlungen an die Politik abgeleitet, welche Rahmenbedingungen notwendig sind, um das Dekarbonisierungspotenzial im industriellen Mittelstand zu heben, seine Energieversorgung resilient aufzustellen und Energiekosten langfristig zu senken. Die Methodik der Studie beruht dabei auf der Kombination von Literaturrecherchen, quantitativen Analysen der Wirtschaftlichkeit auf Basis der Fallstudien, Hintergrundgesprächen mit Unternehmen, einem Diskussionsworkshop mit Branchenvertreter und Branchenvertreterinnen sowie der Umsetzungserfahrung des Forschungspartners FfE auf Basis von Beratungsprojekten für die Praxis.

1 Energiebezogene Kennzahlen wie Erdgasbedarfe oder Prozesswärmebedarfe werden bislang nicht unternehmensgrößenabhängig erfasst. Zur Ermittlung dieses Schätzwertes wurden daher die Bedarfe je Branche des Verarbeitenden Gewerbes mit dem Produktionswertanteil von Unternehmen mit weniger als 500 Mitarbeitenden an der Branche gewichtet (vgl. Kapitel 2.1). Die Berechnungen basieren auf Daten von Fraunhofer ISI (2025) und dem Statistischen Bundesamt (2025, 2026b).

2 Status Quo des Klimaschutzes im industriellen Mittelstand

2.1 Definition und Struktur des industriellen Mittelstandes

Der industrielle Mittelstand umfasst im Verständnis dieser Studie sowohl kleinere und mittlere Unternehmen als auch inhabergeführte Familienunternehmen. Für den Begriff „Mittelstand" besteht keine einheitliche Begriffsdefinition. Er beschreibt in der Regel Unternehmen, die nach offizieller Definition keine Großunternehmen sind, aber auch teilweise über die Definition von kleineren und mittleren Unternehmen (KMU) hinausgehen.[2] Neben quantitativen Faktoren wie Beschäftigtenzahl und Umsatz werden häufig auch qualitative Merkmale herangezogen, um den Mittelstand zu definieren. Hierzu zählen private, familien- oder eigentümergeprägte Strukturen, die Einbindung der Führungspersonen ins operative Geschäft, die starke regionale Verankerung sowie eine ausgeprägte Spezialisierung und Innovationskraft (BDI 2024a, IfM Bonn 2021). Für den Zweck dieser Analyse wird daher auf eine Arbeitsdefinition des Bundesverbands der Deutschen Industrie e. V. (BDI) zurückgegriffen. Gemäß dieser umfasst der Mittelstand sowohl Unternehmen mit bis zu 500 Mitarbeitenden und bis zu 50 Mio. Euro Umsatz als auch inhabergeführte Familienunternehmen (BDI 2024a). Mit „industriellem Mittelstand" sind ausschließlich mittelständische Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes gemeint.

Die besonderen Eigenschaften des Mittelstands in Bezug auf Größe, Zugang zu finanziellen und personellen Ressourcen, aber auch ihrer besonderen Struktur und Kultur beeinflussen Investitionsentscheidungen in den Klimaschutz. Neben reinen Kennzahlen in Bezug auf Unternehmensgröße unterscheiden sich Mittelständler durch verschiedene organisatorische und kulturelle Faktoren von großen Unternehmen. Mittelständische Unternehmen sind häufig durch eine private, familien- oder eigentümergeprägte Struktur bestimmt und weisen flexiblere Entscheidungswege, flache Hierarchien und eine besondere Unternehmenskultur auf. Außerdem zeichnen sie sich durch eine hohe Standorttreue, hohe Innovationskraft und technologische Stärke in Nischenmärkten aus (BDI 2024a). Diese strukturellen und kulturellen Merkmale prägen Entscheidungswege sowie Risikobereitschaft und somit die spezifischen Herausforderungen und Chancen der Transformation (IfM Bonn 2021). Auch die Investitionshorizonte von familiengeführten mittelständischen Unternehmen unterscheidet sich zum Beispiel von börsennotierten nicht-mittelständischen

Definition des industriellen Mittelstands → Abb. 2



Agora Industrie (2026). *gemäß EU-Definition Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten und einem jährlichen Umsatz von bis zu 50 Mio. EUR oder maximal 43 Mio. EUR Bilanzsumme; **Mitarbeitende

2 Gemäß EU-Definition umfasst der KMU-Sektor Unternehmen von unter 250 Beschäftigten und einem jährlichen Umsatz von bis zu 50 Millionen EUR oder maximal 43 Millionen EUR Bilanz (Statistisches Bundesamt 2026a).

Unternehmen. Mittelständler planen häufig langfristiger und nehmen teilweise längere Amortisationszeiten in Kauf. Außerdem zeigen Umsetzungsbeispiele aus der Praxis, dass Einzelpersonen mit ihren Ideen und Werten eine große Wirkung erzielen und Projekte intern oft schneller umgesetzt werden können. Zudem beeinflusst werteorientiertes Handeln neben Risikoeinschätzungen zur Wirtschaftlichkeit des Projekts das Investitionsverhalten.

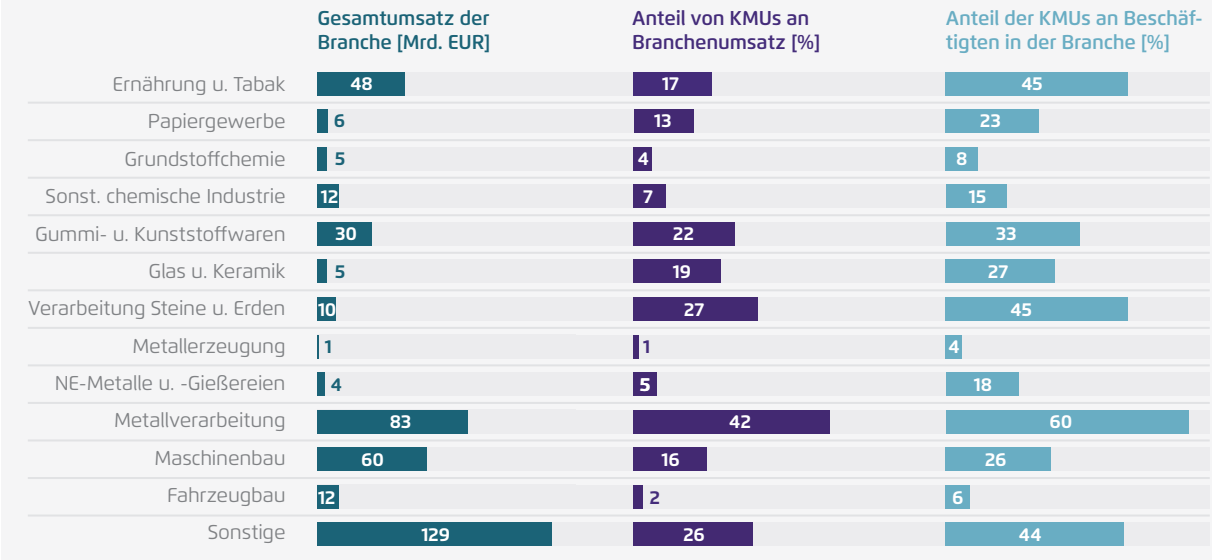
Zu den Sektoren mit einer hohen mittelständischen Ausprägung in Deutschland zählen die Metallverarbeitung, die Verarbeitung von Steinen und Erden, die Lebensmittelindustrie, die Produktion von Gummi- und Kunststoffwaren und die Herstellung von Glas und Keramik. Eine exakte Abschätzung der wirtschaftlichen und energiebezogenen Relevanz ist schwierig, da wirtschaftliche und energiebezogene Kennzahlen seitens der öffentlichen Statistik nicht für den industriellen Mittelstand spezifisch erfasst werden. Um eine grundlegende Einschätzung zu der Bedeutung kleinerer Unternehmen in den verschiedenen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes zu ermöglichen, werden im Folgenden daher alternative Kennzahlen herangezogen. Abbildung 3 zeigt die Bedeutung von KMUs gemäß der EU-Definition in Bezug auf Umsatz- und Beschäftigten-Kennzahlen.

Sektoren mit einem besonders hohen Anteil von KMUs an sowohl dem Gesamtumsatz der Branche als auch den Beschäftigten sind dabei die Metallverarbeitung, die Verarbeitung von Steinen und Erden, die Lebensmittelindustrie, die Produktion von Gummi- und Kunststoffwaren und die Herstellung von Glas und Keramik. Insgesamt erwirtschaften KMUs rund 15 Prozent des Umsatzes und beschäftigen rund 34 Prozent der Mitarbeitenden im Verarbeitenden Gewerbe. Mittelständische Unternehmen, die in Bezug auf die Unternehmensgröße über die KMU-Definition hinausgehen, sind in dieser Darstellung nicht erfasst. Ergänzende Daten der öffentlichen Statistik zeichnen aber auch bei größeren Unternehmen bis 500 Mitarbeitenden ein ähnliches Bild. Auch hier befinden sich die genannten Branchen sowie die Papierindustrie unter den Branchen mit dem höchsten Anteil von kleineren und mittleren Unternehmen an Gesamtumsatz und Beschäftigung der Branche. In allen fünf Branchen machen Unternehmen mit weniger als 500 Mitarbeitenden mindestens 50 Prozent des Umsatzes und mehr als 60% der Beschäftigung aus (Statistisches Bundesamt 2025).[3]

3 Ob diese inhabergeführt sind, wird nicht erfasst, sodass auch hier nur eine eingeschränkte Überschneidung mit der Begriffsdefinition des industriellen Mittelstandes vorliegt.

Wirtschaftliche Bedeutung kleiner und mittlerer Unternehmen, 2023

→ Abb. 3



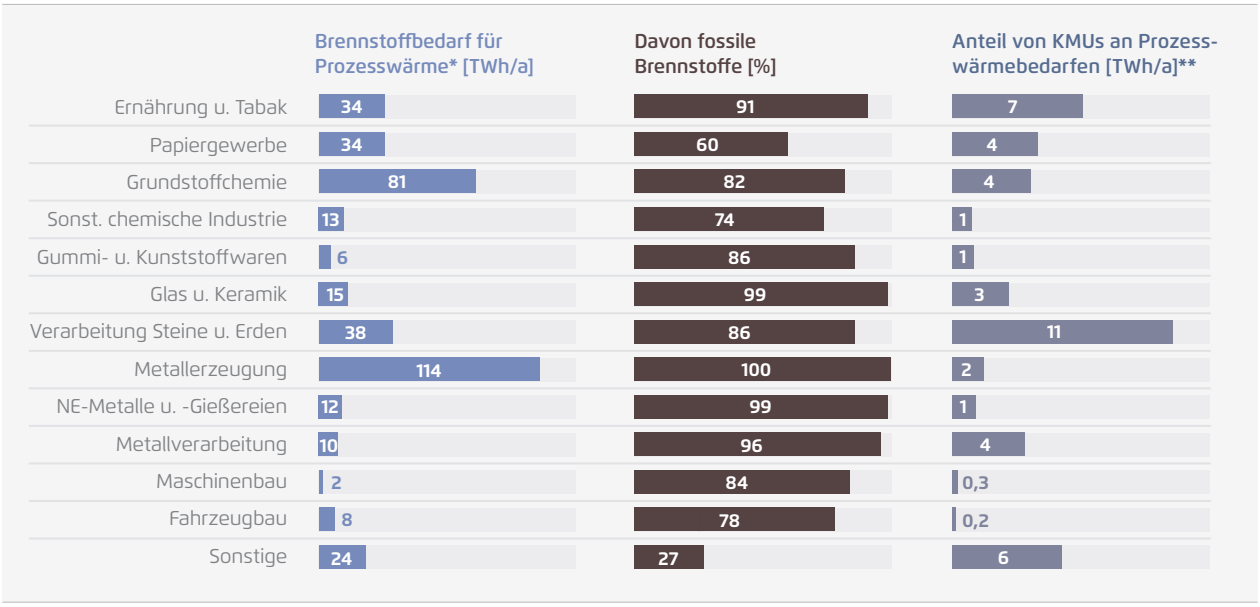
Agora Industrie und FfE (2026) basierend auf Statistisches Bundesamt (2025). Anmerkung: KMU gemäß EU-Definition

Zum Anteil von mittelständischen Unternehmen am Energieverbrauch oder den Emissionen der Industrie sind bislang kaum statistische Daten verfügbar – indikative Kennzahlen zeigen jedoch einen hohen Beitrag des Mittelstands an den fossilen Energieverbräuchen auf. Zwar werden die besonders energieintensiven Branchen wie die Metallerzeugung und die Chemieindustrie stärker von Großunternehmen dominiert, dennoch entfallen auf die stark mittelständisch geprägten Branchen wie der Lebensmittelindustrie und der Metallverarbeitung rund ein Drittel der gesamten Prozesswärmebedarfe der Industrie (siehe Abbildung 4).[4] Dabei liegt der Anteil der Prozesswärmebedarfe, der fossil bereitgestellt wird, häufig deutlich über 70 Prozent.[5] Um eine erste Indikation zu den Prozesswärmebedarfen und den Erdgasverbräuchen des industriellen Mittelstandes zu erhalten, wird in einer Schätzung der branchenweite Prozesswärmebedarf und der energetische Verbrauch fossiler Gase mit dem Anteil kleinerer und mittlerer Unternehmen am Produktionswert gewichtet. Basierend auf diesem Indikator sind Unternehmen mit weniger als 500 Mitarbeitenden für schätzungsweise rund 135 TWh beziehungsweise rund 33 Prozent der Prozesswärmebedarfe im Verarbeitenden Gewerbe verantwortlich. Insgesamt verbrauchen mittelständische Unternehmen für ihre Energieversorgung rund 74 TWh Erdgas, dies entspricht rund 40 Prozent des energetischen Verbrauchs von Erdgas im verarbeitenden Gewerbe insgesamt. Die Umstellung der Prozesswärmebedarfe von mittelständischen Unternehmen kann somit einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Resilienz der deutschen Energieversorgung leisten und zudem die Emissionen in der Industrie signifikant reduzieren. Unter den richtigen Rahmenbedingungen kann sie zudem die Energiekosten für Mittelständler kurzfristig und langfristig senken. Dass insbesondere auch die Kosteneinsparpotenziale durch Klimaschutzinvestitionen für mittelständische Unternehmen von hoher Relevanz sind, zeigt der Blick in die Praxis.

4 Für die Berechnung werden hier die Prozesswärmebedarfe der Branchen Ernährung und Tabak, Papiergewerbe, Gummi- und Kunststoffwaren, Glas und Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden, Metallverarbeitung, Maschinenbau sowie das sonstige Verarbeitende Gewerbe zusammengefasst.

5 Eine Ausnahme stellt die Papierindustrie dar, da hier ein höherer Anteil der Wärmebedarfe über die Nutzung von Biomasse gedeckt wird.

Sektorspezifische Prozesswärmebedarfe und der Beitrag von KMUs, 2023 → Abb. 4



Agora Industrie und FfE (2026) basierend auf Fraunhofer ISI (2024), Statistisches Bundesamt (2026b). *für die Branche insgesamt; **Schätzung auf Basis der Gewichtung des Prozesswärmebedarfs der Branche insgesamt mit dem Produktionswertanteil von KMU

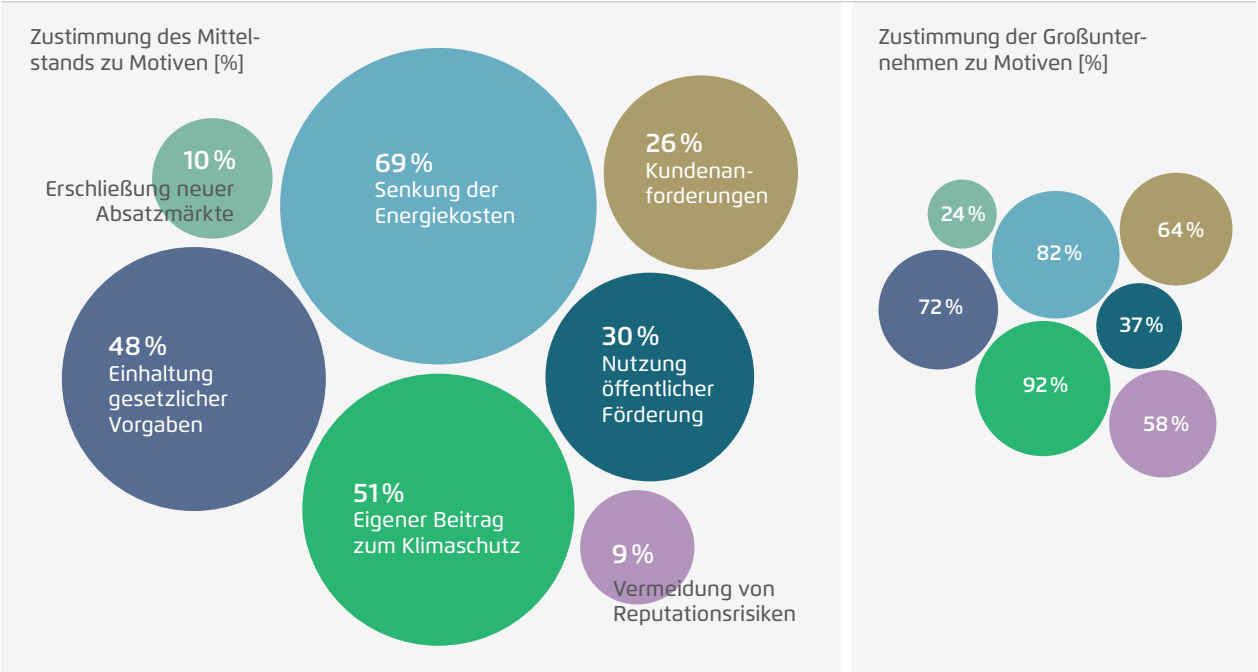
2.2 Klimaschutzinvestitionen im industriellen Mittelstand

Die Senkung von Energiekosten stellen in der Praxis das wichtigste Motiv für mittelständische Unternehmen dar. Unternehmensbefragungen der KfW zeigen, dass der Klimaschutz für mittelständische Unternehmen in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen hat, insbesondere bei größeren Mittelständlern. Rund 84 Prozent der größeren Mittelständler identifizieren Klimaschutz als relevanten Teil ihrer Unternehmensstrategie. Mit kleiner werdender Unternehmensgröße sinkt die Bedeutung von Klimaschutz jedoch deutlich ab – bei den Kleinst- und Kleinunternehmen geben nur noch 50 bis 60 Prozent der Unternehmen an, dass Klimaschutz Bestandteil der Unternehmensstrategie ist (KfW 2025b).[6] Zwischen Großunternehmen und dem Mittelstand zeigen sich Unterschiede in Bezug darauf, wodurch Investitionen in den Klimaschutz motiviert werden (siehe Abbildung 5). Während bei Großunternehmen ein eigener Beitrag zum Klimaschutz, die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben sowie Kundenanforderungen eine wichtige Rolle spielen, ist die Senkung der Energiekosten das wichtigste Motiv für den industriellen Mittelstand (KfW 2022). Genaue Kennzahlen zum Umsetzungsstand der Transformation im industriellen Mittelstand sind jedoch bislang nur begrenzt verfügbar, sodass im Folgenden vor allem auf die verfügbaren Erhebungen des KfW-Klimabarometers zurückgegriffen und diese mit Praxiserfahrungen gespiegelt werden.

Trotz des hohen Bewusstseins für die Relevanz des Themas im industriellen Mittelstand stagnierten dort in den letzten Jahren die Investitionen in den Klimaschutz und hingen zuletzt stark von der konjunkturellen Lage ab. Große Unternehmen verzeichneten in den vergangenen Jahren einen insgesamt steigenden Trend in ihren Klimaschutzinvestitionen und investierten 2024 trotz der herausfordernden wirtschaftlichen Lage zwar weniger als im Vorjahr, aber mit 42 Mrd. Euro dennoch deutlich mehr in den Klimaschutz als noch im Jahr 2021. Ein vergleichbarer

6 Die KfW verwendet eine eigene Größenklassifikation: Kleinstunternehmen beschäftigen weniger als 5 Mitarbeitende, Kleinunternehmen weniger als 10 und Mittelunternehmen weniger als 50 Mitarbeitende; für alle drei Größenklassen gilt ein Jahresumsatz von unter 500 Mio. EUR. Als Großunternehmen gelten Unternehmen mit einem Jahresumsatz von über 500 Mio. EUR – unabhängig von ihrer Beschäftigtenzahl (KfW 2025b).

Motive des Mittelstands für Klimaschutzinvestitionen → Abb. 5



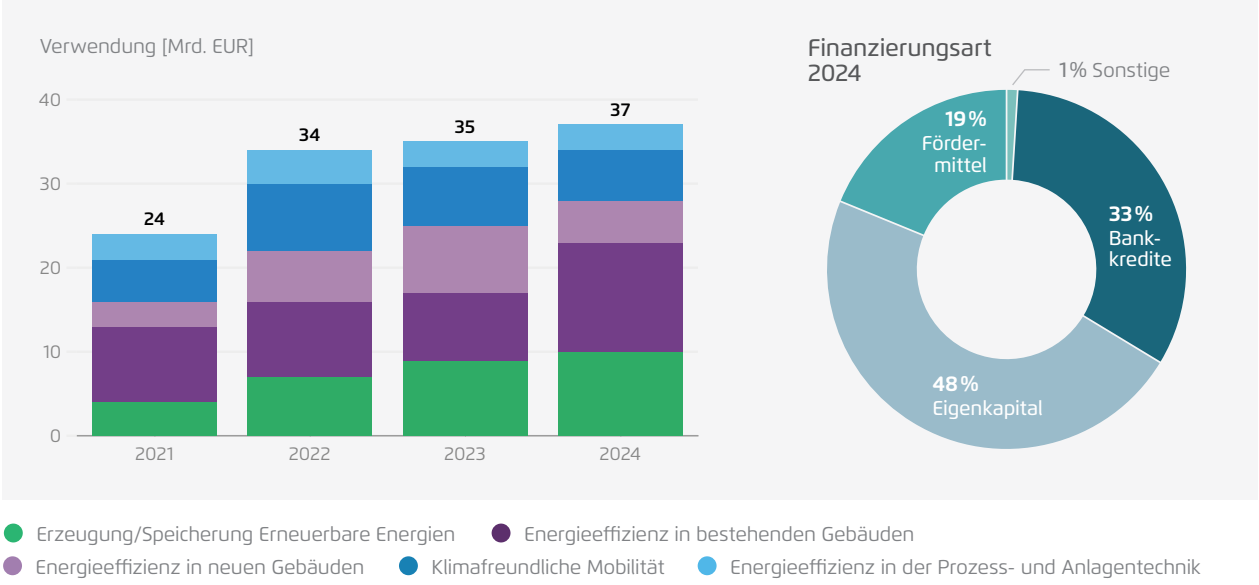
Agora Industrie (2026) basierend auf KfW (2022)

Aufwärtstrend ist im Mittelstand hingegen nicht zu erkennen. Während im Jahr 2022 die Investitionen im Vergleich zu 2021 leicht anstiegen, sanken sie 2023 und 2024 wieder. Im Jahr 2024 lagen sie mit 5,6 Mrd. Euro auf einem ähnlichen Niveau wie 2021. Insgesamt gingen die Klimaschutzinvestitionen im industriellen Mittelstand damit 2024 real um rund 13 Prozent im Vergleich zum Vorjahr zurück (KfW 2025b). Auch die durchschnittliche Höhe der Investitionen, die KMUs sektorübergreifend in einzelne Klimaschutzmaßnahmen tätigten, ist von rund 150.000 Euro im Jahr 2023 auf etwa 90.000 Euro im Jahr 2024 gesunken. Bei größeren Mittelständlern lag der Durchschnitt bereits bei rund 520.000 Euro pro Investitionsvorhaben. Die Investitionsvorhaben im Bereich Klimaschutz konzentrierten sich vorrangig auf die Bereiche „Erzeugung/Speicherung Erneuerbarer Energien" (Grünstrom) und „Energieeffizienz in Gebäuden" (Raumwärme). Investitionen im Bereich „Energieeffizienz in der Prozess- und Anlagentechnik und Materialeffizienz" (Prozesswärme) machen mit rund 8 Prozent nur einen kleineren Teil der Gesamtinvestitionen aus (siehe Abbildung 6) (KfW 2025b).

Traditionell ist die Finanzierung von Investitionen im Mittelstand stark von der Eigenmittelquote abhängig, dies ist auch bei Klimaschutzinvestitionen der Fall. 2024 erfolgten rund 48 Prozent der Finanzierung der Klimaschutzinvestitionen über Eigenmittel (einbehaltener Gewinn, Abschreibungen, Rücklagen, konzerninterne Finanzierung oder Einlagen von Gesellschaftern). Bankkredite machten 33 Prozent und Fördermittel 19 Prozent am Finanzierungsmix der Unternehmen aus (siehe Abbildung 6). Nur jedes fünfte mittelständische Unternehmen hat zur Finanzierung einer Klimaschutzinvestition einen Kredit aufgenommen. Ebenso hat nur jeder vierte Mittelständler eine Förderung für sein Investitionsvorhaben in Anspruch genommen (KfW 2025b). Die geringe Nutzung von Bankkrediten und Fördermöglichkeiten korreliert auch mit der Projektgröße; mit steigenden Investitionsvolumina nimmt die Bedeutung von Bankkrediten zu (KfW 2025a) beziehungsweise mit staatlicher Förderung investieren Betriebe größere Summen (IW 2025).

Klimaschutzinvestitionen im Mittelstand nach Verwendung und Finanzierungsart

→ Abb. 6



Agora Industrie und FfE (2026) nach KfW (2025b). Anmerkung: Die dargestellten Werte sind nicht inflationsbereinigt, die realen Werte fallen folglich im Zeitverlauf geringer aus. Die Daten beziehen sich auf den Mittelstand insgesamt, nicht ausschließlich auf den industriellen Mittelstand.

3 Chancen der Elektrifizierung für den industriellen Mittelstand

3.1 Vermeidung fossiler Preisschocks und Innovation als Motiv in der Praxis

Trotz eines wirtschaftlich herausfordernden Umfeldes zeigen konkrete Investitionsentscheidungen in der Praxis, dass Unternehmen des industriellen Mittelstands den Klimaschutz vorantreiben wollen und dass Investitionen wirtschaftlich tragfähig umsetzbar sein können. Zum Beispiel wurden im Rahmen der zweiten Ausschreibungsrunde des Modul 1 der Bundesförderung für Industrie und Klimaschutz (BIK) insgesamt 24 Projekte in Klimaschutzmaßnahmen mit in Summe 417 Mio. Euro gefördert (BMWE 2025a). Davon entfallen rund 362 Mio. Euro beziehungsweise 88 Prozent der Fördermittel auf Projekte mit dem Ziel der Elektrifzierung von Prozessen. Die Motivation, warum mittelständische Unternehmen in Elektrifizierungsmaßnahmen investieren, sowie mögliche Herausforderungen und Lösungsansätze werden nachfolgend in drei Schlaglichtern aus der Praxis dargestellt (Abbildungen 7 bis 9).

Neben dem Ziel der Emissionsminderung ist die Elektrifizierung ihrer Prozesswärme für viele Mittelständler eine sinnvolle Maßnahme, um Energiekosten zu sparen und die Risiken durch Preisschocks bei fossilen Energieträgern abzufedern. Dies zeigen zum einen Umfrageergebnisse (vgl. Kapitel 2.2) sowie die Schlaglichter aus der Praxis (siehe Abbildungen 7 bis 9). Unter anderem die Erfahrungen aus der Energiepreiskrise und eine

Schlaglichter aus der Praxis: Projektbeispiel I – Milchverarbeitung → Abb. 7

Eckdaten

Produkt: Milchverarbeitung

Installation eines hybriden Dampferzeugers zur Ergänzung des bestehenden Gaskessels

Mit einem hybriden Element können 25 bis 30 % der Gesamtleistung elektrisch bereitgestellt werden.

Temperaturbedarf: ca. 170 Grad

Zusätzliche Erlöse durch Vermarktung der flexiblen Leistung am Regelenergiemarkt geplant.

Projektziele

- Reduktion von Emissionen, Zielbild der Dekarbonisierung
- Diversifizierung der Energieversorgung
- Wirtschaftliche Tragfähigkeit der Investitionen, Amortisation nach 4,5 Jahren
- Langfristig wird günstiger Strombezug durch PPAs oder am Spotmarkt geplant

Herausforderungen

- Personelle Engpässe in der Planungs- und Bauphase sowie beim Wissensaufbau für Vermarktung und Stromeinkauf
- Überzeugung des Vorstandes
- Verzögerungen bei der Zusammenarbeit mit Zulieferern
- Platzbedarf, daher die Wahl des hybriden Systems
- Bau eines zusätzlichen Transformators notwendig

Lösungsansätze und Treiber

- Interne Motivation der Mitarbeitenden
- Aussicht auf günstigen grünen Strom durch PPAs sowie daraus entstehende wirtschaftliche Vorteile
- Einbezug von Dienstleistern für die Vermarktung von Regelleistung

Agora Industrie und FfE (2026). PPAs = Power Purchase Agreements

Schlaglichter aus der Praxis: Projektbeispiel II – Zuckerverarbeitung → Abb. 8

Eckdaten

Produkt: Zuckerverarbeitung

Installation von zwei Dampf-Wärmepumpen mit jeweils 1.370 KW und einer Leistungszahl von voraussichtlich 3,5

Temperaturbedarf: 60–65 Grad

Schrittweise Substitution der erdgasbasierten Dampferzeugung (KWK-Anlage).

Langfristig ist ein vollständiger Umstieg auf 100 % elektrische Energie geplant.

Projektziele

- Sammlung von Erfahrung mit den neuen Technologien
- Langfristige Dekarbonisierung des Unternehmens
- Wirtschaftlichkeit nicht im Fokus, aber potenzielle Gewinne bei sinkenden Strom- und CO_2-Preisen

Herausforderungen

- Technologische Verfügbarkeit: Keine Standardausführung, hohe Einzelanpassungen notwendig
- Regulatorische Änderungen im Zeitraum der Projektplanung
- Distanz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke
- Hohe Sicherheitsanforderungen, notwendige Zertifizierungen und Prüfungen
- Vollständige Dekarbonisierung würde Erhöhung der Netzkapazität der vorgelagerten Infrastruktur bedürfen

Lösungsansätze und Treiber

- Innovationswille, Interesse an neuen Technologien
- Kooperation mit einem Startup zur Entwicklung einer innovativen Lösung zur Anpassung der Wärmepumpenkonfiguration an den unternehmensspezifischen Kontext
- Günstiger Strombezug durch Eigenerzeugung (KWK-Anlage)

Agora Industrie und FfE (2026)

Schlaglichter aus der Praxis: Projektbeispiel III – Hightech Labels → Abb. 9

Eckdaten

Produkt: Hightech Labels und Funktionsteile

Installation von sieben Wärmepumpen für die Wärmeversorgung des Standortes (Prozessklimatisierung und Raumwärme)

Temperaturbedarf: 50–65 Grad

Projektziele

- Senkung der Energiekosten
- Substitution von Erdgas aufgrund hoher Erdgaspreise
- Senkung der Treibhausgasemissionen

Herausforderungen

- Personalverfügbarkeit
- Hohes Investitionsvolumen (6 Mio.) in einem insgesamt schwierigen gesamtwirtschaftlichen Umfeld
- Schnelle Implementierung bei laufendem Betrieb
- Know-how für Vermarktung und potenziellen Stromeinkauf an der Börse

Lösungsansätze und Treiber

- Unbürokratische Zusammenarbeit mit Behörden
- Hohes Handlungsbewusstsein durch die hohen Energiekosten während der Energiekrise
- Hohe Motivation von Mitarbeitenden und Geschäftsführung
- Günstige Voraussetzung durch vorhandene Grundwasserkühlung

Agora Industrie und FfE (2026)

gewünschte Resilienz in der Energieversorgung waren dabei zentrale Motive, um die Projekte trotz hoher Investitionskosten umzusetzen. Dies führte dazu, dass die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zwar relevant, aber nicht ausschlaggebend für die Umsetzung war. Auch die Sammlung von Erfahrungswerten mit neuen Technologien, die als zukunftsweisend wahrgenommen wurden, spielte eine wichtige Rolle als Motivator.

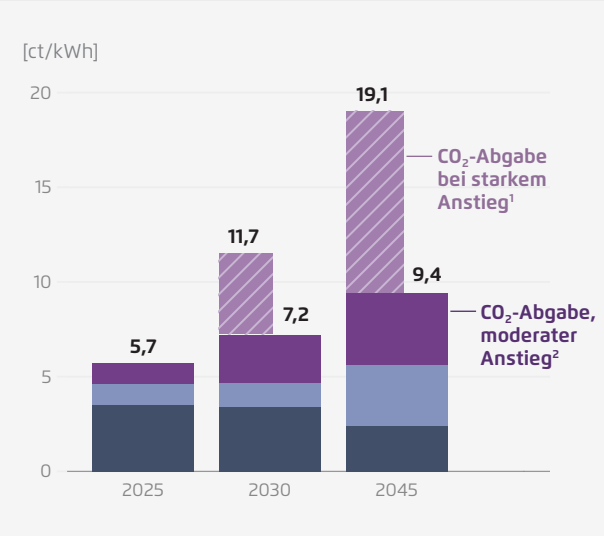
Gute interne und externe Rahmenbedingung sind ebenfalls wichtige Hebel für die erfolgreiche Umsetzung der Projekte. Die Motivation der Mitarbeitenden und teilweise der Geschäftsführung, die Elektrifizierungsmaßahme umzusetzen, war in allen vorgestellten Beispielen trotz hoher Arbeitsauslastung und zeitlichen Verzögerungen hoch. In einem Fall war insbesondere auch eine unbürokratische Zusammenarbeit mit relevanten Behörden ein wichtiger Umsetzungsfaktor. Beim Einbau eines hybriden Elektrokessels war zudem die Aussicht auf einen möglichen Abschluss eines *Power Purchase Agreements* (PPAs) sowie die mögliche Vermarktung von Flexibilitätspotenzialen über Dritte ein starker Antrieb für die Investitionsentscheidung.

3.2 Langfristig steigende Erdgaspreise als Anreiz für Klimaschutzinvestitionen

Neben dem Risiko kurzfristiger Preisschocks, wie infolge der russischen Vollinvasion in der Ukraine und zuletzt dem Krieg im Nahen Osten muss davon ausgegangen werden, dass Erdgaspreise für industrielle Verbraucher langfristig auch strukturell steigen werden. Für die Erreichung des gesetzlich festgelegten Ziels der Klimaneutralität bis 2045 ist ein schrittweiser Ausstieg aus einer erdgasbasierten Wärmeversorgung für Gebäude und Industrie notwendig. Bei einer sukzessiven Reduktion der Abnehmermenge im Gasnetz müssen die verbleibenden Kosten der Netzbereitstellung auf eine immer geringere Verbrauchsmenge umgelegt werden – folglich muss davon ausgegangen werden, dass Netzentgelte für den Gasbezug deutlich steigen werden. Aktuelle Studien rechnen bei einer Fortschreibung derzeitiger Rahmenbedingungen mit einer Erhöhung der Netzentgelte bis 2045 um etwa das 10-fache (auf circa 22ct/kWh); für alte Netze womöglich sogar um das 16-fache (Agora Energiewende 2023, Fraunhofer IFAM 2025). Auch eine schrittweise Einführung des europäischen Emissionshandelssystem für den Gebäude- und Transportsektor (EU ETS II) ab 2028 als zentraler Baustein der europäischen Klimaschutzarchitektur wird Erdgaspreise perspektivisch steigen lassen.

Anreize für die Dekarbonisierung der Prozesswärme durch die Bepreisung von Emissionen entstehen für den Mittelstand bislang vor allem aus dem nationalen Emissionshandel (nEHS). Der europäische Emissionshandel (EU ETS I) und das nationale Emissionshandelssystem (nEHS) bilden die Grundlage für die CO_2-Bepreisung der deutschen Industrie (DEHSt 2024). Während vom EU ETS I vor allem energieintensive Industrieanlagen erfasst werden, ist für den industriellen Mittelstand bislang der nEHS

Ausblick auf die Entwicklung des Erdgaspreises → Abb. 10



Agora Industrie (2026) basierend auf Agora Energiewende et al. (2024), ICE (2025), FÖS & Öko-Institut (2024), PIK (2025). [1] Metastudien finden für den ETS-II CO_2-Preiserwartungen bis zu 350 EUR/t CO_2 für 2030 und bis zu 670 EUR/t CO_2 für 2045. [2] Für 2030 wurde ein CO_2-Preis von 124 EUR/t CO_2 und von 188 EUR/t CO_2 für 2045 angenommen. Für 2025 wurde der nEHS-Preis von 55 EUR/t CO_2 genutzt.

relevant. Der nEHS setzt beim Inverkehrbringen von Brennstoffen (Upstream) an und bestimmt die CO_2-Emissionen anhand der in den Verkehr gebrachten Brennstoffmengen.

Ab 2028 setzt auch auf gesamteuropäischer Ebene die Erweiterung des bestehenden europäischen Emissionshandelssystem zusätzliche Anreize für die Diversifizierung der Energieversorgung und die Senkung der Emissionen. Mit der Einführung des EU ETS II auf EU-Ebene ab 2028 soll die bestehende europäische Emissionsbepreisung um die Sektoren Gebäude, Straßenverkehr sowie um kleinere Industrieanlagen ergänzt werden. Ebenso wie im deutschen nEHS erwerben Inverkehrbringer von Brennstoffen Zertifikate im Rahmen eines Auktionsmechanismus; die Preisbildung erfolgt somit basierend auf Angebot und Nachfrage, ein konkretes Preisniveau ist nicht festgelegt. Der EU ETS II stellt ein zentrales Element der europäischen Klimaschutzarchitektur dar. Gleichzeitig setzt er aber auch wichtige Anreize, um die europäischen Ziele zur Steigerung der Resilienz der Energieversorgung durch Energieeinsparungen und den Ausbau Erneuerbarer Energien zu erreichen. Hierfür hat sich die EU mit der Energieeffizienzrichtlinie und der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie das Ziel gesetzt, bis 2030 mindestens 42,5 Prozent des Endenergiebedarfs durch Erneuerbare Energien abzudecken, um so den Import fossiler Energien zu reduzieren.

Um wirtschaftliche Härten insbesondere im Kontext der aktuellen wirtschaftlichen Herausforderungen zu vermeiden, sieht die bisherige Ausgestaltung des EU ETS II bereits Mechanismen vor, um Preisspitzen zu decken. In der Übergangszeit der Neueinführung ist vorgesehen, durch einen weichen Deckel – konkret durch die Freigabe von bis zu 20 Millionen zusätzlicher Zertifikate ab einem EU ETS II Preis von 45 EUR/t CO_2 – abrupte Preisspitzen zu dämpfen. Dadurch sollen insbesondere in den Anfangsjahren die zusätzlichen Belastungen für Unternehmen moderat gehalten werden. Für die ersten Jahre nach EU ETS II-Einführung werden an der Börse bereits Futures zwischen 80 und 95 EUR/t CO_2 gehandelt (ICE 2025). Längerfristige Prognosen zeigen hingegen deutliche Schwankungen und Preisunsicherheiten auf, liegen aber für 2045 meist deutlich über 300 EUR_{2022}/t CO_2, (FÖS & Öko-Institut 2024). Die langfristige Entwicklung der CO_2-Preise ist somit mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Insbesondere auch für mittelständische Unternehmen mit geringen personellen und finanziellen Kapazitäten ist es mit hohen Herausforderungen verbunden, die Preisentwicklungen von Erdgas adäquat zu prognostizieren und zu berücksichtigen. Dies betrifft sowohl die erwartbare Entwicklung von CO_2-Preis-induzierten Preiseffekten als auch die Entwicklung künftiger Netzentgelte. Für Unternehmen wird die Prognose der CO_2-Preisentwicklung zusätzlich durch die indirekte Preisweitergabe und der fehlenden expliziten Ausweisung der CO_2-Kosten auf der Brennstoffabrechnung erschwert. Bislang werden die Kosten des nEHS von Brennstofflieferanten indirekt an die mittelständischen Industrieunternehmen weitergegeben und diese dabei meistens nicht explizit auf der Brennstoffrechnung ausgewiesen. Die Unternehmen können die aktuelle Kostenwirkung somit nicht unmittelbar einsehen und die Möglichkeit, aktuelle und künftige Preiseffekte adäquat abzuschätzen, hängt maßgeblich von den Prognosekapazitäten auf Unternehmensseite ab. Dies kann insbesondere für Mittelständler eine hohe Herausforderung darstellen, da die personellen und finanziellen Ressourcen fehlen, um eigene Erwartungen zu bilden oder Energiepreisprognosen einzukaufen. Fehlende Prognosekapazitäten können somit zu Planungsunsicherheit oder Nicht-Berücksichtigung von zu erwartenden Preissignalen führen.

3.3 Modernisierungsanreize durch Förderprogramme

Elektrifzierungsinvestitionen können einen Kapitalstock, der weiterhin stark von fossilen Energien abhängt, modernisieren. Aufgrund regulärer Reinvestitionszyklen und Erneuerungsbedarfe bestehender Anlagen muss ein relevanter Anteil der Prozesswärmeanlagen in den kommenden Jahren ohnehin erneuert werden. Bis 2045 würden somit rund zwei Drittel der für den Klimaschutz in der Industrie notwendigen Investitionen ohnehin anfallen, aufgrund

von Erneuerungs- und Modernisierungsbedarfen (Agora Energiewende 2024). Für den industriellen Mittelstand existiert über verschiedene Förderprogramme die Möglichkeit, die Investitionen in die Modernisierung der Prozesswärmebereitstellung durch Zuschüsse oder günstige Kreditkonditionen zu reduzieren. Hierzu zählen unter anderem die Bundesförderung Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW), alternative KfW-Kredite, der Förderwettbewerb Energie- und Ressourceneffizienz, die Bundeförderung Industrie und Klimaschutz (BIK) sowie die CO_2-Differenzverträge. Je kleiner das Unternehmen gemäß der KMU-Definition der EU ist, umso höher ist die Quote (EEW-Modul 4, BIK-Modul 1, EEW-Modul 2). Es können Förderquoten von bis zu 60 Prozent erreicht werden. Die Tabelle A.4 im Anhang gibt einen Überblick über den Fokus, die förderfähigen Anlagen, das Fördervolumen sowie die sonstigen Voraussetzungen der einzelnen Förderprogramme.

Trotz Vereinfachungen ist die Beantragung von Fördergeldern gerade bei kleinen Unternehmen mit anteilig deutlich erhöhtem Mehraufwand verbunden. Die Förderantragstellung ist für viele Mittelständler nicht trivial. Die Unternehmen müssen wirtschaftliche Kenndaten des Unternehmens sowie technische Kenndaten der Maßnahme inklusive geplanter CO_2-Einsparung angeben. Weitere Unterlagen, die vor der Antragstellung eingeholt und mitgesendet werden müssen, sind beispielsweise spezifische Anlagenkennzahlen und Herstellernachweise oder ein Einsparkonzept, das von einer autorisierten Person erstellt wurde. Selbst wenn Mittelständler eine externe Person hinzuziehen, müssen sie selbst Know-how aufbauen, um die Fragen der externen Person beantworten zu können. Die Antragstellung ist demzufolge zeitintensiv, oft muss nach Umsetzung einer Fördermaßnahme ein Verwendungsnachweis ausgefüllt werden. Trotz bestehender Bemühungen, den Antragsaufwand für Unternehmen zu reduzieren, schätzen viele Unternehmen diesen für sich weiterhin als zu hoch ein und nehmen bestehende Förderungen trotz grundsätzlicher Förderfähigkeit teilweise nicht in Anspruch.

Anforderungen an die Mindestemissionsgrenze oder an den Einsatz von Erneuerbaren Energien begrenzen teilweise die Förderfähigkeit oder die Förderhöhe für zentrale Elektrifizierungstechnologien wie Wärmepumpen und Elektrokessel. Die Förderung von Elektrifizierungsoptionen wie der Wärmepumpe und des Elektrokessels sowie die Förderung von Wärmespeichern sind durch die verschiedenen Förderprogramme abgedeckt. Für eine hohe Förderquote in EEW-Modul 2 wird jedoch der Nachweis des Betriebs mit Erneuerbaren Energien vorausgesetzt. Auch eine nur teilweise Substitution fossiler Energiebedarfe – etwa durch hybride Versorgungslösungen wie einen flexibel eingesetzten Dampferzeuger zur Ergänzung einer bestehenden erdgasbasierten Versorgung – ist in der Regel nicht förderfähig. Nur in wenigen Ausnahmefällen sind Förderungen möglich. Grund hierfür ist unter anderem, dass in der Regel entweder eine Mindestemissionsminderung eine Fördervoraussetzung ist oder die Förderquote an die Emissionsminderung gekoppelt ist.

Gleichzeitig zeigt die Praxis, dass Unternehmen den Umstieg auf eine zunächst hybride Versorgungsoptionen als Chance sehen, Erfahrungswerte mit neuen Technologien aufzubauen. Zum können betriebliche Risiken durch eine Diversifizierung der Energieversorgung gesenkt werden. Ein vollstandiger Umstieg wird hingegen aufgrund der unsicheren Preisentwicklungen und der fehlenden Erfahrung als ein zu hohes Risiko fur die Energiekosten und als ein technisches Risiko fur die Prozessstabilitat wahrgenommen. Ein zunächst teilweiser Umstieg kann somit ein wichtiger Zwischenschritt sein, um unternehmensseitig Vertrauen und Wissen zu innovativen, zukunftsfähigen Technologien aufzubauen.

4 Potenziale für die Elektrifizierung der Prozesswärme im Mittelstand wirkungsvoll heben – eine Analyse anhand von Fallbeispielen

Trotz erster positiver Umsetzungsbeispiele zeigen insgesamt sinkende Klimaschutzinvestitionen im industriellen Mittelstand jedoch, dass die prozessspezifisch vorliegenden Rahmenbedingungen für die Elektrifizierung häufig nicht hinreichend attraktiv sind, um Investitionen in der Breite des industriellen Mittelstandes anzureizen. Um die prozessspezifischen Rahmenbedingungen und die Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit von Elektrifizierungsinvestitionen für den industriellen Mittelstand vertiefend zu analysieren, werden daher im Folgenden drei konkrete Anwendungsfälle in drei Kernprozessen des industriellen Mittelstandes beleuchtet. Anhand eines Trocknungsprozesses in der Lebensmittelindustrie, eines Beschichtungsprozesses in der metallverarbeitenden Industrie und eines Formungsprozesses in der kunststoffverarbeitenden Industrie wird die Wirtschaftlichkeit einer Investition in die Elektrifizierung dieser Prozesse anhand von verschiedenen Wirtschaftlichkeitskennzahlen bewertet.

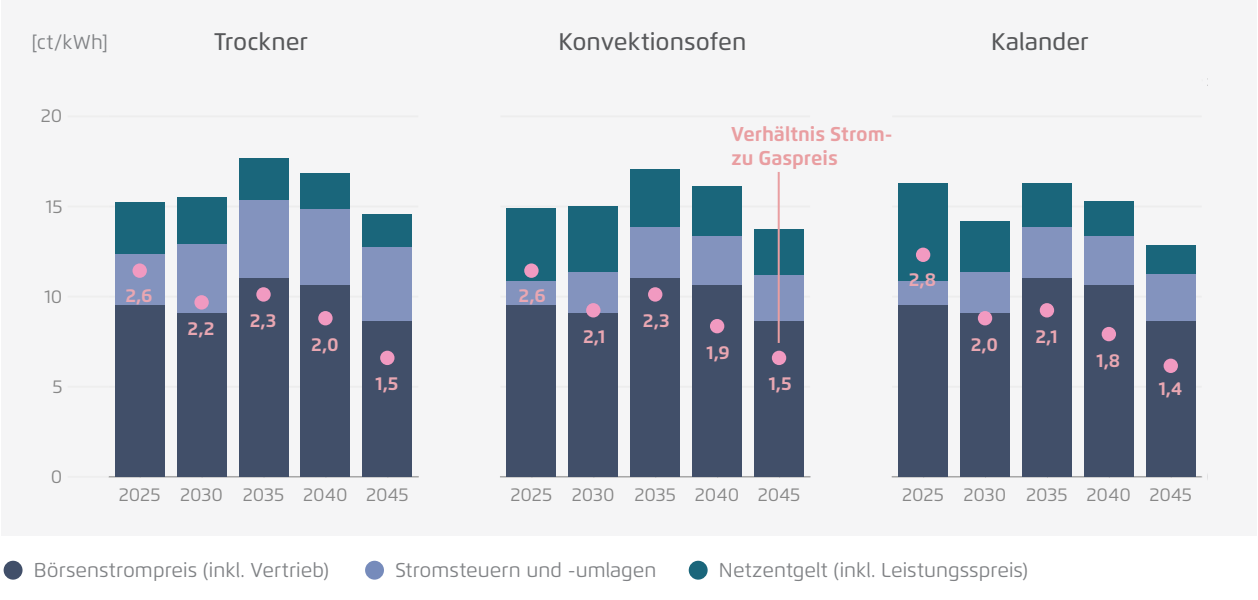
Für die vertiefte Betrachtung wurden jeweils ein Prozess in der Lebensmittelindustrie, der kunststoffverarbeitenden Industrie und der metallbearbeitenden Industrie ausgewählt, welche aufgrund der Technologiewahl auch Anwendbarkeit für andere Branchen aufweisen. In Kapitel 2.1 werden die verschiedenen Branchen des produzierenden Gewerbes im Hinblick auf die Bedeutung des Mittelstandes in diesen Branchen sowie die fossilen Energiebedarfe beleuchtet. Dabei zeigt sich, dass die Lebensmittel-, die kunststoffverarbeitende und die metallbearbeitende Branche sowohl eine hohe Mittelstandsausprägung als auch einen hohen fossilen Wärmebedarf aufweisen (siehe Abbildung 4). Innerhalb dieser Branchen sind eine Vielzahl von Prozessen und Technologien für die Prozesswärmebedarfe verantwortlich, gleichzeitig zeichnen sich Querschnittstechnologien ab, die über verschiedene Prozesse und Branchen Anwendung finden. In Vorbereitung der Fallbeispiele wurden für diese Branchen verschiedene Technologien der Prozesse bewertet. Die Auswahl der Prozesse und Technologien erfolgte nach Hintergrundgesprächen mit Unternehmen anhand der Kriterien Übertragbarkeit der Prozesse auf andere Branchen, Brennstoffbefeuerung, Häufigkeit des Einsatzes und Wahrscheinlichkeit der mittelfristigen Transformation. Für das Fallbeispiel in der Lebensmittelbranche wurde der Trocknungsprozess mittels Heißlufttrockner ausgewählt, für das Fallbeispiel in der Kunststoffverarbeitung das Kalandrieren und für das Fallbeispiel in der Metallbearbeitung der Konvektionsofen zum Einbrennen der Pulverbeschichtung. Diese Prozesse und Technologien sind weit verbreitet, beruhen überwiegend auf erdgasbasierter Wärmebereitstellung und gelten als Anwendungen, bei denen in den kommenden Jahren eine tiefgreifende Transformation hin zu elektrifizierten oder erneuerbaren Lösungen technisch möglich und potenziell wirtschaftlich tragfähig erscheint. Gleichzeitig sind Heißlufttrockner, Konvenktionsöfen und Walzen verbeitete Technologien, die auch in anderen Branchen und Prozessen eingesetzt werden. Dadurch sind die Erkenntnisse aus den Fallbeispielen über die drei Fokusbranchen hinaus gut übertragbar. Teilweise finden in einzelnen Prozessbereichen bereits heute direktelektrische Alternativen Anwendung, meist aufgrund von prozessspezifischen Anforderungen und Besonderheiten. Die überwiegende Mehrheit erfolgt jedoch auf Basis von erdgasbefeuerten Anlagen.

Die Annahmen zur Erarbeitung der Fallbeispiele wurden durch Gespräche mit Unternehmen und Technologieanbietern validiert, um so den technischen und wirtschaftlichen Status quo abzubilden und eine hohe Praxisrelevanz sicherzustellen. Zunächst wurden die für den Mittelstand relevanten und repräsentativen Prozesse und Technologien erarbeitet. Die fiktiven Fallbeispiele sind so

konstruiert, dass sie eine Bandbreite an wirtschaftlichen Ausgangssituationen und somit eine Synthese aus FfE-Praxiserfahrung, Hintergrundgesprächen mit Unternehmen und Verbänden sowie Literaturangaben abbilden. Die Elektrifizierungstechnologien wurden basierend auf heute verfügbaren Optionen und in Rücksprache mit Unternehmen und Technologieanbietern ausgewählt. Die Analyse der Wirtschaftlichkeit basiert auf den praxisrelevanten Parametern Amortisationszeit (*Break-Even-Point*, BEP) und Kapitalwert (KW), berechnet auf Basis der Norm DIN 17463 (*Valuation of Energy Related Investments*, VALERI). Diese berücksichtigt die erwartete Energiepreisentwicklung, Veränderungen in sonstigen Betriebskosten (beispielsweise durch Wartung) sowie den Investitionsbedarf inklusive notwendiger Umbauten bestehender Anlagen. Die Methodik der Wirtschaftlichkeitsanalyse ebenso wie die zentralen Rahmenparameter der Analyse werden im Anhang, Kapitel 7.1, näher erläutert. Ein wesentlicher Faktor sind dabei die zugrunde gelegten Annahmen in Bezug auf die Entwicklung von Energie- und CO_2-Preisen.[7] In Abbildung 11 sind die angenommenen Entwicklungen der Strompreise sowie des Strom-Erdgas-Preisverhältnisses dargestellt. Diese Annahmen beruhen auf Vorarbeiten von Agora Energiewende und Agora Industrie – insbesondere Agora Think Tanks (2024) und Agora Energiewende (2025) – sowie Arbeiten von FfE. Die angenommenen Strompreise variieren zwischen den Fallbeispielen, aufgrund unterschiedlicher Stromverbräuche und Betriebsstunden, die sich wiederum auf die Höhe der Steuern, Abgaben und Umlagen (STAU) und der Netzentgelte auswirken. Zusätzlich werden je Fallbeispiel Sensitivitätsanalysen durchgeführt, die aufzeigen, wie Abweichungen von der im Basisfall getroffenen Annahmen die Wirtschaftlichkeit der betrachteten Investitionen beeinflussen können.

7 Siehe Anhang 7.1.3 für eine detaillierte Erklärung der Annahmen

Entwicklung der Strom- und Erdgaspreise in den Fallbeispielen → Abb. 11



Agora Industrie und FfE (2026)

4.1 Fallbeispiel 1 – Elektrifizierung eines Trocknungsprozesses in der Lebensmittelindustrie

Die Lebensmittelindustrie ist stark mittelständisch geprägt und weist eine hohe Vielfalt an Produkten und Produktionsverfahren auf – von Milch- und Fleischverarbeitung über Getränke bis hin zu Backwaren, Fertiggerichten und Gewürzen. Prozesswärme wird vor allem für thermische Verfahren zur Haltbarmachung, Strukturierung und sensorischen Qualität der Produkte eingesetzt (UM BW 2013). Zentrale Prozesse sind das Kochen und Sterilisieren (meistens bei Temperaturen zwischen 60 und 140 Grad erhitzt), das Backen (übliche Temperaturniveaus zwischen 150 und 240 Grad) und das Trocknen (bei sensibleren Produkten häufig bei Temperaturen unter 100 Grad, teilweise aber auch bei deutlich über 250 Grad). Die hohe Zahl an thermischen Prozessen mit überwiegenden Temperaturbedarfen unter 250 Grad macht die Lebensmittelindustrie zu einem zentralen Anwendungsfeld für Dekarbonisierungsoptionen wie Elektrifizierung, Wärmepumpen und Abwärmenutzung.

Für die Elektrifizierung von Trocknungsprozessen bieten sich Wärmepumpen an. Das Trocknen ist einer der energieintensivsten Prozessschritte in der Lebensmittelbranche und für circa 20 bis 25 Prozent des Energieverbrauchs verantwortlich (ZHAW 2025). In der Lebensmittelverarbeitung kommen unterschiedliche Trocknungsarten und Temperaturniveaus zum Einsatz, je nach Produkt und Qualitätsanforderungen, beispielsweise die Konvektionstrocknung, Wirbelschicht- und Rotationstrocknung oder Sprühtrocknung. Aufgrund der Kombination aus relativ moderaten Temperaturniveaus (überwiegend im Bereich unter 150 Grad) und kontinuierlichen Betriebsweisen bietet der Trocknungsprozess gute Voraussetzungen für Elektrifizierungslösungen wie Wärmepumpen, elektrische Heißluft- oder Dampferzeuger sowie für Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung aus der Abluft. Es können eine hohe Taktung vermieden, höhere Effizienz erreicht, aber auch der Verschleiß reduziert und die Regelung optimiert werden. Wichtige Trocknungstechnologien wie Heißluft- oder Wirbelschichttrockner finden zudem auch in einer Reihe von anderen Branchen Anwendung, beispielsweise in der Chemieindustrie oder der Metallverarbeitung.

Fallbeispiel I – Elektrifizierung eines Trocknungsprozesses in der Lebensmittelindustrie

Ein Trocknungsprozess soll modernisiert werden, da bestehende Anlagen ihr Lebensdauerende erreichen. Es werden verschiedene sensible Lebensmittel bei einem Temperaturniveau von 80 Grad verarbeitet. Derzeit erfolgt die Trocknung der Lebensmittel über einen indirekt mit Erdgas befeuerten Heißlufttrockner.

Unternehmenstyp:	Kleines Unternehmen (mehr als 8 Mio. Euro Umsatz pro Jahr)
Produkttyp:	Trocknung von empfindlichen Lebensmitteln
Technologie im Bestand:	Indirekt mit Erdgas befeuerter Heißlufttrockner (250 kWh_{th})
Betriebsstunden:	Dreischichtbetrieb an 7 Tagen die Woche (8.000 h/a)
Prozesstemperatur:	80 °C

Technologiewahl: Es wird die Elektrifizierung des Heißlufttrockners mit einer Wärmepumpe betrachtet. Diese nutzt feuchte Abluft als Wärmequelle: Durch das Abkühlen kondensiert das Wasser, anschließend wird die trockene kalte Luft durch das erhitzte Kältemittel wieder erwärmt und dem Trockner zugeführt. Für den Temperaturhub von 20 auf 80 Grad wird eine Jahresarbeitszahl von 3,2[1] angesetzt.

Investitionsbedarfe: Die Kosten der Wärmepumpe können sehr stark variieren, abhängig von der konkreten Auslegung (Rohrleitungslängen, Hersteller der Wärmepumpe etc.) und den erforderlichen Anpassungen im Bestand. Für die Wärmepumpe inklusive Installation wird ein Richtwert von 900 EUR/kW_{th} zugrunde gelegt.[2] Zusätzlich fallen 40 Prozent der Wärmepumpen-Investitionssumme für den Umbau des Trockners und den Anschluss an die Wärmepumpe an. Aufgrund der maximal zusätzlichen elektrischen Leistung von circa 80 kW wird davon ausgegangen, dass keine zusätzlichen Kosten für die Strominfrastruktur anfallen.

Förderung: Für diese konkrete Anlage können Fördermittel über das EEW-Modul 4 Premiumförderung beantragt werden. Hier können sich kleine Unternehmen (nach EU-Definition) etwa 20 Prozent der Investitionsgesamtkosten (IGK) oder 45 Prozent der Investitionsmehrkosten (IMK) fördern lassen. Somit können etwa 119.000 Euro an Fördermitteln berücksichtigt werden. Die verbleibenden Investitionsmehrkosten für das Unternehmen – also der Investitionsbetrag der zusätzlich zu denen ohnehin notwendigen Investitionen bei Ersatz des Kessels durch die fossile Alternative anfällt – beträgt somit rund 146.000 Euro.

Erdgaskessel	
Effizienzgrad	85 %
Reinvestitionsbedarf	50.000 EUR
Fixe Betriebskosten	5 EUR/kWh/a
Erdgaspreis (inkl. STAU & CO_2)	2025: 5,8 ct/kWh 2035: 7,6 ct/kWh 2045: 9,4 ct/kWh

Wärmepumpe	
Jahresarbeitszahl	3,2[1]
Investitionsbedarfe Wärmepumpe	225.000 EUR
Investitionsbedarfe Umbau Trockner	90.000 EUR
Fördermittel	119.250 EUR
Strompreis (ohne Leistungspreis)	2025: 13,4 ct/kWh 2035: 16,2 ct/kWh 2045: 13,4 ct/kWh
Zzgl. Leistungspreis	9.450 EUR/a

1 Dieser Wert basiert auf einer Zieltemperatur von circa 80 Grad und einer Quellentemperatur von circa 20 Grad. Dieser Wert wurde durch Herstellerangaben validiert und entspricht typischen Leistungsdaten für industrielle Wärmepumpen in diesem Temperaturbereich.

2 Der hier angelegte Richtwert basiert auf Marktanalysen, Gesprächen mit Technologieanbietern und Projekterfahrungen der FfE. Er liegt im typischen Bereich für industrielle Wärmepumpen.

Ergebnisse

Trockner – Kosten, Erlöse sowie vermiedene Emissionen → Abb. I



Agora Industrie und FfE (2026). ¹jährl. Erlöse u. Kosten nicht abgezinst; ²Kapitalwert abgezinst auf Barwert; ³Investitionsbedarf abzgl. Förderung u. Kosten der Alternativinvestition; ⁴Erhöhung des jährl. zu zahlenden Leistungspreises u. mögliche Mehrkosten in den fixen Wartungskosten

Aufgrund der hohen energetischen Effizienz der Wärmepumpe können in den ersten fünf Jahren pro Jahr im Schnitt rund 39.000 Euro laufende Energiekosten eingespart werden. Dies entspricht einer Senkung der Energiekosten von rund 33 Prozent. Über die Zeit steigen die eingesparten Energiekosten an, da Erdgas im Verhältnis zu Strom teurer wird. In 2035 könnten bei den erwarteten Energie- und CO_2-Preisentwicklungen bereits rund 52.000 Euro jährlich eingespart werden, in 2045 sogar rund 97.000 Euro jährlich.

Durch die deutliche Reduktion der Energiekosten können die vergleichsweise hohen Investitionsmehrkosten der Wärmepumpe schnell amortisiert werden, bereits nach fünf Jahren hat sich die Investition finanziell gerechnet. Innerhalb der gesamten Lebensdauer der Wärmepumpe führen die Energiekosteneinsparungen zu einem deutlichen finanziellen Mehrwert in Höhe von 447.000 Euro.

Durch den Einsatz der Wärmepumpe kann der Verbrauch von Erdgas vermieden werden. Von 2026 bis 2045 werden im Mittel jährlich Erdgasbedarfe im Wert von 144.000 Euro eingespart und damit betriebswirtschaftliche Risiken gesenkt. Zudem werden pro Jahr THG-Emissionen in Höhe von 346 t vermieden, über die gesamte Lebensdauer damit rund 6,9 kt Emissionen.

Sensitivitäten und Einflussfaktoren

	Veränderte Annahme	Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit
Neue Technologien sind wegen noch fehlender Lern- und Skaleneffekte häufig mit hohen Investitionen verbunden. Durch technische Lernkurven und zunehmende Standardisierung können diese jedoch in wenigen Jahren substanziell sinken.	**Technologiekosten sinken um 20 %**	↑ **Kapitalwert steigt um 35.000 EUR** ↓ **Break-Even-Punkt sinkt um 1 Jahr** = **Mittlere Kostensenkung ist gleichbleibend**
Eine **höhere Effizienz der Wärmepumpe** kann durch technische Entwicklung oder eine Veränderung des Temperaturhubs erreicht werden.	**Jahresarbeitszahl steigt auf 3,5**	↑ **Kapitalwert steigt um 76.000 EUR** ↓ **Break-Even-Punkt sinkt um 1 Jahr** ↑ **Mittlere Kostensenkung steigt um 7.000 EUR pro Jahr**
Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMUs) verfügen selten über die Kapazitäten, eine kostensenkende **Strombeschaffungsstrategie** umzusetzen, sondern beziehen Strom über langfristige Lieferverträge vom Energieversorger.	**Konstanter Strompreis in Höhe von 16,1 ct/kWh (inkl. STAU, ohne Leistungspreis)**	↓ **Kapitalwert sinkt um 355.000 EUR** ↑ **Break-Even-Punkt steigt um 5 Jahre** ↓ **Mittlere Kostensenkung sinkt um 38.000 EUR pro Jahr**
Mit einem Wärmespeicher kann die Wärmepumpe in Abhängigkeit von Börsenstrompreisen flexibel betrieben werden. Für die Installation eines 10 m^3-Wärmespeichers entstehen Kosten von etwa 20.000 Euro. Durch den Stromeinkauf an der Börse werden die möglichen Einsparpotenziale auf etwa 5.000 Euro pro Jahr geschätzt. Voraussetzung hierfür ist, dass das Unternehmen über einen externen Dienstleister bei der Vermarktung dieser Potenziale unterstützt wird.	**Ergänzung eines Warmwasserspeichers**	↑ **Kapitalwert steigt um 120.000 EUR** ↓ **Break-Even-Punkt sinkt um 1 Jahr** ↑ **Mittlere Kostensenkung steigt um 5.000 EUR pro Jahr**
Förderangebote sind ein wichtiger Hebel, um die Modernisierung des Kapitalstocks anzureizen. Aufgrund des hohen Antragsaufwandes, unternehmenskulturellen Faktoren und weiteren Hemmnissen werden sie teilweise jedoch nicht in Anspruch genommen.	**Förderung wird nicht in Anspruch genommen**	↓ **Kapitalwert sinkt um 119.000 EUR** ↑ **Break-Even-Punkt steigt um 4 Jahre** = **Mittlere Kostensenkung ist gleichbleibend**

4.2 Fallbeispiel 2 – Elektrifizierung eines Konvektionsofens in der metallverarbeitenden Industrie

Für die Reduktion der Erdgasbedarfe in der metallverarbeitenden Industrie ist eine Elektrifizierung verschiedener Ofentechnologien von hoher Bedeutung. Die Metallverarbeitung umfasst die Weiterverarbeitung von Stahl, Aluminium und anderen Metallen zu Bauteilen für Maschinenbau, Automobil- und Bauindustrie. Neben spannenden und umformenden Verfahren spielt die Oberflächentechnik eine wesentliche Rolle, um Korrosionsschutz, Verschleißbeständigkeit und dekorative Gestaltung der Oberfläche zu gewährleisten. Typische Verfahrensketten kombinieren mechanische Bearbeitung mit Vorbehandlung, Beschichtung und thermischer Nachbehandlung. Zu den zentralen Prozessen zählen in der Metallverarbeitung das Reinigen und Waschen von Bauteilen, das Umformen, galvanische Verfahren zur Abscheidung metallischer Schichten, Oberflächenbehandlung wie zum Beispiel das Härten, das Einbrennen von Pulverbeschichtungen sowie Trocknungsprozesse beim Lackieren (Da Costa et al. 2023). Einige Prozesstechnologien sind bereits weitgehend elektrifiziert, etwa ein Großteil der Reinigungsanlagen sowie verschiedene Trocknungssysteme. Insbesondere verschiedene Ofentechnologien werden hingegen noch weitgehend fossil betrieben (BMWE 2025b, UBA 2025a). Diese werden beispielsweise zum Einbrennen von Pulverbeschichtungen angewendet. Gleichzeitig finden Technologien wie Konvektionsöfen aber auch in einer Reihe von anderen Branchen Anwendung, etwa im Fahrzeugbau oder der Lebensmittelindustrie.

Gängige Ofentechnologien werden bereits heute durch eine externe Wärmezufuhr indirekt befeuert, eine Wärmepumpe kann in diesem Fall effizient in bestehende Prozesse intergiert werden. Beim Pulverbeschichten werden Pulverlacke auf leitfähige Metalloberflächen aufgebracht und anschließend über die thermische Härtung im Ofen eingebrannt. In diesem Schritt wird das beschichtete Werkstück für eine definierte Zeit auf Objekttemperaturen von typischerweise 100 bis 200 Grad aufgeheizt (Gedan-Smolka et al. 2006). Übliche Anlagentechnik sind Konvektionsöfen, in denen heiße Luft mittels Ventilatoren gleichmäßig über die Bauteile geführt wird. Das Einbrennen gilt als energieintensiver Kernschritt der Pulverbeschichtung, da über die gesamte Ofenlänge ein hohes und weitgehend konstantes Temperaturniveau aufrechterhalten werden muss und die Wärme überwiegend über gasbeheizte Luftsysteme bereitgestellt wird. Damit stellt der Einbrennprozess ein geeignetes Anwendungsfeld für Elektrifizierungs- und Effizienzmaßnahmen dar, etwa durch elektrisch beheizte Konvektionsöfen, Hochtemperatur-Wärmepumpen, den verstärkten Einsatz von IR-Systemen oder Niedrigtemperatur-Pulverlacken. Das Fallbeispiel bezieht sich auf die Elektrifizierung auf Basis einer Hochtemperatur-Wärmepumpe, da sie eine effiziente Wärmebereitstellung im für den Einbrennprozess relevanten Temperaturniveau ermöglicht und sich in bestehende Prozesse integrieren lässt. Eine Alternative wäre eine Umstellung auf einen direktelektrischen Ofen gewesen.

Fallbeispiel II – Elektrifizierung eines Konvektionsofens in der metallverarbeitenden Industrie

Ein Pulverbeschichtungsprozess soll modernisiert werden, da die bestehende Befeuerungsanlage das Ende ihrer Lebenszeit erreicht hat. Im betrachteten Prozess werden Pulverlacke auf eine leitfähige Metalloberfläche aufgebracht und über thermische Härtung bei 150 Grad eingebrannt. Derzeit erfolgt der Betrieb des Konvektionsofens auf Basis einer indirekten, erdgasbasierten Befeuerung.

Unternehmenstyp:	Großer, inhabergeführter Mittelständler
Produkttyp:	Maschinen für landwirtschaftliche Betriebe
Aktuelle Prozesswärmebereitstellung:	Indirekt mit Erdgas befeuerter Konvektionsofen mit 1.100 kWh_{th}
Betriebsstunden:	Zweischichtbetrieb an 6 Tagen pro Woche (5.000 h/a)
Prozesstemperatur:	150 °C

Technologiewahl: Als Ersatz wird die Elektrifizierung durch eine Hochtemperatur-Wärmepumpe betrachtet. Diese ist für die Bereitstellung von 150 Grad warmer Luft für den Ofen verantwortlich. Dazu wird Thermalöl auf 160 Grad erhitzt und anschließend über einen Wärmeübertrager die Luft erwärmt. Für die Wärmepumpe wird eine thermische Leistung von 1.100 kW angesetzt. Um die Effizienz der Wärmepumpe zu steigern und das notwendige Temperaturniveau zu erreichen, steht Abwärme aus anderen Prozessen zur Verfügung. Dadurch kann eine Jahresarbeitszahl von 3,0 erreicht werden.[1]

Investitionsbedarfe: Die Investition für die Wärmepumpe inkl. Installation liegt bei etwa 1.300 EUR/kW_{th}. Aufgrund hoher zusätzlicher Strombedarfe fallen zudem hohe Investitionen für die Ertüchtigung der Infrastruktur an, zum Beispiel muss ein neuer Transformator gebaut werden. Die Gesamtinvestitionsbedarfe liegen damit bei rund 1,9 Mio. Euro. Im Vergleich dazu würden die Ersatzinvestitionen in den Erdgaskessel 220.000 Euro betragen.

Förderung: Für diese Anlage kann aufgrund der hohen Emissionsminderung und der Technologie eine Förderung über das EEW-Modul 4 Premiumförderung beantragt werden. Diese ermöglicht eine Förderung in Höhe von 25 Prozent der Investitionsmehrkosten.

Erdgaskessel	
Effizienzgrad	90 %
Reinvestitionsbedarf	220.000 EUR
Fixe Betriebskosten	5 EUR/kWh/a
Erdgaspreis (inkl. STAU & CO_2)	2025: 5,8 ct/kWh 2035: 7,6 ct/kWh 2045: 9,4 ct/kWh

Wärmepumpe	
Jahresarbeitszahl	3,0
Investitionsbedarfe Wärmepumpe	1.430.000 EUR
Investitionsbedarfe Umbau Ofen	429.000 EUR
Fördermittel	409.750 EUR
Strompreis (ohne Leistungspreis)	2025: 11,9 ct/kWh 2035: 14,7 ct/kWh 2045: 11,9 ct/kWh
Zzgl. Leistungspreis	44.000 EUR/a

1 Der angenommene Wert unterliegt der Annahme der Zieltemperatur von circa 150 Grad und einer Quellentemperatur von circa 50 Grad. Dieser Wert wurde durch Herstellerangaben validiert und entspricht typischen Leistungsdaten für industrielle Wärmepumpen in diesem Temperaturbereich

Ergebnisse

Konvektionsofen – Kosten, Erlöse sowie vermiedene Emissionen → Abb. II



Agora Industrie und FfE (2026). ¹jährl. Erlöse u. Kosten nicht abgezinst; ²Kapitalwert abgezinst auf Barwert; ³Investitionsbedarf abzgl. Förderung u. Kosten der Alternativinvestition; ⁴Erhöhung des jährl. zu zahlenden Leistungspreises u. mögliche Mehrkosten in den fixen Wartungskosten

Aufgrund der hohen energetischen Effizienz der Wärmepumpe im Kombination mit der Nutzung von Abwärme können bereits in den ersten fünf Jahren die laufenden Energiekosten für den Betrieb des Konvektionsofens im Mittel um rund 28 Prozent reduziert werden. Durch steigende Erdgaspreise erhöhen sich diese Einsparungen kontinuierlich auf 50 Prozent im Jahr 2045. Über die Lebensdauer der Anlage hinweg werden im Schnitt rund 134.000 Euro bzw. 35% der Energiekosten pro Jahr eingespart. Der finanzielle Mehrwert der Investition liegt am Lebensende der Anlage bei rund 96.000 Euro.

Durch den Einsatz der Wärmepumpe kann der Verbrauch von Erdgas vermieden werden. Von 2026 bis 2045 werden im Mittel jährlich Erdgasbedarfe im Wert von 373.000 Euro eingespart und damit mit Energieimporten verbundene Risiken gesenkt. Zudem werden pro Jahr THG-Emissionen in Höhe von 887 t CO_2 vermieden, über die gesamte Lebensdauer damit rund 17,7 kt Emissionen.

Die Modernisierung des Konvektionsofens bietet hohe Einsparpotenziale bei den Energiekosten, ist jedoch aufgrund des Status als Einzelanfertigung mit hohen Investitionsmehrkosten im Vergleich zur fossilen Alternative verbunden. Bei einer Förderung der Investitionsmehrkosten mit 25 Prozent ergibt sich somit trotz hoher Energie-

Sensitivitäten und Einflussfaktoren

	Veränderte Annahme	Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit
Die **Finanzierungskosten** fallen aufgrund der hohen Anfangsinvestitionen stark ins Gewicht. Sie ergeben sich aus dem Anteil von Fremd- und Eigenkapital sowie den Renditeerwartungen und Risikozuschlägen der jeweiligen Kapitalgeber. Durch eine stärkere Fremdfinanzierung mit geringen Zinserwartungen (zum Beispiel durch einen Förderkredit oder Absicherungsinstrumente) könnte der im Basisfall angenommene kalkulatorische Zinssatz reduziert werden.	**Reduzierung des kalkulatorischen Zinssatzes von 6,5 % auf 4,5 %**	**↑ Kapitalwert steigt um 292.000 EUR** **↓ Break-Even-Punkt sinkt um 3 Jahre** **= Mittlere Kostensenkung bleibt gleich bei 134.000 EUR pro Jahr**
Eine höhere Effizienz der Wärmepumpe kann durch technische Entwicklung oder eine Veränderung des Temperaturhubs erreicht werden.	**Jahresarbeitszahl steigt auf 3,5**	**↑ Kapitalwert steigt um 300.000 EUR** **↓ Break-Even-Punkt sinkt um 4 Jahre** **↑ Mittlere Kostensenkung steigt um 28.000 EUR pro Jahr**
Insbesondere KMUs verfügen selten über die Kapazitäten eine kostensenkende **Strombeschaffungsstrategie** umzusetzen, sondern beziehen Strom über langfristige Lieferverträge vom Energieversorger (vgl. Kapitel 5).	**Konstanter Strompreis in Höhe von 16,1 ct/kWh (inkl. STAU, ohne Leistungspreis)**	**Keine Wirtschaftlichkeit innerhalb der Lebensdauer** **↓ Mittlere Kostensenkung sinkt um 95.000 EUR pro Jahr**

4.3 Fallbeispiel 3 – Teil-Elektrifizierung eines Kalanderprozesses in der kunststoffverarbeitenden Industrie

In der kunststoffverarbeitenden Industrie bietet vor allem der Prozess des Kalandrierens gute kurz- und mittelfristige Potenziale für die Elektrifizierung. Die kunststoffverarbeitende Industrie ist stark mittelständisch geprägt und weist eine hohe Prozessvielfalt auf. Verarbeitet werden häufig thermoplastische Kunststoffe, die über ihre Erweichungs- beziehungsweise Schmelztemperatur hinaus erhitzt, geformt und anschließend wieder abgekühlt werden (dena 2021). Ein großer Teil des Energiebedarfs entfällt dabei auf Prozesswärme für das Trocknen, Temperieren, Aufschmelzen sowie die Formgebung und Nachbehandlung. Zentrale formgebende Prozesse sind Kalandrieren, Thermoformen, Extrusion, Spritzgiesen und Blasformen, die uberwiegend für die Verarbeitung thermoplastischer Kunststoffe genutzt werden. Ergänzend spielen verschiedene Trocknungsprozesse für Granulate und Halbzeuge eine wichtige Rolle, darunter (Heiß-)Lufttrockner, Vakuum- und Drucklufttrockner, Molekularsieb-, Rotor- und Infrarottrockner, die je nach Produktanforderung im Temperaturbereich von etwa 60 bis 150 Grad betrieben werden (Soukup 2021). Die Verfahren Extrusion, Spritzgießen und Blasformen werden heute bereits größtenteils elektrisch beheizt und angetrieben (Weiss 2016). Im Gegensatz dazu zeichnet sich insbesondere der Kalanderprozess durch hohe, kontinuierlich anfallende Wärmebedarfe und häufig noch dampf- oder thermalölbasierte Beheizung aus (Choudhury 2017).

Zum Teil sind bereits elektrische Back-up-Kapazitäten zur Absicherung von Ausfällen und Wartungsbedarfen vorhanden. Diese können genutzt werden, um Prozesswärmebedarfe zunächst teilweise auf Strom umzustellen. Ein flexibler Betrieb ermöglicht dabei, von Lerneffekten und günstigen Energiepreisen zu profitieren. Das Kalandrieren ist ein kontinuierliches Umformverfahren zur Herstellung von Folien, Platten und Beschichtungen. Hierbei wird ein Polymergemisch – häufig weichgemachtes PVC oder andere modifizierte Thermoplaste – durch verschiedene hintereinandergelegte Walzen auf Basis von Druck und Temperatur zu einem dünnen Film ausgerollt. Typische Walzentemperaturen liegen, je nach Material und Produkt, im Bereich von etwa 150 bis 220 Grad und werden über Dampf- oder Thermalölheizungen oder elektrische Heizsysteme bereitgestellt. Die Art der Beheizung hängt bislang vor allem von der Art des Kalanders und den Produktanforderungen ab. Da für die Wärmezufuhr keine direkte Verbrennung benötigt wird, besteht die Möglichkeit zur Elektrifizierung der Wärmebereitstellung, etwa durch Elektrokessel in Hybridkonzepten oder direktelektrische Walzenheizungen. Im definierten Fallbeispiel wird eine teilweise Elektrifizierung auf Basis eines flexibel gefahrenen Elektrokessels betrachtet. Hierbei wird berücksichtigt, dass bei einer indirekten Beheizung der Walzen häufig mehrere Dampferzeuger für die Bereitstellung der Prozesswärme zum Einsatz kommen und relevante Kapazitäten als Back-up zur Absicherung von technischen Ausfällen und Wartungsbedarfen vorgehalten werden.

Fallbeispiel III – Elektrifizierung eines Kalanderprozesses in der kunststoffverarbeitenden Industrie

Die Dampfbereitstellung für einen Formgebungsprozess in der kunststoffverarbeitenden Industrie soll modernisiert werden, da einer der bestehenden Erdgaskessel sein Lebensdauerende erreicht. Die Kalander werden aktuell über drei erdgasbefeuerte Dampfkessel versorgt. Zwei der drei Prozesswärmeerzeuger befinden sich im Regelbetrieb, ein weiterer dient als Back-up bei Wartungs- und Reparaturarbeiten.

Unternehmenstyp:	Mittelständler (mehr als 50 Mio. Euro Umsatz pro Jahr)
Produkttyp:	Spezialfolien insbesondere für die Pharma- und Fahrzeugbranche
Technologie im Bestand	drei erdgasbefeuerte Dampfkessel (jeweils 2,5 MW_{th})
Betriebsstunden:	Dreischichtbetrieb an 5 bis 6 Tagen pro Woche (6.900 h/a)
Prozesstemperatur:	160 °C

Technologiewahl: Um Erfahrungen mit neuen Technologien zu sammeln und die Energieversorgung zu diversifizieren, soll ein Elektrokessels mit einer elektrischen Leistung von 1,8 MW_{el} den bisher als Back-up genutzten Erdgaskessel ersetzen. Der Elektrokessel soll künftig flexibel betrieben werden und die erdgasbasierte Dampferzeugung in Zeiten niedriger Börsenstrompreise ergänzen. Die Verteilung des elektrisch erzeugten Dampfes erfolgt über die bestehende Infrastruktur.

Investitionsbedarfe: Für die Installation des elektrischen Dampferzeugers fallen Investitionskosten von rund 405.000 Euro an. Zusätzlich ist wegen der höheren Strombedarfe die Ertüchtigung der unternehmensseitigen Netzinfrastruktur durch den Bau eines neuen Transformators nötig. Hierfür fällt ein zusätzlicher Investitionsbedarf von rund 324.000 Euro an. Eine Ersatzinvestition in einen neuen Erdgaskessel würde rund 270.000 Euro kosten.

Förderung: Gemäß den aktuellen Förderbedingungen wird davon ausgegangen, dass keine Förderung in Anspruch genommen wird, da die Emissionsminderung aufgrund der nur zeitweisen Nutzung zu gering ausfällt.

Betriebsannahmen: Basierend auf aktuellen Strom- und Erdgaspreisen wird angenommen, dass der elektrische Verbraucher in den ersten Jahren etwa 760 bis 1.200 Stunden betrieben wird; bis 2030 steigt der Anteil auf 1.700. Die Abschätzung, an wie vielen Tagen dies zu welchen Preisen der Fall sein wird, basiert auf modellierten Stromreisentwicklungen am *Intraday*-Markt bis 2045 sowie einem vereinfachten Bewertungsansatzes (vgl. Anhang Kapitel 7.1.3).

Erdgaskessel	
Effizienzgrad	80 %
Reinvestitionsbedarf	270.000 EUR
Erdgaspreis (inkl. STAU & CO_2)	2025: 5,8 ct/kWh 2035: 7,6 ct/kWh 2045: 9,4 ct/kWh

Elektrischer Dampfkessel	
Effizienzgrad	98 %
Investitionsbedarfe E-Kessel	405.000 EUR
Investitionsbedarfe Netzinfrastruktur	324.000 EUR
Fördermittel	keine
Strompreis (ohne Leistungspreis)	2025: 11,9 ct/kWh 2035: 14,7 ct/kWh 2045: 11,9 ct/kWh
Zzgl. Leistungspreis	2026: 43.200 EUR Ab 2030: 21.600 EUR

Ein wichtiger Kostenfaktor sind die Netzentgelte beim flexiblen Betrieb. Da diese nach aktueller Regulatorik von der höchsten jährlichen Leistungsspitze abhängen, soll der Elektrokessel die bestehende Lastspitze möglichst nicht erhöhen. Bei einem Leistungspreis von 150 EUR/kW/a entstehen zusätzliche Kosten von 43.200 Euro pro Jahr. Aufgrund einer möglichen Netzentgeltreform wird ab 2030 vereinfachend eine Halbierung der leistungsbedingten Mehrkosten unterstellt.[1]

Ergebnisse

Kalander – Kosten, Erlöse sowie vermiedene Emissionen → Abb. III



Agora Industrie und FfE (2026). ¹jährliche Erlöse und Kosten nicht abgezinst; ²Kapitalwert abgezinst auf den Barwert; ³Investitionsbedarf abzgl. Förderung und Kosten der Alternativinvestition; ⁴Erhöhung des jährlich zu zahlenden Leistungspreises

Trotz vergleichsweise geringer Betriebsstundenzahl kann der elektrische Dampferzeuger in den ersten vier Betriebsjahren im Schnitt rund 19.000 Euro Energiekosten einsparen. Ab 2030 steigen die Kosteneinsparpotenziale deutlich an, da die zusätzlichen Kosten des Leistungspreises abnehmen und die Anzahl der Betriebsstunden des Elektrokessels steigen. Die Einsparungen betragen 2031 bereits 86.000 Euro und steigen 2045 auf

1 Konkrete Ausgestaltungsoptionen für die Netzentgeltreform konnten an dieser Stelle nicht berücksichtigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Reform die Relevanz des Arbeitspreises erhöht, und im Gegenzug die Kosten des zusätzlichen Leistungspreises deutlich reduziert werden.

157.000 Euro an. Auch ohne Bezug von Fördermitteln hat sich die Investition nach rund zwölf Jahren refinanziert. Die Investition führt innerhalb der Anlagenlebensdauer zu einem deutlichen finanziellen Mehrwert in Höhe von 371.000 Euro.

Durch die Substitution des Erdgases wird zudem die Energieversorgung des Unternehmens diversifiziert und der Erdgasverbrauch substanziell reduziert. Von 2026 bis 2045 werden im Mittel jährlich Erdgasbedarfe im Wert von 232.000 Euro eingespart und damit mit Energieimporten verbundene Risiken gesenkt. Zudem werden pro Jahr THG-Emissionen in Höhe von 482 t CO_2 vermieden, über die gesamte Lebensdauer damit rund 9,6 kt Emissionen.

Sensitivitäten und Einflussfaktoren

	Veränderte Annahme	Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit
Die **Entwicklung der Erdgas-Handelspreise** ist aufgrund geopolitischer Risiken mit hohen Unsicherheiten belastet, temporäre Preisspitzen oder strukturelle Anstiege können nicht ausgeschlossen werden.	**Erdgaspreise liegen dauerhaft 20 % höher als im Basisfall**	↑ **Kapitalwert steigt um 213.000 EUR** ↓ **Break-Even-Punkt sinkt um 2 Jahre** ↑ **Mittlere Kostensenkung steigt um 42.000 EUR pro Jahr**
Die Wirtschaftlichkeit einer **Investition erst in fünf Jahren** ist von der Entwicklung der Netzentgelte und des zusätzlich zu zahlenden Leistungspreises abhängig. Hohe Netzentgelte bei einer flexiblen Nutzung der elektrischen Dampferzeugung dämpfen die Kostenminderungspotenziale zum heutigen Zeitpunkt. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Regelung in den kommenden Jahren angepasst wird. Auch das Strom-Gas-Preisverhältnis wird sich in den kommenden vier Jahren deutlich verändern.	**Investitionszeitpunkt verschiebt sich um fünf Jahre auf 2030**	↑ **Kapitalwert steigt um 442.000 EUR** ↓ **Break-Even-Punkt sinkt um 5 Jahre** ↑ **Mittlere Kostensenkung steigt um 36.000 EUR pro Jahr**
Steigende CO_2-Preise sind ein zentraler Baustein der europäischen Klimaschutzarchitektur, reizen Emissionsminderung marktgetrieben an und senken Subventionsbedarfe. Konstante CO_2-Preise auf heutigen Niveau – aufgrund eines abgeschwächten ETS Preispfades oder vereinfachter Annahmen seitens der Unternehmen – beeinflussen die Wirtschaftlichkeit der Elektrifizierungsinvestition maßgeblich. **CO_2-Preise werden in Wirtschaftlichkeitsanalysen häufig auf dem heutigen Niveau konstant gehalten,** da tatsächliche CO_2-Preisentwicklungen und dessen Effekt auf den Erdgaspreis für Unternehmen schwer abzuschätzen ist.	Der CO_2-Preis bleibt auf dem heutigen Niveau.	**Keine Wirtschaftlichkeit innerhalb der Lebensdauer** ↓ **Mittlere Kostensenkung sinkt um 29.000 EUR pro Jahr**

4.4 Synthese der Ergebnisse

In allen drei Prozessen konnte die Elektrifizierung der Prozesswärmebedarfe die Energiekosten deutlich reduzieren. Bei einer Investitionsentscheidung 2025 konnten alle Anlagen bereits in den ersten fünf Jahren nach Investition die Energiekosten um bis zu 33 Prozent senken. Mit erwartbar steigenden Erdgaspreisen steigen diese Kostensenkungspotenziale ab 2030 weiter an, im Falle von Temperaturbedarfen unter 100 Grad sogar auf bis zu 55 Prozent im Jahr 2045. Unter Berücksichtigung der Investitionskosten können die Wärmegestehungskosten über die Lebensdauer der Anlagen um 6 bis 24 Prozent reduziert werden. Insbesondere bei niedrigen Temperaturbedarfen sind die erwartbaren Einsparungen an Energiekosten bereits in den kommenden fünf Jahren ausreichend hoch, sodass sich die Mehrausgaben der klimaneutralen Investition innerhalb von fünf Jahren amortisieren.

Bislang sind strombasierte Technologien mit hohen Investitionsmehrkosten im Vergleich zur fossilen Referenz verbunden, sodass lange Amortisationszeiten ein Kernhemmnis für die Investition darstellen. Vor allem bei Wärmepumpen sind Mehrkosten beträchtlich, hier liegen die Technologiekosten auf Basis aktueller Herstellerangaben rund 4,5 bis 6,5 mal so hoch wie die fossile Alternative. Treiber sind dabei vor allem das hohe Maß an Einzelanfertigung bei Prozessen mit hohen Temperaturbedarfen sowie noch ausstehende technologische Lernkurven und Standardisierung bei niedrigeren Temperaturbedarfen. Hinzu kommen hohe zusätzliche Investitionsbedarfe durch mögliche Umbaubedarfe für die Prozessintegration oder für die Ertüchtigung der Netzinfrastruktur. Bei Temperaturbedarfen über 100 Grad ergeben sich daraus trotz hoher Energiekosteneinsparungen Amortisationszeiten von über zehn Jahren. Dies wird in der Praxis meistens als nicht wirtschaftlich bewertet.

Trotz einer langen Amortisationszeit erzielen die Anlagen einen hohen finanziellem Mehrwert über ihre Lebensdauer. Im Fallbeispiel 1 zum Trocknungsprozess kann ein finanzieller Mehrwert (Kapitalwert) in Höhe von rund 450.000 Euro erzielt werden. Auch bei den höheren Temperaturbedarfen in der metall- und kunststoffverarbeitenden Industrie konnte ein finanzieller Mehrwert in Höhe von 96.000 beziehungsweise 371.000 Euro erzielt werden. Im Fall der Teilelektrifizierung der Dampferzeugung im Kalanderprozess wurde die Wirtschaftlichkeit der Investition trotz vergleichsweise geringer Betriebsstundenzahl des Elektrokessels und ohne Inanspruchnahme von Fördermitteln erreicht.

Ein attraktives und planbares Strom-Erdgas-Preisverhältnis ist eine wichtige Grundvoraussetzung, um eine Rückzahlung der höheren Anfangsinvestitionen in einem angemessenen Zeitraum zu ermöglichen. Bereits bei einem heute sichtbaren Preisverhältnis von Strom zu Erdgas von 2,6 beziehungsweise 2,8[8] können Wärmepumpen oder flexibel betriebene Elektrokessel die Energiekosten senken. Verschiedene Studien gehen davon aus, dass das Verhältnis von Strom- zu Erdgas-Preisen in den kommenden Jahren weiter sinken wird, für 2035 liegt die erwartete Spanne des Preisverhältnis bei etwa 1,5 zu 2,4 für mittlere und größere Verbraucher (Agora Think Tanks et al. 2024, Ariadne Szenarien Explorer 2026, UBA 2025b). Die angenommenen Entwicklungen des Strom-Erdgas-Preisverhältnisses und den darauf aufbauenden Kostensenkungspotenzialen fußen dabei auf erwartbaren Preisentwicklungen an den Großhandelsmärkten. Damit mittelständische Unternehmen ihre Energiekosten durch die Elektrifizierung senken können, müssen folglich Rahmenbedingungen geschaffen werden, die es auch mittelständischen Unternehmen ermöglichen, durch ein aktives Strombeschaffungsmanagement von sinkenden Strompreisen an der Strombörse zu profitieren. Zudem müssen Mittelständler darin unterstützt und befähigt werden, Prognosen zu künftigen Entwicklungen an den Energiemärkten zu bilden und sich gegen die bestehende Unsicherheit in den Energiepreisentwicklungen abzusichern.

8 Auf Basis der mittleren Großhandelspreise für Strom und Erdgas in 2025 zuzüglich STAU und CO_2-Abgaben.

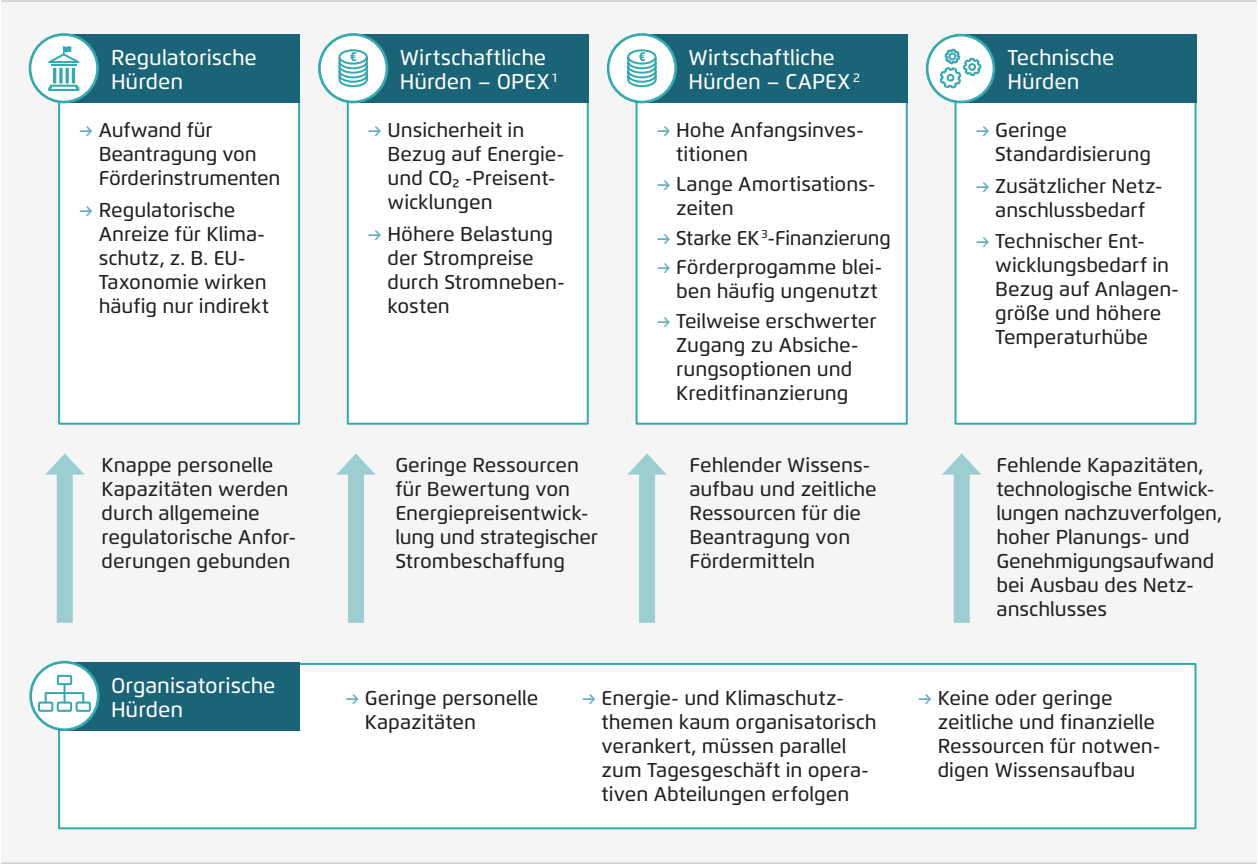
Neben attraktiven Energiekosten sind staatliche Förderungen, eine Senkung der Finanzierungs- und Technologiekosten sowie die Kombination von Elektrifizierung und Abwärmenutzung wichtige Hebel, um Investitionen in der Breite des Mittelstandes anzureizen. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in den Fallbeispielen wurden um Sensitivitätsanalysen ergänzt, die aufzeigen, wie sich die Wirtschaftlichkeit verändert, wenn einzelne Annahmen variiert werden. Diese geben Aufschluss über das betriebswirtschaftliche Risiko der Investition, da insbesondere Energiepreisentwicklungen mit hohen Unsicherheiten behaftet sind. Die Varianzen geben aber auch Aufschluss darüber, durch welche Veränderungen in den Rahmenbedingungen die Wirtschaftlichkeit von Elektrifizierungsinvestitionen verbessert werden kann. Beispielsweise verdeutlicht Fallbeispiel 2 zur Elektrifizierung eines Konvektionsofens durch die Variation des kalkulatorischen Zinssatzes, dass eine Reduktion der Finanzierungskosten durch einen stärkeren Einbezug von Fremdkapital die Amortisationszeit um etwa drei Jahre reduzieren kann. Ebenso zeigt Fallbeispiel 1 zum Trockner, dass für geringe Temperaturbedarfe Investitionen in Wärmepumpen bereits heute Amortisationszeiten erreichen können, die Unternehmen als wirtschaftlich tragfähig und attraktiv bewerten – jedoch nur, wenn Förderung in Anspruch genommen werden kann. Geringe personelle Kapazitäten führen allerdings dazu, dass Unternehmen im Mittelstand Fördermöglichkeiten oft nicht kennen oder nicht in Anspruch nehmen. Fallbeispiel 2 zeigt zudem den deutlichen Hebel, den die Effizienz der Wärmepumpe auf die Amortisationszeit hat. Gelingt es, diesen nur um 0,3 zu steigern, sinkt die Amortisationszeit um vier Jahre. Der Nutzung von Abwärme aus anderen Prozessen zur Steigerung der Effizienz der Wärmepumpe kommt dabei eine wichtige Rolle zu, wird bislang aber noch zu wenig in den Blick genommen.

Viele Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit von Elektrifizierungsmaßnahmen im Mittelstand beeinflussen, betreffen nicht nur den industriellen Mittelstand. Gleichzeitig können die strukturellen Eigenschaften des industriellen Mittelstandes die Chancen und Herausforderungen, die sich mit der Umstellung der Prozessenergiebedarfe ergeben, beeinflussen, diese hemmen oder auch befördern. Um politische Handlungsbedarfe zur Unterstützung der Elektrifizierung bedarfsgerecht abzuleiten, werden daher im Folgenden diese Einflussfaktoren zusammengefasst und analysiert.

5 Die Wirkung struktureller Eigenschaften des industriellen Mittelstands auf Chancen und Herausforderungen der Elektrifizierung

Im industriellen Mittelstand bestehen kurz- und mittelfristig hohe Potenziale, durch die Elektrifizierung der Prozesswärme Emissionen zu vermeiden, Energiekosten langfristig zu senken und die Resilienz der Energieversorgung zu stärken – um diese Potenziale zu heben, müssen wirtschaftliche Investitionshemmnisse mittelstandsspezifisch adressiert werden sowie die Vorteile in Bezug auf Energiekostensenkung und Resilienz stärker in den Vordergrund gerückt werden. Das vorangegangene Kapitel verdeutlicht, dass insbesondere hohe Anfangsinvestitionen und unsichere Entwicklungen von Energie- und CO_2-Preis dazu führen, dass Unternehmen Investitionen in die Elektrifizierung der Prozesswärme vielfach nicht als wirtschaftlich bewerten. Gleichzeitig zeigen Umsetzungsbeispiele aus der Praxis, dass die Investitionen unter passenden Rahmenbedingungen bereits heute umgesetzt werden können – teilweise, weil projektspezifische Rahmenbedingungen die Wirtschaftlichkeit positiv

Herausforderungen der Transformation im industriellen Mittelstand → Abb. 12



Agora Industrie und FfE (2026). [1] Operational Expenditures (Betriebskosten), [2] Capital Expenditures (Investitionskosten), [3] Eigenkapital

beeinflusst haben, teilweise, weil ergänzende Vorteile der Umstellung dazu geführt haben, dass längere Amortisationszeiten in Kauf genommen wurden.

Durch die Elektrifizierung des Prozesswärmebedarfs können industrielle Mittelständler unter geeigneten Rahmenbedingungen Energiekosten senken und betriebliche Risiken von fossilen Preisschocks abfedern. Bislang werden diese Potenziale jedoch nicht umfassend gehoben, da verschiedene Hürden die Transformation in der Breite hemmen (siehe Abbildung 12). Dabei beeinflussen die spezifische Eigentümer-, Kapital- und Finanzierungsstruktur sowie personelle Ressourcen des Mittelstands den Handlungsrahmen, innerhalb dessen Investitionsentscheidungen getroffen werden. Gleichzeitig können bestimmte Eigenschaften des Mittelstands wie flache Entscheidungsstrukturen oder eine starke Langfristorientierung Faktoren sein, die die Umsetzung von Klimaschutzinvestitionen unterstützen. Im Folgenden wird analysiert, wie diese strukturellen Besonderheiten des Mittelstands Investitionen in die Elektrifizierung im Status quo positiv beeinflussen aber auch hemmen können.

5.1 Organisatorische und kulturelle Unterschiede als Chance für Investitionen in innovative Technologien

Neben quantitativen Kriterien zur Unternehmensgröße zeichnet sich der industrielle Mittelstand durch eine Reihe qualitativer Charakteristika aus. Er ist durch eine private, familien- oder eigentümergeprägte Struktur, flexiblere Entscheidungswege, flache Hierarchien und eine besondere Unternehmenskultur geprägt und zeichnet sich durch eine hohe Standorttreue, hohe Innovationskraft und technologische Stärke in Nischenmärkten aus (BDI 2024a). Diese Spezifika in der Unternehmensstruktur und -kultur bieten wichtige Chancen in der Transformation. Kürzere Entscheidungswege und eine vergleichsweise enge Verzahnung zwischen operativer Ebene und Unternehmensleitung können dazu beitragen, dass neue Impulse schneller in strategische Entscheidungen einfließen. Insbesondere in inhaber- oder familiengeführten Unternehmen begünstigen eine langfristige, generationenübergreifende Orientierung sowie eine ausgeprägte unternehmerische Verantwortung die Offenheit gegenüber Maßnahmen zur Zukunftssicherung, einschließlich des Klimaschutzes (IfM Bonn 2021). Auch die Investitionshorizonte von familiengeführten mittelständischen Unternehmen unterscheiden sich zum Beispiel von börsennotierten nicht-mittelständischen Unternehmen. Mittelständler planen häufig langfristiger und nehmen teilweise längere Amortisationszeiten in Kauf. Außerdem zeigen Umsetzungsbeispiele aus der Praxis, dass Einzelpersonen mit ihren Ideen und Werten eine große Wirkung erzielen und Projekte intern oft schneller umgesetzt werden können. Zudem beeinflusst werteorientiertes Handeln neben Risikoeinschätzungen zur Wirtschaftlichkeit des Projekts das Investitionsverhalten. Ein wichtiger Treiber der Dekarbonisierung im Mittelstand kann dabei sein, dass Eigentum und Leitung oftmals in einer Hand liegen. Zudem zeichnet sich der Mittelstand in Deutschland durch eine hohe Innovationskraftaus und war bereits in der Vergangenheit sehr erfolgreich darin, neue Technologien und Produkte zu entwickeln und in diesen führend an globalen Märkten zu werden. Diese Innovationsfreude und das Interesse daran, moderne Technologien zu erproben und Erfahrungswerte mit diesem zu sammeln, können folglich wichtige Motive für den industriellen Mittelstand sein. Dies spiegelt sich auch in den Schlaglichtern aus der Praxis wider (vgl. Kapitel 3.1).

Gleichzeitig sind mit der kleinen und mittleren Unternehmensgröße im industriellen Mittelstand auch zusätzliche Herausforderungen in der Transformation verbunden, insbesondere aufgrund geringerer personeller Kapazitäten. Die Knappheit personeller Ressourcen kann grundsätzlich Großunternehmen und Mittelständler gleichermaßen betreffen. Im Mittelstand zeigt sich jedoch besonders, dass sich nur selten einzelne Mitarbeitende oder ganze Abteilungen schwerpunktmäßig mit Energie- und Klimaschutzthemen befassen. Entsprechend begrenzt sind die Kapazitäten, sich fachlich vertiefend mit energie- und klimaschutzbezogenen Fragestellungen auseinanderzusetzen. Diese Engpässe verstärken zahlreiche andere Herausforderungen: So fehlt häufig das Personal, um Know-how

für die Förderantragsstellung aufzubauen, was die Möglichkeiten der Inanspruchnahme bestehender Förderprogramme begrenzt. Weiterhin fehlen die Möglichkeiten, im Stromeinkauf Energie- und CO_2-Preisentwicklungen zu bewerten, um von sinken Großhandelspreisen zu profitieren, oder bei Investitionsentscheidungen die Wirtschaftlichkeit aller verfügbaren Technologieoptionen zu bewerten. Anders als große Unternehmen verfügen mittelständische Unternehmen oft nicht über ausreichende finanzielle Ressourcen, um die notwendige Expertise extern einzukaufen und den personellen Engpässen so zu entgegnen (BCG 2025, BMWE 2024, IfM Bonn 2021, KfW 2024). Zudem verstärken geringe personelle Kapazitäten bestehende Hemmnisse in anderen Bereichen.

5.2 Wirtschaftliche Hürden hemmen die Transformation im industriellen Mittelstand

Eine mangelnde Wirtschaftlichkeit wird vom industriellen Mittelstand als eine zentrale Hürde für Investitionen in die Elektrifizierung benannt. Ausschlaggebend sind dabei insbesondere lange Amortisationszeiten aufgrund hoher Anfangsinvestitionen, zusätzliche finanzielle Bedarfe für die Ertüchtigung der vorgelagerten Netzinfrastruktur sowie Unsicherheiten in Bezug auf die Entwicklung der Energie- und CO_2-Preise. Folglich ergeben sich selbst bei einer Reduktion der Energiekosten sowie einem positiven finanziellen Mehrwert über die Anlagenlebensdauer Amortisationszeiten, die deutlich über den Amortisationszeiterwartungen der Praxis liegen (siehe Infobox „Definition und Bewertung von Wirtschaftlichkeit").

Die hohen Anfangsinvestitionen resultieren aus den hohen Kosten der Prozessanlagen, die häufig durch geringe Standardisierungsgrade und noch unzureichend ausgeprägte Lernkurven neuer Technologien geprägt sind, sowie aus notwendigen Umrüstungen bestehender Anlagen. Muss aufgrund des steigenden Strombedarfs zudem die zugehörige Netzinfrastruktur ausgebaut werden, entstehen durch den vom Unternehmen zu tragenden Baukostenzuschuss sowie unternehmensseitige Bedarfe (beispielsweise einen Transformator) zusätzliche Investitionsbedarfe in teils beträchtlicher Höhe (siehe zum Beispiel Kapitel 4.3). Hohe Anfangsinvestitionen können dabei insbesondere kleinere Unternehmen vor besondere Herausforderung stellen, wenn sie in einem hohen Verhältnis zum Umsatz des Unternehmens stehen.

Investitionen im Mittelstand sind traditionell stark durch Eigenmittel finanziert – hohe Anfangsinvestitionen bringen dabei zusätzliche Herausforderungen für die Liquidität und Finanzierungsoptionen im industriellen Mittelstand. Da das Investitionsvolumen für Elektrifizierungstechnologien im Verhältnis zum Jahresumsatz im Mittelstand in der Regel deutlich höher ausfällt als bei Großunternehmen, konkurrieren solche Vorhaben direkt mit anderen Investitionen um vergleichsweise knappe Finanzierungskapazitäten. Eine schwierige wirtschaftliche Lage, die Umsätze und Liquidität senkt sowie den Kostendruck steigert, wirkt sich dabei zudem unmittelbarer auf die Finanzierungspotenziale aus als bei einer stärkeren Fremdfinanzierung. Die hohe Bedeutung von Eigenkapital ist dabei nur teilweise durch den Mehraufwand bei der Beantragung von Fremdfinanzierung zu erklären, sondern in vielen mittelständischen Unternehmen auch Teil der Unternehmenskultur und Ausdruck von Unabhängigkeit. Erschwerte Bedingungen in Bezug auf die Kreditaufnahme werden in verschiedenen Studien ebenfalls als Hemmnis definiert, insbesondere für kleinere Unternehmen. Unklarheiten in Bezug auf die Chancen und Risiken neuartiger Klimaschutztechnologien kommen dabei bei kleineren Hausbanken stärker zum Tragen als bei Großbanken, aber auch eine fehlende Bilanzstärke oder Kredithistorie bei jungen Unternehmen kann die Kreditfähigkeit negativ beeinflussen (dena 2023, KfW 2025a). Stimmen aus der Praxis zeigen hingegen ein gemischtes Bild. Während einige diese Wahrnehmung bestätigen, stellen andere ein wachsendes Interesse von Banken an klimarelevanten Investitionen fest.

Die fehlende Planbarkeit künftiger Energiepreisentwicklungen erhöht das finanzielle Risiko der Elektrifizierungstechnologie, sodass Investitionsentscheidungen häufig zugunsten der bekannten, fossilen Alternative ausfallen. Dies betrifft

Definition und Bewertung von Wirtschaftlichkeit

Eine fehlende Wirtschaftlichkeit wird häufig als zentrale Hürde für die Realisierung von Klimaschutzinvestitionen diskutiert. Gleichzeitig bestehen sehr unterschiedliche Ansätze und Maßzahlen dazu, wie "Wirtschaftlichkeit" zu definieren und zu bewerten ist. Die detaillierteste Betrachtung ermöglicht die Kapitalwertmethode (englisch *Net Present Value*), da hier alle mit der Investition verbundenen Ausgaben und Einnahmen über die Lebensdauer der Anlage in ihrem Zeitwert berücksichtigt werden und ebenso die Entwicklungen von Preisniveaus Berücksichtigung finden. Der Kapitalwert wird dabei kontinuierlich für alle Jahre nach dem Investitionszeitpunkt berechnet. Das Jahr, in dem der Kapitalwert erstmalig positiv wird, ist der *Break-Even-Point* (BEP), also der Zeitpunkt, in dem die (abgezinsten) finanziellen Rückflüsse aus der Investition (zum Beispiel aus Senkung der Energiekosten) größer sind als die Investitionsausgaben. Je höher der Kapitalwert am Ende der Lebensdauer der Anlage, desto höher ist der finanzielle Mehrwert der Investition.

Für die Bewertung von energiebezogenen Investitionen gibt das Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (EnEfG) die Nutzung der Kapitalwertberechnung basierend auf der *Valeri*-Norm (Norm DIN EN 17463) zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit vor. Diese stellt im Wesentlichen eine Kapitalwertberechnung unter Berücksichtigung differenzierter und dynamischer Energiepreisentwicklungen sowie weiterer, teilweise qualitativer Faktoren dar. In der Praxis findet hingegen dennoch – trotz steigender Bedeutung der Kapitalwertmethode gemäß *Valeri*-Norm – die Methode der (dynamischen oder statischen) Amortisationszeitbewertung oder andere Methoden weiterhin Anwendung. Die Amortisationszeit definiert dabei den Zeitpunkt, ab wann der ursprünglichen Kapitaleinsatz der Investition durch Einsparungen oder Erträge ausgeglichen werden konnte (dena et al. 2024). Diese Betrachtungsweisen berücksichtigen jedoch keinen finanziellen Rückfluss, nachdem sich die Anlage amortisiert hat.

Die Bewertung, ab welchen Werten der oben genannten Wirtschaftlichkeitskennzahlen eine Investition als wirtschaftlich eingestuft wird, kann deutlich unterschiedlich ausfallen. Beispielsweise definiert das Energieeffizienzgesetz im Rahmen der Erstellung von Umsetzungsplänen für Energieeffizienzmaßnahmen eine Investition als wirtschaftlich, wenn sich für diese „nach maximal 50 Prozent der Nutzungsdauer ein positiver Kapitalwert ergibt" (EnEfG § 9). Gemäß § 11 Abs. 2 und 3 BEVC* gilt eine Investition als „wirtschaftlich durchführbar", wenn sie auf Basis einer Betrachtung nach Valeri-Norm einen positiven Kapitalwert nach 90 Prozent der vorgesehenen Nutzdauer aufweist. Gleichzeitig gelten in der Praxis häufig deutlich kürzere Anforderungen an den Zeitraum, bis wann eine Investition sich amortisieren muss. Von Unternehmensseite wird häufig eine Schwelle von maximal drei Jahren angeführt, seltener fünf bis sieben Jahre. Im Rahmen eines diese Studie begleitenden Workshops wurde für Anlagen zur Energiebereitstellung Amortisationszeiten von in der Regel drei bis fünf Jahren erhoben.

*Verordnung über Maßnahmen zur Vermeidung von Carbon-Leakage durch den nationalen Brennstoffemissionshandel (BEHG-Carbon-Leakage-Verordnung – BECV)

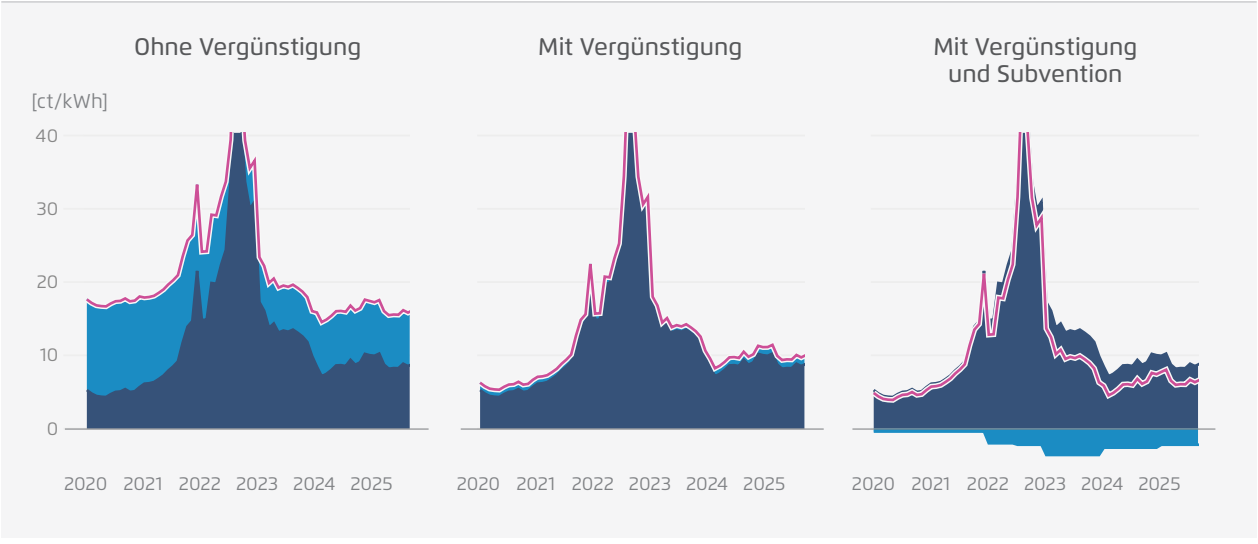
Großunternehmen ebenso wie den industriellen Mittelstand, wirkt sich bei Letzterem jedoch aufgrund begrenzter personeller und finanzieller Ressourcen stärker aus. Während Großunternehmen eher in der Lage sind, belastbare Erwartungen über künftige Preisentwicklungen zu bilden oder externe Expertise einzubinden, sind die Ressourcen und Informationszugänge für Mittelständler deutlich eingeschränkter. Zudem verfügen Großunternehmen im Gegensatz zu Mittelständler über bessere Möglichkeiten, sich durch Absicherungsinstrumente gegen Strompreisschwankungen zu schützen sowie eine planbare und

kostensenkende Beschaffungsstrategie umzusetzen. Mittelständler betreiben dagegen deutlich seltener ein aktives Strombeschaffungsmanagement – etwa durch den direkten Zugang zum Großhandelsmarkt – sondern beziehen Strom häufiger über langfristigere Lieferverträge mit ihrem Energieversorger. Dadurch profitieren sie nur eingeschränkt von sinkenden Großhandelspreisen. Auch wirtschaftliche Potenziale aus der Flexibilisierung der Stromnachfrage können aufgrund des organisatorischen, technischen und administrativen Mehraufwands von KMUs schwerer oder nur mit externer Unterstützung erschlossen werden. Ebenso wie die Erwartungen über die Energiepreisentwicklung sind die künftigen Entwicklungen des CO_2-Preises ein zentraler Faktor für die Bewertung der wirtschaftlichen Chancen und Risiken einer Klimaschutzinvestition. Viele mittelständische Unternehmen wissen zwar grundsätzlich, dass durch die Einführung des EU ETS II gegebenenfalls zusätzliche Belastungen im Vergleich zum bereits wirksamen nEHS entstehen, verfügen aber nicht über die Ressourcen, um die Bedeutung davon für die eigenen Energiekosten zu bewerten.

Die Strompreise mittelständischer Unternehmen liegen aufgrund einer stärkeren Umlagenbelastung, höherer Netzentgelte und höherer Beschaffungskosten häufig deutlich über denen von Großunternehmen, wodurch sich die erwartete Amortisationszeit von Elektrifizierungsinvestitionen verlängert. Große Unternehmen profitieren zum einen von Skaleneffekten bei Stromeinkauf, die Nebenkosten der Beschaffung reduzieren. Auch die durchschnittlichen Netzentgelte pro Einheit sinken mit steigendem Verbrauch, große Verbraucher können zudem gemäß § 19 der Stromnetzentgeltverordnung von reduzierten Umlagen auf die Netzentgelte profitieren. Unternehmen, die als stark im internationalen Wettbewerb stehend eingestuft werden, können zudem von einer Reihe von Vergünstigungen bei den Steuern und Umlagen auf den Strom profitieren, und erhalten durch die Strompreiskompensation teilweise direkte Subventionen (siehe Abbildung 13). 2025 lag der mittlere Strompreis ohne Vergünstigungen bei rund 16 ct/kWh, mit Vergünstigungen hingegen bei rund 10 ct/kWh (Bundesnetzagentur 2026).

Strompreisentwicklung in der Industrie, 2020–2025

→ Abb. 13



Agora Energiewende (2026)

5.3 Technische und regulatorische Hürden

Die Technologieoptionen zur Elektrifizierung der Prozesswärme sind für niedrige und mittlere Temperaturbedarfe zwar grundsätzlich bereits verfügbar, vielfach wird die tatsächliche Einsetzbarkeit jedoch durch prozessspezifische Anforderungen oder standortspezifische Gegebenheiten eingeschränkt. Elektrokessel zur elektrischen Dampferzeugung sind heute bereits in einer relevanten Anlagengröße und einem Temperaturniveau bis 500 Grad verfügbar und eine etablierte Technologie. Wärmepumpen erreichen in der industriellen Praxis bislang hingegen maximal 150 bis 160 Grad und sind zudem bislang eher in kleineren Anlagengrößen verfügbar (Fraunhofer ISI 2024). Die Jahresarbeitszahl und damit die energetische Effizienz hängt zudem stark vom notwendigen Temperaturhub ab. Je nach prozessspezifischen Anforderungen und Standortgegebenheiten kommen zudem eine Reihe von weiteren Faktoren hinzu, welche die Einsetzbarkeit einer Technologie beeinflussen. Vor allem im Hochtemperaturbereich bei der Prozesswärme ergibt sich aus Herstellergesprächen, dass viele Anlagen noch kostenintensive Einzelanfertigungen sind. Auch ein erhöhter Personalaufwand für die Entwicklung und Parametrierung der Technologien ist dabei kostentreibend. Selbst bei Anwendungsbereichen, bei denen eine Standardisierung aufgrund geringerer prozessspezifischer Anforderungen möglich erscheint (zum Beispiel bei Hochtemperatur-Wärmepumpen unter 1 MW_{el}) sind standardisierte Produktangebote bislang kaum verfügbar, sodass auf teurere Einzelanfertigungen zurückgegriffen werden muss. Unternehmen kritisieren zudem unter anderem den niedrigen Reifegrad der Technologie, eine geringe Anbieterauswahl oder den hohen Platzbedarf der am Markt verfügbaren Angebote.

Fehlende Erfahrung beim Einsatz noch nicht umfangreich erprobter neuer Technologien kann außerdem zu einer erhöhten Komplexität bei der Implementierung und im Betrieb führen. Unternehmen sehen den Einbau neuer Technologien oder Anlagen in bestehende, eng verzahnte Prozesse als besonders herausfordernd an, da dies erhebliche Risiken für die Produktionsstabilität und Prozesssicherheit mit sich bringt. Der Einbau ist zudem, unabhängig der Unternehmensgröße, oftmals mit einem Produktionsstillstand verbunden. Eine unternehmensangepasste Bewertung dieser Risiken bedarf personeller Ressourcen, um Technologieentwicklungen zu bewerten oder Strategien zur Risikominderung zu entwickeln (beispielsweise auch durch die Nutzung von Versicherungen oder Garantien). Beim Technologiewechsel stellt sich neben einer Risikobewertung neuer, unbekannter Technologien auch oft das grundlegende Problem des Platzbedarfs, da neue Technologien häufig eine Umstrukturierung der Energie- und Wärmeversorgung mit sich bringen.

Auch die verfügbare Netzinfrastruktur kann eine erhebliche technische und wirtschaftliche Hürde darstellen, insbesondere wenn mögliche Ausbaubedarfe zu hohen zusätzlichen Investitionsbedarfen und langen Planungsverfahren führen. Der industrielle Mittelstand ist in der Regel an die Mittelspannung angeschlossen. Nur kleine Unternehmen sind an die Niederspannung angeschlossen und müssen bei Elektrifizierungsmaßnahmen eventuell auf die Mittelspannungsebene wechseln. Daraus ergeben sich zusätzliche technische, regulatorische und wirtschaftliche Anforderungen. Aber auch innerhalb der Mittelspannungsebene können gegebenenfalls notwendige Netzausbaubedarfe, sofern bei stark wachsender elektrischer Leistung der Netzanschluss erhöht werden muss, zu hohen zusätzlichen Investitionsbedarfen führen, unter anderem durch den Baukostenzuschuss und Genehmigungskosten. Gegebenenfalls sind auch eine weitere Trafostation oder Kabelverlegungen nötig. Abhängig von Netzbetreiber und Vorhaben kann es von der Anfrage bis zur tatsächlichen Erhöhung der Netzanschlusskapazität mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt dauern. Lange Planungs- und Genehmigungszeiten erhöhen die Planungs- und Durchführungskosten deutlich, ebenso wie die wirtschaftlichen Unsicherheiten der Investition.

Der Aufwand zur Fördergeldbeantragung wird ebenso wie die Anforderungen aus gesetzlichen und regulatorischen Vorgaben von vielen Mittelständlern als zu aufwendig eingestuft. Förderprogramme

sind zwar grundsätzlich verfügbar, werden aber von Mittelständlern häufig nicht in Anspruch genommen. Bedingt durch die Unternehmenskultur zeigt sich, dass im Mittelstand Investitionen oft nur getätigt werden, wenn sie sich ohne Förderung amortisieren. Trotz angestrebter Vereinfachungen seitens der Politik stellt der Antragsprozess weiterhin eine hohe Hürde dar, da das Verfahren als langwierig und kompliziert wahrgenommen wird. Eine häufig geäußerte Kritik ist zudem, dass gesetzliche Vorgaben für den Umwelt- und Klimaschutz, beispielsweise aus dem allgemeinen Emissionsschutz sowie einzelne Vorgaben des Energieeffizienzgesetzes, vor allem personelle Ressourcen binden, anstelle Investitionen anzuregen.

Eine Vielzahl regulatorischer Instrumente mit dem Ziel, die Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten zu stärken, adressieren mittelständische Unternehmen nur indirekt. Die Etablierung grüner Leitmärkte zur Steigerung der Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten und der Weitergabe von Mehrkosten einer klimaneutralen Produktion werden insbesondere für die energieintensiven Grundstoffindustrien diskutiert. Während für die volumenstarke Grundstoffindustrie mit relativ homogenen Produkten wie Stahl oder Zement Quoten, öffentliche Beschaffung oder langfristige Abnahmeverträge eine breite Nachfrage auslösen können, erschwert die Heterogenität der Produkte und Märkte die Etablierung von Leitmärkten für die Breite des Mittelstands. Andere Anreizsysteme wie die EU-Taxonomie für nachhaltige Investitionen, andere *Green Finance*-Initiativen oder internationale privatwirtschaftliche Standards (zum Beispiel SBTi[9]) wirken sich nur indirekt über Lieferkettenanforderungen größerer Unternehmen auf den Großteil des Mittelstandes aus, sofern dieser nicht kapitalmarktorientiert ist. Um als mittelständischer Zulieferer eine verbesserte Klimawirkung durch Klimaschutzinvestitionen nachweisen zu können, bedarf es zudem häufig einer umfangreichen Bereitstellung von Nachhaltigkeitsdaten etwa zur Berechnung eines *Product Carbon Footprints*. Die hierfür notwendige Expertise und Prozesse sind für mittelständische Unternehmen keine Kernkompetenz, sodass die Berechnung insbesondere für kleinere Mittelständler eine Herausforderung darstellt. Gleichzeitig entfällt, ohne die Möglichkeit CO_2-Einsparungen nachweisen zu können, häufig die Möglichkeit, zusätzliche Marktchancen aus der Bereitstellung klimaneutraler Produkte zu generieren oder mögliche Mehrkosten an Kunden weiterzugeben.

9 Die *Science Based Targets Initiative* (SBTi) ist eine internationale Initiative, die Unternehmen einen wissenschaftsbasierten Rahmen und eine externe Validierung für Treibhausgas Reduktionsziele bietet, damit deren Klimaziele mit dem Pariser Abkommen und somit mit der Begrenzung der Erderwärmung auf maximal 2 Grad vereinbar sind.

6 Politische Handlungsempfehlungen

Durch die Elektrifizierung von Prozesswärmebedarfen kann der industrielle Mittelstand bereits heute in geeigneten Fällen kurzfristig Kosten senken und Abhängigkeiten von fossilen Energieträgern verringern. Um diese Chancen nutzen zu können braucht es einen geeigneten politischen Rahmen, der bedarfsgerecht unterstützt und dabei die besonderen Chancen und Herausforderungen im Mittelstand berücksichtigt. Drei Bereiche sind dafür besonders zentral: 1) erschwingliche Strompreise für den industriellen Mittelstand und bessere Planbarkeit hinsichtlich der Entwicklung von Energiekosten, 2) Senkung der anfänglichen Investitionskosten und 3) zielgerichtete Information und Beratung zur Identifikation von Elektrifizierungs- und Flexibilisierungspotenzialen.

6.1 Günstige Strompreise und bessere Planbarkeit für den Mittelstand

6.1.1 Planbarkeit für die Entwicklung von Energie- und CO_2-Preisen schaffen

Die Fallstudien in Kapitel 4 zeigen, dass die Wirtschaftlichkeitsbewertung einer Investition in Elektrifizierung durch Unternehmen maßgeblich von den angenommenen Energie- und CO_2-Preisentwicklungen bestimmt wird. Während die erwarteten Preisentwicklungen selbst für große Unternehmen schwer zu prognostizieren sind, fehlen gerade in kleineren Unternehmen häufig die Kapazitäten für umfassende Marktanalysen, die eine belastbare Beurteilung von Chancen und Risiken einer Investition ermöglichen. Zusätzlich beeinflussen politische Entscheidungen die Entwicklungen der Strom-, Gas- und CO_2-Preise, die insbesondere von kleinen Unternehmen nur schwer abgeschätzt werden können.

→ CO_2-Differenzverträge „light" als Absicherungsinstrument für das Strom-Gas-Preisverhältnis einführen

CO_2-Differenzverträge (CCfDs) sind ein wirkungsvolles Instrument, mit dem klimaneutrale Investitionen gezielt gegenüber Preisrisiken zentraler Kostenfaktoren abgesichert und übergangsweise betriebliche Mehrkosten ausgeglichen werden können. Aufgrund des wettbewerblichen Verfahrens und hohen Aufwands der Bewertung und Antragstellung ist dieses Instrument jedoch für kleine Betriebe kaum zugänglich. Mit CO_2-Differenzverträgen „light" soll der Hochlauf von Schlüsseltechnologien abgesichert werden, die – wie industrielle Wärmepumpen – nahezu wettbewerbsfähig sind. Mit stark vereinfachten Antragsverfahren soll die Zugänglichkeit für kleinere Projekte sowie KMUs erhöht werden. Die CO_2-Differenzverträge „light" verbinden dabei eine investive Förderung – angelehnt an etablierte Programme wie der EEW-Förderung – mit einer gezielten Absicherung eines Strom-Gas-Preisverhältnisses unter Einbezug aller Kostenbestandteile, wie CO_2-Bepreisung, Steuern, Umlagen und Abgaben. Die Absicherung des Strom-Gas-Preisverhältnisses auf ein zuvor bestimmtes technologiespezifisches Niveau sichert Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen gegenüber unternehmerisch schwer kalkulierbaren Risiken ab und mobilisiert privates Kapital für die resiliente Modernisierung des industriellen Mittelstands.

6.1.2 Strompreise für den Mittelstand senken

2025 wurden erste Maßnahmen auf den Weg gebracht, um die Strompreise für Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes zu reduzieren. Diese Entlastungen sind jedoch aufgrund der zeitlichen Begrenzung keine ausreichenden Impulse für langfristige Investitionsentscheidungen und müssen um strukturelle Maßnahmen für dauerhaft wettbewerbsfähige Strompreise ergänzt werden.

→ Den Ausbau Erneuerbarer Energien zügig vorantreiben und Kostensenkungspotenziale beim Netzausbau nutzen

Der ambitionierte Ausbau Erneuerbarer Energien ist der effizienteste Hebel, um Stromkosten langfristig zu senken. Jeder investierte Euro in den Ausbau Erneuerbarer Energien senkt den Strompreis langfristig. Schon 2030 kann der Börsenstrompreis dadurch um bis zu 23 Prozent gemindert werden (Agora Energiewende 2025b). Um Netzausbaukosten und damit die Umlagenbelastung zu senken, sollten alle verfügbaren Kostensenkungspotenziale ausgeschöpft werden: die Nutzung von Freileitungen statt Erdkabeln, die Senkung von Finanzierungskosten durch staatliche Beteiligung sowie die Stärkung einer flexiblen Stromnachfrage zur Optimierung der Netzauslastung.

→ Mittelständler darin unterstützen, von Preisentwicklungen an der Strombörse zu profitieren

Gerade kleinere und mittlere Unternehmen beziehen ihren Strom häufig über langfristige Lieferverträge und verfügen oft nicht über die Kapazitäten, ihre Strombeschaffung strategisch zu planen oder direkt an der Börse einzukaufen. Die effektiv gezahlten Strompreise können dadurch deutlich höher ausfallen als bei einer aktiven Beschaffung. Um stärker von günstigeren Preisen an der Börse profitieren zu können, müssen Mittelständler dazu befähigt werden, ihren Stromeinkauf strategischer aufzustellen. Insbesondere kleinere Unternehmen können dabei durch Dienstleister unterstützt werden, während für größere Mittelständlern auch der Aufbau eigener Kapazitäten sinnvoll sein kann und politisch flankiert werden sollte.

→ Zugang zu erneuerbarem Strom über *Power Purchase Agreements* stärken

Power Purchase Agreements, also Direktabnahmeverträge zwischen Stromerzeugern und -abnehmern, können die Energiekosten der Industrie senken und Anreize zur Elektrifizierung stärken. Größere Mittelständler prüfen zunehmend PPAs, um stabile und günstige Grünstrompreise zu sichern. Kleinere Unternehmen können derzeit in der Regel bisher keine PPAs abschließen, da ihre Stromverbräuche oft unter den Mindestanforderungen liegen. Auch für mittlere und größere Mittelständler kann der Abschluss von PPAs aufgrund des hohen Verhandlungsaufwands oder einer geringen Kreditwürdigkeit bei langfristigen Abnahmeverpflichtungen eine Herausforderung darstellen. Risikoabsicherungsinstrumente für PPAs für kleinere Abnehmer, gemeinsame PPAs für mehrere KMUs oder die serielle Finanzierung von Erneuerbaren Energien über PPAs und *Contracts for Difference* (CfDs) können dazu beitragen, die Attraktivität von PPAs für den industriellen Mittelstand zu steigern und das bislang ungenutzte Potenzial in diesem Unternehmenssegment zu heben (vgl. Agora Energiewende et al. 2025). Die vorgenannten Instrumente zu Risikoabsicherung sollten auch für Energieversorger zugänglich sein, die die Strommengen eines PPAs strukturieren und bedarfsgerecht weiterleiten können. Dabei können sie Speicher nutzen, um Erzeugungs- und Verbrauchsprofile anzugleichen.

6.1.3 Flexibilisierungspotenziale heben

Flexibilität ist ein Schlüssel zu günstigen Strompreisen. Ein Beispiel für eine etablierte, einfach handhabbare und kostengünstige Technologie, mit der im Mittelstand Flexibilität geschaffen werden kann, sind Warmwasserspeicher. Bisher werden Warmwasserspeicher überwiegend zur Einbindung von Abwärme und zur Optimierung des Betriebs von Kernprozessen eingesetzt. Die mittleren Betriebskosten von Wärmepumpen und Elektrokesseln können jedoch durch die Erzeugung und Speicherung von Wärme in Zeiten günstiger Strompreise deutlich gesenkt werden. Voraussetzung dafür sind ein aktives Management des Stromverbrauchs und flexible Stromtarife beziehungsweise der Handel an der Strombörse. Gerade bei kleineren Unternehmen mit begrenzten personellen Kapazitäten kann dies auch durch den verstärkten Einbezug von Dienstleistern erfolgen. Bei größeren Mittelständlern kann auch der Aufbau eigener personeller Kapazitäten für eine aktive Teilnahme am Strommarkt sinnvoll sein. Die wirtschaftlichen und technischen Potenziale von Flexibilisierungsmaßnahmen müssen unternehmens- und prozessspezifisch bewertet werden. Gerade KMUs fehlt es jedoch häufig an den Daten und der nötigen Expertise.

→ Preissignale für eine flexible Stromnachfrage stärken

Wenn Unternehmen ihren Strom nicht direkt an der Börse einkaufen, sondern langfristige Verträge bei regionalen Stromanbietern abschließen, bestehen kaum Anreize für die Nutzung von Wärmespeichern für einen flexiblen Betrieb von Wärmepumpen oder Elektrokesseln. Zwar sind Stromanbieter seit 2025 verpflichtet, dynamische Stromtarife anzubieten, ob diese tatsächlich von Unternehmen genutzt werden können, hängt jedoch von organisatorischen und technischen Voraussetzungen ab. Außerdem führt das sogenannte Bandlastprivileg (StromNEV § 19.2) in der aktuell gültigen Netzentgeltsystematik zu Fehlanreizen zugunsten konstanter Stromabnahmemengen. Im Rahmen des aktuell laufenden Reformprozesses der Netzentgeltverordnung sollten bestehende Regelungen so reformiert werden, dass Unternehmen – sofern technisch möglich – von zeitweise besonders günstigen Strompreisen profitieren und Stunden mit hohen Preisen vermeiden können. Ansätze dafür sind Vergünstigungen bei systemdienlicher Nutzung sowie die Stärkung des Arbeitspreises gegenüber dem Leistungspreis in der Netzentgeltsystematik (Agora Energiewende et al. 2024).

→ Förderangebote für die Flexibilisierung des Energieverbrauchs ausbauen

Aufgrund der Anforderungen der Förderprogramme, welche oftmals eine bestimmte Emissionsminderung voraussetzen, sind Anlagen, die zunächst nur wenige Stunden im Jahr laufen oder nur einen geringen Energieverbrauch aufweisen, nicht förderfähig. Gleichzeitig kann eine zunächst nur teilweise Umstellung der Dampferzeugung auf elektrifizierte Verfahren Lerneffekte und Erfahrung mit der neuen Technologie fördern und somit den Grundstein für die weitere Dekarbonisierung legen. Bestehende Förderprogramme sollten mit Blick auf die Förderfähigkeit von Flexibilitätsmaßnahmen überprüft und angepasst werden.

→ Zugang zu Flexibilitätsdienstleistern stärken

Für Hybridsysteme aus konventioneller und elektrischer Wärmeerzeugung bietet sich als zusätzliche Erlösquelle die Teilnahme am Regelenergiemarkt an, insbesondere durch Erbringung negativer Regelleistung. In der Regel übernimmt dabei ein externer Dienstleister die Vermarktung der Regelleistung, das heißt, Unternehmen benötigen dafür keine internen personellen Kapazitäten. Diese Möglichkeit ist bei mittelständischen Unternehmen aber noch wenig bekannt. Durch einen verbesserten Zugang für Mittelständler zu diesen Dienstleistern können die Erlöspotenziale einer Flexibilisierungsinvestition gesteigert und so Investitionen des Mittelstandes in die Flexibilisierung der Stromnachfrage angereizt werden. Auch Informationskampagnen – beispielsweise in Zusammenarbeit mit Verbänden – können ein Hebel sein, um auf Unternehmensseite Wissen zu den Kostensenkungspotenzialen der Flexibilisierung zu stärken.

6.2 Investitionskosten senken und Finanzierungsbedarfe im Mittelstand gezielt adressieren

Investitionen in die Elektrifizierung der Prozesswärme sind aufgrund hoher Technologiekosten sowie gegebenenfalls notwendiger zusätzlicher Infrastrukturbedarfe oder Integrationskosten häufig mit hohen Investitionsmehrkosten verbunden. Je größer die Anfangsinvestitionen, desto stärker fallen die Finanzierungskosten ins Gewicht. Der Anteil von Fremdfinanzierung und der Zugang zu Fördergeldern (als direkter Zuschuss zu den Investitionskosten oder als Förderkredit) beeinflussen dabei auch die Risikobewertung und Rentabilitätsanforderungen der Investition.

→ Technologiekosten durch Förderung von Lernkurven und Standardisierung senken

Im Status quo sind insbesondere bei höheren Temperaturbedarfen die Anfertigung von Wärmepumpen mit einem hohen Individualisierungsgrad und entsprechend hohen Investitionen verbunden. Unsere Analysen zeigen jedoch: Eine Erhöhung der Jahresarbeitszahl von 3,0 auf 3,5 kann den Break-Even-Point um bis zu vier Jahre nach vorne verschieben (siehe Fallbeispiel 1, Fallbeispiel 2). Eine Steigerung der Jahresarbeitszahl kann durch technische Entwicklung bei bestehenden Verdichtertechnologien, aber auch durch eine systematischere Nutzung von Abwärme

erzielt werden. Der notwendige Entwicklungsschub lässt sich aber nur mit ambitionierter Förderung, gezielter Innovationspolitik und praxisnahen Informationsangeboten für Unternehmen realisieren. Weitere technische Entwicklungen, die zunehmende Anwendung in der Praxis und Standardisierung können die Technologiekosten künftig verringern. Die gezielte Unterstützung von Standardisierung und die Förderung von Pilotprojekten trägt dazu bei, Lernkurven zu beschleunigen und langfristig Technologiekosten und Förderbedarfe zu senken.

→ Zugang zu Fremdkapital für Klimaschutzinvestitionen verbessern

KMUs finanzieren Investitionen traditionell überwiegend aus eigenen Mitteln – bei großen Investitionsvorhaben sind hohe Eigenkapitalanteile jedoch schwerer zu stemmen. Ein verbesserter Zugang zu Fremdfinanzierung und verringerte Kapitalkosten können somit gerade bei höheren Investitionsvolumen im Mittelstand ein wichtiger Hebel sein, um die Wirtschaftlichkeit und Realisierbarkeit von Klimaschutzmaßnahmen zu verbessern. Fallbeispiel 2 zeigt, dass die Senkung des Mischzinssatzes von 6,5 auf 4,5 Prozent den Amortisationszeitraum um circa drei Jahre für das analysierte Investitionsvorhaben reduziert. Der Ausbau attraktiver und eigenkapitalschonender Fremdfinanzierungsangebote kann hier gezielt Abhilfe schaffen.

→ Investitionskosten durch beschleunigte Abschreibungen oder Investitionsprämie senken

Um Investitionen in saubere Technologien und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit der EU zu stärken, hat die Europäische Kommission im Juli 2025 eine Empfehlung zu steuerlichen Anreizen vorgelegt, die den *Clean Industrial Deal* (CID) unterstützen sollen. Die neuen Regeln vereinfachen die Beihilfevorschriften unter anderem bei der Ermöglichung von beschleunigten Abschreibungen, Steuervergünstigungen, Zinszuschüssen für neue Darlehen oder staatlichen Garantien. Die Bundesregierung sollte den Spielraum, den dieser neue Beihilferahmen eröffnet, konsequent nutzen, um Investitionen in die Elektrifizierung anzureizen. Die beschleunigte Abschreibung trägt insbesondere dazu bei, die Amortisationszeit für die Unternehmen zu verkürzen. Eine steuerliche Investitionsprämie ermöglicht es, gezielt besonders förderwürdige Technologien mit einer höheren Beihilfe-Intensität als in den bestehenden breiteren Förderprogrammen zu unterstützen. Eine Kombination aus steuerlicher Investitionsprämie und beschleunigter Abschreibung für Klimainvestitionen bietet für Mittelständler ein wirkungsvolles Maßnahmenpaket und sichert zugleich die effiziente Verwendung öffentlicher Mittel.

→ Hürden für den Abruf von Fördergeldern durch KMUs abbauen

Viele mittelständische Unternehmen nehmen verfügbare Förderoptionen nicht wahr, häufig bedingt durch begrenzte personelle Ressourcen und eine Unternehmenskultur, die Fördertöpfe eher als „Mitnahme-Effekt" denn als Investitionsauslöser betrachtet. Oft haben Mittelständler keine Kapazitäten, sich mit den komplexen Antragsverfahren und den Förderlandschaften auseinanderzusetzen. In der Folge bleibt die Modernisierung des Kapitalstocks hinter dem wirtschaftlichen Potenzial zurück, da staatliche Unterstützungen und günstige Finanzierungsmöglichkeiten nicht immer ausgeschöpft werden. Gerade bei kleineren Vorhaben wie dem Einsatz von Wärmepumpen für Temperaturbedarfe unter 100 Grad sollten Förderangebote unbürokratisch zugänglich gemacht und aktiv kommuniziert werden. Zwar wurden bereits vereinfachte Verfahren speziell für KMUs in EEW-Modul 6 eingeführt, das maximale Investitionsvolumen von 200.000 Euro ist jedoch selbst für die in Fallbeispiel 1 betrachtete Investition in eine Niedrigtemperatur-Wärmepumpe ohne zusätzliche Strominfrastrukturbedarfe zu klein. Weitere Gründe dafür, dass bestehende Förderprogramme nicht für die Elektrifizierung der Prozesswärme in Anspruch genommen werden, können eine zu enge Technologiedefinition in einzelnen Modulen oder Anforderungen an den Bezug von erneuerbarem Strom für den Betrieb sein.

6.3 Den Mittelstand durch effektive Informations- und Beratungsangebote unterstützen

Begrenzte personelle Kapazitäten stellen ein zentrales Hemmnis der klimaneutralen Modernisierung im Mittelstand dar und erschweren die Bewältigung von Herausforderungen in den verschiedensten Unternehmensbereichen. Mittelständische Unternehmen benötigen zweierlei Unterstützung: niedrigschwelligen Zugang zu verlässlichen Informationen und darauf aufbauend gezielte externe Beratungsangebote.

→ Durch Begleitung in der Umsetzungsphase Kapazitäten entlasten und Wissensaufbau begünstigen

Für mittelständische Unternehmen ist die Umsetzung von Elektrifizierungsvorhaben mit erheblicher Komplexität verbunden – von Datenanalyse und Technologieauswahl über Förderanträge und Finanzierung bis zu Bau, Inbetriebnahme und flexiblem Betrieb. Dienstleistungsangebote, die Unternehmen von der ersten Idee bis zur Optimierung im laufenden Betrieb begleiten, könnten Unternehmen mit begrenzten personellen Kapazitäten entlasten und gleichzeitig den strukturierten Wissensaufbau fördern. Da die Förderpraxis vor allem Investitions- und ausgewählte Planungskosten unterstützt, wäre eine gezielte Förderung solcher Dienstleistungen ein kosteneffizienter Hebel, um Informationslücken zu schließen, Entscheidungen zu verbessern und die Umsetzung von Dekarbonisierungsprojekten zu beschleunigen.

→ Ausbau von Unterstützungsangeboten zur Identifikation von Flexibilitätspotenzialen

Um Flexibilitätspotenziale im Mittelstand zu aktivieren, braucht es bessere Informationsangebote zu Strompreisentwicklungen sowie Unterstützung bei der Identifikation und Vermarktung von Flexibilitätspotenzialen. Um wirtschaftliche Vorteile des flexiblen Betriebs von Wärmespeichern voll ausschöpfen zu können, ist spezifisches Know-how, etwa zur Optimierung des Eigen- und Fremdstrombezugs, insbesondere im Zusammenspiel mit dynamischen Strompreisen, erforderlich. Viele mittelständische Unternehmen beziehen Strom jedoch über langfristige Verträge und verfügen weder über Erfahrung mit *Spot*- oder *Day-Ahead*-Märkten noch mit der Vermarktung von Flexibilitätsleistungen. Um von günstigen Großhandelspreisen bei einer Elektrifizierung zu profitieren, müssen sie daher neue Kompetenzen aufbauen und ihre Beschaffungsstrategie umstellen. Die Energieberatung kann bei der Identifikation, Quantifizierung und Umsetzung unterstützen. Allerdings bestehen bei Energieauditoren und -auditorinnen teilweise auch noch Bedarfe im Hinblick auf Fachwissen und geeinete Instrumente mit Blick auf Flexibilitätsmaßnahmen. Bestehende Weiterbildungsangebote sollten daher weiter ausgebaut werden.

7 Anhang

7.1 Methodik

Die branchenspezifischen Fallstudien dienen der spezifischen Analyse von Herausforderungen und Chancen der Dekarbonisierung im industriellen Mittelstand. Die Fallstudien werden dafür mit prozess- und branchenübergreifenden Befunden zu Investitionsverhalten, Förderlandschaft, Energiepreisentwicklung und organisatorischen Rahmenbedingungen verknüpft. Methodisch verbindet die Studie eine systematische Auswertung einschlägiger Literatur zu Transformationshemmnissen, Investitionsanreizen und Politikinstrumenten mit einem starken Praxisbezug. Erstens wird eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, um den aktuellen Stand der Transformation, typische Hemmnisse sowie das Investitionsverhalten des Mittelstands zu erfassen. Dabei werden Schlüsselstudien mit hoher Relevanz ausgewählt und qualitative sowie quantitative Befunde zu wirtschaftlichen, organisatorischen, politischen und technischen Hürden systematisch zusammengetragen. Soweit möglich wird bei der Aufbereitung der Ergebnisse nach Unternehmensgrößen unterschieden. Zweitens fließen über 15 Jahre Praxiserfahrung der FfE ein, gewonnen aus Energieaudits, Effizienzpotenzialanalysen sowie der energietechnischen Beratung von Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerken mit über 200, darunter auch mittelständischen, Unternehmen. Diese Erfahrung erlaubt eine praxisnahe Einordnung der Transformationshemmnisse und -treiber. Außerdem werden auf Basis dieser Expertise die in der Literatur zusammengetragenen Hemmnisse ergänzt und gewichtet sowie die Fallbeispiele konstruiert. Drittens werden Hintergrundgespräche mit 14 Unternehmen aus verschiedenen Branchen geführt, darunter Kunststoff- und Metallverarbeitung, Milchverarbeitung, sowie Hersteller von Trocknern, Kesseln, Wärmepumpen und Dampfsystemen. Diese Gespräche vertiefen das Verständnis für branchenspezifische Herausforderungen und ermöglichen die Konstruktion realistischer Fallbeispiele. Viertens bildet ein strukturierter Workshop eine wesentliche Säule, in denen die bisherigen Befunde validiert und durch praxisnahe Perspektiven ergänzt werden. In diesem Workshop, an denen 15 Vertreter und Vertreterinnen aus Unternehmen und Verbänden unterschiedlicher Branchen teilnahmen, wurden wirtschaftliche Hürden und Umsetzungshemmnisse bei Elektrifizierungstechnologien diskutiert und mittelstandsspezifische Lösungsansätze erarbeitet.

Ein Fokus der Analyse liegt auf der praxisnahen Bewertung der Kosten und Erlöse von Investitionen in Elektrifizierungstechnologien. Ziel ist es, zunächst den Status quo der Wirtschaftlichkeit der Elektrifizierungsinvestitionen aus einer betriebswirtschaftlichen Perspektive zu beleuchten. Durch die Varianz verschiedener Rahmenparameter werden in einem zweiten Schritt konkrete, evidenzbasierte Handlungsfelder aufgezeigt, die zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Investitionen führen. Die Bewertung der Fallstudien beruht auf einer Wirtschaftlichkeitsanalysen nach VALERI-Norm.

7.1.1 Wirtschaftlichkeitsanalysen nach VALERI-Norm

Die DIN 17463 *(Valuation of Energy Related Investments* = VALERI) ist eine europäische Norm zur Bewertung von energiebezogenen Investitionen. Ihr Ziel ist eine einheitliche, transparente und nachvollziehbare Bewertung ebendieser Investitionen. Hierbei werden alle relevanten Lasten (Kosten sowie weitere negative Effekte) und Nutzen (Einsparungen/Erlöse sowie weitere positive Effekte) über den gesamten Lebenszyklus hinweg qualitativ oder quantitativ bewertet. Als Nutzen können verschiedene positive Wirkungen aus einer Investition, wie zum Beispiel vermiedene Energie- oder CO_2-Kosten, geringere Wartungskosten oder verminderte Lärmemissionen benannt werden. Nach dem Bestimmen und Quantifizieren der Nutzen und Lasten unter Berücksichtigung jährlicher Energiepreise und weiterer Kosten (zum Beispiel fixe Betriebskosten)

bestimmt sich der Kapitalwert der Investition in einer Periode als Summe aller bis zu diesem Zeitpunkt erfolgten und auf den Barwert abgezinsten finanziellen Abflüsse (inklusive der Investitionssumme) und Erlöse (insbesondere Kosteneinsparungen durch Energieträgerwechsel). Im nächsten Schritt werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

Die VALERI-Norm ist für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Gesetzen wie dem Energieeffizienzgesetz oder dem Energiefinanzierungsgesetz vorgeschrieben, um steuerliche Entlastungen zu ermöglichen. Da die Norm in der Industrie breite Anwendung findet, werden die in dieser Studie betrachteten Fallbeispiele nach dieser Methodik bewertet. Da jedoch primär die Wirtschaftlichkeitsberechnungen relevant sind, wird eine leicht vereinfachte Variante angewandt, bei der qualitative Nutzen und Lasten nicht in die Berechnung, sondern nur in eine erweiterte Beschreibung eingehen. Im Folgenden werden die zugrundeliegenden Annahmen zu Kosten und Nutzen der jeweiligen Fallbeispiele sowie der Entwicklung der Strom- und Erdgaspreise aufgeführt.

7.1.2 Annahmen für die Technologieauswahl und Kapitalwertberechnung

Die der Kapitalwertberechnung zugrundeliegenden Annahmen basieren auf Daten aus der wissenschaftlichen Literatur sowie Gesprächen mit Industrieunternehmen und Wärmetechnologie-Herstellern. Eine übersichtliche Zusammenfassung der getroffenen Annahmen für die drei Fallstudien bietet Tabelle A.1. Die Fallbeispiele fokussieren sich jeweils auf einen zentralen Produktionsprozess der jeweiligen betrachteten Industriezweige. In der Lebensmittelindustrie wird der Prozess der Trocknung, in der metallbearbeitenden Industrie der Pulverbeschichtung und in der kunststoffverarbeitenden Industrie der Dampfbereitstellung der Formgebung betrachtet. Die Auswahl der Prozesse erfolgte dabei auf Basis des Energiebedarfs sowie ihrer Relevanz für den Mittelstand der ausgewählten Industrien, aber auch für andere, nicht in dieser Studie betrachteten, Industriezweige. So spielen zum Beispiel Trocknungsprozesse auch in der Papierindustrie eine bedeutende Rolle.

Die in den Fallbeispielen angenommenen fiktiven Unternehmen sind so bestimmt, dass sie eine Bandbreite wirtschaftlicher Ausgangssituationen widerspiegeln. Die Dekarbonisierungstechnologien wurden basierend auf heute verfügbaren Optionen und in Absprache mit Unternehmen und Technologieherstellern ausgewählt. Für das Temperaturniveau des betrachteten Trocknungsprozesses ist die Wärmepumpe sowie der Heißwasserspeicher eine bereits in der Praxis erprobte und bewährte Technologie. Dagegen sind Hochtemperatur-Wärmepumpen bisher nur bei einem Temperaturniveau von bis zu 160 Grad standardisiert im Einsatz, da es technische Limitationen, zum Beispiel bei der aktuell marktreifen Verdichter-Technologie gibt. Nach Einschätzung einiger Hersteller sollen in den nächsten Jahren aber auch Temperaturniveaus von bis zu 200 Grad erreichbar sein. Da der Temperaturbedarf in Fallbeispiel 2 bei 150 Grad liegt, ist hier der Ersatz des Konvektionsofens durch eine Hochtemperatur-Wärmepumpe möglich. Die Effizienz und somit die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe ist dabei abhängig von den Temperaturen der Quelle und Senke sowie dem Medium, das erwärmt wird. Beispielsweise ermöglichen die Erwärmung von Thermalöl oder Heißwasser einen effizienteren Wärmeaustausch als Dampf. Zudem steigert die Nutzung von Abwärme als Wärmequelle die Effizienz und auch die Auslastung der Wärmepumpe hat einen Effekt auf die Wirtschaftlichkeit. In dem betrachteten Fallbeispiel wird davon ausgegangen, dass Prozessabwärme auf einem Temperaturniveau von 50 Grad genutzt werden und somit die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe gesteigert werden kann.

In Fallbeispiel 3 wird ein Erdgaskessel durch einen Elektrokessel zur Dampfbereitstellung ersetzt. Diese sind industriell erprobt und neben stark prozessspezifischen Ausführungen gibt es bereits standardisierte Anlagen. Eine standardisierte Anwendung stellt die Nutzung separater Elektrokessel und Erdgaskessel als Hybridkessel dar, wie sie auch im Fallbeispiel Anwendung findet. Aus technischen

Annahmen für die Kapitalwertberechnung in den Fallstudien → Tabelle A.1

Fallbeispiel 1: Lebensmittelindustrie		
Annahmen zum Unternehmen		
Kleines Unternehmen, 45 Mitarbeitende, Umsatz < 8 Mio. EUR p.a.		
Annahmen zu Bestands- und Dekarbonisierungstechnologien		
Technologie	Erdgaskessel	Wärmepumpe
Heizleistung	250 kW_{th}	250 kW_{th}
Betriebsstunden	8000 h	8000 h
Durchschnittliche Auslastung	80 %	80 %
Effizienzgrad/JAZ	85 %	3,2
Annahmen zu Investitionskosten		
(Re-) Investitionsbedarf	50.000 EUR	225.000 EUR
Sonstige Investitionsbedarfe (zum Beispiel Umbau, Anschluss)	-	90.000 EUR
Gesamtinvestitionskosten	50.000 EUR	315.000 EUR
Annahmen Betriebskosten		
Fixe Betriebskosten	5 EUR/kWh/a	15 EUR/kWh/a
Annahmen zur Förderung		
Förderung	-	45 % der Investitionsmehrkosten, gemäß EEW-Modul 4 Premiumförderung für KMU
Fördermittel	-	119.250 EUR

Fallbeispiel 2: Metallverarbeitende Industrie		
Annahmen zum Unternehmen		
Großer Mittelständler, inhabergeführt, 400 Mitarbeitende, Umsatz < 100 Mio. EUR p.a.		
Annahmen zu Bestands- und Dekarbonisierungstechnologien		
Technologie	Erdgaskessel	Hochtemperaturwärmepumpe
Heizleistung	1.100 kW_{th}	1.100 kW_{th}
Betriebsstunden	5000 h	5000 h
Durchschnittliche Auslastung	80 %	80 %
Effizienzgrad/JAZ	90 %	3,0
Annahmen zu Investitionskosten		
(Re-) Investitionsbedarf	50.000 EUR	1.430.000 EUR
Sonstige Investitionsbedarfe (zum Beispiel Umbau, Anschluss)	-	429.000 EUR
Gesamtinvestitionskosten	50.000 EUR	1.639.000 EUR
Annahmen Betriebskosten		
Fixe Betriebskosten	5 EUR/kWh/a	4 EUR/kWh/a
Annahmen zur Förderung		
Förderung	-	25 % der Investitionsmehrkosten, gemäß EEW-Modul 4 Premiumförderung
Fördermittel	-	409.750 EUR

Fallbeispiel 3: Kunststoffverarbeitende Industrie		
Annahmen zum Unternehmen		
Mittelständisches Unternehmen, 120 Mitarbeitende, Umsatz < 50 Mio. EUR p.a.		
Annahmen zu Bestands- und Dekarbonisierungstechnologien		
Technologie	Erdgaskessel	Elektrischer Dampfkessel
Heizleistung	1.800 kW_{th}	1,8 MW_{el}
Betriebsstunden	6900 h	6900 h
Durchschnittliche Auslastung	80 %	80 %
Effizienzgrad	80 %	98 %
Annahmen zu Investitionskosten		
(Re-) Investitionsbedarf	270.000 EUR	405.000 EUR
Sonstige Investitionsbedarfe (zum Beispiel Umbau, Anschluss)	-	324.000 EUR
Gesamtinvestitionskosten		729.000 EUR
Annahmen Betriebskosten		
Fixe Betriebskosten	5 EUR/kWh/a	5 EUR/kWh/a
Annahmen zur Förderung		
Förderung	-	-
Fördermittel	-	-

FfE (2026)

Gründen ist es in der Praxis üblich, möglichst hohe Betriebsstunden mit Dampferzeugern zu erreichen: Grundsätzlich läuft der Betrieb in Unternehmen in 1- bis 3-Schicht-Modellen, welche sich auf fünf bis sieben Tage die Woche erstrecken. Selbst wenn nicht produziert wird, wie etwa an Feiertagen oder nachts, wird der Kessel in der Regel aufgrund langer An- und Abfahrzeiten sowie zur Materialschonung warmgehalten und verbraucht somit Energie. Bei höheren Betriebsstunden als in Fallbeispiel 3 angenommen, können tendenziell mehr Stunden genutzt werden, in denen der Strompreis niedriger als der Erdgaspreis ist, was einen positiven Effekt auf die Wirtschaftlichkeit hätte. Ebenfalls könnten in Fallbeispiel 3 weitere Vermarktungsoptionen genutzt werden, um zusätzliche Einnahmen zu generieren. Eine alternative Vermarktungsoption bei hohen Strompreisen wäre beispielsweise die Teilnahme am Regelenergiemarkt durch die Vorhaltung des Hochfahrens des Kessels für die Teilnahme am Sekundärregelleistungsmarkt. Je nach Entwicklungen am Markt könnten hierdurch vor allem in den nächsten Jahren höhere Erlöse erzielt werden, allerdings wäre auch eine gegenteilige Entwicklung möglich. Vorteilhaft ist, dass die Vermarktung der Regelleistung üblicherweise durch externe Vermarkter übernommen wird und Unternehmen hierfür keine internen personellen Kapazitäten bräuchten. Die Höhe der Gesamtinvestitionen ist abhängig von den zur Integration der Dekarbonisierungstechnologien notwendigen Umbaubedarfen an den bestehenden Produktionsanlagen und der Nachrüstung der vorgelagerten Energieinfrastruktur. Das Ausmaß kann dabei stark variieren. Für die Integration der Wärmepumpen in den Fallbeispielen 1 und 2 wird jeweils von einem realistischen Mittelweg statt eines *Worst-Case* oder *Best-Case*-Szenarios ausgegangen. Während in Fallbeispiel 1 aufgrund der geringen Erhöhung der Netzanschlusskapazität kein neuer Transformator für den Netzanschluss benötigt wird, ist dies in Fallbeispiel 2 aufgrund der großen zusätzlichen Leistung der Fall. Auch in Fallbeispiel 3 ist der Bau eines neuen Transformators zur Ertüchtigung der Netzinfrastruktur nötig. Die zusätzlich anfallenden Infrastrukturkosten werden in den Gesamtinvestitionskosten berücksichtigt. Zudem handelt es sich bei der

Hochtemperatur-Wärmepumpe in Fallbeispiel 2 um keine Standard-Anfertigung. Die Kosten der Sonderanfertigung, die vor allem durch Personal- statt Materialkosten getrieben werden, erhöhen ebenfalls die Investitionssumme. Nach Herstellerangaben könnte zukünftig die zunehmende Technologiestandardisierung zu Kostendegradationen führen.

In allen drei Fallbeispielen wird das Jahr 2025 als Investitionszeitpunkt definiert und ein kalkulatorischer Zinssatz von 6,5 Prozent angenommen. In der Regel setzt sich der Kalkulationszinssatz aus dem Zinssatz für den Fremdkapitalanteil und für den Eigenkapitelanteil zusammen, sodass die Renditeerwartungen und Kreditbedingungen abgedeckt werden. In der Praxis werden häufig pauschale Zinssätze zwischen 5 und 10 Prozent angesetzt. Der angenommene Kalkulationszinssatz basiert auf Werten aus Beratungsprojekten der FfE für Unternehmen zur VALERI-Norm sowie Hintergrundgesprächen mit Unternehmen im Rahmen dieser Studie.

7.1.3 Annahmen für die Entwicklung der Strom- und Erdgaspreise

Tabelle A.2 zeigt die Annahmen für die Strom- und Erdgaspreisentwicklungen von 2025 bis 2045 inklusive Steuern, Abgaben, Umlagen (STAU) sowie Netzentgelten. Die Grundlage der Preisentwicklung ist die Modellierung der Studie „Klimaneutrales Deutschland – von der Zielsetzung zur Umsetzung" sowie ergänzende Arbeiten von Agora Energiewende. Im dargestellten Preispfad wird angenommen, dass der Börsenpreis für Strom bis 2030 aufgrund des schnell voranschreitenden Ausbaus Erneuerbarer Energien im Vergleich zur Elektrifizierung der Nachfragesektoren sinken wird (Agora Energiewende 2025c). Sobald sich die Stromnachfrage in den 2030er Jahren erhöht, steigen die Börsenstrompreise kurzfristig moderat an. Langfristig wird ein Rückgang des Börsenstrompreises auf etwa 8 ct/kWh erwartet. Zusätzlich zum Börsenpreis müssen bei den Strombezugskosten die Konzessionsabgabe, die KWKG-Umlage, die Offshore-Umlage sowie die Umlage nach § 19 Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV), eine Servicegebühr und die Stromsteuer berücksichtigt werden. Die Umlage nach § 19 StromNEV ist anhängig vom Stromverbrauch; unter 1 GWh werden 1,558 ct/kWh angesetzt, bei über 1 GWh 0,05 ct/kWh. In Fallbeispiel 1 wird davon ausgegangen, dass der Gesamtstromverbrauch auch nach der Elektrifizierung unter 1 GWh/a liegt, bei den anderen beiden Fallbeispielen liegt der Stromverbrauch bereits im nicht-elektrifizierten Zustand oberhalb 1 GWh, sodass für den zusätzlich anfallenden Stromverbrauch nur 0,05 ct/kWh berechnet werden. Die Erwartungen zur Entwicklung der Steuern und Umlagen fußen auf Agora Think Tanks (2024). Die Netzentgelte setzen sich zum einen aus dem Arbeitspreis zusammen, der als Komponente dem Strompreis zugerechnet wird und andererseits aus einem Leistungspreis, der in den Fallstudien in Abhängigkeit von der Erhöhung der Leistungsspitze zusätzlich berechnet wird. Hintergrund ist, dass Netzentgelte in der Industrie ab einem gewissen Energieverbrauch in der Regel zusätzlich anhand der höchsten Leistungsspitze innerhalb eines Jahres ermittelt und abgerechnet werden. Da in den Fallstudien lediglich einzelne Technologien betrachtet werden, wird diese Komponente der Netzentgelte als zusätzliche Kosten ausgewiesen, die durch die Leistungsaufnahme der Anlage entstehen. Hierbei wird in Abhängigkeit der potenziellen Betriebsweise und Betriebsstunden der Anlage abgeschätzt, um wie viel sich die vorhandene Spitzenlast erhöhen könnte. Die Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Netzentgelte für Strom basieren dabei auf der Studie Agora Energiewende (2025d). Um realistische getrennte Startwerte für Arbeit und Leistung zu erhalten und die Netzentgelte in Leistungs- und Arbeitspreise aufzuteilen, wurden zusätzlich die Preisblätter von zehn großen deutschen Netzbetreibern analysiert. Aus den ausgewerteten Arbeits- und Leistungspreisen wurde jeweils der arithmetische Mittelwert gebildet, der als Ausgangswert für das Jahr 2025 dient. Auf Basis dieser Analyse ergab sich ein Leistungspreis von 150 EUR/kW/a und ein Arbeitspreis von 1 ct/kWh als Startwerte. Anschließend wurde die prozentuale Preisentwicklung der Agora-Studie auf diese beiden Ausgangswerte übertragen. Für die Jahre zwischen den in der Studie definierten Stützjahren wird eine lineare Entwicklung angenommen, sodass ein

Strom- und Erdgas-Preisannahmen

→ Tabelle A.2

		2025	2030	2035	2040	2045
Fallbeispiel 1 – Trocknungsprozess in der Lebensmittelindustrie						
Strompreis insgesamt	ct/kWh	15,3	15,5	17,7	16,9	14,6
Börsenpreis	ct/kWh	8,70	8,26	10,05	9,66	7,90
Steuern und Umlagen	ct/kWh	2,81	3,82	4,34	4,26	4,07
Servicegebühr	ct/kWh	0,87	0,83	1,01	0,97	0,79
Netzentgelt-Arbeitspreis	ct/kWh	1,00	0,91	0,80	0,69	0,63
Netzentgelt-Leistungspreis[1]	ct/kWh	1,88	1,70	1,51	1,29	1,18
Erdgas (inkl CO_2-Preis)[2]	ct/kWh	5,8	7,2	7,6	8,6	9,4
Preisverhältnis	ct/kWh	2,6	2,2	2,3	2,0	1,5
Fallbeispiel 2 – Konvektionsofen in der Metallverarbeitung						
Strompreis insgesamt	ct/kWh	14,9	15,0	17,1	16,1	13,7
Börsenpreis	ct/kWh	8,70	8,26	10,05	9,66	7,90
Steuern und Umlagen	ct/kWh	1,30	2,31	2,83	2,75	2,51
Servicegebühr	ct/kWh	0,87	0,83	1,01	0,97	0,79
Netzentgelt-Arbeitspreis	ct/kWh	1,00	0,91	0,80	0,69	0,63
Netzentgelt-Leistungspreis[1]	ct/kWh	3,00	2,72	2,41	2,07	1,88
Erdgas (inkl CO_2-Preis)[2]	ct/kWh	5,79	7,18	7,58	8,57	9,43
Preisverhältnis	ct/kWh	2,6	2,1	2,3	1,9	1,5
Fallbeispiel 3 – Kalanderprozess in der Kunststoffverarbeitung						
Strompreis insgesamt	ct/kWh	16,3	14,2	16,3	15,3	12,8
Börsenpreis	ct/kWh	8,70	8,26	10,05	9,66	7,90
Steuern und Umlagen	ct/kWh	1,30	2,31	2,83	2,75	2,51
Servicegebühr	ct/kWh	0,87	0,83	1,01	0,97	0,79
Netzentgelt-Arbeitspreis	ct/kWh	1,00	0,91	0,80	0,69	0,63
Netzentgelt-Leistungspreis[1]	ct/kWh	4,42	1,89	1,60	1,20	0,95
Erdgas (inkl CO_2-Preis)[2]	ct/kWh	5,8	7,2	7,6	8,6	9,4
Preisverhältnis	ct/kWh	2,8	2,0	2,1	1,8	1,4

Agora Industrie, FfE (2026). [1]Der Leistungspreis je kWh Stromverbrauch ergibt sich aus einem festen jährlichen Leistungspreis in Höhe von 150 EUR/KW, der elektrischen Leistung der Anlage und dem jährlichen Stromverbrauch. [2]Es wird folgender CO_2 Preis im nEHS bzw ETS-II angenommen: 2025: 55 EUR/t CO_2; 2030: 124 EUR/t CO_2; 2035: 151 EUR/t CO_2; 2040: 172 EUR/t CO_2; 2045: 188 EUR/t CO_2.

konsistenter und nachvollziehbarer Verlauf der Netzentgeltentwicklung sowohl für den Arbeits- als auch den Leistungspreis entsteht.

Für die Entwicklung des Börsenpreises für Erdgas wird von einer langfristigen Reduktion ausgegangen, da die Nachfrage stärker abnimmt als das Angebot. Zuzüglich zum Börsenpreis fallen die Netzentgelte, eine Vermarktungsgebühr, die Konzessionsabgabe, die Umlage nach § 26 EnSiG, die Gasspeicherumlage und die Erdgassteuer an. Die Annahme zu den Netzentgelte für Erdgas im Status quo basieren auf Daten des Statistischen Bundesamtes. Für ein Unternehmen mit einem mittleren Erdgas-Jahresverbrauch von liegen die Netzentgelte bei 4,5 ct/kWh[10] (Statistisches Bundesamt 2026c). Aufgrund

10 Es wird die Jahresgebrauchsklasse 27.778 bis unter 277.778 MWh gemäß der Klassifizierung des Statistischen Bundesamtes als Referenz angesetzt.

sinkender Abnahmemengen von Erdgas wird zudem davon ausgegangen, dass die Netzentgelte für Erdgas signifikant steigen werden. Bis zum Jahr 2045 wird von einer Versechsfachung der Netzentgelte ausgegangen. Diese Entwicklung basiert auf Agora Energiewende (2023). Die Studie empfiehlt einen veränderten Ordnungsrahmen, um stark steigende Netzentgelte (bis zu 16-fache Erhöhung) bei schrittweiser Stilllegung der Gasnetze für die verbleibenden Netznutzer zu vermeiden. Mit diesem veränderten Ordnungsrahmen würden die Netzentgelte auf das Vier- bis Achtfache ansteigen, je nach Alter des Netzes. Hier wird der Mittelwert (Versechsfachung) genutzt.

Neben den Basisberechnungen werden in den Fallbeispielen verschiedene Sensitivitäten berechnet. Für die Sensitivitätsanalyse eines konstanten Strompreises wird das in der Praxis häufig angewandte Vorgehen von Unternehmen in der Wirtschaftlichkeitsanalyse dargestellt: Es wird vereinfacht das heutige Preisniveau angesetzt, wenn belastbare Informationen über zukünftige Entwicklungen fehlen. Dieser Wert liegt über den aktuellen Börsenpreisen, da die Unternehmen in der Regel bereits zumindest einen Teil ihres Stroms vorab einkaufen und dabei in den letzten Jahren höhere Preise gezahlt haben. Das bedeutet, dass die heutigen Börsenpreise nicht die Kostenstruktur der bestehenden Lieferverträge abbilden. Die getroffene Annahme basiert auf Auswertungen des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), der Evaluierung der EEW der Jahre 2019-2023 (Fraunhofer ISI et al. 2024) und Gesprächen mit verschiedenen Industrieunternehmen. Somit liegt der Strompreis bei 16,1 ct/kWh beziehungsweise 14,3 ct/kWh ohne Berücksichtigung des Leistungspreises und in Abhängigkeit des Stromverbrauchs und dem daraus resultierenden Aufschlag für besondere Netznutzung.

In Fallbeispiel 3 wird der flexible Betrieb eines elektrischen Dampferzeugers betrachtet. Die Kostenbestimmung für den Betrieb des Hybridkessels basiert auf einer differenzierten Analyse der jeweiligen Energiepreise und STAU für Strom und Erdgas. Dabei werden Zeitreihen der *Day-Ahead*-Börsenpreise für Strom für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040 zugrunde gelegt, ergänzt durch STAU. Für Erdgas fließen analog die Börsenpreise sowie relevante STAU in die Preisannahmen ein. CO_2-Preise gemäß BEHG und später EU ETS II werden ebenfalls berücksichtigt. Die Berechnung umfasst den Abgleich, an wie vielen Stunden im Jahr der Strompreis inklusive STAU niedriger ist als der Erdgaspreis zuzüglich CO_2-Kosten. Dabei wird ein vereinfachtes Verfahren angewendet, da keine Verbrauchslastgänge hinterlegt werden. Darauf basierend wird der durchschnittliche Strompreis in diesen Stunden ermittelt. Dieses Vorgehen ermöglicht eine vereinfachte, aber realistische Abschätzung der Betriebskosten und Wirtschaftlichkeit des Hybridkessels im zeitlichen Verlauf unter Berücksichtigung von Markt- und CO_2-Preisentwicklungen. Die mit diesem Verfahren ermittelten Stunden pro Jahr, in denen der Strompreis inkl. STAU kleiner als der Erdgaspreis inkl. STAU und CO_2-Preis ist, sowie der in diesen Stunden durchschnittliche Strompreis sind in Tabelle A.3 zu finden. Für die kurze First wird davon ausgegangen, dass an rund 950 Stunden im Jahr der Strompreis unter dem Erdgaspreis liegt, der durchschnittliche Strompreis in diesen Stunden beträgt 22 EUR/MWh. Da der Dampf in Fallbeispiel 3 nur etwa 80 Prozent der Jahresstunden benötigt wird, können die Stunden der günstigeren Strompreise ebenfalls nur anteilig genutzt werden. Es wird somit vereinfacht von rund 760 Betriebsstunden ausgegangen (ohne Berücksichtigung des anlagenspezifischen Lastgangs). 2030 wird von einer Betriebsstundenzahl des elektrischen Dampferzeugers von rund 1.700 Stunden und einem mittleren Strompreis von 39 EUR/MWh ausgegangen. Aufgrund steigender CO_2-Preise auf Erdgas, wird die Anzahl der Betriebsstunden des elektrischen Dampferzeugers auf bis zu 2.900 Stunden erhöht, um die vergleichsweise günstigeren Strompreise zu nutzen. Gleichzeitig steigt der mittlere Strompreis in den genutzten Stunden an, unter anderem aufgrund abnehmender Preisschwankungen in Folge eines Ausbaus von Flexibilitäten im Gesamtsystem.

Fallbeispiel 3: Annahmen zu Stunden pro Jahr mit Strompreisen unterhalb des Erdgaspreises sowie durchschnittlicher Strompreis in diesen Stunden → Tabelle A.3

	Basisfall		Sensitivität I – CO_2-Preis konstant auf heutigem Niveau		Sensitivität II – höherer Erdgaspreis	
Jahr	Stunden	Mittlerer Strompreis	Stunden	Mittlerer Strompreis	Stunden	Mittlerer Strompreis
2025	950 h	22 EUR/MWh	950 h	22 EUR/MWh	950 h	22 EUR/MWh
2030	2.100 h	39 EUR/MWh	1.850 h	35 EUR/MWh	2.300 h	41 EUR/MWh
2035	2.200 h	41 EUR/MWh	2.100 h	39 EUR/MWh	2.350 h	43 EUR/MWh
2040	2.500 h	52 EUR/MWh	2.050 h	46 EUR/MWh	2.750 h	54 EUR/MWh
2045	2.900 h	56 EUR/MWh	2.050 h	45 EUR/MWh	3.200 h	60 EUR/MWh

FfE (2026)

7.2 Bestehende Förderlandschaft für den industriellen Mittelstand

Übersicht über bestehende Förderprogramme für die Elektrifizierung im Industriellen Mittelstand → Tabelle A.4

Förderprogramm	Fokus	Förderfähige Anlagen		Förderquote	Mindest- und Maximalgrenzen: Investitionsvolumen	Mindest- und Maximalgrenzen: Einsparleistung
EEW-Modul 2	Bereitstellung von Prozesswärme aus Erneuerbaren Energien	Wärmepumpe	Ja	Bis zu 40 % (für Biomasse 20 %) KMU-Zuschlag: 10–20 %	max. 20 Mio. EUR	–
		Elektrokessel	Nein			
		Verfeuerung fester Biomasse	Ja			
		Zusatzanlage hybride Erzeugung	Nein			
		Wärmespeicher	Ja			
		Nebenkosten (Planung etc.)	Ja			
EEW-Modul 4 (Premium)	Energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen	Wärmepumpe	Ja	Bis zu: → GU[3]: 25 % (IMK[1]) oder 10 % (IGK[2]) → MU[4]: 35 % (IMK) oder 15 % (IGK) → KU[5]: 45 % (IMK) oder 20 % (IGK) Zusätzlich bis zu 5–10 % Dekarbonisierungsbonus	Förderhöhe abhängig von der THG[6]-Einsparung gedeckelt: → GU = 1.600 EUR x THG-Einsparpotenzial → MU = 2.200 EUR x THG-Einsparpotenzial → KU = 2.600 EUR x THG-Einsparpotenzial	mind. 30 % jährliches THG-Einsparpotenzial oder absoluter Schwellenwert in Abhängigkeit der Unternehmensgröße
		Elektrokessel	Nein			
		Verfeuerung fester Biomasse	Ja			
		Zusatzanlage hybride Erzeugung	Nein			
		Wärmespeicher	Ja			
		Nebenkosten (Planung etc.)	Ja			
EEW-Modul 6	Elektrifizierung kleiner Unternehmen durch Austausch oder Umrüstung vorhandener (Produktions-) Anlagen	Wärmepumpe	Ja	Ausschließlich für elektrische Anlagen und KU i. H. v. 33 %	mind. 2.000 EUR, max. 200.000 EUR	
		Elektrokessel	Nein			
		Verfeuerung fester Biomasse	Ja			
		Zusatzanlage hybride Erzeugung	Nein			
		Wärmespeicher	Ja			
		Nebenkosten (Planung etc.)	Ja			

1: IMK – Investitionsmehrkosten; 2: IGK – Investitionsgesamtkosten; 3: GU – große Unternehmen; 4: MU – mittlere Unternehmen; 5: KU – kleine Unternehmen; 6: THG – Treibhausgas

Förderprogramm	Fokus	Förderfähige Anlagen		Förderquote	Mindest- und Maximalgrenzen: Investitionsvolumen	Mindest- und Maximalgrenzen: Einsparleistung
KfW-Kredit Nr. 295	Alternative zu EEW-Modulen 1–6	Wärmepumpe	Ja	Zinsverbilligung, bis zu: → 60 % Tilgungszuschuss → 100 % der förderfähigen IGK → Individuelle Ermittlung des Zinssatzes	max. 100 Mio. EUR	
		Elektrokessel	Nein			
		Verfeuerung fester Biomasse	Ja			
		Zusatzanlage hybride Erzeugung	Nein			
		Wärmespeicher	Ja			
		Nebenkosten (Planung etc.)	Ja			
Förderwettbewerb Energie- und Ressourceneffizienz	Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz und Verringerung der THG-Emissionen in Unternehmen in Industrie und Gewerbe	Wärmepumpe	Ja	Bis zu 60 % der förderfähigen Kosten, Antragsteller beantragt selbst eine Förderquote	max. 20 Mio. EUR	Zuschlag für das Unternehmen mit höchster Förder-effizienz (d. h., Förderhöhe/ THG-Einsparung)
		Elektrokessel	Ggfs.			
		Verfeuerung fester Biomasse	Ja			
		Zusatzanlage hybride Erzeugung	Nein			
		Wärmespeicher	Ja			
		Nebenkosten (Planung etc.)	Ja			
BIK-Modul 1	Förderung von Vorhaben zur Dekarbonisierung der Industrie inkl. anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung	Wärmepumpe	Ja	Teilmodul 1: → Max. 40 % der Kosten bzw. 50 % bei THG-Minderung um 100% Teilmodul 2: → Max. 30 % der Kosten bei Elektrifizierung, max. 60 % bei Umstellung auf Wasserstoff	Nach Unternehmensgröße: → KMU: mind. 500.000 EUR → GU: mind. 1 Mio. EUR Je Teilmodul: → Teilmodul 1: max. 30 Mio. EUR → Teilmodul 2: max. 200 Mio. EUR	Mind. 40 % Verringerung direkter THG-Emissionen
		Elektrokessel	Ja			
		Verfeuerung fester Biomasse	Ggfs.			
		Zusatzanlage hybride Erzeugung	Nein			
		Wärmespeicher	Nein			
		Nebenkosten (Planung etc.)	Nein			

FfE (2026), basierend auf BAFA (2025a), BAFA (2025b), BAFA (2025c), BMWE (2026), KfW (2026)

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende (2023): *Ein neuer Ordnungsrahmen für Erdgasverteilnetze. Analysen und Handlungsoptionen für eine bezahlbare und klimazielkompatible Transformation.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/publikationen/ein-neuer-ordnungsrahmen-fuer-erdgasverteilnetze

Agora Energiewende, Agora Industrie, FIM und RAP (2024): *Industrielle Energieflexibilität ermöglichen. Konzept einer Reform der Sondernetzentgelte für Großverbraucher.* Verfügbar unter: https://www.agora-industrie.de/publikationen/industrielle-energieflexibilitaet-ermoeglichen

Agora Energiewende (2025a): *Erneuerbare Energien senken Strompreise unabhängig von der Nachfrage.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/publikationen/erneuerbare-energien-senken-strompreise-unabhaengig-von-der-nachfrage

Agora Energiewende (2025b): *Planmäßiger Ausbau von Erneuerbaren Energien senkt Börsenstrompreise bis 2030 um bis zu 23 Prozent.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/aktuelles/planmaessiger-ausbau-von-erneuerbaren-energien-senkt-boersenstrompreise-bis-2030-um-bis-zu-23-prozent

Agora Energiewende (2025c): *Powering the transition: Balancing electrification, power prices, and climate goals in Germany.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2025/2025-07_DE_EE_2030/Aurora_Apr25_Agora_Renewable_targets_and_demand_Report_as_sent.pdf

Agora Energiewende (2025d): *Stromnetzentgelte – gut und günstig. Ausbaukosten reduzieren und Entgeltsystem zukunftssicher aufstellen.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2025/2025-10_DE_Stromnetzentgelte/A-EW_370_Stromnetzentgelte-gut-und-g%C3%BCnstig_WEB.pdf

Agora Energiewende (2026): *Die Energiewende in Deutschland – Stand der Dinge 2025. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2026.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/publikationen/die-energiewende-in-deutschland-stand-der-dinge-2025

Agora Energiewende, EPICO KlimaInnovation, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2025): *Wie schaffen wir einen marktlichen und auf erneuerbaren Energien basierenden Industriestrompreis?* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2024/2024-12_DE_Markt%C3%B6ffnender_CfD/Agora-Epico-dena_EE_Industriestrompreis.pdf

Agora Think Tanks (2024): *Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/publikationen/klimaneutrales-deutschland-studie

Agora Think Tanks, Prognos AG, Öko-Institut e. V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, & Universität Kassel (2024): *Klimaneutrales Deutschland – Von der Zielsetzung zur Umsetzung – Vertiefung der Szenariopfade.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-30_DE_KNDE_Update/A-EW_349_KNDE_Szenariopfade_WEB.pdf

Ariadne Szenarien Explorer (2026): *Ariadne Szenarien Explorer – Szenario KN2045_Mix: Klimaneutralität bis 2045, gemischtes Energieträgerportfolio (Ariadne Indikationen).* Verfügbar unter: https://ariadne2.apps.ece.iiasa.ac.at/explorer

Boston Consulting Group (BCG) (2025): *Argos – BCG Climate Transition Barometer 2025 – The European mid-market decarbonisation reference.* Verfügbar unter: https://argos.fund/wp-content/uploads/2025/06/ARGOS_CLIMATE_ACTION-X-BCG_2025.pdf

Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) (2024a): *Die Zukunft des industriellen Mittelstands in Deutschland 2030.* Verfügbar unter: https://bdi.eu/de/publications/die-zukunft-des-industriellen-mittelstands-in-deutschland-2030

Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) (2024b): *Transformationspfade für das Industrieland Deutschland | Langfassung.* Verfügbar unter: https://bdi.eu/de/publications/transformationspfade-fuer-das-industrieland-deutschland-studie-langfassung

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (2025a): *Modul 2 – Prozesswärme aus Erneuerbaren Energien. Anlage zu Merkblatt Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) – Zuschuss.* Verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_modul2_pw_merkblatt_2025.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (2025b): *Modul 4 – Energie- und Ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen. Anlage zu Merkblatt Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) – Zuschuss.* Verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_modul_4_oap_merkblatt_2025.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (2025c): *Modul 6: Elektrifizierung von Kleinen Unternehmen.* Verfügbar unter: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/Modul6_Elektrifizierungsmassnahmen_KU/modul6_elektrifizierungsmassnahmen_ku_node.html

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) (2024): *Zwischenbilanz zum Dialog- und Arbeitsprozess „Mittelstand, Klimaschutz und Transformation" – Die Weichen sind gestellt – Der Mittelstand fährt Richtung Transformation.* Verfügbar unter: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/XYZ/zwischenbilanz-mittelstand-klimaschutz-transformation.html

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) (2025a): *BIK-Förderung zeigt Wirkung: Erfolgreiche Projekte stärken Industrie und Klimaschutz – nächster Förderwettbewerb für weitere innovative Projekte startet Anfang 2026.* Verfügbar unter: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2025/12/20251222-bik-foerderung-zeigt-wirkung.html

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) (2025b): *Wasserstoff in der Stahlindustrie – Der entscheidende Faktor ist jetzt das Tempo.* Verfügbar unter: https://www.energieforschung.de/de/aktuelles/interviews/2022/wasserstoff-in-der-stahlindustrie-der-entscheidende-faktor-ist-jetzt-das-tempo

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) (2026): *Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft. Wettbewerbskriterien und Förderkonditionen.* Verfügbar unter: https://www.wettbewerb-energieeffizienz.de/WENEFF/Navigation/DE/Foerderwettbewerb/Foerderbedingungen/foerderbedingungen.html

Bundes-Klimaschutzgesetz, BGBl. I 2019, 2513 (Erstveröffentlichung) KSG 1 (2019): Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf

Bundesnetzagentur (2026): *SMARD | Industriestrompreise.* SMARD. Verfügbar unter: https://www.smard.de/page/home/topic-article/46/215546/industriestrompreise

Choudhury, R. (2017): *Principles of Textile Finishing.* Verfügbar unter: https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780081006467/principles-of-textile-finishing

Da Costa, D., Albuquerque, T., Costa, H., & Bragotto, A. (2023): *Thermal Contaminants in Coffee Induced by Roasting: A Review*. Verfügbar unter: https://www.mdpi.com/1660-4601/20/8/5586

Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ) (2022): *Ernährungswirtschaft im Mitteldeutschen Revier und im Lausitzer Revier – Sektorstudie.* Verfügbar unter: https://www.dbfz.de/fileadmin/Projektseiten/morebio/Download-Tabellen/2022_Sektorstudie_Ernaehrungswirtschaft_Mitteldeutsches___Lausitzer_Revier.pdf

Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) (2024): *Factsheet: Nationaler Emissionshandel.* Verfügbar unter: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/factsheets/factsheet_nEHS.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2021): *Leitfaden: Systematisch Energieeffizienz steigern und CO_2 -Emissionen senken in der Kunststoffindustrie – Branchenspezifische Lösungen.*

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2023): *Eigenkapitalähnliche Hybridinstrumente – Ergebnisse einer Befragung deutscher Industrieunternehmen zur Finanzierung von Klimaschutzinvestitionen.* Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/Eigenkapitalaehnliche_Hybridinstrumente.pdf

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Guidehouse, Fraunhofer ISI, adelphi, & Becker Büttner Held (2024): *Rahmenvertragsabruf „Kurzgutachten zur Definition von Wirtschaftlichkeit bei geführter Abwärme und Bestimmung des Standortschwellenwertes"* (Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE).). Verfügbar unter: https://www.bfee-online.de/SharedDocs/Downloads/BfEE/DE/Effizienzpolitik/pfa_studie_bagatellschwellen.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Expertenkommission Forschung und Kommunikation (EFI) (2026): *Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2026.* Verfügbar unter: https://www.e-fi.de/fileadmin/Assets/Gutachten/2026/EFI_Gutachten_2026_27126.pdf

Europäische Kommission (2026): *Results of the 2024 Innovation Fund Hydrogen Auction* (S. 20). Verfügbar unter: https://climate.ec.europa.eu/document/download/4ee6ff31-2dea-41e1-a057-892b86934156_en?filename=if24_preliminary_information_auction_en.pdf

Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS), & Öko-Institut (2024): *Umsetzung des ETS II und des Klima-Sozialfonds in Deutschland.* Verfügbar unter: https://foes.de/publikationen/2024/2024-02_KAD_ETS2-KSF.pdf

Fraunhofer IFAM (2025): *Kosteneinsparungen einer frühen Gasnetzstilllegungsplanung.* Verfügbar unter: https://umweltinstitut.org/wp-content/uploads/2025/12/IFAM_Kurzgutachten_Gasnetzstilllegungsplanung_2025-12-05.pdf

Fraunhofer ISI (2024): *Direct electrification of industrial process heat* (An assessment of technologies, potentials and future prospects for the EU.). Verfügbar unter: https://www.agora-industry.org/fileadmin/Projects/2023/2023-20_IND_Electrification_Industrial_Heat/A-IND_329_04_Electrification_Industrial_Heat_WEB.pdf

Fraunhofer ISI, Prognos AG, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Öko-Institut e.V. (2024): *Evaluation der Bundesförderung Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Abschlussbericht.* Im Auftrag es Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Verfügbar unter: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Evaluationen/Foerdermassnahmen/250130-evaluation-eew-abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=10

Fraunhofer ISI (2025): *Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2021 bis 2023 für die Sektoren Industrie und GHD – Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB).* Verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2024/11/Anwendungsbilanz_Industrie_2023_final_20250324.pdf

Gedan-Smolka, M., Edelmann, M., & Töpfer, A. (2006): *Entwicklung von lösemittelfreien umformstabilen Pulverlack-Schichtsystemen für Aluminiumfeinbleche.* Verfügbar unter: https://edocs.tib.eu/files/e01fb06/520628470.pdf

Intercontinental Exchange, Inc. (ICE) (2025): *ICE Endex: EUA 2 Futures*. Intercontinental Exchange, Inc. Verfügbar unter: https://www.ice.com/products/83048353/EUA-2-Futures/data?marketId=7932296&span=2

Intercontinental Exchange, Inc. (ICE) (2026): *Dutch TTF Natural Gas Futures.* Verfügbar unter: https://www.ice.com/products/27996665/Dutch-TTF-Natural-Gas-Futures/data?marketId=6164787&span=1

Institut für Mittelstandsforschung Bonn (IfM Bonn) (2021): *Einstellungen und verhalten Mittelständischer Unternehmen angesichts des Klimawandels – IfM-Materialien Nr. 290.* Verfügbar unter: https://www.ifm-bonn.org/fileadmin/data/redaktion/publikationen/ifm_materialien/dokumente/IfM-Materialien-290_2021.pdf

Institut für Mittelstandsforschung Bonn (IfM Bonn) (2024): *Exportquote der Unternehmen in Deutschland nach Unternehmensgröße und Wirtschaftszweigen.* Verfügbar unter: https://www.ifm-bonn.org/fileadmin/data/redaktion/statistik/mittelstand_im_einzelnen/dokumente/Exportquote_WZ_2013-2023.pdf

Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. (IW) (2025): *In die Zukunft investieren – Ergebnisse aus einer aktuellen Unternehmensbefragung im IW-Zukunftspanel.* Verfügbar unter: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2025/IW-Gutachten_2025-In-Zukunft-investieren.pdf

KfW (2022): *KfW-Klimabarometer 2022*. Verfügbar unter: https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-Klimabarometer/KfW-Klimabarometer-2022.pdf

KfW (2024): *KfW-Klimabarometer 2024 – Schwache Konjunktur dämpft Klimaschutzinvestitionen des Mittelstands – Großunternehmen sorgen dennoch für realen Zuwachs.* Verfügbar unter: https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-Klimabarometer/KfW-Klimabarometer-2024.pdf

KfW (2025a): *Finanzierung von Klimaschutzinvestitionen im Mittelstand: Bedeutungszuwachs von Bankkrediten und Fördermitteln durch steigende Projektgrößen.* Verfügbar unter: https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2025/Fokus-Nr.-507-Juli-2025-Finanzierung-Klimaschutz.pdf

KfW (2025b): *KfW-Klimabarometer 2025.* Verfügbar unter: https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-Klimabarometer/KfW_Klimabarometer-2025.pdf

KfW (2026): *Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft. Kosten durch energieeffiziente Technologien minimieren.* Verfügbar unter: https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Energieeffizienz-und-Prozessw%C3%A4rme-aus-Erneuerbaren-Energien-(295)/?redirect=497472

Kompetenzzentrum Klimaschutz in energieintensiven Industrien (KEI) (2024): *Leitfaden. Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK) Modul 1.* Verfügbar unter: https://www.klimaschutz-industrie.de/fileadmin/kei/Dateien/Bundesfoerderung_Industrie_Klimaschutz/Modul_1/KEI_BIK_Modul_1_Leitfaden_Stand_15-10-2024_barrierefrei.pdf

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) e. V. (PIK) (2025): *Carbon prices on the rise? Shedding light on the emerging second EU Emissions Trading System (EU ETS 2).* Verfügbar unter: https://doi.org/10.1080/14693062.2025.2485196

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2026a): *Kleine und mittlere Unternehmen (KMU).* Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/

Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Kleine-Unternehmen-Mittlere-Unternehmen/Glossar/kmu.html

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2026b): *Unternehmen, Tätige Personen, Umsatz und weitere betriebs- und volkswirtschaftliche Kennzahlen: Deutschland, Jahre, Unternehmensgröße, Wirtschaftszweige (WZ2008 1-/2-/3-St.) [Statistik].* Verfügbar unter: https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/48121/table/48121-0002/search/s/NDgxMjE%3D

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2025): *Statistischer Bericht – Kostenstrukturerhebung im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden – 2023.* Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Struktur/statistischer-bericht-kostenstruktur-2040430237005.html

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2026c): *Erdgaspreise für Nicht-Haushalte: Deutschland, Jahre, Jahresverbrauchsklassen, Preisbestandteile*. Datenjahr: 2024. Statistisches Budnesamt. Verfügbar unter: https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/table/61243-0015/table-toolbarF

Umweltbundesamt (UBA) (2025a): *Dekarbonisierung der Prozesswärme in der Industrie: Reformoptionen für die prozessbezogenen Entlastungsregelungen bei der Energie- und Stromsteuer* (S. 88). Verfügbar unter: https://doi.org/10.60810/OPENUMWELT-7592

Umweltbundesamt (UBA) (2025b): *Endverbrauchspreise der Energieträger für die Treibhausgas-Projektionen 2025* (S. 24). Verfügbar unter: https://doi.org/10.60810/OPENUMWELT-7811

Umweltbundesamt (UBA) (2025c): *Energieverbrauch und Energieeffizienz in Deutschland* (Fachgebiet „Energieeffizienz und Wärme"). Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/system/files/document/UBA-EFFiZ_2025_lang.pdf

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM BW) (2013): *Betrieblicher Umweltschutz Baden-Württemberg – Metallbearbeitung.* Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft. Verfügbar unter: https://www.abfallbewertung.org/ipacontent/metall_vollversion_04_02_15.pdf

Weiss, P. (2016): *Energieeffizienz und Abwärmenutzung in der Kunststoffverarbeitung* [Dissertation]. Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abteilung Maschinenbau und Verfahrenstechnik. Verfügbar unter: https://duepublico2.uni-due.de/servlets/MCRFileNodeServlet/duepublico_derivate_00042472/Weiss_Diss.pdf

ZHAW (2025): *White Paper: Nachhaltige Trocknungsprozesse.* ZHAW Life Sciences und Facility Management Institut für Lebensmittel- und Getränkeinnovation. Verfügbar unter: https://www.zhaw.ch/storage/lsfm/dienstleistung/cirvalis/Wissensinhalte/White_Paper_Nachhaltige_Trocknungsprozesse_V10-25.pdf

Publikationen von Agora Industrie

Auf Deutsch

Carbon Capture and Storage (CCS) in der Energiewende zur Klimaneutralität
Der infrastrukturelle und regulatorische Rahmen für CO_2-Transport und -Speicherung

Industriewärme elektrifizieren und Kosten sparen
Potenziale im niedrigen und mittleren Temperaturbereich

Startschuss für grüne Leitmärkte
Wie die Infrastrukturoffensive den Hochlauf von grünem Stahl und Zement beschleunigen kann

Innovationen für morgen: Chancen für eine klimaneutrale Chemieindustrie
Wie die Abkehr von fossilen Rohstoffen die Resilienz des Industriestandorts steigert und neue Jobs schafft

Klimaneutraler Wirtschaftsstandort 2045
Handlungsbedarfe zwischen Konsens und Kontroverse

Industrielle Energieflexibilität ermöglichen
Konzept einer Reform der Sondernetzentgelte für Großverbraucher

Leitmärkte für klimafreundliche Grundstoffe
Potenziale und Politikoptionen

Direkte Elektrifizierung von industrieller Prozesswärme
Eine Bewertung von Technologien, Potenzialen und Zukunftsaussichten für die EU

Reduktion und Regulierung von Embodied-Carbon-Emissionen im deutschen Gebäudesektor
Schaffung von Leitmärkten für klimafreundliche Grundstoffe

Wasserstoffimporte Deutschlands
Welchen Beitrag können Pipelineimporte in den 2030er Jahren leisten?

Resilienter Klimaschutz durch eine zirkuläre Wirtschaft
Perspektiven und Potenziale für energie intensive Grundstoffindustrien

Wasserstoff-Importoptionen für Deutschland
Analyse mit einer Vertiefung zu Synthetischem Erdgas (SNG) bei nahezu geschlossenem Kohlenstoffkreislauf

Chemie im Wandel
Die drei Grundpfeiler für die Transformation chemischer Wertschöpfungsketten

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: www.agora-industrie.de

Publikationen von Agora Industrie

Auf Englisch

The business case for electrifying industrial heat
Evidence from selected EU Member States

Addressing exports under the EU Carbon Border Adjustment Mechanism
Solutions against carbon leakage risks

Achieving climate-neutral steel by 2050
How the steel sector can shift from coal-based to clean production

Breaking new ground: decentralised renewable nitrogen fertilisers
Exploring opportunities and barriers

Green iron trade
Unlocking opportunities for Europe

Decarbonising steel in Southeast Asia
Pathways, opportunities and enablers

Industrial value chain transformation
Renewable hydrogen as an enabler of a just global energy transition

A vision for international trade in CO_2-intensive materials
The role of carbon product requirements

Creating markets for climate-friendly basic materials
Potentials and policy options

Direct electrification of industrial process heat
An assessment of technologies, potentials and future prospects for the EU

9 Insights on Hydrogen – Southeast Asia Edition

12 Insights on Hydrogen – Brazil Edition

Low-carbon technologies for the global steel transformation
A guide to the most effective ways to cut emissions in steelmaking

Circular Economy and Net-Zero Industry
Potentials for energy-intensive value chains in Germany

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: www.agora-industry.org

Publikationsdetails

Über Agora Industrie
Agora Industrie erarbeitet unter dem Dach der Agora Think Tanks wissenschaftlich fundierte und politisch umsetzbare Konzepte für einen erfolgreichen Weg zur klimaneutralen Industrie – in Deutschland, Europa und international. Die Denkfabrik agiert unabhängig von wirtschaftlichen und parteipolitischen Interessen und ist ausschließlich dem Klimaschutz verpflichtet.

Agora Industrie
Agora Think Tanks gGmbH
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2
10178 Berlin | Deutschland
T +49 (0) 30 7001435-000

www.agora-industrie.de
info@agora-industrie.de

Korrektorat/Lektorat: Swea Starke
Satz: Anja Werner
Titelfoto: Rommi | Adobe Stock

402/04-S-2026/DE
Version 1.2, May 2026

Unter diesem QR-Code steht diese Publikation als PDF zum Download zur Verfügung.

Dieses Werk ist lizenziert unter CC-BY-NC-SA 4.0.