Hochschule Niederrhein
University of Applied Sciences
SWK E²
Institut für Energietechnik und Energiemanagement
Institute of Energy Technology and Energy Management

Umweltinstitut München e.V.

Deutsche Umwelthilfe

BELLONA

Kurzstudie

September 2025

Volkswirtschaftliche und betriebwirtschaftliche Bewertung der Energieeffizienz in der Industrie

Marktnahe und wirtschaftliche Energieeinsparpotentiale in der Industrie

Hochschule Niederrhein
University of Applied Sciences
SWK E²
Institut für Energietechnik und Energiemanagement
Institute of Energy Technology and Energy Management

Kurzstudie

Volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Bewertung der Energieeffizienz in der Industrie

Marktnahe und wirtschaftliche Energieeinsparpotentiale in der Industrie

| Stand: September 2025 |

Autoren: Jörg Meyer | Louisa Zaubitzer | Frank Alsmeyer | Andreas Seeliger | Lisa Schmitt

Im Auftrag von Umweltinstitut München e.V., Deutsche Umwelthilfe e.V. und Bellona Deutschland gGmbH

Kurzfassung

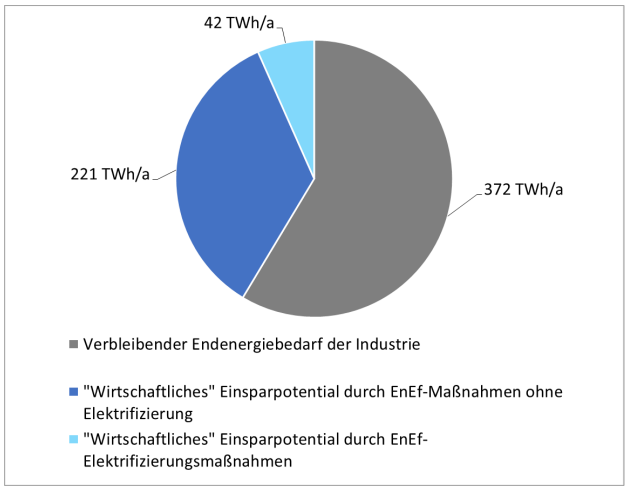
- Energieeffizienz leistet einen wichtigen Beitrag zur Sicherung des Industriestandortes Deutschland: Durch die Umsetzung von **wirtschaftlichen** Endenergieeinsparmaßnahmen (d.h. von Maßnahmen mit positivem Kapitalwert) können 263 TWh/a von den 635,4 TWh/a **Endenergiebedarf** der deutschen Industrie (Stand 2023), also **etwa 40%**, **eingespart** werden. 209 TWh_{th}/a im Bereich Wärme, 54 TWh_{el}/a bei Stromanwendungen.
- Ein großer Teil der wirtschaftlichen Endenergieeinsparmaßnahmen sind sogar **„marktnahe Maßnahmen“**, d.h. sie haben Amortisationszeiten von weniger als 3 Jahren. Die dazu gehörende Einsparung sind **etwa 28%** (176 TWh/a), aufgeteilt in 134 TWh_{th}/a im Bereich Wärme und 42 TWh_{el}/a für Stromanwendungen außerhalb des Bereichs Wärme.
- Die **wirtschaftliche** Endenergieeinsparung aller Maßnahme würde in 2025 eine **Kosteneinsparung** von etwa **29 Mrd. €/a** bedeuten. Die dafür notwendige **Investitionssumme** wird mit insgesamt **104 Mrd. €**[1] abgeschätzt, so dass die mittlere Amortisationszeit bei 3,6 Jahren liegt. Kumuliert über die nächsten 20 Jahre beträgt die gesamte Einsparung bei dem in der Studie beschriebenen Investitionspfad etwa 250 Mrd. €.
- Hinzu kommt der **volkswirtschaftliche Nutzen**: Energieeffizienzmaßnahmen reduzieren nicht nur den Bedarf, sondern auch die Spitzenlast. Wenn 10 GW weniger Gaskraftwerke bis 2045 gebaut werden müssen, würde sich der Investitionsbedarf entsprechend um etwa 10 Mrd. € reduzieren. Hinzu kommen vermiedene Erdgasimportkosten der nicht errichteten Kraftwerke von etwa 1 Mrd. € pro Jahr, so dass sich **alleine bei den Gaskraftwerken** kumuliert über 20 Jahre ein **volkswirtschaftlicher Nutzen von 30 Mrd. €** ergibt.
- Außerdem leisten Energieeffizienzmaßnahmen einen Beitrag zur **Versorgungssicherheit**: Der Importbedarf von fossilen Energieträgern wird reduziert. Ein weiterer Beitrag ist die Unterstützung zur Erreichung internationaler Verpflichtungen der Bundesrepublik und damit ggf. die Vermeidung von konkreten Strafzahlungen für den Bund bzw. für die Steuerzahlenden.
- Weitere positive externe Effekte sind: Mehr Arbeitsplätze in Deutschland, Aufwertung des Kapitalstocks, Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Produktivität sowie Beschleunigung des technischen Fortschritts. Investitionen in Energieeffizienz verlagern außerdem Kapitalflüsse aus dem Ausland (z.B. für Förderung und Transport von Erdgas) ins Inland.
- **Typische Energieeinsparmaßnahmen** sind Dämmung sowie vor allem Abwärmenutzung. Weitere Maßnahmen sind verbessertes Nutzerverhalten, optimierte Steuerung bzw. Regelung, Betriebs- und Wartungsmaßnahmen, Antriebe mit Drehzahlregelung, Einsatz hocheffizienter Motoren oder die Nutzung der freien Kühlung. Die Erneuerung von Anlagen wurde ebenso berücksichtigt wie die Nutzung von Umweltwärme. Die Umstellung auf Wärmepumpe ist besonders im Wärmebereich bis 200 °C eine wichtige Maßnahme. Die gesamte **Einsparung durch Elektrifizierung** von Prozessen bei den Wärmeanwendungen macht etwa 20% der Einsparungen aus.
- Für einzelne Unternehmen bzw. Branchen gibt es selbstverständlich unterschiedliche Potentiale. Aber auch Branchen mit nicht so hohem absolutem Endenergiebedarf, wie zum Beispiel die **Ernährungsindustrie** (47 TWh/a), weisen prozentual ähnliche Ergebnisse auf. Die Maßnahmen sind nur etwas anders (z.B. keine Einsparungen im Hochtemperaturbereich, mehr Wärmepumpenmaßnahmen).
- Die „**energieintensive Industrie**“ ist für 81% (514 TWh/a) des Endenergiebedarfs der deutschen Industrie verantwortlich, daher sind die Ergebnisse sehr vergleichbar mit denen

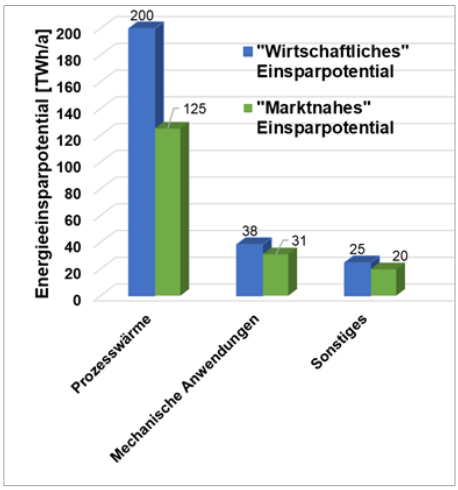
[1] Zur Einordung der Investitionssumme sei auf die Evaluation der „Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft“ vom 31.10.2023 verwiesen. Die Förderzusagen aus diesem Programm lösten 2,1 Mrd. Euro Investitionen im Jahr 2022 aus. [48]

bei der Betrachtung der gesamten Industrie. Bei etwaigen Vergünstigungen für die energieintensive Industrie sollte die **Definition vereinheitlicht** und so angepasst werden, das **Schwellenwerte** entsprechend der nachgewiesenen Endenergieeinsparung **individuell angepasst** werden.

- Obwohl in vielen Unternehmen die Maßnahmen bekannt sind, gibt es **Hemmnisse**, diese umzusetzen. Neben **Liquiditätsbeschränkungen** sind dies auf betrieblicher Ebene insbesondere **fehlende Personalkapazitäten** und der Wunsch nach **kurzen Amortisationszeiten**, anstelle einer Entscheidung auf Basis einer Kapitalwertbetrachtung.
- Darüber hinaus werden Investitionen in Energieeffizienz durch **weitere Hemmnisse** erschwert, die außerhalb des Einflussbereichs des einzelnen Unternehmens oder auch der gesamten Branche liegen. Hier ist vor allem der **politische Regulierungsrahmen** ein wichtiger Faktor. Ein weiteres Hemmnis kann in **Eigentumsstrukturen** liegen.
- **Staatliche Eingriffe** sind prinzipiell kritisch zu betrachten, da diese üblicherweise die Effizienz von funktionierenden Märkten einschränken. Da im Markt für Energieeffizienz offensichtlich ein Marktversagen vorliegt, d.h. es bisher nicht zu einem effizienten Marktergebnis gekommen ist, sollte eine offene Diskussion darüber geführt werden, wie zusätzliche staatliche Unterstützung Energieeffizienz fördern könnte. Hierbei sind verschiedene Instrumente und Eingriffsintensitäten möglich.
- Eine energiesektorale Betrachtung der **Subventionen** kommt zu folgenden Ergebnissen (Planung 2026): 13 der größten 20 Finanzhilfen mit insgesamt 42 Mrd. Euro entfallen auf den Energiebereich (über 70 %), bei den Steuervergünstigungen sind es immerhin noch 7,7 Mrd. Euro (über 40 %). Ein naheliegender Vorschlag wäre, die Vergünstigungen und Zuschüsse zu Energiekosten zu streichen und die freiwerdenden Mittel auf die Energieeffizienzfördermaßnahmen zu verteilen. Dies hätte den Charme, dass keine zusätzlichen Bundesmittel aufgewendet werden müssten.

Einsparpotentiale auf einen Blick:





Im linken Diagramm ist zu erkennen, wie bedeutend die Einsparung bezogen auf den Gesamtendenergiebedarf ist und welchen Anteil die Elektrifizierung von Wärmeanwendungen hat. Das rechte Diagramm zeigt die wirtschaftlichen und marktnahen Einsparpotentiale für die verschieden Gruppen von Anwendungsbereichen.

Inhalt

Einleitung 4

Definition „Energieintensive Industrie“ 5

Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie 7

Betriebswirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen 14

Betrachtung einer ausgewählten Branche (Ernährungsindustrie) 16

Betrachtung der „Energieintensiven Industrie“ 18

Volkswirtschaftliche Betrachtung 19

Hemmnisse zur Umsetzung der Maßnahmen und deren Überwindung 22

Fazit 26

Literaturverzeichnis 28

Einleitung

Der Handlungsdruck auf die Industrie und insbesondere auf die energieintensive Industrie in Deutschland ist im Jahr 2025 sehr hoch. Der Industriesektor ist in Deutschland für den größten Anteil an CO_2-Emissionen verantwortlich, wenn direkte und indirekte Emissionen betrachtet werden. Klimapolitische Vorgaben, herausfordernde Energiepreise und eine komplexe Regulierungslandschaft fordern von Betrieben weitreichende Investitionen in Energieeffizienztechnologien und Elektrifizierung. Besonders betroffen sind Branchen mit hohem Energiebedarf wie die Metall-, Chemie-, Papier- und Ernährungsindustrie, in denen die Erschließung technischer und wirtschaftlicher Einsparpotentiale zunehmend zu einem zentralen Wettbewerbsfaktor wird. Die Reduzierung von Energiebedarf und Energiekosten sowie die Umstellung auf eine CO_2-emissionsfreie Produktion (oft als „Dekarbonisierung“ bezeichnet) sind daher mittlerweile ein „Muss“ für jedes Unternehmen. Für einige Branchen kommt noch hinzu, dass es auch prozessbedingte Emissionen gibt, die ebenfalls vermieden werden müssen, z.B. durch Speicherung. Dies kann ggf. sogar eine Endenergiebedarfserhöhung bedeuten.

Die Motivationen für Energieeinsparmaßnahmen in der Industrie sind unterschiedlich: Sei es um Wettbewerbsvorteile zu generieren, die Anforderungen von Lieferanten zu erfüllen, das Umweltimage zu verbessern oder gesetzliche Vorgaben einzuhalten. Vor diesem Hintergrund gewinnt auch die Entwicklung der Strompreise für industrielle Abnehmer besondere Bedeutung. Entgegen der weit verbreiteten Annahme, dass eine forciert erneuerbare Stromerzeugung zwangsläufig zu steigenden Kosten führe, verdeutlicht eine aktuelle Studie von Agora Energiewende (2025) [1], dass der konsequente Ausbau von Wind- und Solarenergie zu einer deutlichen Absenkung des durchschnittlichen Börsenstrompreises führen kann. So prognostiziert diese Analyse [1], dass bis zum Jahr 2030 mit einem Rückgang von bis zu 23 % gegenüber einem weniger ambitionierten Ausbaupfad zu rechnen ist. Ob auch der Industriestrompreis sinkt, hängt von der Entwicklung der Netzentgelte, Steuern, Abgaben und Umlagen ab [1], [2], [3]. Der Aktionsplan für bezahlbare Energie der Europäischen Kommission [4] geht auch von sinkenden Preisen aus bzw. möchte dies mit acht konkreten, kurzfristigen Maßnahmen unterstützen.

Für die energieintensive Prozesswärmeerzeugung eröffnet dies neue Perspektiven: Sinkende Stromgestehungskosten erhöhen die Attraktivität elektrifizierter Verfahren und machen den Einsatz fossiler Energieträger zunehmend unökonomisch, wenn der Preis für fossile Energieträger gleichbleibt oder steigt. Dadurch entstehen zusätzliche Anreize für Unternehmen, den Transformationsprozess aktiv mitzugestalten und weitere Einsparungen von Energie und CO_2-Emissionen, insbesondere durch Elektrifizierungsstrategien, zu erschließen [1]. Die Elektrifizierung führt zwar zu einem höheren Strombedarf, reduziert aber den gesamten Endenergiebedarf.

Der Endenergiebedarf Deutschlands befand sich im Jahr 2023 auf dem niedrigsten Stand der letzten Jahrzehnte. Der ausschlaggebende Faktor dabei ist, neben den bereits umgesetzten Energieeffizienzmaßnahmen und dem Ausbau der erneuerbaren Energien, die konjunkturelle Situation Deutschlands. In 2024 gab es einen leichten Anstieg des Endenergiebedarfs in Deutschland von 2.251 TWh in 2023 auf 2.255 TWh in 2024[2]. [5], [6]

In der vorliegenden Kurzstudie „Volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Bewertung der Energieeffizienz in der Industrie“ soll aufgezeigt werden, dass Investitionen in energieeffiziente Maßnahmen für Unternehmen wirtschaftlich vorteilhaft sind. Sie orientiert sich in der Methodik und Auswertung an den Studien für die DENEFF aus 2023 [7] bzw. 2024 [8]. Ergänzend zu diesen Studien werden – neben einer Aktualisierung der Daten – die „energieintensive Industrie“ und die Ernährungsindustrie genauer betrachtet. Außerdem wird eine volkswirtschaftliche Bewertung durchgeführt und bei den Energieeinsparmaßnahmen der Effekt der Elektrifizierung (Energieträgerwechsel) gesondert betrachtet.

Zunächst werden in dieser Studie zentrale Begriffe und die Abgrenzung der energieintensiven Industrie definiert, da auch in der energieintensiven Industrie viele sehr wirtschaftliche Energieeinsparmöglichkeiten noch nicht umgesetzt worden sind. Im Anschluss werden im Kapitel „Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie“ wirtschaftliche und marktnahe Einsparpotentiale identifiziert und bewertet. Darin enthalten ist eine Klassifizierung der wichtigsten Endenergieanwendungen und Prozesswärmebereiche sowie eine konkrete Betrachtung der Branche Ernährungsindustrie. Im Prozesswärmebereich wird zwischen allgemeinen Maßnahmen zur Reduzierung des Endenergiebedarfs und „Elektrifizierungsmaßnahmen“ (Energieträgerwechsel) unterschieden. Anschließend bzw. in der Anlage werden konkrete Energieeffizienzmaßnahmen und deren Potentiale beschrieben sowie die Umsetzung dieser Maßnahmen betriebs- und volkswirtschaftlich bewertet. Abschließend stellt das letzte Kapitel die wichtigsten Hemmnisse bei der Umsetzung dar und zeigt Lösungsansätze zur Überwindung dieser Barrieren auf. Dabei werden auch die Subventionen in dem Bereich Energie einbezogen. Ein kurzes Fazit schließt diese Kurzstudie ab.

Definition „Energieintensive Industrie“

Die „Energieintensive Industrie“ wird gesondert betrachtet, da in diesen Bereich ein sehr großer Teil der Subventionen fließt (siehe unten). Eine Steigerung der Energieeffizienz und damit eine Reduzierung des Endenergiebedarfs in diesen Branchen hätte neben dem betriebswirtschaftlichen Vorteil für die Unternehmen auch einen großen volkswirtschaftlichen Vorteil.

Die Klassifizierung eines Unternehmens als "energieintensiv" ist nicht eindeutig definiert oder festgelegt, sondern wird vielmehr durch eine dynamische und kontextabhängige Perspektive bestimmt. In der Praxis existiert eine Vielzahl von Definitionen. [9], [10], [11], [12]

Branchen wie Chemie, Metall, Papier, Zement, Kalk, Keramik oder Glas gelten grundlegend als energieintensiv, da sie im Vergleich zu anderen Sektoren einen hohen absoluten

[2] Die Werte für 2024 lagen zu Beginn der Kurzstudie noch nicht vor. Die Ergebnisse sind aber gut übertragbar, da der Endenergiebedarf von Deutschland sich in 2024 gegenüber 2023 kaum verändert hat.

Endenergiebedarf für die Herstellung ihrer Produkte bzw. sehr hohe Energiekosten haben. Verschiedene Vorschriften und Fördermaßnahmen berücksichtigen zudem bestimmte quantitative Grenzwerte, wie beispielsweise einen bestimmten jährlichen Endenergiebedarf bzw. jährliche Energiekosten anteilig von der Bruttowertschöpfung.

Die diversen Ansätze führen allerdings zu individuellen Herausforderungen: Wenn die Zuordnung ausschließlich anhand des absoluten Gesamtendenergiebedarfs erfolgt, werden normalerweise lediglich große Industriezweige wie die Metallerzeugung und -verarbeitung oder die Chemieindustrie und große Industriebetriebe als energieintensiv betrachtet. Dies birgt das Risiko von Fehleinstufungen: (1) Wenn Unternehmen fälschlicherweise aufgrund ihrer Branche als energieintensiv eingestuft werden, obwohl ihr tatsächlicher Energiebedarf und die Energieintensität nicht hoch sind. (2) Wenn kleinere Betriebe – oft KMUs[3] – oder Branchen wie die Ernährungsindustrie übersehen werden, obwohl auch bei Betrieben der Ernährungsindustrie oft der Anteil der Energiekosten an den Produktionskosten sehr hoch ist. Es kann auch dazu führen, dass wichtige Betriebe aus Förderprogrammen oder Regulierungspflichten ausgeschlossen werden, obwohl sie trotz einer hohen Energieintensität ihrer Produktion die in den Vorschriften genannten Schwellenwerte nicht erreichen.

Die verschiedenen Herangehensweisen an Definitionen stellen auch zusätzliche Schwierigkeiten dar. Unterschiede in Branchen und Technologien, schwankende Energiekosten und kontinuierliche Innovationen können dazu führen, dass Unternehmen je nach Situation in die Kategorie "energieintensiv" gehören oder aus ihr herausfallen. Starre Grenzziehungen können dazu führen, dass Unternehmen, die knapp über oder unter einem bestimmten Wert liegen, unabhängig von ihrer tatsächlichen Energieeffizienz oder wirtschaftlichen Bedeutung, Fehlanreize oder ökonomische Benachteiligungen erfahren. Die Unklarheiten zeigen, dass eine Definition, die ausschließlich auf absoluten Bedarfswerten oder der Zugehörigkeit zu einer bestimmten Branche basiert, die tatsächliche Energieintensität eines Industriebetriebes nicht angemessen darstellt. Deshalb wird zunehmend von Wissenschaft und Praxis vorgeschlagen, eine genauere Analyse anhand von relativen Kennzahlen wie dem Anteil der Energiekosten an der Bruttowertschöpfung oder den Produktionskosten durchzuführen, um eine umfassendere und gerechtere Bewertung zu ermöglichen.

Gemäß der EU-Energiesteuerrichtlinie 2003/96/EG [10] gelten Unternehmen als energieintensiv, wenn ihre jährlichen Energiekosten mindestens drei Prozent des Produktionswerts oder die zu entrichtende nationale Energiesteuer mindestens 0,5% des Mehrwertes beträgt. Diese Definition legt einen praxisorientierten Regelungsrahmen fest, der jedoch Spielraum für individuelle Anpassungen auf nationaler und branchenspezifischer Ebene lässt. Deshalb ist es sinnvoller, eine flexible und kontextabhängige Nutzung verschiedener Maßstäbe zu verwenden, um die tatsächliche Energieintensität von Unternehmen angemessen zu messen. Auf diese Weise können sowohl die typischen Branchen, als auch Unterbranchen der Ernährungsindustrie inkludiert werden.

Die Autoren schlagen vor, einheitlich – also für jeden Betrieb und jede Branche – die Definition der EU-Energiesteuerrichtlinie 2003/96/EG zugrunde zu legen, den Schwellenwert aber jedes Jahr individuell so zu reduzieren, dass die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen nicht behindert wird, da eine Umsetzung zu einer Reduzierung der Energiekosten führt und damit zu einer Unterschreitung des Schwellenwertes[4]. Der Schwellenwert würde entsprechend der nachgewiesenen Endenergieeinsparung individuell reduziert.

[3] KMU = Kleines oder mittelständisches Unternehmen (siehe EU-Empfehlung 2003/361)

[4] Vereinfachtes Beispiel: Energie 950.000 €/a, Produktionswert 30 Mio. €/a → 3,20% > 3,00 % (Schwellenwert). Nach Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen: Energie 880.000 €/a, Produktionswert 30 Mio. €/a → 2,93%. Das ist < 3,00 %, also Unternehmen ist nicht mehr energieintensiv. Also Anpassung Schwellenwert auf 2,93%/3,20% = 0,92 und 0,92*3% = 2,76%. Mit 2,93% > 2,76% → Unternehmen weiterhin energieintensiv.

Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie

Nach kurzer Erläuterung der hier angewandten Methodik werden die Potentiale für einzelne Anwendungsbereiche der Industrie konkret beschrieben und anschaulich dargestellt.

Methodik

Ein großer Teil der im Industriesektor eingesetzten Endenergie von 635 TWh/a (2023)[5] wird auch zukünftig noch benötigt, um Produkte herzustellen [13]. Wie viel Prozent dieses Endenergieeinsatzes künftig reduziert wird, hängt vom Stand der Technik, dem Wissensstand der Entscheider über die technischen Möglichkeiten, den Energiepreisen sowie politischen und wirtschaftlichen (u. a. gewünschte Rendite, Investitionsrisiko) Rahmenbedingungen ab.

Mit einer rein technischen Betrachtung kann der zukünftige Endenergiebedarf der Industrie sehr gut abgeschätzt werden. Wie in den Studien [7] und [8] werden auch in dieser Studie drei Arten von Potentialen unterschieden:

- das Endenergieeinsparpotential, d. h. die Möglichkeiten zur Reduzierung von Strom-, Brennstoff- und Wärmemengen;
- das Endenergiekostensenkungspotential, d. h. die Möglichkeiten zur Reduzierung der Kosten für Strom, Brennstoff und Wärme sowie
- die erforderlichen Investitionssummen zur Umsetzung der oben genannten Potentiale, die aus Sicht der Lösungsanbieter auch als Marktpotential bezeichnet werden kann.

Außerdem werden Potentiale für verschiedene Rahmenbedingungen ermittelt:

- „Gesamtes Potential“: Alle möglichen Maßnahmen werden aufaddiert – unabhängig davon, ob die Maßnahme wirtschaftlich ist oder nicht. Bei sich gegenseitig beeinflussenden Maßnahmen werden die Einsparungen der einzelnen Maßnahmen gewichtet (gilt auch für die beiden anderen Potentiale).
- „Wirtschaftliches Potential“: Es umfasst nur Maßnahmen, die über ihre Nutzungsdauer wirtschaftlich sind, d. h. der Kapitalwert[6] der Energieeffizienzmaßnahme ist positiv. Dabei wird eine Eigenkapitalverzinsung von 8%, übliche individuelle Nutzungsdauern sowie eine Preisentwicklung bei Strom- und Wärmepreis angenommen. Der Strompreis bis 2029 orientiert sich an den EEX-Baseload-Preisen[7], d.h. zwischen 2025 und 2029 wird ein durchschnittlicher Börsenpreis von 93 €/MWh angenommen und daraus abgeleitet ein Unternehmensstrompreis von 181 €/MWh. Ab 2030 werden sinkende Börsenpreise und steigende Netzentgelte angenommen. Beim Erdgaspreis wird ähnlich vorgegangen: Bis 2029 werden THE-Kalenderjahr-Preise zugrunde gelegt[8]. Der Wärmepreis bis 2029 setzt sich aus der Aufteilung der Prozesswärme in Energieträger nach [13] zusammen: 7,7% Strom, 50,1% Erdgas, 3,0% Öl, 23,2% Kohle und 16,0% Wärme. Der Wärmepreis für 2060 berücksichtigt eine neue Aufteilung der Energieträger (80 % Strom, 20% Wärme) und einen Unternehmensstrompreis von 195 €/MWh.

---

5 In dieser Studie werden die Daten des Statistischen Bundesamtes [25] für das Jahr 2023 verwendet und alle energetisch genutzten Energieträger außer Erd- und Umweltwärme für Wärmepumpen und Solarthermie werden als Endenergie betrachtet. Die Doppelzählung von Brennstoffen zur Stromerzeugung in eigenen Anlagen und dem erzeugten Strom [50] wird mithilfe der Daten des Statistischen Bundesamtes zur eigenen Stromerzeugung [49] und Auswertungen der AGEB zu Kraft-Wärme-Kopplung in der Industrie [51] bereinigt.

6 Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme erfolgt mit dem Kapitalwert (siehe VALERI-Norm [42]. Es wird ein interner Zinssatz von 8% und individuelle Nutzungsdauern (u.a. auch Afa-Tabellen) angenommen. Der Zinssatz wurde zwischen 4% und 12% variiert. Die Auswirkungen auf die Ergebnisse sind so gering, dass in dieser Studie die Szenarien nicht detailliert dargestellt werden.

7 Grundlagen für die Strompreisfestlegung sind die EEX-Frontyear-Baseload-Werte von 2026 bis 2029 vom 25.08.2025 zuzüglich 6,0 ct/kWh Netzentgelte, 2,8 ct/kWh Abgaben und Umlagen (inklusive 0,05 ct/kWh Steuern).

8 Grundlagen für die Erdgaspreisfestlegung sind die THE-Kalenderjahr-Werte von 2026 bis 2029 vom 25.08.2025 zuzüglich 1,14 ct/kWh Netzentgelte sowie 3,11 ct/kWh Abgaben, Umlagen und Steuern.

- „Marktnahes Potential“: Es berücksichtigt, dass wirtschaftliche Maßnahmen in der Regel nur dann umgesetzt werden, wenn die geforderte statische Amortisationsdauer (Payback, hier: drei Jahre[9]) erfüllt ist. Das „Marktnahe Potential“ ist ein Teil des „Wirtschaftlichen Potentials“.

Für eine detailliertere Erläuterung der angewandten Methodik wird auf die Studien [7], [8] und [15] verwiesen. Dort ist auch die angewandte Methodik zur Bestimmung der Potentiale grafisch dargestellt und erläutert. Die zugrunde gelegten Annahmen zu den in den Berechnungen berücksichtigten Einsparmaßnahmen (Einsparpotential, schon umgesetztes Einsparpotential, Investitionssumme, Amortisationszeiten etc.) basieren auf Erfahrungs- und Literaturwerten. Durch entsprechende Summenbildung über alle relevanten Technologien bzw. über die betrachteten Anwendungsbereiche kann sowohl das gesamte, das wirtschaftliche als auch das marktnahe Potential der Industrie für Deutschland bestimmt werden. Die betrachteten Anwendungsbereiche sind „Motion“ (Pumpen, Ventilatoren, Gebläse, Motoren, Antriebe, Maschinen etc.), Druckluft, Prozesskälte, Klimakälte, Beleuchtung, IT, Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme. Diese Bereiche wurden in den Grafiken zu drei Gruppen zusammengefasst: (1) Prozesswärme, (2) Mechanische Anwendungen („Motion“, Druckluft, Prozesskälte, Klimakälte) und (3) Sonstiges (Raumwärme, Warmwasser, IT, Beleuchtung).

Bei der Prozesswärme werden verschiedene Temperaturbereiche betrachtet. Dabei wird mit einer Betrachtung entlang der Abwärmenutzungskaskade begonnen und damit dem Prinzip „Efficiency first“ gefolgt, welches in verschiedenen Studien [14], [15], [16] oder [17] und auch in der Richtlinie 2012/27/EU (Energieeffizienzrichtlinie bzw. Energy Efficiency Directive, EED) in Artikel 1 Satz 3 genannt wird. Die Abwärmenutzungskaskade umfasst dabei Maßnahmen zur Vermeidung von Abwärme, Wärmerückgewinnung/-integration und inner- sowie überbetriebliche Abwärmenutzung [25]. Darüber hinaus werden erneuerbare Wärmequellen wie Solar- oder Geothermie als Maßnahmen in den geeigneten Temperaturbereichen berücksichtigt. Zuletzt werden alternative Technologien bzw. Verfahren der Prozesswärmebereitstellung (bspw. Elektrifizierung) einbezogen. Hierbei werden für in einem Temperaturbereich stark vertretene Branchen repräsentative Technologien ausgewählt und durch die energieeffizienteste Alternativtechnologie ersetzt. Die Zusammenstellung der Maßnahmen und Alternativtechnologien berücksichtigt dabei diverse Studien [7], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22] und [23].

Bei der Ermittlung der Endenergieeinsparpotentiale wird für jede Maßnahme ein Anteil bereits erfolgter Umsetzungen abgeschätzt und vom Einsparpotential abgezogen. Hier wird insbesondere berücksichtigt, dass einige Unternehmen bereits ein etabliertes Energiemanagementsystem haben.

Da sich die Maßnahmen gegenseitig beeinflussen, werden die Einsparungen der einzelnen Maßnahmen gewichtet und je nach Anwendungsbereich wird ein Einsparpotential in Prozent ausgewiesen. Mit diesem Prozentwert sowie dem Endenergiebedarf nach [24] wird das Einsparpotential in TWh/a für die einzelnen Anwendungsbereiche ermittelt. Nach einer Normierung der einzelnen Prozentwerte der Maßnahmen innerhalb einer Anwendung können dann Einsparpotentiale in TWh/a für die Maßnahmen in den einzelnen Anwendungsbereichen berechnet werden. So wird verdeutlicht, mit welchen Maßnahmen in den einzelnen Anwendungsbereichen Einsparpotentiale erschlossen werden können.

Im nächsten Schritt wird eine kurze und eine lange mittlere Amortisationszeit pro Maßnahme ermittelt bzw. abgeschätzt. Die beiden Amortisationszeiten werden nach Häufigkeit gewichtet.

[9] Aber auch eine statische Amortisationsdauer von drei Jahren oder weniger garantiert noch keine Umsetzung, da weitere nicht-ökonomische Barrieren wie Präferenzstrukturen etc. dieser entgegenstehen können (siehe Abschnitt Hemmnissen weiter hinten im Text).

Mit dem Energiekostensenkungspotential und den Amortisationszeiten wird dann die notwendige Investitionssumme (= das Marktpotential) bestimmt. Durch entsprechende Summenbildung über die Anwendungsbereiche bzw. bei der Prozesswärme zusätzlich über die einzelnen Temperaturbereiche kann danach sowohl das wirtschaftliche als auch das marktnahe Energieeinsparpotential der Industrie für Deutschland bestimmt werden.

Bei der Prozesswärme werden wie oben erläutert verschiedene Temperaturbereiche betrachtet. Die Einsparungen der einzelnen Maßnahmen werden so miteinander verrechnet, dass je Temperaturbereich ein Einsparpotential in Prozent ausgewiesen wird. Mit diesem Prozentwert sowie dem Endenergiebedarf nach [24] wird ein Einsparpotential in TWh/a je Temperaturbereich ermittelt. Nach einer Normierung der einzelnen Prozentwerte der Maßnahmen innerhalb eines Temperaturbereichs können dann Einsparpotentiale in TWh/a für die Maßnahmen in den einzelnen Temperaturbereichen berechnet werden. Anschließend werden mit der angenommenen Wärmepreisentwicklung die wirtschaftlichen Energiekostensenkungspotentiale bestimmt. Die dafür notwendigen Investitionssummen (Marktpotentiale) werden wie bei den anderen Anwendungsbereichen ermittelt.

Trotz gewissenhafter Analysemethodik und einer gebotenen Sorgfalt und Gründlichkeit bei den verschiedenen Auswertungen bleiben einige Punkte, die eine kritische Würdigung im Hinblick auf die Aussagekraft und Belastbarkeit der Ergebnisse bedingen. Die ermittelten Endenergieeinsparpotentiale beziehen sich immer auf die deutsche Industrie in ihrer Gesamtheit. Auf der Ebene der individuellen Unternehmen fallen die relativen Potentiale – je nach Branche, Art der Produktion, Umsetzungsstand von Energieeffizienzmaßnahmen, vorhandener Infrastruktur, etc. – unterschiedlich aus. Auch bezüglich der Amortisationszeiten ist es im Falle individueller Unternehmen durchaus möglich, dass das eingesetzte Kapital schneller oder langsamer zurückfließt als hier angenommen. Des Weiteren hat die Festlegung der Energiepreise einen großen Einfluss (Differenzen je nach Unternehmensgröße und Energiebedarf). Dies hat auch deshalb einen besonderen Einfluss, weil der Zeitpunkt der Umsetzung der Maßnahmen nicht betrachtet wird (abhängig vom Modernisierungszyklus individueller Anlagen). Weitere Erläuterungen zu Annahmen, Datenbasis und Methodik sind in Anlage 1 aufgeführt.

Beschreibung konkreter Maßnahmen und zugehöriger Endenergieeinsparpotentiale

In Anlage 2 werden konkrete technische und organisatorische Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz detailliert beschrieben. Dazu gehören zum Beispiel (die Reihenfolge der Auflistung orientiert sich grob an dem aufsteigenden Investitionsaufwand der Maßnahmen):

- Verbessertes Nutzerverhalten
- Dämmung von Rohrleitungen, Armaturen, Maschinen | Schutz vor Wärmeeintrag bzw. Wärmeverlust
- Betriebs- und Wartungsmaßnahmen: Hydraulischer Abgleich, Beseitigung von Druckluftleckagen, Reinigung der Wärmeübertragerflächen, …
- Optimierte Steuerung/Regelung: Anpassung von Parametern (Temperatur, Druck, …), Anpassung von Betriebszeiten und Betriebsarten (Volllast, Teillast, …), Antriebe mit Drehzahlregelung, Rückspeisung, Automatisierung und Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI)
- Wärmerückgewinnung, Freie Kühlung
- Nutzung von Umweltwärme (insbesondere über Wärmepumpe, ggf. Solarthermie)
- Wärme: Elektrifizierung
- Anlagenerneuerung: Einsatz von energieeffizienten, bedarfsangepassten Neuanlagen (Maschinen, Geräte, Beleuchtung, …) | Einsatz hocheffizienter Motoren
- Modernisierung / Verringerung Transmissionswärmeverluste (Fenster, Wand, Dach, …)

Der Industriesektor in Deutschland benötigte 635 TWh Endenergie in 2023[10] [25]. Diese teilte sich auf in 190 TWh_{el} elektrische Energie und eine Brennstoff- bzw. Wärmemenge von 446 TWh_{th}. Insbesondere die Anwendungsbereiche „Prozesswärme“ (Dampf, direkter Brennstoffeinsatz in Trocknern oder Öfen etc.) mit 426 TWh (67%) und „Motion“ (Pumpen, Ventilatoren, Gebläse, Motoren, Antriebe, Maschinen etc.) mit 122 TWh (19,2% des Gesamtenergiebedarfs bzw. 65 % des Bedarfs für Stromanwendungen außerhalb des Bereichs Wärme) machen einen großen Anteil des Gesamtenergiebedarfs in der Industrie aus und bieten damit erhebliches Potential zur Einsparung von Energie. [25]

Die Analyse im Rahmen dieser Studie hat ergeben, dass das wirtschaftliche Energieeinsparpotential (d.h. Umsetzung von Maßnahmen mit positivem Kapitalwert) insgesamt etwa 40% des Endenergiebedarf der deutschen Industrie in Höhe von 635 TWh ist, also 263 TWh/a. Dieses Potential setzt sich zusammen aus 209 TWh_{th}/a im Bereich Wärme und 54 TWh_{el}/a für Stromanwendungen außerhalb des Bereichs Wärme. Mit der angenommenen Energiepreisentwicklung ist die Kosteneinsparung bei Umsetzung aller wirtschaftlichen Maßnahmen 29 Mrd. €/a. Die berechnete Investitionssumme für die Maßnahmen zur Erschließung dieser Potentiale ist insgesamt 104 Mrd. €,[11] so dass sich eine mittlere Amortisationszeit von 3,6 Jahren ergibt.

Abbildung 1 zeigt neben dem oben genannten, über alle Anwendungsbereiche kumulierten wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotential von 263 TWh/a auch das marktnahe Endenergieeinsparpotential von 176 TWh/a. Die Abbildung zeigt auch, wie viel die Maßnahmen (in Prozent) der verschiedenen Anwendungsbereiche zum Gesamtpotential beitragen.

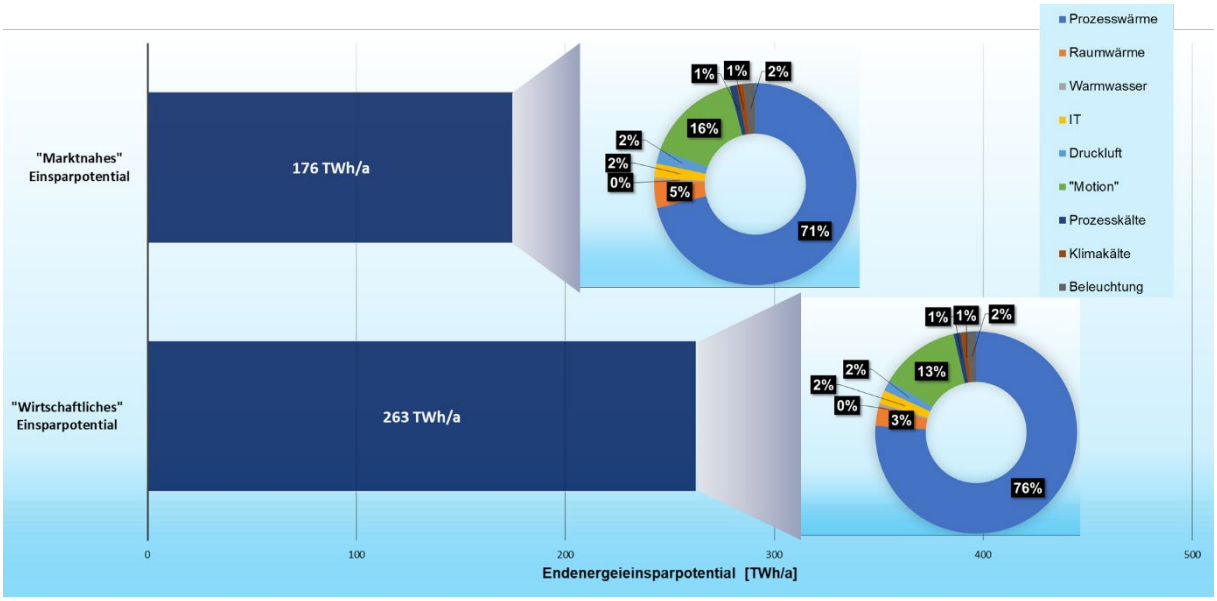


Abbildung 1: Summe jährlicher Endenergieeinsparpotentiale in der Industrie in TWh/a und Aufteilung nach Anwendungsbereichen in Prozent.

176 TWh/a marktnahes Endenergieeinsparpotential im Vergleich zu 263 TWh/a wirtschaftliches Endenergieeinsparpotential bedeutet, dass aufgrund einer Amortisationszeit von mehr als drei Jahren jährlich ein Energieeinsparpotential von knapp 88 TWh wahrscheinlich in der

[10] Die 2024er Werte lagen zu Beginn der Kurzstudie noch nicht vor. Die Ergebnisse sind aber gut übertragbar, da – siehe oben – der Endenergiebedarf von Deutschland sich in 2024 gegenüber 2023 kaum verändert hat.

[11] Zur Einordnung: Die gesamten Bruttoinvestitionen in der Bundesrepublik Deutschland beliefen sich 2024 auf 906 Mrd. Euro. Unter Berücksichtigung der Abschreibungen verblieben Nettoinvestitionen von 19 Mrd. Euro. Hierbei ist anzumerken, dass die Nettoinvestitionen in 2024 sich auf einem sehr niedrigen Niveau befanden. In den 10 Vorjahren bewegte sich der Wert zwischen 51 und 122 Mrd. Euro pro Jahr. [47]

Industrie nicht erschlossen würde, obwohl dies mit wirtschaftlichen Maßnahmen (positiver Kapitalwert) umsetzbar wäre. Die Umsetzung des marktnahen Energieeinsparpotentials (in dem wirtschaftlichen Energieeinsparpotential enthalten) entspräche etwa 28% des Endenergiebedarfs der deutschen Industrie (= 176 TWh/a), aufgeteilt in 134 TWh_{th}/a im Bereich Wärme und 42 TWh_{el}/a für Stromanwendungen außerhalb des Bereichs Wärme.

Die folgende Abbildung 2 verdeutlicht, dass insbesondere die Anwendungsbereiche „Prozesswärme“ und „Mechanische Anwendungen“ im Industriesektor sehr große sowohl wirtschaftliche als auch marktnahe Energieeinsparpotentiale aufweisen.

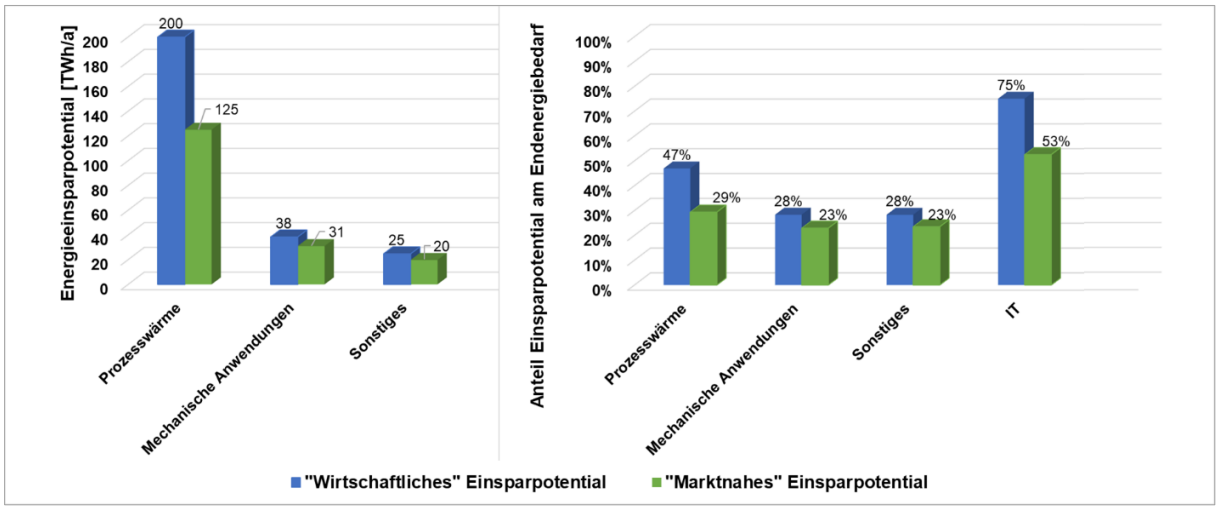


Abbildung 2: "Wirtschaftliches" und "marktnahes" Energieeinsparpotential in TWh/a für die Anwendungsbereiche im Vergleich (linkes Diagramm). Das rechte Diagramm zeigt die prozentualen Einsparungen bezogen auf den Endenergiebedarf der Anwendungsbereiche.

Abbildung 2 zeigt unter anderem auch, dass die Differenz zwischen „wirtschaftlichem“ und „marktnahem“ Energieeinsparpotential im Bereich „Prozesswärme“ am größten ist. Ein Grund für diese Tatsache sind die vergleichsweise hohen Investitionen[12], die für Energieeffizienzmaßnahmen in diesem Anwendungsbereich oft getätigt werden müssen.

Eine weitere interessante Erkenntnis ist, dass in allen Anwendungsbereichen mehr als 20% Endenergie eingespart werden kann (rechte Seite in Abbildung 2). Im Bereich Informations- und Kommunikation (IT) sind es sogar über 50%.

Den größten Teil der wirtschaftlichen Einsparungen im Bereich Prozesswärme erzielen die Maßnahmen „Dämmung von Rohrleitungen, Armaturen, Maschinen, Gebäuden“ und vor allem die betriebliche „Nutzung von Abwärme“ durch Wärmerückgewinnung. Weitere wichtige Maßnahmen sind hier das „Verbesserte Nutzerverhalten“ und die “Optimierte Steuerung/Regelung (Parameter etc. anpassen)“ sowie „Betriebs- und Wartungsmaßnahmen: Hydraulischer Abgleich, Reinigung der Wärmeübertragerflächen, …“. Die Elektrifizierung von Prozessen (Energieträgerwechsel) kann ebenfalls zu einer Reduzierung des Endenergiebedarfs führen, z.B. beim Einsatz von Wärmepumpen (siehe unten). Einige der hier berücksichtigten Elektrifizierungsmaßnahmen zum Erreichen des 80%-Stromanteil für die Berechnung des Wärmepreises für 2060 sind aber keine Energieeffizienzmaßnahmen, sondern erhöhen ggf. sogar den Endenergiebedarf.

[12] Ein weiterer Grund ist, dass die Brennstoff- bzw. Wärmepreise in der Vergangenheit auf einem niedrigen Niveau und deutlich günstiger als die Strompreise waren.

Die zuerst genannten Maßnahmen sind sehr förderlich für die Elektrifizierung, da die benötigte Strommenge reduziert wird: Weniger Wärmebedarf bedeutet weniger Strom für Elektrifizierung. Diese Effizienzmaßnahmen (bspw. Maßnahmen zur Vermeidung von Abwärme, Wärmerückgewinnung/-integration und Abwärmenutzung) sollten daher mit hoher Priorität umgesetzt werden bzw. die Energieeffizienz sollte bei Elektrifizierungsmaßnahmen immer mitgedacht werden. Dadurch verkleinert sich die Wärmemenge, die durch die elektrische Wärmebereitstellung (Elektrifizierung) zur Verfügung gestellt werden muss, und auch die Anlagengröße bzw. die damit verbundenen Investitionssummen.

Zur Einordnung der hier abgeschätzten 200 TWh_{th}/a Einsparung im Bereich Prozesswärme ist ein Vergleich mit der an die Plattform für Abwärme (PfA) gemeldeten Wärmemenge interessant. Die 243 TWh_{th}/a, die von über 3.000 Firmen bis zum 29. Juli 2025 an die PfA gemeldet worden sind, habe die gleiche Größenordnung [26]. Die Werte sind aber nicht direkt vergleichbar, da unterschiedliche Wärmemengen betrachtet werden.

Auf der PfA sind nur geführte Abwärmemengen gemeldet, die zum Zeitpunkt der Meldung nicht selber genutzt werden können. Und die bestimmte Schwellenwerte überschreiten. Außerdem sind nur Unternehmen mit einem gemittelten Gesamtendenergieverbrauch > 2,5 GWh/a verpflichtet, auf der PfA eine Meldung zu machen. Und die verpflichteten Firmen sind nicht nur Industrieunternehmen. Etwa 67% der hier genannten Abwärmemengen haben weniger als 60 °C [26].

In der hier vorliegenden Studie wurden alle Industriebetriebe, also auch die mit einem gemittelten Gesamtendenergieverbrauch < 2,5 GWh/a, und alle Abwärmemengen (also auch diffuse Abwärmen und ohne Schwellenwerte) berücksichtigt, die selber wirtschaftlich genutzt werden können. Abwärmemengen mit weniger als 60 °C wurden in der Studie als nutzbar festgelegt, da mit Wärmepumpen die Temperatur auf ein nutzbares Niveau gehoben werden kann und somit fossilen Energieträgern erzeugte Prozesswärme von bis zu 200 °C ersetzt werden kann.

Abbildung 3 zeigt das gesamte wirtschaftliche Endenergieeinsparpotential von 263 TWh/a, aufgeteilt in 209 TWh/a (42 TWh/a + 167 TWh/a) Endenergieeinsparung im Bereich Wärme und 54 TWh/a bei den Stromanwendung ohne Wärme. Die Einsparung im Bereich Wärme ist unterteilt in den Einsparungen je Temperaturbereich und die Einsparung durch Elektrifizierung.

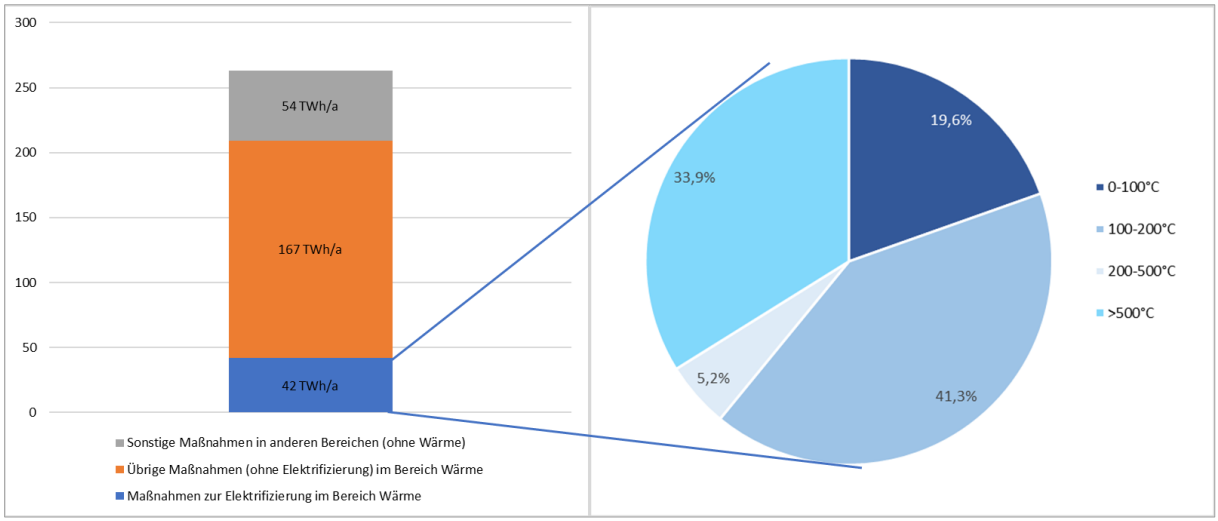


Abbildung 3: Linkes Diagramm: „Wirtschaftliches“ Einsparpotential durch Elektrifizierung (blau) im Vergleich zu übrigen Maßnahmen im Bereich Wärme (orange) und zu allen Maßnahmen (grau). Das rechte Diagramm zeigt die prozentuale Aufteilung des Einsparpotentials durch Elektrifizierung (42 TWh/a) auf verschiedene Temperaturniveaus.

Die Elektrifizierung von Prozessen macht etwa 20% der Energieeinsparmenge im Bereich Wärme aus (42 TWh/a), da in vielen Fällen bei der Elektrifizierung nur wenig Endenergie eingespart werden kann (nur Ersatz von Erdgas etc. durch Strom). Ausnahme bildet hier die oben erwähnte Wärmepumpe, die den Endenergiebedarf deutlich reduziert, da der größte Teil der Energie aus kostenloser Umweltwärme oder aus Abwärme kommt. Der Einbau von Wärmepumpen führt zu Einsparungen von 50% bis 85% pro Maßnahme – ist aber meist mit hohen Investitionen verbunden und unter den in dieser Studie angenommenen Preisen oft nicht wirtschaftlich. Das rechte Diagramm in Abbildung 3 zeigt, dass das Einsparpotential in den Bereichen bis 0 °C bis 100 °C und 100 °C bis 200 °C größer als in den beiden Bereichen > 200 °C ist. In dem Bereich bis 200 °C können Wärmepumpen eingesetzt werden. Insgesamt können etwa 22 TWh/a von den 42 TWh/a durch Wärmepumpenanwendungen eingespart werden.

Prozesse mit Temperaturen von mehr als 200 °C kommen überwiegend in der energieintensiven Industrie vor. Hier ist es passend, kurz auf das Thema Prozessemissionen einzugehen. Neben den CO_2-Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern sind auch CO_2-Emissionen aus Prozessen in diesen Industrien vorhanden. Eine Reduzierung / Vermeidung dieser Emissionen kann auch zu einem höheren Endenergiebedarf führen. Dies wird hier aber nicht weiter betrachtet.

Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt den gleichen Sachverhalt wie das rechte Diagramm in Abbildung 3. Jedoch wurden die Branchen Chemie (Grundstoffchemie), Metallerzeugung und Steine & Erden im Vergleich zu den anderen Branchen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass in den Branchen Chemie (Grundstoffchemie), Metallerzeugung und Steine & Erden (linkes Kuchendiagramm in Abbildung 4) ein großer Teil der Endenergieeinsparung im Bereich größer als 500 °C liegt – größtenteils durch Prozessumstellung bzw. neue Anlagen. Nicht berücksichtigt wurde ein erhöhter Bedarf durch Vermeidung von Prozessemissionen (siehe Anmerkung oben). Für die große Endenergieeinsparung in den Bereichen bis 200 °C bei den anderen Branchen (rechtes Kuchendiagramm in Abbildung 4) in insbesondere Maßnahme Umstellung auf Wärmepumpe verantwortlich.

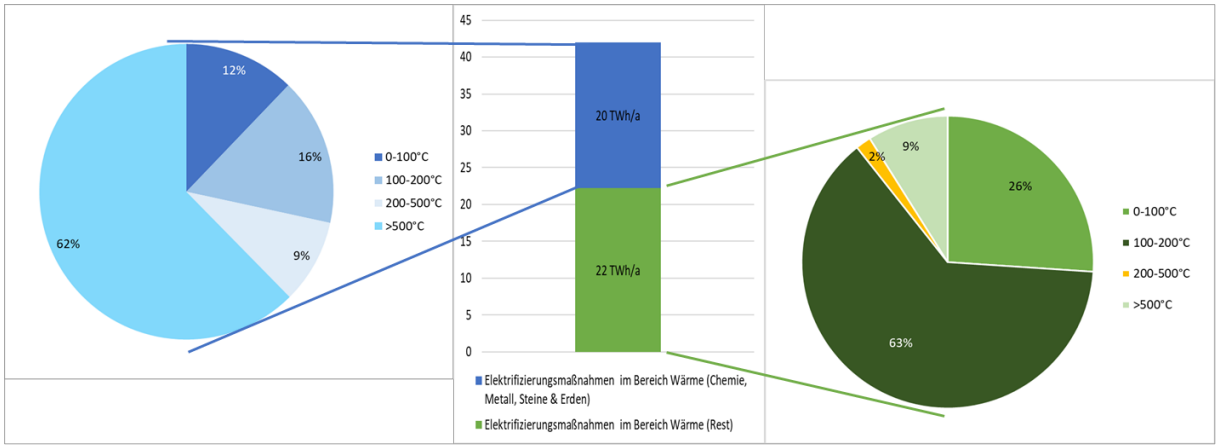


Abbildung 4: Endenergieeinsparpotential durch Elektrifizierung im Bereich Wärme in den Branchen Chemie, Metallerzeugung und Steine & Erden im Vergleich Einsparpotential durch Elektrifizierung im Bereich Wärme in den restlichen Branchen. Beides inklusive Aufteilung auf vier Temperaturniveaus.

Betriebswirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen

An dieser Stelle sei noch einmal betont, dass alle hier aufgeführten Ergebnisse stark von den Annahmen (Preise, Investitionssummen, Zinssätze etc.) im Modell abhängig sind. Eine Betrachtung der monetären Einsparpotentiale in Milliarden Euro pro Jahr ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Anwendungsbereiche wurden hier – wie oben beschrieben – in drei Gruppen zusammengefasst.

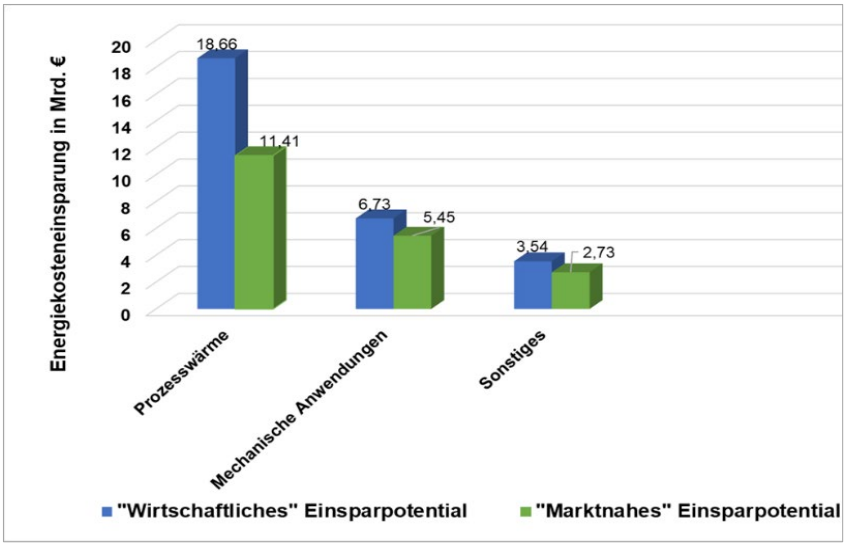


Abbildung 5: "Wirtschaftliches" und "marktnahes" Energiekosteneinsparpotential in Mrd. €/a für die Anwendungsbereiche im Vergleich.

In Abbildung 5 ist zu erkennen, dass Maßnahmen bei den Stromanwendungen an Relevanz gewinnen. Die marktnahe Energiekosteneinsparung der Gruppe „Mechanischen Anwendungen“ sind zum Beispiel etwa 50% der Einsparung der Gruppe „Prozesswärme“. Bei der Endenergieeinsparung ist der Anteil nur 25% (siehe Abbildung 2). Grund hierfür ist der im Vergleich zum Wärmepreis deutlich höheren Strompreis in den ersten betrachteten Jahren.

Abbildung 6 zeigt neben den wirtschaftlichen Einsparpotentialen die Einsparpotentiale für die verschiedenen Anwendungsbereiche (Größe der Kreise und Zahlenwert in TWh/a), die Investitionssumme (= Marktpotential) in Mrd. € (x-Achse, logarithmisch) und die angenommene durchschnittliche Amortisationszeit (y-Achse). Hier werden ebenfalls die großen Energieeinsparpotentiale in den Anwendungsbereichen „Prozesswärme“, „Motion“ und „Raumwärme“ im Industriesektor deutlich.

Ein weiteres Ergebnis der Berechnungen in dieser Kurzstudie ist, dass für die Erschließung des oben genannten marktnahen Energieeinsparpotentials von etwa 176 TWh/a eine Investitionssumme von insgesamt etwa 40 Mrd. € erforderlich ist. Im Falle individueller Unternehmen ist es durchaus möglich, dass auch Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt werden, die längere Amortisationsdauern aufweisen. Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass dies aktuell in der Breite geschieht.

Auf Grundlage der identifizierten Maßnahmen werden typische Amortisationszeiten, Investitionssummen und wirtschaftliche Einsparpotentiale dargestellt. Die Bewertung erfolgt aus betriebswirtschaftlicher Perspektive, unter Annahmen zu realistischen Energiepreisen und Kapitalverzinsung (siehe oben). Ziel ist es, die Attraktivität der Maßnahmen für einzelne Unternehmen sichtbar zu machen.

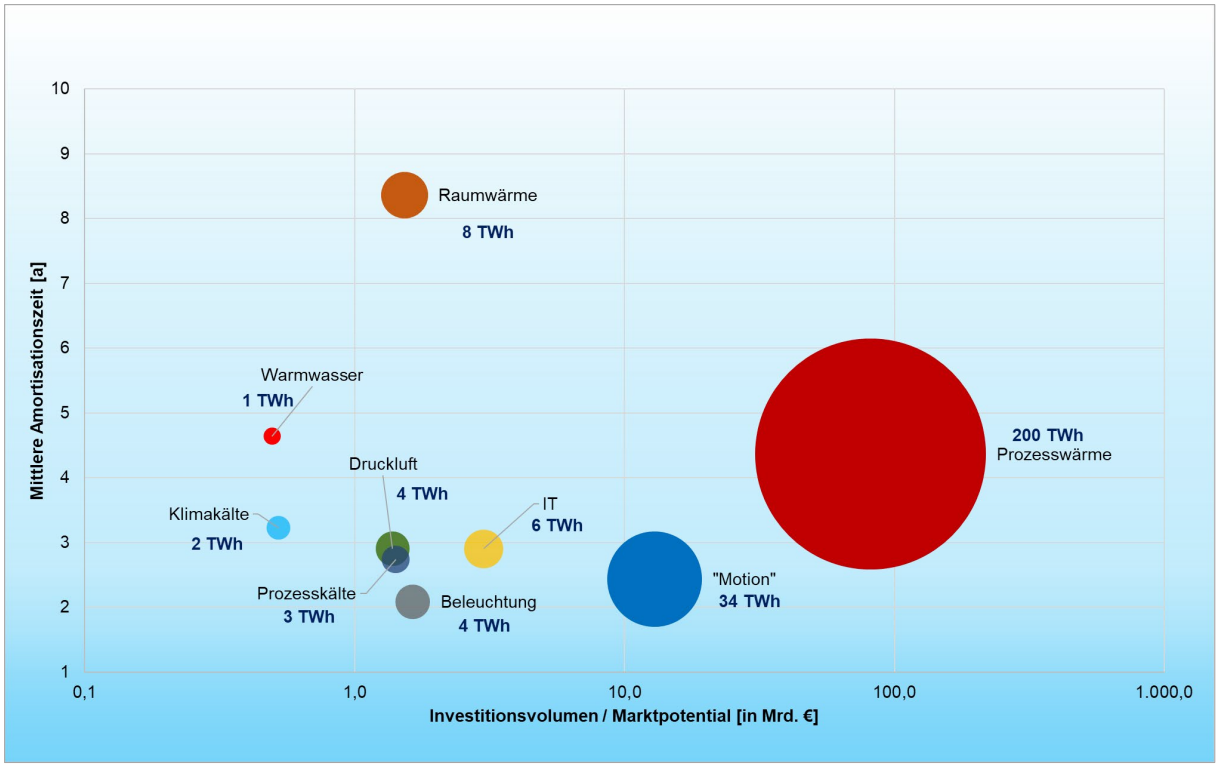


Abbildung 6: Wirtschaftliches Endenergieeinsparpotential, mittlere Amortisationszeiten und Investitionsvolumen nach Anwendungsbereich in der Industrie

In Abbildung 7 ist ein möglicher Investitionspfad dargestellt und die sich daraus ergebenden Einsparungen.

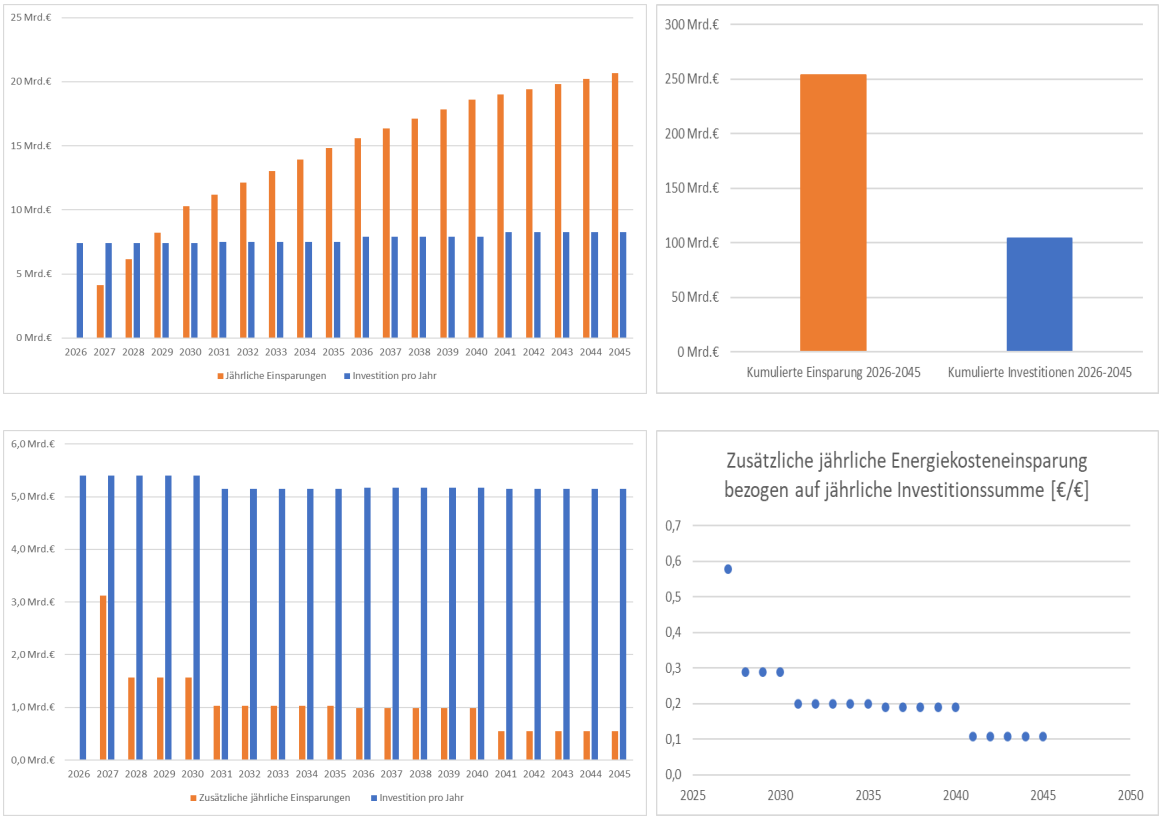


Abbildung 7: Möglicher Investitionspfad in Mrd. € und daraus resultierende Energiekosteneinsparung für die deutsche Industrie in Mrd. €/a.

Für den Investitionspfad sind Maßnahmen in folgende drei Gruppen aufgeteilt: (1) Maßnahmen mit kurzer mittlerer Amortisationszeit (≤ drei Jahre), (2) Maßnahmen zwischen kurzer mittlerer Amortisationszeit und langer mittlerer Amortisationszeit (bis siebeneinhalb Jahre) und (3) Rest des wirtschaftlichen Potentials. Es wird angenommen, dass bis zum Jahr 2030 60% der Maßnahmen aus Gruppe (1), 15% der Maßnahmen aus Gruppe (2) und 2,5% der Maßnahmen aus Gruppe (3) umgesetzt sind. Weitere Annahmen gibt es für 2035, 2040 und 2045. Den einzelnen Jahren dieser Zeitspannen wird jeweils 20% der Zeitspanneninvestition zugewiesen.

Das Diagramm oben links zeigt für die Periode 2026-2045 die jährlichen Investitionen in Mrd. € (blau) und die jährlichen Einsparungen inklusive der Einsparungen durch die Investitionen der Vorjahre in Mrd. € (orange). In der Grafik ist zu erkennen, dass schon im Jahr 2029 die Energiekosteneinsparung durch die Investitionen von 2026 bis 2029 größer ist als die prognostizierte Investitionssumme für das Jahr 2029.

Rechts oben im Diagramm sind die Werte für die Periode aufaddiert. Bei Betrachtung des gesamten Zeitraums 2026 bis 2045 wird noch deutlicher, wie lukrativ die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen ist. Zwar sind Investitionen in Summe von 104 Mrd. € notwendig, um die knapp 50% Endenergieeinsparung in der Industrie zu erzielen, aber diesen 104 Mrd. € stehen Energiekosteneinsparungen von 254 Mrd. € gegenüber.

Im Diagramm unten links in Abbildung 7 sind die Investitionen und nur die Einsparungen des Investitionsjahrs dargestellt. Unten rechts stellt das Diagramm die jährlichen Einsparungen in Euro pro jährlicher Investitionssumme in Euro dar. Diese beiden unteren Abbildungen verdeutlichen den degressiven Verlauf der kumulierten Einsparungen (siehe links oben) und damit auch, dass die späteren Einsparungen spezifisch höhere Investitionen erfordern, so dass die späteren Investitionen nur relativ geringe zusätzliche Mengen- bzw. Kosteneinsparungen bringen.

Betrachtung einer ausgewählten Branche (Ernährungsindustrie)

Vergleichbare Aussagen können auch für einzelne Branchen getroffen werden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 und Abbildung 10 exemplarisch für die deutsche Ernährungsindustrie[13] dargestellt. In der Ernährungsindustrie liegen etwas mehr als 10% (29TWh/a) der insgesamt ermittelten wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentiale (263 TWh/a). Hier ist die Besonderheit, dass nicht die gesamte Branche als energieintensiv gilt. Jedoch ist das bei einigen Unterbranchen und Betrieben ganz anders: Die Energiekosten sind ein wesentlicher Faktor und damit ist die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen in dieser Branche auch sehr wichtig.

Abbildung 8 zeigt das "Wirtschaftliche" und "marktnahe" Endenergieeinsparpotential in TWh/a für die Anwendungsbereiche bzw. Gruppen im Vergleich (Diagramm links oben), die prozentualen Einsparungen bezogen auf den Endenergiebedarf der Anwendungsbereiche (Diagramm rechts oben) sowie das wirtschaftliche Endenergieeinsparpotential, die mittlere Amortisationszeiten und die Investitionsvolumen nach Anwendungsbereich (Diagramm unten). Es ist deutlich zu erkennen, dass auch in der Ernährungsindustrie insbesondere die Anwendungsbereiche „Prozesswärme“ und „Mechanische Anwendungen“ sehr große sowohl wirtschaftliche als auch marktnahe Energieeinsparpotentiale aufweisen.

[13] Aufgrund der verfügbaren Daten sind in der Kurzstudie „Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln“, „Getränkeherstellung“ und „Tabak“ zusammengefasst, damit die Zahlen aus GENESIS und UBA konsistent sind.

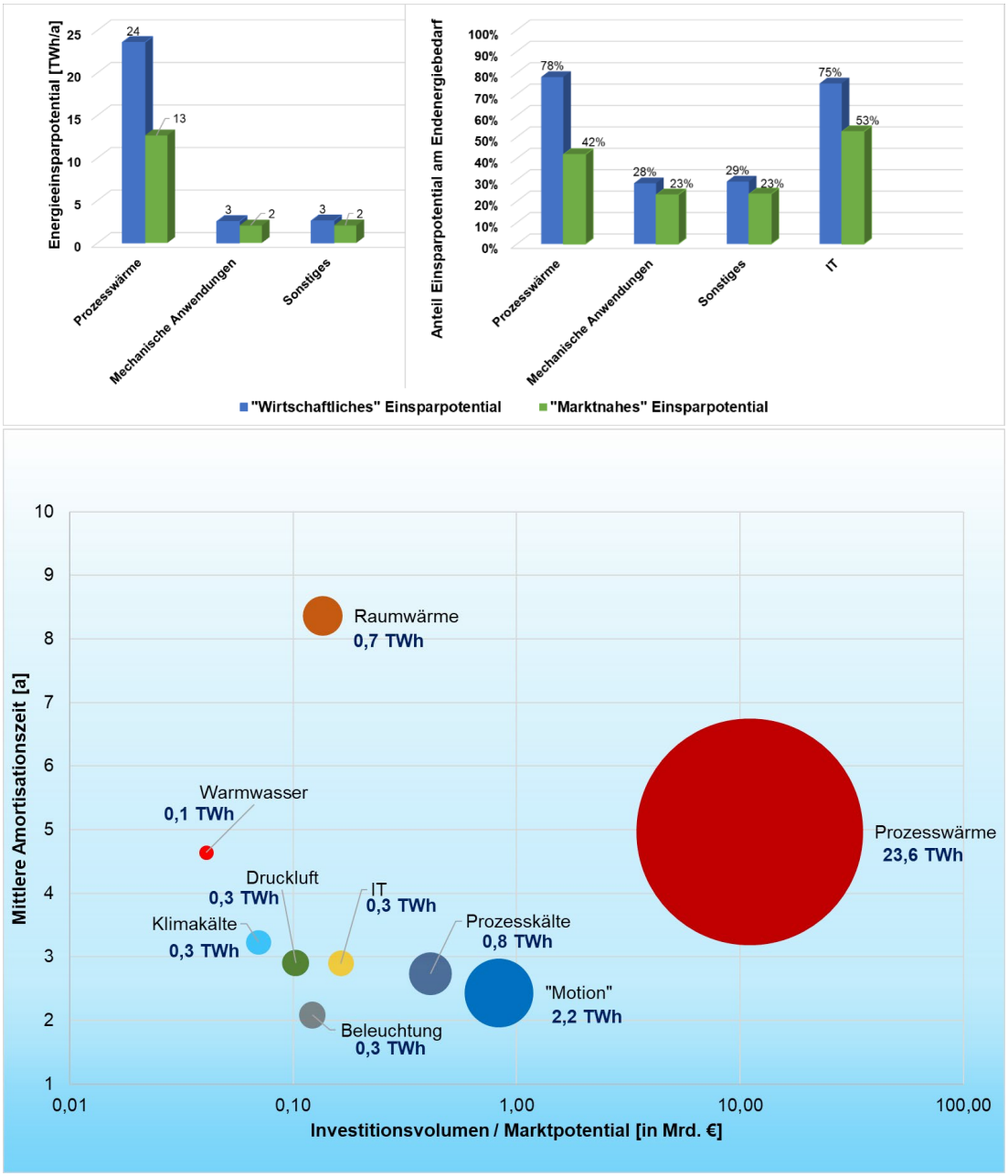


Abbildung 8: Ergebnisse für die Branche Ernährungsindustrie[12]: Absolute und relative Einsparpotentiale pro Anwendung (oben), Wirtschaftliche Einsparpotentiale pro Anwendung inklusive Investitionen und Amortisationszeiten (unten).

Die größten absoluten Einsparpotentiale liegen weiterhin in den Bereichen Prozesswärme (23,6 TWh/a | 82% – hier aber nur bis 500 °C) und „Motion“ (2,2 TWh/a | 7,5%). Jedoch hat der Bereich Prozesskälte in der Ernährungsindustrie eine größere Bedeutung als in anderen Industrien (0,8 TWh/a | 2,9% – siehe auch [17]). Eine besonders wichtige Energieeinsparmaßnahme im Bereich Ernährungsindustrie ist die Nutzung von Wärmepumpen. Hiermit können etwa 5,2 TWh/a (etwa 20% des gesamten wirtschaftlichen Energieeinsparpotentials in der Ernährungsindustrie) eingespart werden. Die anderen bedeutenden Maßnahmen sind vergleichbar mit denen anderer Branchen: Nutzung/Vermeidung von Abwärmen (11,5 TWh/a | 40%), verbessertes Nutzerverhalten und/oder Steuerungen (4,3 TWh/a | 15%) sowie hocheffiziente Motoren und Drehzahlregelungen (2,1 TWh/a | 7,4%).

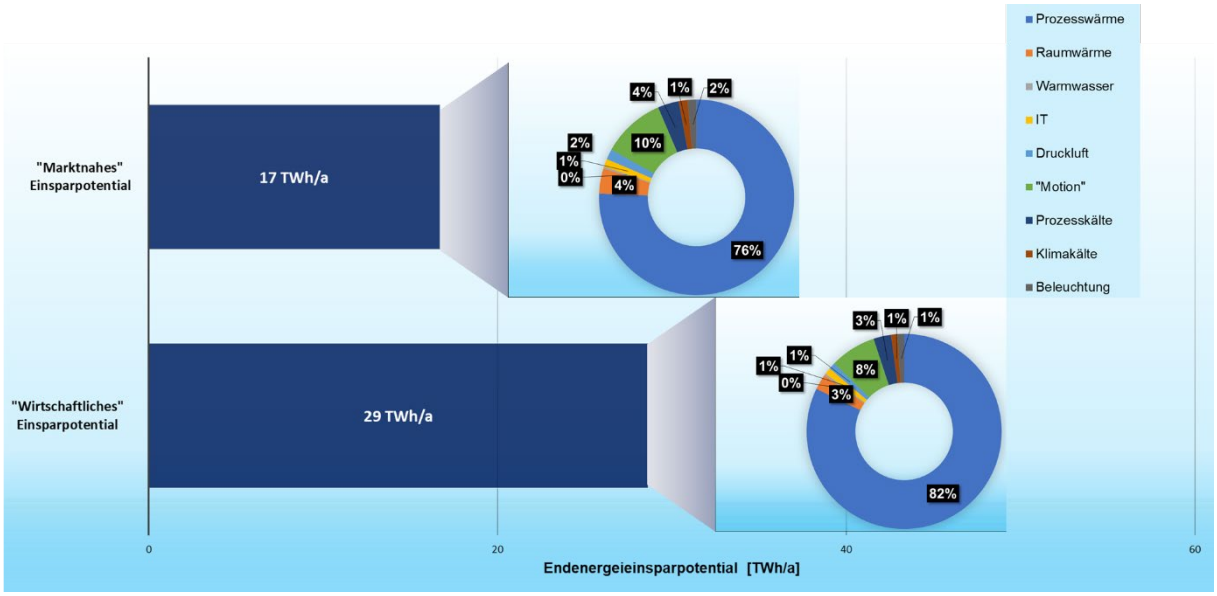


Abbildung 9: Ergebnisse für die Branche Ernährungsindustrie[12]: Vergleich marktnahes und wirtschaftliches Endenergieeinsparpotential.

In Abbildung 10 ist ein möglicher Investitionspfad dargestellt. In diesem Szenario sind in der Ernährungsindustrie in Summe Investitionen von 13 Mrd. € notwendig, um die wirtschaftliche Endenergieeinsparung zu erzielen, aber diesen 13 Mrd. € stehen Energiekosteneinsparungen in der Periode 2026-2045 von 32 Mrd. €/a gegenüber.

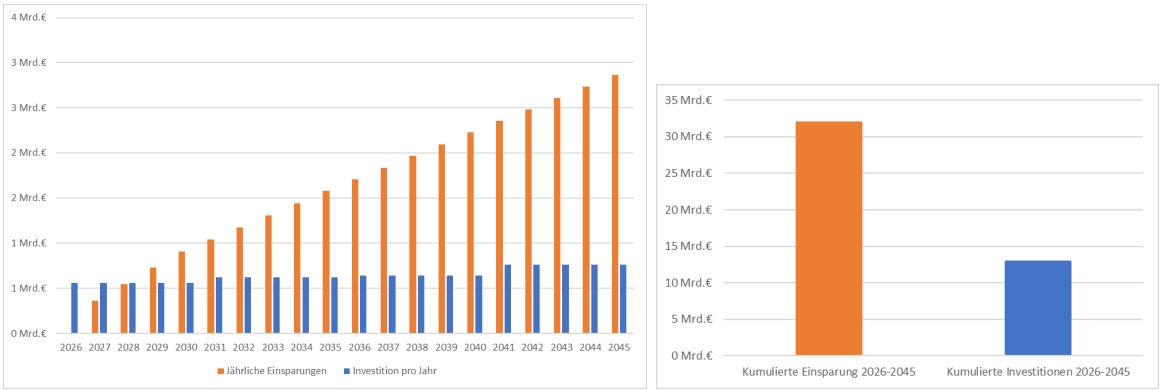


Abbildung 10: Ergebnisse für die Branche Ernährungsindustrie[12]: Vergleich Einsparung und Investitionen 2026 – 2045.

Betrachtung der „Energieintensiven Industrie“

Da den Autoren keine unternehmensscharfen Daten vorliegen, orientiert sich die Festlegung der Branchen auf „energieintensive Industrie“ an den oben beschriebenen, vorhandenen Definitionen. Der Endenergiebedarf der folgenden Branchen (Wirtschaftszweige in Klammern) wird hier zusammengefasst: Ernährungsindustrie („Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln“, „Getränkeherstellung“, „Tabakverarbeitung“), Papierindustrie („Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus“), Metallindustrie („Herstellung von Metallerzeugnissen“, Metallerzeugung und -bearbeitung“), Chemieindustrie („Herstellung von chemischen Erzeugnissen“) sowie Glas & Keramik und Zement & Kalk („Herstellung von Glas, Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“). Da die hier definierte „Energieintensive Industrie“ etwa 80% des Endenergiebedarfs der deutschen Industrie ausmacht, überrascht nicht, dass die Ergebnisse mit den Ergebnissen für die Gesamtindustrie vergleichbar sind. Die

größten absoluten Einsparpotentiale finden sich weiterhin in den Bereichen Prozesswärme und „Motion“. Auf eine Darstellung von Diagrammen wird verzichtet.

Volkswirtschaftliche Betrachtung

Die bisherigen Ausführungen basierten auf gesamtwirtschaftlichen Aggregaten, da die Industrie bei der Berechnung der Einsparpotentiale zunächst als Gesamtheit betrachtet wurde. Anschließend wurde zwar auf eine ausgewählte Branche (Ernährungsindustrie) und dann auf die energieintensiven Branchen näher eingegangen, doch auch hier verlief die Betrachtung aggregiert. Dennoch erfolgte die Analyse trotz der gesamt- bzw. branchenspezifischen Aggregation über eine betriebswirtschaftliche Argumentation. Einzelnen Maßnahmen wurden einzelne unmittelbar zurechenbare Nutzen gegenübergestellt: So lassen sich einer Investition von x €, bspw. in einen Wärmeübertrager, y €/a an zukünftig gesparten jährlichen Energiekosten zuordnen. Wenn nun in einer Branche oder im gesamten Land eine bestimmte Anzahl solcher Maßnahmen durchgeführt werden, ergibt sich deren aggregierter Nutzen aus einer entsprechenden Multiplikation der zuvor ermittelten einzelnen Einsparungen.

Diese Betrachtungsweise lässt jedoch einige wesentliche Aspekte von Energieeffizienzmaßnahmen außen vor. Neben den zuvor gezeigten Vorteilen auf betriebswirtschaftlicher Ebene sind darüberhinausgehende volkswirtschaftliche Vorteile zu berücksichtigen. In der Tat weisen viele Energieeffizienzmaßnahmen sogenannte positive externe Effekte[14] auf: Neben dem Nutzen, der bei den Investierenden (also denjenigen, die die Kosten zu tragen haben) selbst anfällt, profitieren auch andere Unternehmen oder sogar die gesamte Volkswirtschaft von den Maßnahmen. Da der einzelne Investierende jedoch nur seinen individuellen Nutzen seine individuellen Kosten gegenrechnet, bleibt ein Teil des Nutzens einer Maßnahme (also genau derjenige Teil, der bei anderen anfällt) unberücksichtigt. Dies führt dazu, dass in Summe, gemessen am volkswirtschaftlichen Optimum, zu wenig Maßnahmen umgesetzt werden. Diese Argumentation ist in der Energiewirtschaft nicht neu [27]. Vielmehr basiert der komplette Umwelt- und Klimaschutzbereich auf einer ähnlich gelagerten, in der öffentlichen Diskussion bereits weitverbreiteten, Argumentation: Hier sind mit umgekehrten Vorzeichen negative externe Effekte die Ursache eines Marktversagens.[15] So betrachtet ein Unternehmen bei Umweltschutzmaßnahmen nur den eigenen Nutzen und die eigenen Kosten, der gesamtwirtschaftliche Nutzen einer geringeren Umweltbelastung bleibt zumeist unberücksichtigt. Aber auch für positive externe Effekte existieren in der Energiewirtschaft bereits populäre Beispiele: Erneuerbare Energien [28]. Auch hier weisen Investitionen positive Effekte für die Gesamtwirtschaft auf, die bei den einzelnen Investierenden teilweise unberücksichtigt bleiben.

Ungeachtet dieser theoretischen Unterteilungen ist jedoch bei allen zuvor beschriebenen Beispielen der Ist-Zustand ohne eine wie auch immer ausfallende staatliche Intervention ineffizient. Dies bedeutet, dass ohne staatliche Maßnahmen gemessen am Optimum zu wenig investiert wird – oder umgekehrt betrachtet, zu viele Schadstoffe emittiert oder Ressourcen eingesetzt werden. Diese Fehlallokation von Ressourcen rechtfertigt daher staatliche Maßnahmen, die in der Regel einen Mix aus „Bestrafung“ negativer externer Effekte (bzw. Verteuerung von Gütern und Produktionsmethoden, die mit negativen Externalitäten verbunden sind), bspw. in Form einer emissionsabhängigen Energiesteuer, sowie einer „Belohnung“

[14] Der Begriff der externen Effekte ist in der Volkswirtschaftslehre eng mit Arthur Cecil Pigou (1920) verbunden. Er fokussierte sich auf die negativen externen Effekte, die das Fundament der modernen Umweltökonomie darstellen. Der Begriff der positiven externen Effekte wurde vor allem durch Henry Sidgwick (1891) geprägt und durch das Beispiel des Leuchtturms anschaulich gemacht. [43]

[15] Unter Marktversagen werden verschiedene Ursachen zusammengefasst, die zu Funktionsstörungen von Märkten führen. Diese erfordern einen Staatseingriff, damit Märkte effizient arbeiten können. Hiervon abzugrenzen sind solche Markteingriffe, die in bereits funktionierende Märkte erfolgen. Hier wird die Effizienz des Marktes durch den Staatseingriff eingeschränkt. [44]

positiver externer Effekte (bzw. Kostenreduzierung bei Gütern oder Produktionsmethoden mit positiven Externalitäten), bspw. in Form von Subventionen von Photovoltaikanlagen oder Elektroautos, darstellen.

Bei der Einbeziehung der nicht in der betriebswirtschaftlichen Betrachtung erfassten Nutzen können mehrere Abgrenzungsebenen gezogen werden. Die weiteste Betrachtung erfolgt auf einer makroökonomischen Ebene [29] [30] [31]. Hierunter fallen zahlreiche volkswirtschaftlich positive Auswirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen, wie beispielweise:

- Arbeitsmarkteffekte: Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen können zu positiven Beschäftigungseffekten, bspw. bei Handwerkerbetrieben, Energieberatern, Zulieferern oder Herstellern von entsprechenden Energieeffizienztechnologien führen.
- Aufwertung des Kapitalstocks: Effizientere Maschinen oder besser gedämmte Gebäude stellen einen Mehrwert für eine Volkswirtschaft und hierbei speziell für die nachkommenden Generationen dar.
- Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Produktivität: Diese ist eine wichtige Kenngröße, die sich perspektivisch bspw. in höheren Löhnen wiederfinden kann.
- Beschleunigung des technischen Fortschritts: Dieser stellt eine wesentliche Größe für die zukünftigen Wirtschaftswachstumsraten dar.

Diese Effekte sind recht aufwändig zu berechnen. Ihre Quantifizierung würde den eher technisch-ökonomischen Ansatz dieser Kurzstudie weit überschreiten. Darüber hinaus müssen speziell bei den Arbeitsmarkteffekten auch etwaige Beschäftigungsrückgänge oder Kapitalstockentwertungen in anderen Bereichen (bspw. der fossilen Energiewirtschaft) gegengerechnet werden.

Eine etwas weniger weitfassende Eingrenzung wäre eine Einbeziehung von gesamtwirtschaftlichen Effekten, die überwiegend dem Energiebereich zuzurechnen sind, bspw.:

- Versorgungssicherheit: Energieeffizienzmaßnahmen reduzieren den Importbedarf, v.a. von fossilen Energieträgern. Dadurch leisten sie einen Beitrag zur Erreichung des im Energiewirtschaftsgesetz definierten Ziels der Versorgungssicherheit und lenken zudem Kapitalströme ins Inland um.
- Umwelt- und Klimaschutzziele: Ebenfalls tragen die Maßnahmen zur Erreichung internationaler Verpflichtungen der Bundesrepublik bei (etwa im Rahmen des Pariser Klimaschutzabkommens). Neben dem Erreichen von „moralischen“ Zielen, können so auch konkrete Strafzahlungen für den Bund und damit für die Steuerzahlenden vermieden werden.

Am engsten verwandt zu den betriebswirtschaftlichen Kennzahlen sind jedoch volkswirtschaftliche Kosteneinsparungen innerhalb des Energiesystems. Methodisch sind diese vergleichbar zu den betrieblichen Kosteneinsparungen bzw. Nutzenzuwächsen, nur, dass sie nicht einem einzelnen Unternehmen individuell zugerechnet werden können, sondern dem Gesamtsystem (was der zuvor angesprochenen Logik der positiven externen Effekte entspricht). Herbei sind insbesondere von Relevanz [32] [33] [34]:

- Erdgaskraftwerke: Die Bundesregierung strebt den Neubau von 20 GW neuer Erdgaskraftwerke an [35], [36]. Diese Größenordnung wird in Erwartung einer bestimmten Nachfrageentwicklung geplant. Sollte diese bedingt durch zusätzliche Energieeffizienzmaßnahmen geringer ausfallen, kann die Funktionsfähigkeit des Stromsystems auch mit einem geringeren Zubau sichergestellt werden. Aufgrund des benötigten Flexibilitätsbedarfs kann aber (wie auch bei den Stromleitungen) nicht von einem 1:1-Effekt ausgegangen werden, da eine bestimmte Menge an Leistung unabhängig von dem Verbrauch vorgehalten werden muss.

- Fossile Infrastruktur: Nicht zuletzt aufgrund der zuvor angeführten geringeren Neubauten an Erdgaskraftwerken sind in vorgelagerten Wertschöpfungsketten geringere Kapazitäten erforderlich. Dies betrifft sowohl neue Anlagen (bspw. zusätzliche LNG-Importterminals) als auch bestehende Infrastruktur (bspw. Ferngasleitungen). Letztere könnten bei einer geringeren Erdgasnachfrage (aufgrund einer bedingt durch höhere Energieeffizienz geringeren Stromnachfrage) früher und umfassender auf eine (grüne) Wasserstoffwirtschaft umgestellt werden.
- Stromspeicherkapazitäten: Ein geringerer Stromverbrauch bedeutet (ceteris paribus) auch einen geringeren Bedarf an Stromspeichern. Eine 1:1-Übersetzung ist hierbei zwar nicht möglich, allerdings ist der Effekt eindeutig positiv. An dieser Stelle sei betont, dass die Autoren hier die zu errichtenden Stromspeicheranlagen ab dem Jahr 2040 meinen. In den nächsten Jahren sollte der Aufbau von Speicherkapazitäten nicht gebremst werden – eher verstärkt werden.
- Stromnetzausbau: Die Argumentation für die Stromspeicherkapazitäten lässt sich mit einigen Besonderheiten auch auf den Netzausbau beziehen. Auch wenn bestimmte Übertragungsleitungstrassen unabhängig von der tatsächlichen Nachfrage neu gebaut werden müssen, reduziert eine geringere Nachfrage bspw. die einzubeziehenden Sicherheitsmargen und die Kosten für die für den Netzbetrieb (Redispatch, Regelenergie etc.). Auch hier sei betont, dass in den nächsten Jahren der Ausbau der Stromnetze nicht gebremst werden soll. Schon jetzt gibt es viele Engpässe, die Ausbau von Erneuerbaren Energien und von Stromspeicherkapazitäten behindern.

Grundsätzlich könnten steigende Energieeffizienzmaßnahmen anstelle der Reduzierung des Erdgaskraftwerkszubau auch zu einem geringeren Ausbau erneuerbarer Energien führen. In der Tat würde dies der Volkswirtschaft auch entsprechende Kosten sparen. Allerdings würden in dem Fall einige die zuvor angesprochenen positiven externen Effekte wegfallen.[16] Dies betrifft vor allem die Versorgungssicherheit (kein Rückgang des Importbedarfs) und das Erreichen der Umwelt- und Klimaziele (CO_2-Emissionen und andere Schadstoffe). Auch die in der obigen Ausführung zuletzt genannten Einsparungen bei LNG-Terminals und anderer fossiler Infrastruktur dürften in einem solchen Szenario nicht realisierbar sein.

Die zuvor skizzierten Energieeffizienzmaßnahmen könnten den Ausbaubedarf an neuen Erdgaskraftwerken deutlich reduzieren, da Endenergieeinsparungen im Bereich Strom in der Regel auch eine Reduzierung der Spitzenlast bedeutet. Das genaue Ausmaß der Lastreduzierung ist dabei von den genauen Ausprägungen der Energieeffizienzmaßnahmen abhängig. Neben der eingesparten Endenergie ist u.a. auch die zeitliche Verteilung der Reduktion relevant zur Bestimmung, wie viel weniger Kraftwerke genau neu errichtet werden müssen.

Die Kosten für neu errichtete Erdgaskraftwerke belaufen sich aktuell auf ca. 1 Mrd. € pro GW.[17] Würden statt der durch die Bundesregierung formulierten 20 GW nur noch 10 GW benötigt, würde sich der Investitionsbedarf entsprechend um 10 Mrd. € reduzieren. Gemessen an den zuvor diskutierten Investitionsbedarfen, die die Energieeffizienzmaßnahmen bewirken würden, wirkt diese Summe auf den ersten Blick vergleichsweise gering. Allerdings müssen für einen wirklich aussagefähigen Vergleich auch andere zukünftige Kosten berücksichtigt werden. Allein die vermiedenen Erdgasimportkosten der nicht errichteten Kraftwerke liegen bei rund

[16] Darüber hinaus bestehen bezüglich der tatsächlichen zukünftigen Entwicklung der Stromnachfrage größere Unsicherheiten, so dass ein aktuell reduzierter Ausbau der Erneuerbaren evtl. in der Zukunft doch wieder rückgängig bzw. auf das ursprüngliche Niveau angehoben werden.

[17] Aktuell veröffentlichte Projekte weisen eine Bandbreite von ca. 450 Mio. bis 1,3 Mrd. Euro je GW auf (wobei reine Gasturbinen günstiger sind und die technisch effizienteren GuD-Anlagen im oberen Bereich liegen). [45]

1 Mrd. € pro Jahr[18], so dass sich bis 2045 zu den eingesparten Investitionen noch einmal ein doppelt so hoher Betrag an vermiedenen Betriebskosten zurechnen lässt. Dieser Wert ist selbstverständlich stark von den unterstellten Annahmen (Grenzübergangspreis, Volllaststunden, Wirkungsgrad usw.) getrieben und kann entsprechend auch nach oben oder unten abweichen. Mit den oben beschriebenen Annahmen wäre das insgesamt ein volkswirtschaftlicher Nutzen von mindestens 30 Mrd. €. Für eine vollumfassende Abschätzung des Einsparpotentials im Zusammenhang mit den Erdgaskraftwerken müssten zudem noch eingesparte Kosten des evtl. ansonsten an einigen Stellen nötigen Erdgasnetzausbaus sowie geringere Kosten der LNG-Infrastruktur berücksichtigt werden. [37]

Hemmnisse zur Umsetzung der Maßnahmen und deren Überwindung

Auf die Hemmnisse zur Umsetzung von Maßnahmen wurde ausführlich in den Studien [38] [7] [8] und [39] eingegangen.

Betriebswirtschaftliche Hemmnisse

Die folgende Tabelle stellt die wichtigsten Hemmnisse dar sowie Maßnahmen, mit denen die Hemmnisse beseitigt oder gemildert werden können.

Hemmnis	Maßnahme zur Beseitigung des Hemmnisses
Fehlende Motivation	Die Geschäftsführung bekennt sich zu einem Energiemanagementsystem und motiviert dadurch, Energiebedarf und Energiekosten zu reduzieren.
Fehlende Akzeptanz	Durch die offizielle Benennung von Energiebeauftragten und/oder Energieteams stärkt die Geschäftsführung die Akzeptanz für deren Tätigkeiten.
Fehlendes Wissen	Die Verantwortlichen werden durch Schulungen befähigt, Maßnahmen zur Reduzierung von Energiebedarf und Energiekosten zu erkennen. Oder externe Experten werden eingebunden.
Fehlende Informationen	In Schulungen erfahren die Verantwortlichen, wie notwendige Informationen beschafft werden können.
Fehlende Personalkapazitäten	Energiebeauftragte und/oder Energieteams erhalten von der Geschäftsführung die notwendige Zeit, sich mit dem Thema zu beschäftigen. Mit Handwerksbetrieben oder Anlagenhersteller werden Rahmenverträge geschlossen.
Relevanz der Energiekosten	Durch die Umsetzung von wirtschaftlich attraktiven Maßnahmen wird gezeigt, dass schnell und einfach Geld eingespart werden kann – auch bei geringer Bedeutung der Energiekosten.
Behauptung: Zu hohe Investitionssummen	Viele der Maßnahmen sind „nur“ Verhaltensanpassungen, organisatorische Optimierung und kleinere investive Maßnahmen. Es sind nicht immer hohe Investitionssummen notwendig. Und Förderprogramme können hier auch helfen.

[18] Hierbei wurde ein Wirkungsgrad von 50 %, eine durchschnittliche jährliche Volllaststundenzahl von 2700 h sowie ein durchschnittlicher Erdgaspreis von 33 Euro/MWh unterstellt. Diese Werte bzw. die damit ermittelten eingesparten Importkosten dienen nur zur Illustration. Je nach Höhe der Annahmen können die Einsparungen auch deutlich niedriger oder höher ausfallen. So weist bspw. [45] für die Volllaststunden im Betrachtungszeitraum bis 2045 Werte zwischen 500 und 6.300 h aus. Auch die Grenzübergangspreise für Erdgas unterliegen ständigen Schwankungen. So bewegten sich die durchschnittlichen Importpreise in den letzten 10 Jahren zwischen ca. 15 und 75 Euro/MWh. [46]

Liquiditäts-beschränkungen	Es muss nicht immer selber investiert werden. Zahlreiche Anlagenhersteller bieten attraktive andere Umsetzungsmodelle an (beispielsweise Druckluft statt Druckluftkompressor kaufen, oder Warmwasser statt Heizung).
Amortisationszeit als Berechnungsmethode	Bei allen Maßnahmen sollten immer Wirtschaftlichkeits-betrachtungen (Kapitelwertberechnung) durchgeführt. Dadurch kann die Lukrativität vieler Energieeinsparmaßnahmen deutlich hervorgehoben werden.

Volkswirtschaftliche Hemmnisse

Die in der Tabelle aufgeführten Hemmnisse lassen sich zumindest teilweise durch Maßnahmen innerhalb eines Unternehmens beheben. Darüber hinaus werden Investitionen in Energieeffizienz durch weitere Hemmnisse erschwert, die außerhalb des Einflussbereichs des einzelnen Unternehmens oder auch der gesamten Branche liegen. Hier ist vor allem der politische Regulierungsrahmen ein wichtiger Faktor. Gestaltet sich die Energie- und Wirtschaftspolitik eines Landes als unstetig und nicht verlässlich, kann dies zu massiven Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Entwicklung führen. Dies kann das Investitionsverhalten, das sich ja explizit auf Erwartungswerte bezüglich der Zukunft stützt, negativ beeinflussen. Hier können die Unternehmen bzw. deren Branchenvertreter lediglich versuchen, bei der Politik ein Bewusstsein für die Verlässlichkeit zu schaffen und sich entsprechend konstruktiv in Gesetzgebungsprozesse einzubringen.

Ein weiteres Hemmnis kann in Eigentumsstrukturen liegen. Dies ist für die meisten größeren Industrieunternehmen nicht von Relevanz, für viele KMU kann es aber durchaus sein, dass die Gebäude sich nicht im Eigentum des Unternehmens befinden, sondern nur angemietet sind. Dies erschwert alle solche Investitionen (und senkt damit das Energieeffizienzpotential), die im Zusammenhang mit dem Gebäude bestehen (was im Haushaltssektor schon länger unter dem Stichwort „Vermieter-Mieter-Dilemma“ diskutiert wird [40]). Einige Investitionen lassen sich durch Kooperation mit dem Eigentümer realisieren, aber sicherlich nicht alle, die technisch und ökonomisch möglich wären.

Subventionen für Energieeffizienzmaßnahmen

In der klassischen ökonomischen Theorie werden Staatseingriffe zunächst kritisch betrachtet, da diese wie schon zuvor ausgeführt üblicherweise die Effizienz von funktionierenden Märkten einschränken und oft verteilungspolitisch motiviert sind. Aus dem zuvor skizzierten eher theoretischen Argument der positiven externen Effekte in Kombination mit praktischen Hemmnissen lässt sich ein recht eindeutiger Auftrag an den Staat herleiten, in den Markt für Energieeffizienz einzugreifen. So kann das Argument, dass durch den Staatseingriff ein effizientes Marktergebnis verzerrt wird, nicht unmittelbar auf den Markt für Energieeffizienz angewendet werden, da dieser offensichtlich bisher nicht zu einem solch effizienten Marktergebnis geführt hat. Anders als bei funktionierenden Märkten, bei denen ein Staatseingriff das Marktergebnis weg vom Optimum führt, kann ein (gut gemachter) Staatseingriff bei nicht funktionierenden Märkten eine Bewegung hin zum Optimum führen.

Nach diesen eher abstrakten Ausführungen soll nun ein Blick auf die Subventionsrealität geworfen werden, welche sich im aktuellen Subventionsbericht der Bundesregierung [41] findet. Der Bund plant im Jahr 2026 (Sollwerte) 77,8 Mrd. Euro für Subventionen auszugeben. Der Großteil entfällt dabei auf direkte Finanzhilfen (59,4 Mrd. Euro), der Rest auf Steuervergünstigungen (18,4 Mrd. Euro). In beiden Kategorien entfallen hohe Anteile auf relativ wenige Subventionen. So vereinen die Top 20 Finanzhilfen (von insgesamt 139) 91 % der

Subventionen auf sich. Bei den Steuervergünstigungen nehmen die 20 höchsten Posten (die Gesamtanzahl an Steuervergünstigungen wird nicht genannt) 86 % ein.

Bei einer energiesektoralen Betrachtung der Subventionen fällt auf, dass diese in der Liste der Subventionen eine enorme Bedeutung aufweisen. 13 der größten 20 Finanzhilfen mit insgesamt 42 Mrd. Euro entfallen auf den Energiebereich (über 70 %), bei den Steuervergünstigungen sind es immerhin noch 7,7 Mrd. Euro (über 40 %). Bei den Finanzhilfen fällt auf, dass auch innerhalb der Top 20 ein Großteil der Subventionen auf nur zwei Regelungen entfällt (Tabelle 1): die Zuschüsse zur Entlastung beim Strompreis (gemäß Erneuerbaren-Energien-Gesetz, EEG) und der Förderung von Maßnahmen der Energieeffizienz und erneuerbarer Energien im Gebäudebereich (gemäß Richtlinien für die Bundesförderung für effiziente Gebäude, BEG). Beide zusammen vereinen rund die Hälfte aller Finanzhilfen des Bundes auf sich. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass beide Finanzhilfen seit 2024 rückläufig sind (18,5 bzw. 14,1 Mrd. Euro in 2024).

Tabelle 1: Die wichtigsten energiespezifischen Finanzhilfen des Bundes [41]

Rang in Top 20	Beschreibung der Finanzhilfe	Mrd. Euro (Soll 2026)
1	Zuschüsse zur Entlastung beim Strompreis	17,2
2	Förderung von Maßnahmen der Energieeffizienz und erneuerbarer Energien im Gebäudebereich	12,1
4	Zuschüsse an stromintensive Unternehmen zum Ausgleich von emissionshandelsbedingten Strompreiserhöhungen	3,0
6	IPCEI Wasserstoff	2,4
8	Zuschüsse zur Errichtung von Tank- und Ladeinfrastruktur	1,7
9	Transformation Wärmenetze: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze	1,4
10	Bundesförderung für Energie und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft	1,0
11	Maßnahmen zum natürlichen Klimaschutz	0,8
13	Dekarbonisierung der Industrie/Bundesförderung Industrie und Klimaschutz/Klimaschutzverträge	0,7
15	Industrielle Fertigung für mobile und stationäre Energiespeicher	0,3
16	Förderung des Ankaufs von Bussen mit alternativen Antrieben	0,4
18	Zuschüsse für die Anschaffung von Nutzfahrzeugen mit alternativen, klimaschonenden Antrieben	0,4
20	Klimafreundlicher Neubau	0,4

Bei den Steuervergünstigungen ist keine so starke Konzentration auf einzelne energiespezifische Förderungen zu erkennen. Den höchsten Wert in der Top 20 nimmt die Stromsteuervergünstigung für Unternehmen (Rang 5) ein.

Tabelle 2: Die wichtigsten energiespezifischen Steuervergünstigungen des Bundes [41]

Rang in Top 20	Beschreibung der Steuervergünstigung	Mrd. Euro (Soll 2026)
5	Stromsteuerbegünstigung für Unternehmen des produzierenden Gewerbes und Unternehmen der Land- und Forstwirtschaft (§ 9b StromStG)	2,5
8	Begünstigung von Elektro- und extern aufladbaren Hybridelektrofahrzeugen bei der Dienstwagenbesteuerung (§ 6, 8 EnergieStG)	1,7
10	Energiesteuerbegünstigung für die Stromerzeugung (§§ 37, 53 EnergieStG)	1,3
11	Steuerbefreiung für Strom aus sogenannten Kleinanlagen mit einer elektrischen Nennleistung von bis zu 2 Megawatt (§ 9 StromStG)	0,8
13	Stromsteuerbegünstigung für bestimmte Prozesse und Verfahren (§9a StromStG)	0,6
19	Steuerbegünstigung für Energieerzeugnisse, die im inländischen Flugverkehr verwendet werden (§ 27 EnergieStG)	0,4
20	Energiesteuerbegünstigung für bestimmte Prozesse und Verfahren (§§ 37, 51 EnergieStG)	0,4

Bei einem Vergleich beider Tabellen fällt auf, dass einerseits Energieeffizienzmaßnahmen der Industrie unterstützt werden (bspw. Posten 2, 10 und 13 bei den Finanzhilfen), andererseits aber auch Zuschüsse zum Energieverbrauch gewährt werden (bspw. Posten 1 und 4 bei den Finanzhilfen sowie 5, 13 und 20 bei den Steuervergünstigungen). Auch wenn beide Arten von Unterstützung den Unternehmen zugutekommen, wirken sie doch, was die Anreize zum Investieren angeht, in entgegengesetzte Richtungen. Ein naheliegender Vorschlag, die Vergünstigungen und Zuschüsse zum Energieverbrauch zu streichen und die freiwerdenden Mittel auf die Energieeffizienzfördermaßnahmen zu verteilen hätte den Charme, dass keine zusätzlichen Bundesmittel hierfür aufgewendet werden müssten. Allein die beiden größten Posten (Entlastung Strompreise und Stromsteuerbegünstigung produzierendes Gewerbe) würden so (bei vollständiger Streichung) 20 Mrd. Euro pro Jahr freisetzen. Allerdings beziehen sich genau diese beiden nur auf den Strompreis. Würden diese Maßnahmen gestrichen werden, könnte dies die Elektrifizierung der industriellen Prozesse deutlich zurückwerfen. Auch ist zu berücksichtigen, dass Investitionsmaßnahmen eher mittel- bis langfristig wirken, während die Abschaffung von Steuervergünstigungen sehr kurzfristig zum Tragen käme. Um die Elektrifizierung nicht zu belasten, könnte sich eine Umlenkung von Fördergeld auf solche Maßnahmen beschränken, die derzeit die Preise von fossilen Energien begünstigen. Allerdings fallen diese Förderungen ohne Strommarktbezug aktuell bereits nicht sonderlich ins Gewicht: So kommen die beiden Posten 19 (Energieerzeugnisse Flugverkehr) und 20 (Energiesteuer auf bestimmte Prozesse) zusammen auf lediglich 0,8 Mrd. Euro pro Jahr. Einer reinen Umschichtung von Fördermitteln sind in diesem Bereich daher recht enge Grenzen gesetzt.

In Zukunft sollte eine offene Diskussion darüber geführt werden, ob und wie zusätzliche staatliche Unterstützung Energieeffizienz noch weiter fördern sollte und könnte. Hierbei sind neben einer Ausweitung bestehender Maßnahmen verschiedene weitere Instrumente mit unterschiedlichen Eingriffsintensitäten möglich. Einige mögliche leichte Eingriffe wären verbesserte Abschreibungsbedingungen oder noch weiter reduzierte Energiesteuersätze für die betroffenen Branchen, insbesondere im Strombereich, um die Elektrifizierung zu fördern. Stärkere Eingriffe wären strenge Auflagen an umzusetzende Energieeffizienzsenkungen oder direkte staatliche Zuschüsse von nennenswerten Anteilen der Investitionskosten (klassische Subventionen im engeren Sinne) oder gar das vollständige Übernehmen der Investitionen durch den Staat.

Vor der Wahl der Instrumente oder des Instrumentenmix sind, wie bei jedem anderen Staatseingriff, die Wirkungen auf das Marktergebnis (Mengen und Preise), die Verteilung von Lasten und Nutzen sowie den Staathaushalt zu diskutieren. Mögliche beihilferechtliche Fragestellungen sind ebenso zu berücksichtigen.

Fazit

Diese Potenzialstudie zur Energieeffizienz in der Industrie führt die methodisch ähnlichen Vorgängerstudien aus den Jahren 2023 [7] und 2024 [8] mit einer aktualisierten Datengrundlage und verfeinerter Methodik zusammen und erweitert sie. Neu sind eine branchenspezifische Betrachtung, eine ausführliche Diskussion volkswirtschaftlicher Effekte der Energieeffizienzmaßnahmen sowie die Darstellung eines möglichen Investitionspfades.

Die früheren Ergebnisse werden im Wesentlichen bestätigt und zeigen hohe Potenziale für Kosten- und Emissionssenkungen. Das Energieeffizienzpotenzial liegt in einigen Bereichen etwas niedriger als zuvor berechnet. Dies ist teils auf zwischenzeitlich umgesetzte Energieeffizienzmaßnahmen, teils auf Produktionsrückgänge zurückzuführen. Veränderungen in den Amortisationszeiten ergeben sich durch die verfeinerte Methodik, bei der nicht mehr nur eine gemittelte Amortisationszeit, sondern zwei verwendet werden, sowie durch die veränderten Energiepreise. Da das Investitionsvolumen bzw. Marktpotenzial in der Methodik der Studie aus den Amortisationszeiten errechnet wird, liegen deren Werte in den meisten Anwendungsbereichen niedriger.

Durch die Umsetzung von wirtschaftlichen Endenergieeinsparmaßnahmen (d.h. von Maßnahmen mit positivem Kapitalwert) können 263 TWh/a Endenergiebedarf in der deutschen Industrie (Stand 2023) eingespart werden. Das sind etwa 40% von den 635,4 TWh/a Gesamtendenergieeinsatz. Davon liegen 209 TWh_{th}/a im Bereich Wärme und 54 TWh_{el}/a bei Stromanwendungen außerhalb des Bereichs Wärme. Ein großer Teil der wirtschaftlichen Endenergieeinsparmaßnahmen sind sogar „marktnahe Maßnahmen“, d.h. sie haben Amortisationszeiten von weniger als 3 Jahren. Die dazu gehörende Einsparung sind etwa 28% (176 TWh/a), aufgeteilt in 134 TWh_{th}/a im Bereich Wärme und 42 TWh_{el}/a für Stromanwendungen außerhalb des Bereichs Wärme.

Die typischen Energieeinsparmaßnahmen sind verbessertes Nutzerverhalten, optimierte Steuerung bzw. Regelung durch Automatisierung (auch mit KI-Ansätzen), Betriebs- und Wartungsmaßnahmen, Dämmung von Rohrleitungen, Armaturen, Maschinen und Gebäuden, Abwärmenutzung, Antriebe mit Drehzahlregelung, Einsatz hocheffizienter Motoren oder die Nutzung der freien Kühlung. Die Erneuerung von Anlagen (Einsatz von energieeffizienten, bedarfsangepassten Neuanlagen wie Maschinen, Geräte, Beleuchtung) wurde ebenso berücksichtigt wie die Nutzung von Umweltwärme. Die Umstellung auf Wärmepumpe ist besonders im Wärmebereich bis 200 °C eine wichtige Maßnahme. Die gesamte Einsparung durch Elektrifizierung von Prozessen bei den Wärmeanwendungen macht etwa 20% aus.

Die wirtschaftliche Endenergieeinsparung entspricht im Jahr 2025 mit den in der Studie angenommenen Energiepreisentwicklungen einer Kosteneinsparung von etwa 29 Mrd. €/a. Die dafür notwendige Investitionssumme wird mit insgesamt 104 Mrd. € abgeschätzt, so dass die mittlere Amortisationszeit bei 3,6 Jahren liegt. Kumuliert über die nächsten 20 Jahre beträgt die gesamte Einsparung bei dem in der Studie beschriebenen Investitionspfad etwa 250 Mrd. €, also mehr als das Doppelte der Investitionssumme.

Die branchenspezifische Betrachtung der Ernährungsindustrie zeigt, dass es dort ein überproportional hohes Potenzial von 11% an den möglichen Energieeinsparungen der Gesamtindustrie gibt, obwohl der Sektor nur 7% des Endenergieverbrauchs einnimmt. Ein wichtiger Grund hierfür ist der hohe Anteil an Wärmeanwendungen im Niedertemperaturbereich, in dem Wärmepumpen gut eingesetzt werden können. Bei Fokussierung auf die energieintensiven Industrien ergeben sich gegenüber der Industrie insgesamt kaum veränderte Aussagen, da hier 80% des Verbrauchs und damit auch der größte Teil des Effizienzpotenzials liegen.

Volkswirtschaftliche Vorteile sind u.a. geringere Investitionsbedarfe in Energieinfrastruktur (insbesondere steuerbare Backupkapazitäten wie Erdgaskraftwerke) und verringerte Abhängigkeiten von Importen (v.a. Erdgas). Denn Energieeffizienzmaßnahmen reduzieren nicht nur den Bedarf, sondern auch die Spitzenlast. Wenn 10 GW weniger Gaskraftwerke bis 2045 gebaut werden müssen, würde sich der Investitionsbedarf entsprechend um etwa 10 Mrd. € reduzieren. Hinzu kommen vermiedene Erdgasimportkosten der nicht errichteten Kraftwerke von etwa 1 Mrd. € pro Jahr, so dass sich alleine bei den Gaskraftwerken kumuliert über 20 Jahre ein volkswirtschaftlicher Nutzen von 30 Mrd. € ergibt.

Erwähnenswert bei den volkswirtschaftlichen Auswirkungen sind auch der Beitrag zur Versorgungssicherheit (Reduktion des Importbedarfs von fossilen Energieträgern), die Unterstützung zur Erreichung internationaler Verpflichtungen (z.B. Pariser Abkommen) und damit ggf. die Vermeidung von konkreten Strafzahlungen, positiver Beschäftigungseffekt (bspw. bei Handwerkerbetrieben, Energieberatern, Zulieferern oder Herstellern von entsprechenden Energieeffizienztechnologien), Aufwertung des Kapitalstocks (effizientere Maschinen oder besser gedämmte Gebäude stellen einen Mehrwert für eine Volkswirtschaft dar), Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Produktivität (perspektivisch bspw. höhere Löhne) sowie Beschleunigung des technischen Fortschritts.

Trotz der hohen Potenziale wird Energieeffizienz in Diskussionen um eine kostengünstige Energiewende häufig wenig beachtet. Hemmnisse zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen in Betrieben sind Liquiditätsbeschränkungen, fehlende Personalkapazitäten (Fachkräftemangel) und der Wunsch nach kurzen Amortisationszeiten.

Darüber hinaus werden Investitionen in Energieeffizienz durch weitere Hemmnisse erschwert, die außerhalb des Einflussbereichs des einzelnen Unternehmens oder auch der gesamten Branche liegen. Hier ist vor allem der politische Regulierungsrahmen ein wichtiger Faktor. Ein weiteres Hemmnis kann in Eigentumsstrukturen liegen. Wenn die Gebäude sich nicht im Eigentum des Unternehmens befinden, sondern nur angemietet sind, erschwert dies alle solche Investitionen, die im Zusammenhang mit dem Gebäude bestehen.

Unabhängig davon, ob solche Maßnahmen politisch gefördert werden, sind deren Nutzen für die Unternehmen erheblich. Zusätzlich unterstützen sie die Geschwindigkeit eines Energieträgerwechsels weg von fossilen Brennstoffen hin zu Strom.

Literaturverzeichnis

[1] Agora Energiewende, „Erneuerbare Energien senken Strompreise unabhängig von der Nachfrage," 2025.

[2] Stiftung Klimaneutralität, „Einordnung des Energiewende-Monitoring – Acht strategische Dimensionen zur Zukunft Deutschlands, Seite 11ff.,," Berlin, 2025.

[3] Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (vdw), „Prognos Strompreisprognose," 2023. [Online]. Available: Zugriff: 18.03.2024. Unter: https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2023/Downloads/vbw_Strompreisprognose_Juli-2023-3.pdf.

[4] European Commission, „Action Plan for Affordable Energy - Unlocking the true value of our Energy Union to secure affordable, efficient and clean energy for all Europeans, COM(2025) 79 final," Brussels, 2025.

[5] AG Energiebilanzen e.V., „Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2024," 2025.

[6] Umweltbundesamt, „Energieverbrauch und Energieeffizienz in Deutschland in Zahlen," Umweltbundesamt, Themen, Klima | Energie, Energiesparen, 04. 08. 2025. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energieverbrauch-energieeffizienz-in-deutschland-in#Klimaschutz. [Zugriff am 18. 09. 2025].

[7] J. Meyer, M. Madsen und L. Saars, „Kurzstudie Energieeffizienzmaßnahmen in der Industrie - Marktnahe und wirtschaftliche Energieeinsparpotentialein der Industrie," 2023.

[8] J. Meyer, L. Zaubitzer, F. Alsmeyer und M. Madsen, „Kurzstudie: Energieeffiziente und CO2-freie Prozesswärme," 2024.

[9] Bundesregierung, *Energiefinanzierungsgesetz.*

[10] European Commission, *EU-Energiesteuerrichtlinie 2003/96/EG,* 2003.

[11] Statistisches Bundesamt (Destatis), *Branchen-Unternehmen: Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe: Produktionsindex-energieintensive-Branchen.*

[12] Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft (iwd), „Energieintensive Industrien wichtig für deutsche Wirtschaft," 2023.

[13] Frauenhofer ISI, „Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2021 bis 2023 für die Sektoren Industrie und GHD," Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB), [Online] Available: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2024/11/Anwendungsbilanz_Industrie_2023_final_20250324.pdf [Zugriff am 22.09.2025], 2025.

[14] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), ENERGIEEFFIZIENZSTRATEGIE 2050, Berlin, 2019.

[15] Agora Industrie und FutureCamp, „Power-2-Heat: Erdgaseinsparung und Klimaschutz in der Industrie," 2022.

[16] D. Schüwer, „Transformation in der Industrie: Herausforderungen und Lösungen für erneuerbare Prozesswärme," 2023.

[17] J. Meyer, S. Möhren und L. Saars, „Klimaneutrale und wettbewerbsfähige Ernährungsindustrie bis 2030, Leitfaden zur Dekarbonisierung der Prozesswärmebereitstellung," Verband Deutscher Wirtschaftsingenieure e.V. (VWI), 2022.

[18] J. Burchardt, K. Franke, P. Herhold, M. Hohaus, H. Humpert, J. Päivärinta, E. Richenhagen, D. Ritter, S. Schönberger, J. Schröder, S. Strobl, C. Tries und A. Rürpitz, „KLIMAPFADE 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft," Boston Consulting Group , 2021.

[19] C. Jugel, et. al., „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität," Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, 2021.

[20] C. Maaß, M. Sandrock und G. Fuß, „Kurzgutachten - Strategische Optionen zur Dekarbonisierung und effizienteren Nutzung der Prozesswärme und -kälte," Hamburg Institut, 2018.

[21] Fraunhofer ISI Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik (IOB) der RWTH Aachen University, „CO2-neutrale Prozesswärmeerzeugung," Umweltbundesamt, 2023.

[22] G. Luderer, C. Kost und D. Sörgel, „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045," Institute for Climate Impact Research, Potsdam, 2022.

[23] Prognos AG; Öko-Institut e. V. und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, „Klimaneutrales Deutschland 2045," Agora Energiewende, 2021.

[24] Prognos AG, Fraunhofer ISI und Technische Universität München, „Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen in der Zeitreihe 2005 – 2014 - Endbericht," Umweltbundesamt, 2016.

[25] Statistisches Bundesamt (Destatis), Genesis-Online, „Energieverbrauch der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Nutzung des Energieverbrauchs, Wirtschaftszweige, Energieträger," Destatis, Wiesbaden, 2025.

[26] Bundestelle für Energieeffizienz, „Plattform für Abwärme," [Online]. Available: https://www.bfee-online.de/BfEE/DE/Effizienzpolitik/Plattform_fuer_Abwaerme/plattform_fuer_abwaerme_node.html. [Zugriff am 18 09 2025].

[27] B. K. Sovacool, J. Kim und M. Yang, „The hidden costs of energy and mobility: A global meta-analysis and research synthesis of electricity and transport externalities.," *Energy Research & Social Science,* Bd. 72, 2021.

[28] A. Seeliger, Volkswirtschaftliche Grundlagen zu Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit. 2. Auflage., München: Vahlen, 2022.

[29] DENA; Prognos AG; Ecofys und PwC, „Gesamtwirtschaftliche Einordnung der ESG - BMWi-Projekt-Nr.: 102/16-01-1," 2017. [Online]. Available: https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-03/gesamtwirtschaftliche_einordnung_der_esg_final.pdf. [Zugriff am 19. 9. 2025].

[30] Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung (GWS); Fraunhofer ISI; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW); Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Prognos AG, „Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende. GWS Research Report 2018/04," 2018. [Online]. Available: https://www.gws-os.com/de/energie-klima/projekte/detail/bmwi-makro-ew. [Zugriff am 19. 9. 2025].

[31] International Energy Agency (IEA), „Multiple Benefits of Energy Efficiency," 2025. [Online]. Available: https://www.iea.org/reports/multiple-benefits-of-energy-efficiency. [Zugriff am 19. 9. 2025].

[32] Boston Consulting Group (BCG); Institut der deutschen Wirtschaft (IW) und Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI), „Energiewende auf Kurs bringen," 2025. [Online]. Available: https://energiewende.bcg.com/home/. [Zugriff am 19. 9. 2025].

[33] McKinsey, „Zukunftspfad Stromnachfrage," 2025. [Online]. Available: https://www.mckinsey.de/news/presse/2025-01-20-zukunftspfad-stromnachfrage. [Zugriff am 19. 9. 2025].

[34] Prognos AG und Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft (IAEW) der RWTH Aachen, „Positive Effekte von Energieeffizienz auf den deutschen Stromsektor," Agora Energiewende, [Online] Available: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2012/positive-effekte-energieeffizienz/Agora_ECF_RAP_Effizienzstudie_DE_web.pdf [Zugriff am 19.09.2025], 2014.

[35] Bundesnetzagentur, „Stand und Entwicklung der Versorgungssicherheit im Bereich der Versorgung mit Elektrizität," Bonn, 2025.

[36] Frontier Economics, „KRAFTWERKSSTRATEGIE: FESTLEGUNG AUF GAS ODER TECHNOLOGIEMIX? - Kurzstudie im Auftrag des Landesverband Erneuerbare Energien NRW e.V.," 2025.

[37] Bundesnetzagentur, „Genehmigung des Szenariorahmens für den Netzentwicklungsplan Gas und Wasserstoff," [Online] Available https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/NEP/Gas/start.html [Zugriff am 19.09.2025], 2025.

[38] K. Barzantny, M. Haverkamp, E. König, J. Meyer, U. Niehage, V. Orioli und A. Trautmann, „Energieeffizienzpotentiale und Umsetzungshemmnisse in der Industrie," *Energiewirtschaftliche Tagesfragen,* pp. 16-20, 11. 2013.

[39] J. Meyer, A. Domning, M. Freiberg, U. Maurer, P. Mier, C. Schmidt, B. Strotmann und A. Wiesgen-Pick, Steigerung der Energieeffizienz bei der Spirituosenherstellung. Anleitung mit Best-Practice-Beispielen, Bonn: Bundesverband der Deutschen Spirituosen-Industrie und -Importeure e. V. (BSI), 2024.

[40] R. Henger, S. Braungardt, J. Karras, B. Köhler und G. Reeh, „Schweden als Vorbild zur Überwindung des Vermieter-Mieter-Dilemmas – (Teil-)warmmieten oder Reform der Modernisierungsumlage?," Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam, 2023.

[41] Bundesministerium der Finanzen, „30. Subventionsbericht des Bundes 2023-2026," [Online] Available: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Pressemitteilungen/Finanzpolitik/2025/09/2025-09-10-30-subventionsbericht.html [Zugriff am 21.09.2025], 2025.

[42] 17463:2021-12, VALERI-Norm DIN EN, „Bewertung von energiebezogenen Investitionen (Valuation of Energy Related Investments)," 2021.

[43] M. Schröter, M. Groth und S. Baumgärtner, „Pigous Beitrag zur Nachhaltigkeitsökonomie," *University of Lüneburg Working Paper Series in Economics,* Nr. 180, 2010.

[44] M. Fritsch, Marktversagen und Wirtschaftspolitik – Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns. 10. Auflage., München: Vahlen, 2018.

[45] Fraunhofer ISE, „Studie: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien," [Online] Available: https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.html [Zugriff am 19.09.2025], 2024.

[46] Energy Institute, „Statistical Review of World Energy. 74. Auflage.," [Online] Available: https://www.energyinst.org/statistical-review [Zugriff am 19.09.2025], 2025.

[47] Statistisches Bundesamt (Destatis), „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung – Arbeitsunterlagen Investitionen," 4. Vierteljahr 2024. [Online]. Available: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Inlandsprodukt/investitionen-xlsx-5811108.html. [Zugriff am 21. 9. 2025].

[48] Fraunhofer ISI, Evaluation Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (Zuschuss und Kredit/Förderwettbewerb), Karlsruhe, Basel, Stuttgart, Berlin: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), 2023.

[49] Statistisches Bundesamt (Destatis), Genesis-Online, „Energieverwendung der Betriebe im Verarb. Gewerbe - Stromerzeugung, Strombezug, Stromabgabe, Stromverbrauch," Destatis, Wiesbaden, 2025.

[50] Statistisches Bundesamt (Destatis), Genesis-Online, „Code: VBR001, Erläuterungen: Energieverbrauch," 2019. [Online]. Available: https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/85121/table/85121-0001#modal=table-term-info&params=JTVCJTdCJTIycGFyYW1zJTIyJTNBJTdCJTIybGlua0lkJTIyJTNBJTIyQ19WQlIwMDElMjIlN0QlN0QlNUQ=. [Zugriff am 22. 09. 2025].

[51] AG Energiebilanzen e.V., „Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre von 1990 bis 2024," Juni 2025. [Online]. Available: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/EBD24p1_Auswertungstabellen_deutsch.pdf. [Zugriff am 22. 09. 2025].

Impressum

Prof. Dr.-Ing. Jörg Meyer, Louisa Zaubitzer (M.Sc.), Prof. Dr.-Ing. Frank Alsmeyer,
Prof. Dr. Andreas Seeliger, Lisa Schmitt (M.Eng.)

SWK E² - Institut für Energietechnik und Energiemanagement der Hochschule Niederrhein, Krefeld
www.hs-niederrhein.de/swk-e2