



Hochschule Niederrhein
University of Applied Sciences

SWK E²

Institut für Energietechnik und
Energiemanagement
Institute of Energy Technology and
Energy Management

Kurzstudie: Energieeffiziente und CO₂-freie Prozesswärme

| Stand: Juli 2024 |

Autoren: Jörg Meyer | Louisa Zaubitzer | Frank Alsmeyer |
Marius Madsen

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	1
Einleitung.....	3
Möglichkeiten zur Steigerung der Endenergieeffizienz von Prozesswärme.....	4
Methodik	4
Ermittelte Einsparpotentiale	7
Primärenergieeffizienz von Prozesswärme	10
Bausteine einer Prozesswärme-Strategie der Bundesregierung	12
Literaturverzeichnis	14

Kurzfassung

- **21 Milliarden Euro** jährlich könnten in Deutschland an Energiekosten für die Prozesswärmebereitstellung eingespart werden. Das ist eine große Chance für die Wettbewerbsfähigkeit und ermöglicht nachhaltiges Wachstum, trotz der für das Erreichen der Klimaziele langfristig notwendigen Energie- und Treibhausgas-Einsparungen. Der Trend der Entkopplung von Wachstum und Verbrauch der letzten Jahre könnte so deutlich beschleunigt werden.
- Durch standardmäßig verfügbare Energieeffizienzmaßnahmen und Umstellungen in der Wärmebereitstellung könnten alleine durch den Bereich Prozesswärme **33 Prozent des Endenergiebedarfs der Industrie** des Jahres 2022 (**226 TWh/a** von 680 TWh/a) bei hoher wirtschaftlicher Zusatzrendite und ohne Produktionseinschränkungen eingespart werden. Unternehmen könnten somit **49 Prozent** ihres aktuellen **Endenergieverbrauchs für Prozesswärme** (226 von 460 TWh/a) wirtschaftlich einsparen. Diese Einsparung entspricht in der Größenordnung etwa der Produktionsmenge von **vier großen Kohlekraftwerken plus** der Kapazität von **zwei LNG-Terminals**. In Abbildung 1 werden die Endenergieeinsparpotentiale anschaulich dargestellt.
- Die größten Potentiale bestehen für die Maßnahmen „Wärmerückgewinnung“, „Elektrifizierung“ sowie „Abwärmenutzung“.
- **63 Prozent der wirtschaftlichen Energieeinsparpotentiale (142 TWh/a** von 226 TWh/a) sind dabei **„marktnah“**. Das bedeutet, dass die Maßnahmen eine sehr attraktive Rendite haben und sich innerhalb von drei Jahren amortisieren. Damit können bis zu **12,8 Milliarden Euro** jährlich an Energiekosten eingespart werden. Erfahrungsgemäß haben Unternehmen mit etabliertem Energiemanagement schon einige Potentiale umgesetzt bzw. fällt es diesen Unternehmen leichter, die Energieeinsparpotentiale umzusetzen.
- **In der Studie werden noch weitere 84 TWh/a** Endenergieeinsparung und jährlich etwa 8,2 Milliarden Euro Energiekosteneinsparung aufgezeigt, die nicht „marktnah“ sind. Diese Potentiale sind zwar wirtschaftlich, können aber nur längerfristig mit einer attraktiven Rendite eingespart werden. Viele der betrachteten Maßnahmen amortisieren sich bereits innerhalb von etwa 5 Jahren.
- Erneuerbarer Strom wird künftig der Standard-Primärenergieträger sein. Jede Kilowattstunde kann nur einmal verbraucht werden. Daher ist auch die Vermeidung von Umwandlungsverlusten im Sinne der **Primärenergieeffizienz** essenziell. Direkte Elektrifizierung sollte der indirekten Elektrifizierung (z.B. Nutzung von Wasserstoff) vorgezogen werden. Bei Umsetzung der in dieser Studie angenommenen wirtschaftlichen Endenergieeinsparmaßnahmen wäre der Primärenergiebedarf bei verstärkter Berücksichtigung von Wasserstoffanwendungen um etwa 69 TWh/a höher im Vergleich zu einem Szenario mit überwiegend direkter Elektrifizierung.
- Bei direkter Elektrifizierung wird eine mögliche Reduktion des **Primärenergiebedarfs** für Prozesswärme um etwa 57% von 572 TWh/a in 2022 auf **248 TWh/a** in 2040 abgeschätzt.
- Ein großer Teil des Endenergiebedarfes für Prozesswärme kann schon bis **2030** eingespart sein. Der Bedarf reduziert sich bei Umsetzung von 70% der marktnahen Potentiale auf **360 TWh/a** (22% Einsparung bezogen auf den Endenergieverbrauch für Prozesswärme in 2022). In **2040** ist der Endenergiebedarfes in dem hier beschriebenen Szenario **318 TWh/a** (31% Einsparung bezogen auf den Endenergieverbrauch für Prozesswärme in 2022).

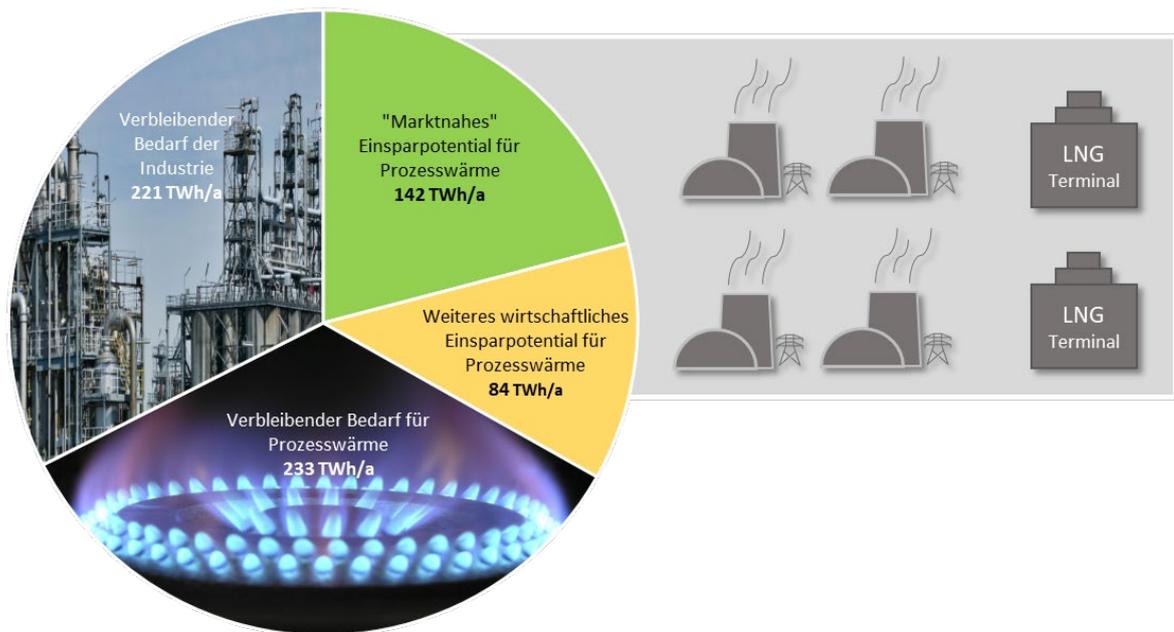


Abbildung 1: Anteil wirtschaftlicher Endenergieeinsparpotentiale für Prozesswärme aufgeteilt in marktnahe und weitere wirtschaftliche Einsparpotentiale. Die Gesamteinsparung entspricht in der Größenordnung etwa der Produktionsmenge von vier großen Kohlekraftwerken plus der Kapazität von zwei LNG-Terminals.

Einleitung

Bis zum Jahr 2045 sollen nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) die Treibhausgasemissionen von Deutschland so weit gemindert werden, dass Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird [1]. Dieses Ziel soll durch eine Reduzierung des Primärenergiebedarfs bis zum Jahr 2050 um 50 % gegenüber dem Jahr 2008 erreicht werden [2], [3]. Zentrale Bausteine der Energiewende in Deutschland sind dabei zum einen der Ausbau der erneuerbaren Energien und zum anderen die Energieeffizienz [4]. Gemäß der Studie „Energieeffizienzstrategie 2050“ des BMWK wird somit eine deutliche Bedarfsreduktion bei den Endnutzern erwartet [5].

Im Herbst 2023 wurde das Energieeffizienzgesetz (EnEfG) beschlossen. Dieses definiert als Energieeffizienzziele, dass der Endenergieverbrauch in Deutschland gegenüber dem Wert des Jahres 2008 bis 2030 um mindestens 26,5 % sinken soll (auf 1.867 TWh/a) und bis 2045 um 45 % (auf etwa 1.400 TWh/a). Der Primärenergieverbrauch Deutschlands soll im Vergleich zum Jahr 2008 bis zum Jahr 2030 um mindestens 39,3 % sinken (auf 2.252 TWh/a). Für 2045 wird kein Primärenergie-Einsparziel festgelegt. [6]

Im Jahr 2022 betrug der vom Umweltbundesamt ermittelte Gesamtendenergiebedarf in Deutschland 2.368 TWh/a [7]. Einen großen Anteil von 28% macht dabei der Sektor Industrie aus [7]. Für eine Transformation hin zur Treibhausgasneutralität muss entsprechend auch der Endenergiebedarf in der Industrie reduziert und mit erneuerbaren Energien gedeckt werden. In der Tabelle 1 sind Prognosen verschiedener Studien zur Reduktion des Endenergiebedarfs der Industrie und des Primärenergiebedarfs bis 2045 dargestellt.

Tabelle 1: Prognostizierte Entwicklung der Energiebedarfe vom Basisjahr 2008 bis 2030/2045

		BDI [8] [9]	dena [10]	Agora/Stift. KN [11]	Ariadne [12]	Fraunhofer ISI et al. [13] Langfristszenarien T45 Strom Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland
		BDI Klimapfade 2.0	Dena Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“	Klimaneutrales Deutschland	Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045	
Primärenergie (gesamt)	2045	-50%	-55%	-55%	k. A.	k. A.
Endenergie (Industrie)	2030	-8%	-13%	-14%	-13%	-12%
	2045	-17%	-21%	-19%	- 23%	-19%

Der Endenergieverbrauch der Industrie wird maßgeblich durch den Anwendungsbereich Prozesswärme bestimmt. Dieser nimmt einen Anteil von 67,5 % der Endenergie ein [14], [15]. Insbesondere in der Kurzstudie „Energieeffizienzmaßnahmen in der Industrie“ werden große Energieeinsparpotentiale in diesem Anwendungsbereich abgeschätzt [16]. Auch die Studie „Power-2-Heat: Erdgaseinsparung und Klimaschutz in der Industrie“ sieht besonders durch die Elektrifizierung von Prozesswärme große Einsparpotentiale [17].

In der vorliegenden Studie wird deswegen die Betrachtung der Energieeffizienzpotentiale für industrielle Prozesswärme vertieft. Basis für die Vertiefung ist die oben genannte Kurzstudie „Energieeffizienzmaßnahmen in der Industrie“ [16]. Zunächst werden in dem Kapitel

„Möglichkeiten zur Steigerung der Endenergieeffizienz von Prozesswärme“ wirtschaftliche und marktnahe wirtschaftliche Endenergieeffizienzpotentiale für Prozesswärme beschrieben und berechnet. Anschließend werden im Kapitel „Primärenergieeffizienz von Prozesswärme“ die Auswirkungen von Prozessumstellungen in der Wärmeerzeugung/-bereitstellung und den damit einhergehenden Energieträgerwechseln auf den Primärenergiebedarf beleuchtet. Hier wird auch das Thema Wasserstoff einbezogen. Im abschließenden Kapitel „Bausteine einer Prozesswärme-Strategie der Bundesregierung“ werden aus den Ergebnissen der Betrachtung technische Pfade zu einer energieeffizienten und dekarbonisierten Prozesswärme in 2045 abgeleitet.

Möglichkeiten zur Steigerung der Endenergieeffizienz von Prozesswärme

Auch zukünftig wird ein großer Anteil des Endenergiebedarfs der Industrie von 680 TWh/a¹ in Produktionsprozessen benötigt [18]. Die wirtschaftlichen Einsparpotentiale des Endenergiebedarfs hängen dabei vom Stand der Technik, den Energiepreisen sowie politischen und wirtschaftlichen (u. a. gewünschte Rendite, Investitionsrisiko) Rahmenbedingungen ab.

In dieser Studie wird Prozesswärme zunächst nach Temperaturniveaus klassifiziert und der Endenergiebedarf der Prozesswärme von 460 TWh/a auf diese Niveaus aufgeteilt. Für den Temperaturbereich „kleiner 100°C“ wird der Endenergiebedarf für Raumwärme und Brauchwarmwasser nicht berücksichtigt. Beispielhafte Einteilungen in Temperaturniveaus finden sich in Anlehnung an Anwendungen oder an Alternativtechnologien zur Prozesswärmebereitstellung in [9], [17] oder [19]. Grundlage für die Klassifizierung in der vorliegenden Studie ist eine Auswertung im Auftrag des Umweltbundesamt [20]. Neben einer Aufteilung in verschiedene Temperaturbereiche erfolgt hierbei auch eine Zuordnung der Endenergieverbräuche je nach Branche. Diese Anteile der Branchen sind vergleichbar mit Auswertungen der AG Energiebilanzen e. V. (AGEB) [21] oder des statistischen Bundesamtes [18]. Hierdurch können die Einsparpotentiale unter Berücksichtigung der Anwendungen/ Prozesse und anhand von entsprechenden Referenztechnologien abgeschätzt werden.

Im Folgenden wird die angewandte Methodik, die auf der Methodik in der oben erwähnten Kurzstudie „Energieeffizienzmaßnahmen in der Industrie“ [16] basiert, kurz vorgestellt. Für eine detailliertere Erläuterung der angewandten Methodik verweisen wir ebenfalls auf die Studie „Energieeffizienzpotentiale und Umsetzungshemmnisse in der Industrie“ von Barzantny, Meyer et al. [22]. Anschließend werden die Potentiale für die einzelnen Temperaturbereiche konkret beschrieben und anschaulich dargestellt.

Methodik

Es werden drei Arten von Potentialen unterschieden:

- das Endenergieeinsparpotential, d. h. die Möglichkeiten zur Reduzierung von Strom-, Brennstoff- und Wärmemengen;
- das Energiekostensenkungspotential, d. h. die Möglichkeiten zur Reduzierung der Kosten für Strom-, Brennstoff- und Wärmemengen sowie

¹ In dieser Studie werden die Daten des Statistischen Bundesamtes [18] verwendet. 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 [39] wird mithilfe der Daten des Statistischen Bundesamtes zur eigenen Stromerzeugung [38] und Auswertungen der AGEB zu Kraft-Wärme-Kopplung in der Industrie [40] bereinigt.

- das Marktpotential, d. h. die Betrachtung der erforderlichen Investitionssummen zur Umsetzung der oben genannten Potentiale.

Außerdem werden Potentiale für verschiedene Rahmenbedingungen ermittelt:

- „Wirtschaftliches Potential“: Es umfasst Maßnahmen, die über ihre Nutzungsdauer wirtschaftlich sind, d. h. der Kapitalwert der Energieeffizienzmaßnahme ist positiv. Dabei wird eine Eigenkapitalverzinsung von 8%² sowie eine Preisentwicklung beim Wärmepreis (bis 2028 konstant 80,83 €/MWh, anschließend bis 2060 Anstieg auf 173,5 €/MWh) angenommen. Der Wärmepreis bis 2028 setzt sich aus der Aufteilung der Prozesswärme in Energieträger nach [14] sowie einem Strompreis von 155 €/MWh³ und einem Erdgaspreis von 75 €/MWh⁴ zusammen. Der Wärmepreis für 2060 berücksichtigt eine neue Aufteilung der Energieträger (80 % Strom, 20% Fernwärme) und einen Strompreis von 195 €/MWh⁵.

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

[Anmerkung: 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 Kapitel zu Hemmnissen in der vorangegangenen Kurzstudie [16]).]

Für jeden Temperaturbereich der Prozesswärme werden mögliche Endenergieeinsparmaßnahmen analysiert. Dabei wird mit einer Betrachtung entlang der Abwärmenutzungskaskade begonnen und damit dem Prinzip „Efficiency first“ gefolgt, welches in verschiedenen Studien [5], [17], [23] oder [24] 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 [9], [10], [12], [16], [17], [19], [23], [24] und [26].

Die angewandte Methodik zur Bestimmung der Potentiale ist in der folgenden Abbildung 2 dargestellt. Hier wird der Rechenweg in den weißen und gelben Feldern dargestellt und anschließend werden in den blauen Feldern Beispielwerte für den Temperaturbereich „kleiner 100 °C“ angegeben.

² Moderater Erfahrungswert, der auch in [16] verwendet wird.

³ Grundlagen für die Strompreisfestlegung sind der Mittelwert der EEX-Frontyear Base-Werte von 2025, 2026, 2027 und 2028 vom 04.03.2024 (70 €/MWh) zuzüglich 50 €/MWh Netzentgelte, 15 €/MWh Abgaben und Umlagen sowie 20,5 €/MWh Steuern (ohne Umsatzsteuer).

⁴ Grundlagen für die Erdgaspreisfestlegung sind der Mittelwert der THE-Frontyear Base-Werte von 2025, 2026 und 2027 vom 04.03.2024 (31 €/MWh) zuzüglich 10 €/MWh Netzentgelte und 35 €/MWh Abgaben, Umlagen und Steuern (inkl. CO₂-Abgabe von 10 €/MWh, ebenfalls ohne Umsatzsteuer).

⁵ Grundlagen für die Strompreisfestlegung 2060 ist die „vbw / Prognos Strompreisprognose 2023“ [30] (60 €/MWh) zuzüglich 100 €/MWh Netzentgelte, 15 €/MWh Abgaben und Umlagen sowie 20,5 €/MWh Steuern (ohne Umsatzsteuer).

Möglichkeiten zur Steigerung der Endenergieeffizienz von Prozesswärme

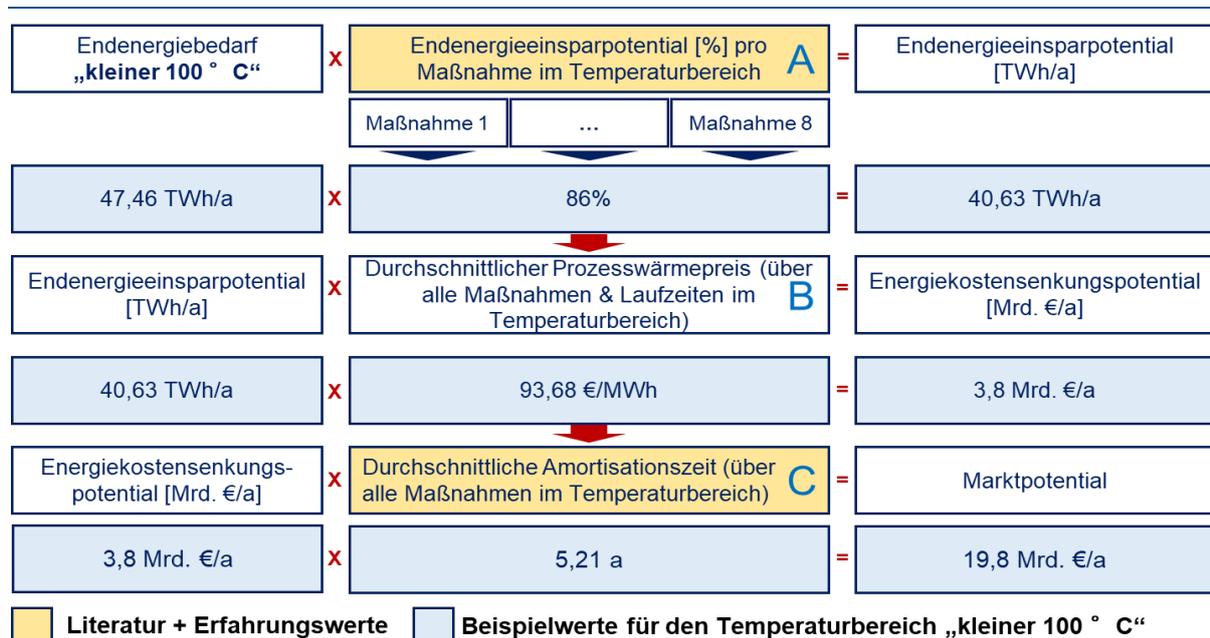


Abbildung 2: Methodik zur Berechnung der Potentiale am Beispiel des Temperaturbereichs „kleiner 100 ° C“

Im Rahmen dieser Studie wird literaturbasiert sowie auf Basis von Erfahrungswerten das Endenergieeinsparpotential der einzelnen Maßnahmen als Prozentwert ermittelt. Für die Abschätzung der Einsparpotentiale von Alternativtechnologien (wie bspw. Wärmepumpe oder Elektrodenkessel) wird dabei maßgeblich [26] verwendet. Bei der Ermittlung der Endenergieeinsparpotentiale wird außerdem 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 miteinander verrechnet, sodass je Temperaturbereich ein Einsparpotential in Prozent ausgewiesen wird (siehe Feld mit der Kennzeichnung „A“ in Abbildung 2). Mit diesem Prozentwert sowie dem Endenergiebedarf nach [20] wird ein Einsparpotential in TWh/a je Temperaturniveau 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 (siehe Feld mit der Kennzeichnung „B“) die wirtschaftlichen Energiekostensenkungspotentiale bestimmt. Danach wird in der vorliegenden Studie eine Verbesserung der Methodik aus der vorangegangenen Kurzstudie [16] eingeführt, indem anstelle einer durchschnittlichen Amortisationszeit eine kurze und lange mittlere Amortisationszeit je Maßnahme betrachtet wird. Die beiden Amortisationszeiten werden nach Häufigkeit gewichtet. Mit dem Energiekostensenkungspotential und den Amortisationszeiten (siehe Feld mit der Kennzeichnung „C“) wird dann das Marktpotential (= notwendige Investitionssumme) bestimmt. Durch entsprechende Summenbildung über einen Temperaturbereich kann danach sowohl das wirtschaftliche als auch das marktnahe Potential der Prozesswärme für Deutschland bestimmt werden.

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 Effizienzmaßnahmen, 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 nimmt die Festlegung der Energiepreise einen Einfluss (Differenzen je nach Unternehmensgröße und Energiebedarf). Insbesondere in Kombination damit, dass der Zeitpunkt der Umsetzung der Maßnahmen nicht betrachtet wird (abhängig vom Modernisierungszyklus individueller Anlagen).

Ermittelte Einsparpotentiale

Die Analyse im Zuge dieser Studie hat ergeben, dass das über alle Temperaturbereiche kumulierte wirtschaftliche Endenergieeinsparpotential (d. h. Umsetzung von Maßnahmen mit positivem Kapitalwert) bei 226 TWh/a (33 % des Endenergiebedarfs der deutschen Industrie in 2022) liegt und mit einer Investitionssumme von insgesamt 91,7 Mrd. € zu heben ist. Die Investitionssummen (Marktpotentiale) einzelner Maßnahmenbündel können der Abbildung 5 auf Seite 9 entnommen werden. Durch das ermittelte wirtschaftliche Endenergieeinsparpotential werden die in Tabelle 1 prognostizierten Entwicklungen sogar übertroffen und Energiekosten von jährlich 21 Milliarden Euro eingespart. Das marktnahe Endenergieeinsparpotential beträgt davon 142 TWh/a (21 % des Endenergiebedarfs der deutschen Industrie in 2022). Hiermit könnten Energiekosten von jährlich 12,8 Milliarden Euro eingespart werden.

Für die Betrachtung wurde der Endenergiebedarf der Prozesswärme von 460 TWh/a auf sechs Temperaturniveaus (siehe Abbildung 3) aufgeteilt. In der Abbildung wird der Endenergiebedarf je Temperaturbereich zusätzlich in den Anteil des wirtschaftlichen Einsparpotentials (blau) und den restlichen, nicht durch wirtschaftliche Effizienzmaßnahmen einsparbaren Anteil (orange) unterteilt. Es zeigt sich, dass der Anteil des wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentials mit steigender Temperatur abnimmt (verdeutlicht durch die Prozentwerte auf der rechten Seite).

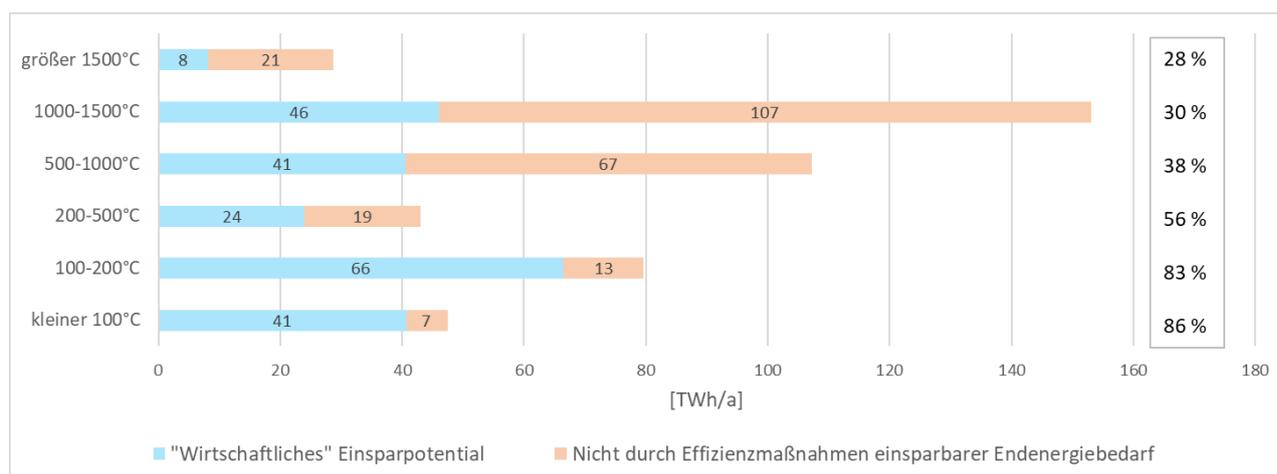


Abbildung 3: Aufteilung des Endenergiebedarfs von Prozesswärme je Temperaturbereich mit Darstellung von wirtschaftlichem (blau) und nicht-wirtschaftlichem (orange) Einsparpotential. Die Prozentwerte in dem rechten Kasten sind der Anteil des wirtschaftlichen Einsparpotentials am Endenergiebedarf je Temperaturbereich.

Abbildung 4 zeigt die Differenz zwischen „wirtschaftlichem“ und „marktnahem“ Endenergieeinsparpotential je Temperaturbereich. Zusätzlich sind die wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentiale in Einsparungen durch Effizienzmaßnahmen und Einsparungen durch Prozessumstellung in der Wärmebereitstellung unterteilt.

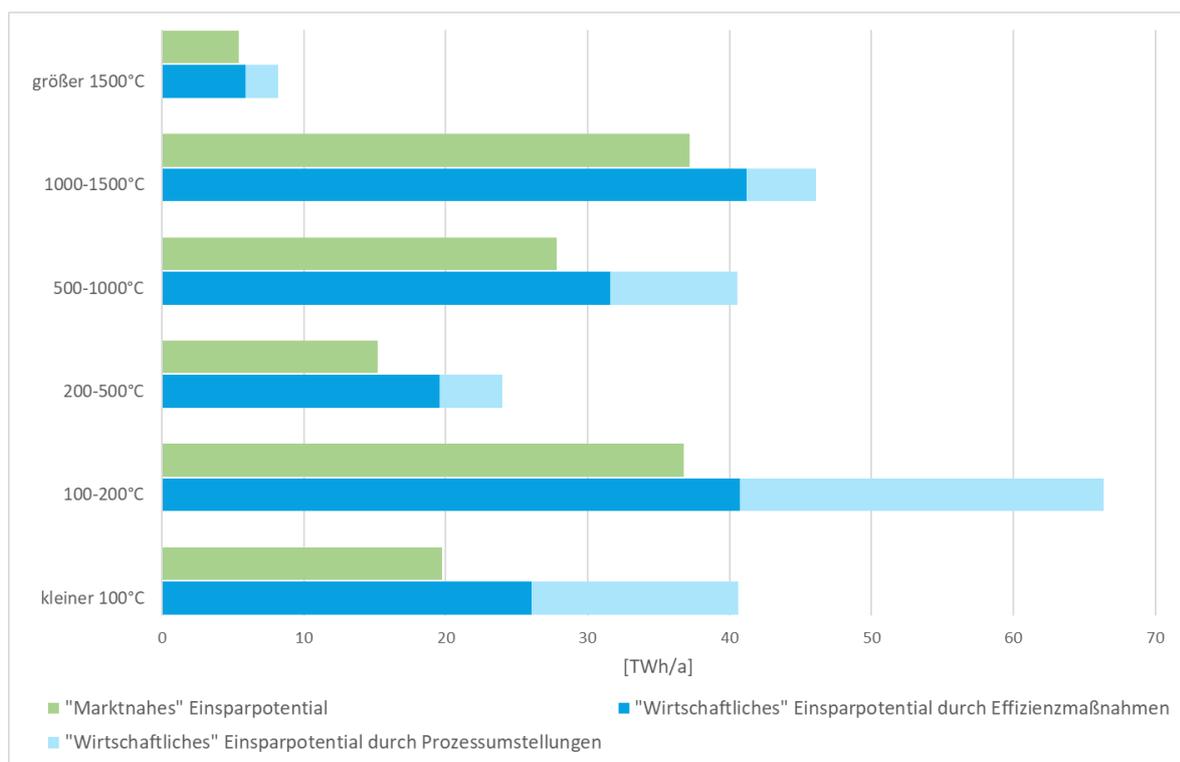


Abbildung 4: "Wirtschaftliche" und "marktnahe" Endenergieeinsparpotentiale der Temperaturbereiche im Vergleich

Dabei zeigen sich die größten Unterschiede zwischen „wirtschaftlichem“ und „marktnahem“ Endenergieeinsparpotential für die beiden Bereiche bis 200 °C. Hier haben, wie durch die Balkenaufteilung des wirtschaftlichen Einsparpotentials verdeutlicht, insbesondere Umstellungen in der Wärmebereitstellung (Prozessumstellungen) wie bspw. auf Wärmepumpen oder Hochtemperatur-Wärmepumpen einen großen Beitrag.

Die Abwärmenutzung macht ebenfalls einen großen Anteil der Einsparungen aus. Die resultierenden Umbaumaßnahmen bedeuten vergleichsweise hohe Investitionen. Die Maßnahmen haben häufig trotzdem einen positiven Kapitalwert, da sie über lange Nutzungszeiträume wirken. Die Potentiale in höheren Temperaturbereichen werden durch Energieeffizienzmaßnahmen dominiert. Hierbei ist das marktnahe Endenergieeinsparpotential ähnlich zu dem wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotential.

Unternehmen mit einem etablierten Energiemanagement haben oft schon einige wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentiale umgesetzt. Daher wird bei der Ermittlung der Endenergieeinsparpotentiale (vgl. Kapitel Methodik) für jede Maßnahme ein Anteil bereits erfolgter Umsetzungen abgeschätzt und vom Einsparpotential abgezogen.

Die folgende Tabelle 2 stellt die Maßnahmen mit den größten Endenergieeinsparpotentialen je Temperaturbereich für industrielle Prozesswärme dar.

Die nachfolgende Abbildung 5 visualisiert die wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentiale der einzelnen Maßnahmenbündel (Fläche der Kreise proportional zum Zahlenwert in TWh/a), das Marktpotential (x-Achse) und die durchschnittliche Amortisationszeit aller Maßnahmen der Maßnahmenbündel (y-Achse). Hier zeigen sich die großen Einsparpotentiale von Effizienzmaßnahmen wie „Wärmerückgewinnung/ -integration“, „Abwärmenutzung“ oder der „Prozessumstellung durch Elektrifizierung“. Die Marktpotentiale für diese Maßnahmen sind vergleichsweise groß.

Tabelle 2: Maßnahmen mit den größten Endenergieeinsparpotentialen in der Prozesswärme je Temperaturbereiche

Temperaturniveau	Maßnahmen mit den größten wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentialen		
	Größtes Potential	Zweitgrößtes Potential	Drittgrößtes Potential
kleiner 100 °C	Abwärmennutzung	Prozessumstellung: Wärmepumpe/ Hochtemperatur- wärmepumpe	Wärmerückgewinnung/ - integration
100-200 °C			
200-500 °C	Wärmerückgewinnung/ - integration (Luftvorwärmer, Economiser etc.), Fegedampfnutzung	Verbessertes Nutzerverhalten und/oder Steuerung	Systemoptimierung (bspw. Kondensatrücklauf)
500-1000 °C	Wärmerückgewinnung/ - integration (bspw. Rekuperatorbrenner)	Verbessertes Nutzerverhalten und/oder Steuerung	Elektrifizierung in: - "Grundstoffchemie" - "Metallerzeugung" - "NE-Metalle und Gießereien"
1000-1500 °C			Elektrifizierung in: - "Metallerzeugung" - "NE-Metalle und Gießereien"
größer 1500 °C			Elektrifizierung in: - "Glas und Keramik" - "Metallerzeugung"

In Abbildung 5 ist erkennbar, dass sich viele Energieeffizienzmaßnahmen bereits innerhalb von etwa fünf Jahren amortisieren. Mittels der Pfeile werden weiterhin die kürzeste und längste mittlere Amortisationszeit der Maßnahme eines Maßnahmenbündels dargestellt. Die Lage des Mittelpunktes der Kreise veranschaulicht somit die Gewichtung der Amortisationszeiten.

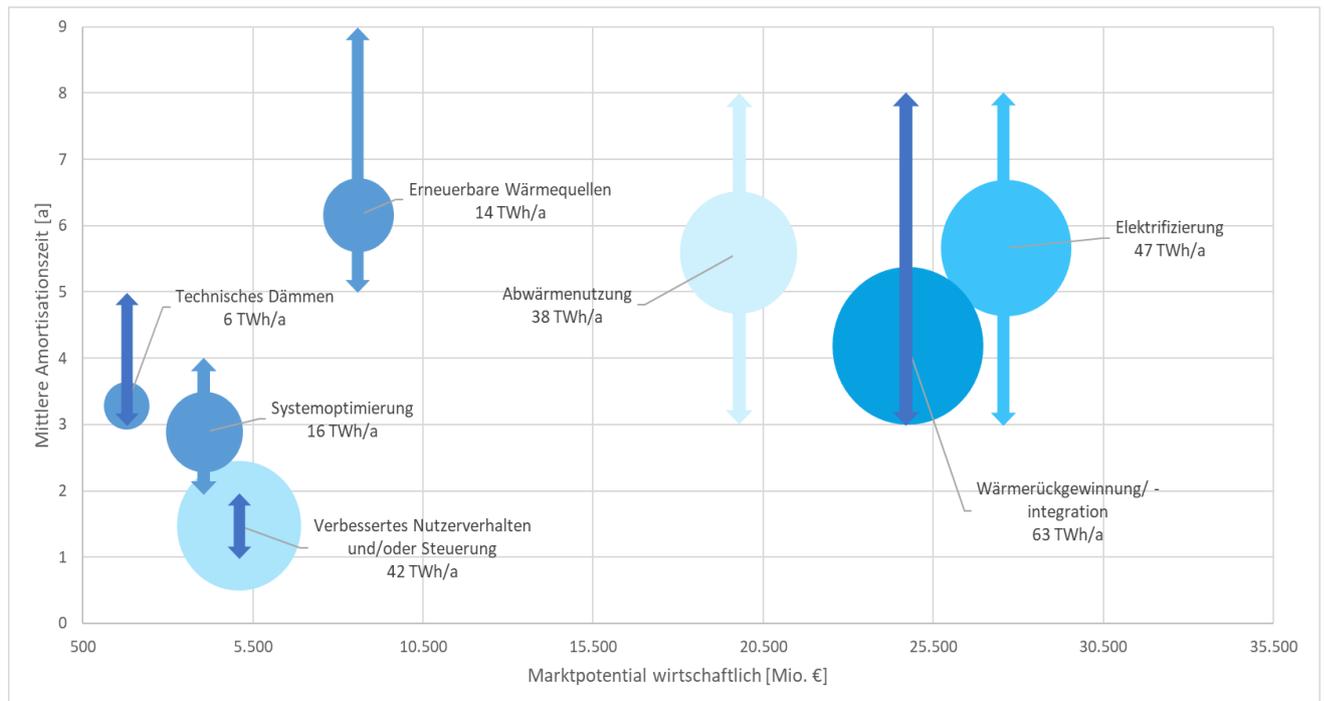


Abbildung 5: Endenergieeinsparpotential, Marktpotential und mittlere Amortisationszeit nach Maßnahmen

Primärenergieeffizienz von Prozesswärme

Für die Berechnung der vorgestellten wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentiale werden die aus Energieeffizienzperspektive optimalen Alternativtechnologien ausgewählt. Hierbei bringt vor allem direkte Elektrifizierung große Endenergieeinsparungen [17], [26]. Neben der getroffenen Technologiewahl werden auch insbesondere für die höheren Temperaturbereiche alternative Brennstoffe wie grüner Wasserstoff oder synthetisches Methan diskutiert. Für diese indirekte Elektrifizierung werden allerdings nur sehr geringe Endenergieeinsparpotentiale erwartet [26]. Da 80% der Endenergieeinsparung über Effizienzmaßnahmen (bspw. Maßnahmen zur Vermeidung von Abwärme, Wärmerückgewinnung/-integration und Abwärmennutzung) erreicht werden, ändert sich das Endenergieeinsparpotential bei indirekter anstelle von direkter Elektrifizierung auf den ersten Blick nur geringfügig. Allerdings nur, wenn dabei die alternativen Brennstoffe als Endenergieträger ohne Betrachtung der Vorkette kalkuliert werden [26]. Aufgrund von Umwandlungs- und Transportverlusten wird für die Herstellung von grünem Wasserstoff allerdings etwa die 1,4-fache Menge an Strom benötigt. Für synthetisches Methan muss die 1,8-fache Menge an Strom eingesetzt werden [23]. Auch [17] erwähnt einen höheren Bedarf an erneuerbarem Strom für Wasserstoff. Die Betrachtung auf Endenergielevel ist für den Vergleich der Technologiewahl je nach Definition der Endenergieträger entsprechend wenig aussagekräftig. Im Rahmen dieser Studie wird daher zusätzlich ein Vergleich auf Primärenergielevel durchgeführt. Als Brennstoff wird grüner Wasserstoff betrachtet.

Durch die Prozessumstellungen in der Wärmeerzeugung/-bereitstellung ändern sich die Anteile der Energieträger im Prozesswärmemix. Für direkte Elektrifizierung der Prozesswärme steigt bei der durchgeführten Betrachtung der Anteil von Strom von ca. 8 % [14] auf bis zu 50 % im Jahr 2040. Für die indirekte Elektrifizierung steigt der Energieträger „grüne Gase“ von 0 % auf ca. 42 %. Dies ist vergleichbar mit anderen Szenarien der direkten oder indirekten Elektrifizierung von Prozesswärme [13]. Es ist zu beachten, dass nach Umsetzung der betrachteten, wirtschaftlichen Energieeinsparmaßnahmen noch nicht alle Prozesse dekarbonisiert sind. Entsprechend sind bis 2040 weiterhin Energieträger wie Erdgas oder Öl, ggf. auch Kohle vorhanden. Nach der Umsetzung der Maßnahmen sind also weitere Prozessumstellungen in der Wärmebereitstellung notwendig.

Der Primärenergiebedarf im Ist-Zustand (2022) wird mit der Aufteilung der Energieträger nach [14] und Primärenergiefaktoren aus der DIN V 18599-1 berechnet. Hier ist der Primärenergiefaktor für Strom 2,8. Als Ausgangspunkt für die Berechnung des Primärenergiebedarfs nach Umsetzung aller betrachteten Maßnahmen in 2040 dient der reduzierte Endenergiebedarf nach Ausschöpfung der wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentiale. Mit den neuen Anteilen der Energieträger und den Primärenergiefaktoren wird der Primärenergiebedarf bestimmt. Dabei wird für Strom aufgrund der bis dahin vollständig als erneuerbar angenommenen Erzeugung ein Faktor von 1,0 verwendet. Für die Festlegung des Primärenergiefaktors von Wasserstoff wird der Faktor von Strom mit 1,4 multipliziert. Hiermit ergeben sich für eine direkte Elektrifizierung wirtschaftliche Primärenergieeinsparungen von 324 TWh/a. Im Vergleich dazu reduziert sich die Einsparung bei der Entscheidung für Wasserstoff auf lediglich 255 TWh/a. Zusätzlich wird ein Fall ohne die diskutierten wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentiale betrachtet. Hierbei wird lediglich der Anteil von Erdgas im Energieträgermix durch Wasserstoff ersetzt. Trotz deutlich geringerem Primärenergiefaktor für Strom in 2040 beträgt sich die Primärenergieeinsparung nur 0,8 TWh/a. Eine Übersicht dazu findet sich in Abbildung 6:

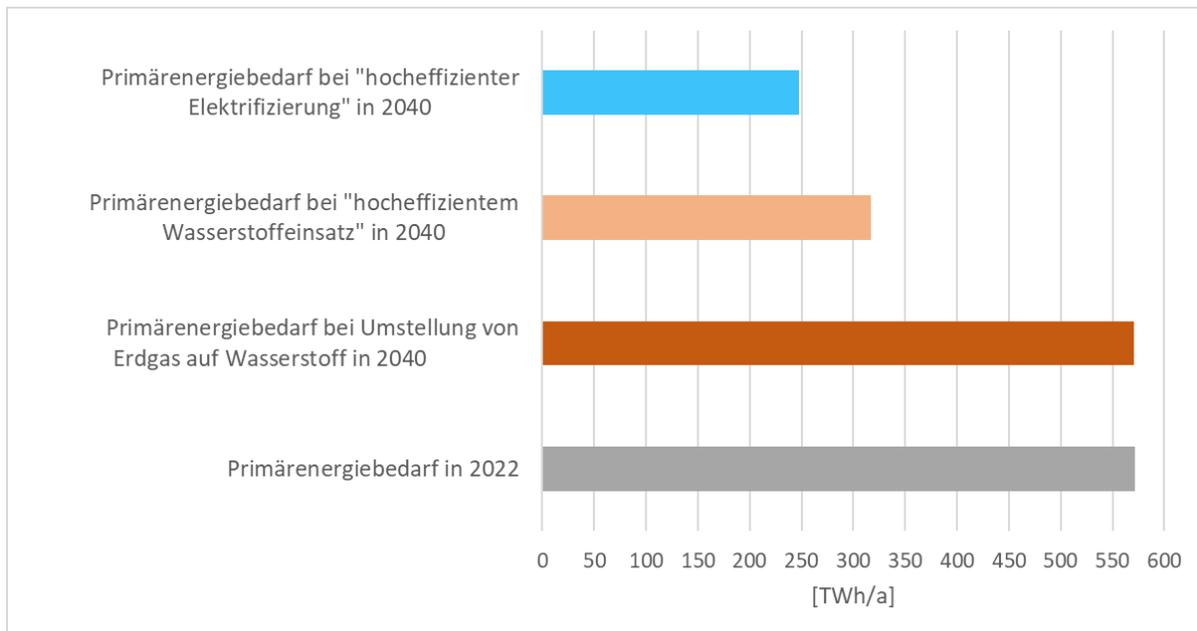


Abbildung 6: Wirtschaftliche Primärenergiebedarfe in der Prozesswärme 2022 und in Abhängigkeit von verstärkter Elektrifizierung oder Einsatz von Wasserstoff

In der folgenden Abbildung 7 werden die wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentiale der verschiedenen Alternativtechnologien (Fläche der Kreise, Zahlenwert in TWh/a und y-Achse) sowie der Primärenergieeffizienzfaktor (x-Achse) dargestellt.

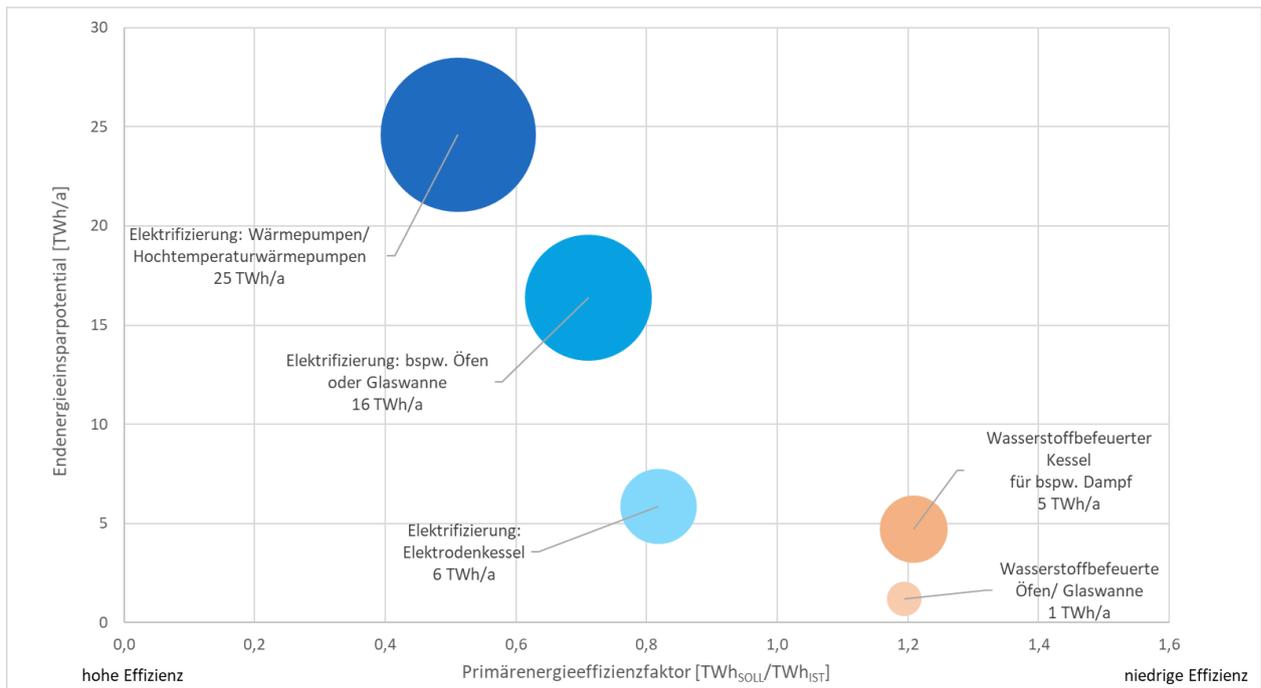


Abbildung 7: Wirtschaftliche Endenergieeinsparpotential und Primärenergieeffizienzfaktor verschiedener Technologien

Der Primärenergieeffizienzfaktor wird hier definiert als „Primärenergiebedarf nach Energieträgerwechsel und wirtschaftlichen Einsparungen“ dividiert durch „Primärenergiebedarf im Ist-Zustand (hier 2022)“. Hierbei zeigt sich, dass der Primärenergieeffizienzfaktor bei den Wasserstofftechnologien größer als eins ist. Demnach wird durch diese Maßnahmen mehr Primärenergie gebraucht als aktuell. Neben den geringeren Endenergieeinsparungen sind die

Umwandlungs- und Transportverlusten und damit der hohe Primärenergiefaktor für Wasserstoff ursächlich. Durch die direkte Elektrifizierung wird der Primärenergiebedarf reduziert. Darüber hinaus weisen diese Technologien, insbesondere Wärmepumpen/ Hochtemperaturwärmepumpen, große Endenergieeinsparpotentiale auf.

Bei der Entscheidung für eine Prozessumstellung in der Wärmeerzeugung/-bereitstellung sollte daher auch die Primärenergieeffizienz berücksichtigt werden. Wo eine direkte Elektrifizierung möglich ist, sollte nicht indirekt elektrifiziert werden. Aus Energieeffizienzperspektive ist damit insbesondere in den niedrigen Temperaturbereichen eine direkte Elektrifizierung zu empfehlen. Für höhere Temperaturbereiche können bspw. auch hybride Lösungen (mehr als 50 % elektrisch, zusätzlich gasbeheizt) interessant werden [23], [26]. Als letzte Option kann trotz der beschriebenen hohen Umwandlungsverluste in bestimmten Fällen auch der Einsatz von alternativen Brennstoffen wie grünem Wasserstoff eine geeignete Technologiewahl darstellen. Hier sind individuelle Entscheidungen unter Berücksichtigung der End- und Primärenergieeffizienz, der Infrastruktur, des Standes der Technik, des Anlagendurchsatzes, etc. zu treffen.

Bausteine einer Prozesswärme-Strategie der Bundesregierung

Durch die betrachteten Energieeffizienzmaßnahmen und Prozessumstellungen in der Wärmeerzeugung/-bereitstellung können große End- und Primärenergieeinsparungen in der Prozesswärmebereitstellung der deutschen Industrie erzielt werden, die das Erreichen der Klimaziele ermöglichen. Insgesamt lassen sich aus der vorliegenden Betrachtung folgendes Vorgehen und folgende Energieeffizienzentwicklungen ableiten:

Als erstes sollten Effizienzmaßnahmen (bspw. Maßnahmen zur Vermeidung von Abwärme, Wärmerückgewinnung/-integration und Abwärmenutzung) umgesetzt werden. Dadurch verkleinert sich der Anteil, der durch Umstellungen in der Wärmebereitstellung zur Verfügung gestellt werden muss erheblich, wodurch auch die damit verbundenen hohen Investitionssummen reduziert werden. Sofern aufgrund von Modernisierungsmaßnahmen oder Prozessumstellungen größere Investitionen für bspw. Anlagenneubau oder -umbau geplant werden, verschiebt sich die Umsetzung einzelner Effizienzmaßnahmen. Anschließend sollten nach Möglichkeit erneuerbare Wärmequellen erschlossen werden. Anhand der marktnahen Endenergieeinsparpotentiale kann ein Mindestniveau für die Entwicklung der Endenergieeffizienz der Prozesswärme definiert werden: 80 % (100 TWh/a) der marktnahen Einsparpotentiale aus Effizienzmaßnahmen und Erschließung von erneuerbaren Wärmequellen (bzw. etwa 70% der gesamten marktnahen Einsparpotentiale von 142 TWh/a) sollten bis 2030 mindestens ausgeschöpft werden können. Damit ist ein Endenergiebedarf von etwa 360 TWh/a (= 78% des Endenergieverbrauchs für Prozesswärme in 2022) für die Prozesswärmebereitstellung in 2030 realisierbar.

Anschließend folgt die schrittweise Prozessumstellung mit Fokus auf Elektrifizierung. Wärmepumpen und Elektrodenkessel sind bspw. bereits jetzt kommerziell für den großtechnischen Einsatz verfügbar, so dass erste Prozessumstellungen somit voraussichtlich bereits vor 2030 durchgeführt werden. Andere Alternativtechnologien benötigen jedoch weitere Entwicklung, Upscaling sowie Betriebserfahrung. Sie sollten nach [26] bis 2030 verfügbar werden. Insgesamt sollten daher bis 2040 mindestens die restlichen marktnahen Potentiale (42 TWh/a) ausgeschöpft werden. Entsprechend könnte sich für die Prozesswärmebereitstellung bis 2040 ein Endenergiebedarf von 318 TWh/a (= 69% des Endenergieverbrauchs für Prozesswärme in 2022) einstellen.

Wie Abbildung 4 verdeutlicht sind über die formulierten Entwicklungen hinaus weitere Potentiale vorhanden. Diese Maßnahmen zur Prozesswärmebereitstellung können wirtschaftlich umgesetzt werden, sofern sie über die gesamte Lebenszeit kalkuliert werden. Damit könnten insgesamt bis zu 33 % des Endenergiebedarfs der Industrie eingespart werden. Die Hauptgründe für die Verwerfung von wirtschaftlichen Energieeinsparpotentialen sind strukturelle, ökonomische und sozialpsychologische Umsetzungshemmnisse. Für eine ausführliche Diskussion der Hemmnisse wird auf die vorangegangene Kurzstudie [16] verwiesen.

Grundsätzlich sollten die abgeschätzten wirtschaftlichen Einsparpotentiale allerdings voll ausgeschöpft werden, d.h. die derzeit nicht marktnahen Maßnahmen werden ebenfalls alle umgesetzt. Nachdem diese erschlossen wurden, werden in 2040 weiterhin fossile Brennstoffe eingesetzt. Entsprechend sind unabhängig von möglichen Einsparpotentialen für eine vollständige Dekarbonisierung im Anschluss und auch parallel weitere Prozessumstellungen mit verfügbaren Technologien notwendig. Bis 2045 muss eine vollständige Dekarbonisierung erfolgt sein. Die Präferenz liegt dabei bei direkter Elektrifizierung. Sofern sinnvoll ist als letzte Option auch eine indirekte Elektrifizierung über alternative Brennstoffe (grüner Wasserstoff oder synthetisches Methan) denkbar. Daher ist für 2045 eine Reduktion des Endenergiebedarfs für Prozesswärme um 226 TWh/a (= gesamtes wirtschaftliches Endenergieeinsparpotential) auf 235 TWh/a durchaus erreichbar.

Die mögliche Entwicklung des Primärenergiebedarfs wird aufgrund des Energieträgerwechsels wie im Kapitel „Primärenergieeffizienz von Prozesswärme“ diskutiert insgesamt bis 2040 betrachtet. Dabei sollten im Hinblick auf Primärenergieeffizienz möglichst große Einsparungen angestrebt werden. Hierdurch könnte in 2040 bei direkter Elektrifizierung der Primärenergiebedarf für Prozesswärme auf 248 TWh/a reduziert werden.

Literaturverzeichnis

Alle Bilder sind lizenzfrei und von <https://pixabay.com>.

- [1] Deutsche Bundesregierung, Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), Berlin, 2019.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), 2010.
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „www.bmwk.de,“ BMWK, 2024. [Online]. Available: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/energieeffizienz.html>. [Zugriff am 07 03 2024].
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „www.bmwk.de,“ BMWK, 2024. [Online]. Available: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/energiewende.html>. [Zugriff am 06. 03. 2024].
- [5] ENERGIEEFFIZIENZSTRATEGIE 2050, Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2019.
- [6] Deutsche Bundesregierung, Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland¹ (Energieeffizienzgesetz - EnEfG), Berlin, 2023.
- [7] Umweltbundesamt, „Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren,“ Umweltbundesamt, 2024. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren>. [Zugriff am 06. 03. 2024].
- [8] Bundesverband der Deutschen Industrie e.V., „Handlungsempfehlungen zur Studie Klimapfade 2.0,“ Bundesverband der Deutschen Industrie e.V., Berlin, 2021.
- [9] J. Burchardt, K. Franke, P. Herhold, M. Hohaus, H. Humpert, J. Päiväranta, 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.
- [10] C. Jugel, et. al., „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität,“ Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, 2021.
- [11] Prognos AG ; Öko-Institut e. V. ; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, „Klimaneutrales Deutschland 2045,“ Agora Energiewende, 2021.
- [12] G. Luderer, C. Kost und D. Sörgel, „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045,“ Institute for Climate Impact Research, Potsdam, 2022.
- [13] T. Fleiter, et al., „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Treibhausgasneutrale Szenarien 2045 - Industriegesektor,“ 16 11 2022. [Online]. Available: https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFSIII_Webinar16.11.2022_Industrie_final.pdf. [Zugriff am 30. 04. 2024].

-
- [14] Fraunhofer ISI, „Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2021 bis 2023 für die Sektoren Industrie und GHD,“ Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB), 2023.
- [15] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Energieeffizienz in Zahlen - Entwicklungen und Trends in Deutschland 2022,“ BMWK, 2023.
- [16] J. Meyer, M. Madsen und L. Saars, „Kurzstudie Energieeffizienzmaßnahmen in der Industrie - Marktnahe und wirtschaftliche Energieeinsparpotentiale in der Industrie,“ 2023.
- [17] Agora Industrie; FutureCamp, „Power-2-Heat: Erdgaseinsparung und Klimaschutz in der Industrie,“ 2022.
- [18] Statistisches Bundesamt (Destatis), Genesis-Online, „Energieverbrauch der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Nutzung des Energieverbrauchs, Wirtschaftszweige, Energieträger,“ Destatis, Wiesbaden, 2024.
- [19] C. Maaß, M. Sandrock und G. Fuß, „Kurzgutachten - Strategische Optionen zur Dekarbonisierung und effizienteren Nutzung der Prozesswärme und -kälte,“ Hamburg Institut, 2018.
- [20] Prognos AG, Fraunhofer ISI und Technische Universität München, „Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen in der Zeitreihe 2005 – 2014 - Endbericht,“ Umweltbundesamt, 2016.
- [21] AG Energiebilanzen e. V., „Bilanzen 1990 bis 2030 - Bilanz 2021,“ 29. November 2023. [Online]. Available: https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2030/?wpv-jahresbereich-bilanz=2021-2030&wpv_aux_current_post_id=45&wpv_aux_parent_post_id=45&wpv_view_count=2753-CATTRe4257049c177cf191052746afc46d0a3. [Zugriff am 08. 02. 2024].
- [22] 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.
- [23] D. Schüwer, „Transformation in der Industrie: Herausforderungen und Lösungen für erneuerbare Prozesswärme,“ 2023.
- [24] 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.
- [25] J. Meyer, *Handlungsoptionen zur kurz- und mittelfristigen Reduktion des Erdgasverbrauchs in der Ernährungs- und Getränkeindustrie*, Webinar, 15. August 2022.
- [26] Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung, Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik (IOB) der RWTH Aachen University, „CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung,“ Umweltbundesamt, 2023.

- [27] Statistisches Bundesamt (Destatis), Genesis-Online, „Energieverwendung der Betriebe im Verarb. Gewerbe - Stromerzeugung, Strombezug, Stromabgabe, Stromverbrauch,“ Destatis, Wiesbaden, 2024.
- [28] Statistisches Bundesamt (Destatis), Genesis-Online, „Merkmal - Code: VBR001,“ 2019. [Online]. Available: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=variable&levelindex=0&levelid=1708508404451&code=VBR001&option=value%20association&info=on#abreadcrumb>. [Zugriff am 2024 02. 21.].
- [29] AG Energiebilanzen e.V., „Auswertungstabellen zur Energiebilanz 1990 bis 2022,“ September 2023. [Online]. Available: <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/auswertungstabellen/>. [Zugriff am 20. 02. 2024].
- [30] vbw, „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.

Hintergrund zu den Autoren

Das 2017 in ein Institut der Hochschule Niederrhein umgewandelte **SWK E²** bietet **interdisziplinäre Forschungs- und Lehrkompetenz** im Bereich **Energie** mit Schwerpunkt auf der Analyse und Optimierung von Energiesystemen und Prozessen. Die betrachteten Energiesysteme sind überwiegend aus den Bereichen industrielle Energieanlagen, konventionelle Heiz-, Kälte- und Kraftwerkstechnik sowie Erneuerbare Energien. Da unser Ansatz interdisziplinär ist, berücksichtigen wir dabei immer die ökonomischen und ökologischen Aspekte.

Gegründet wurde das Institut im Jahre 2012, zunächst jedoch als interdisziplinäres Kompetenzzentrum, auch damals bereits in Kooperation mit dem langjährigen und zuverlässigen Partner, der **SWK AG (Stadtwerke Krefeld)**. Die zum Institut gehörigen Professoren haben unterschiedliche Schwerpunkte und kommen aus verschiedenen Fachbereichen der Hochschule. Sie werden durch etwa 25 wissenschaftliche und studentische Mitarbeiter unterstützt.

Der Forschungsschwerpunkt des Instituts liegt im Bereich der Analyse und Optimierung von Energiesystemen und Prozessen.

Zu den Dienstleistungen des Institutes gehören die Durchführung von Energieaudits, die Einführung von Energiemanagementsystemen sowie die Erarbeitung von Transformationskonzepten. Alleine in den letzten fünf Jahren wurden mehr als 60 Energieaudits durchgeführt und dabei über 500 Energieeinsparmaßnahmen identifiziert.

Jörg Meyer ist seit dem 01.09.2016 Professor für Energietechnik und Energiemanagement an der Hochschule Niederrhein und leitet dort das Institut SWK E². Er hat sehr gute Kenntnisse über die verschiedenen Energietechniken und Energieeffizienzmaßnahmen, aber auch über den Energiemarkt, die Energiewirtschaft und die Energiepolitik. Herr Meyer verfügt über langjährige Erfahrungen bei der Durchführung von Energieanalysen, und der Erstellung von Studien. Seit fast dreißig Jahren ist er im Bereich Energie tätig und beschäftigt sich mit der Verbesserung der Energiebeschaffung, Energieversorgung, Energieverteilung, Energieumwandlung und des Energieeinsatzes in Industriebetrieben und in Gebäuden. Die Erfahrung von mehreren hundert Energieanalysen in fast allen Branchen konnten in der Studie genutzt werden.

Prof. Dr.-Ing. **Frank Alsmeyer** lehrt und forscht seit dem 01.03.2010 an der Hochschule Niederrhein im Bereich Energie- und Prozesssystemtechnik und gehört dem Institut SWK E² seit seiner Gründung an. Sein Fokus liegt auf Energiesystemen mittlerer Größe, z.B. Kommunen oder großen Industriebetrieben, und deren Transformation in Richtung Klimaneutralität. Wichtige Aspekte sind inhaltlich Energieeffizienz und Sektorenkopplung und methodisch die Analyse großer Datenmengen und die rechnergestützte Simulation mit physikalischen und datengetriebenen Modellen. Vor seiner Berufung befasste sich Herr Alsmeyer seit 1997 mit der Simulation und Optimierung verfahrenstechnischer Prozesse vorwiegend in der chemischen und petrochemischen Großindustrie und erhielt bei der Zusammenarbeit mit den entsprechenden Fachabteilungen umfassende Einblicke in die Unternehmenspraxis der Prozessindustrien, die er in die vorliegende Studie einbringen konnte.

Marius Madsen absolvierte an der Hochschule Niederrhein das Masterstudium „Energiewirtschaftsingenieurwesen“. Seit 2017 arbeitet und forscht er am SWK E². Der Fokus seiner Arbeit liegt auf der Analyse großer Datenmengen. Darüber hinaus konnte er in zahlreichen Projekten sein umfassendes Wissen in den Bereichen Energieeffizienz,

Energiemanagement und Energietechnik vertiefen. Beides konnte er sehr gut in diese Studie einbringen.

Das Spezialgebiet von **Louisa Zaubitzer** ist die Verfahrenstechnik, insbesondere in der chemischen Industrie. Seit Ende 2023 forscht sie am SWK E² an Optimierungsverfahren für Energiesysteme. Zuvor war sie sieben Jahre in der chemischen Industrie tätig. In dieser Zeit absolvierte sie ein duales Bachelorstudium „Verfahrenstechnik“, bei dem sie durch ihre Ausbildung zur Chemikantin wertvolle Praxiserfahrungen sammelte. Im Anschluss arbeitete sie drei Jahre als Projektingenieurin mit Schwerpunkt auf verfahrenstechnischen Berechnungen für diverse Anlagen und Prozesse. Parallel vertiefte sie ihr Fachwissen durch den Masterstudiengang "Rechnergestützte Verfahrenstechnik". Das erworbene Fachwissen und die Praxiserfahrung konnte sie in die vorliegende Studie einfließen lassen.

Impressum

Prof. Dr.-Ing. Jörg Meyer, Louisa Zaubitzer (M.Sc.), Prof. Dr.-Ing. Frank Alsmeyer,
Marius Madsen (M.Eng.)

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