

prognos

ECOFYS
A Navigant Company


adelphi

dena
Deutsche Energie-Agentur



Universität Stuttgart

 **Fraunhofer**
ISI

Marktverfügbare Innovationen mit hoher Relevanz für die Energieeffizienz in der Industrie

Leistung gemäß Rahmenvertrag zur Beratung der Abteilung II des BMWi

Leistungsabruf: durch Referat IIB2 am 31.08.2016

BMWi-Projekt-Nr.: 102/16-05

Berlin, 2017

Impressum

Autoren

Hauptbearbeiter:

Dr. Mathias Kube, Ecofys

Matthias Schimmel, Ecofys

Jan-Martin Rhiemeier, Ecofys

Anton Barckhausen, adelphi

Johannes Fehr, adelphi

Stefan Büttner, Universität Stuttgart

Manuel Unger, Universität Stuttgart

Florian Bottner, Universität Stuttgart

Dr. Alexander Piégsa, Prognos

Auftraggeber

Dr. Hartmut Versen, BMWi, Abt. II, Ref. IIB2

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Hintergrund	7
3	Zielsetzung	8
4	Methodisches Vorgehen	9
5	Vergleich der Innovationen mit hohem Effizienzpotenzial für die Industrie	15
5.1	Technisches Potenzial	15
5.2	Wirtschaftliches Potenzial	20
5.3	Erwartetes Potenzial	22
5.4	Hemmnisse	22
6	Detailbetrachtung der Innovationen	25
6.1	Hochtemperaturwärmepumpe	25
6.2	Optimierungssoftware für Energieverbundsysteme	30
6.3	Intelligente Antriebslösungen	33
6.4	Automatische Absperrung von Stand-By Druckluftnetzen mit zusätzlicher Leckage- und Druckabfallwarnung	39
6.5	Wasser als Kältemittel.....	43
6.6	Magnetische Kühlung.....	47
6.7	Mikrowellentechnologie	51
6.8	Intelligentes Gleichstromnetz für Pressenlinien	54
6.9	Wabenförmige keramische Wärmetauscher	58
6.10	Energieeffiziente Schaltschrankkühlung.....	62
6.11	Thermoelektrische Generatoren	67

6.12	Vernetztes Wärme-und Kältekonzept für Produktionsprozesse und Raumklima	70
7	Handlungsempfehlungen	74
7.1	Aktuelle Förderlandschaft auf Bundesebene zur Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie	74
7.2	Handlungsempfehlungen	81
8	Fazit	85
9	Abbildungsverzeichnis	87
10	Tabellenverzeichnis	88
11	Literaturverzeichnis	89
12	Anhang	92
	Mediumlist	92
	Shortlist	94
	Energiepreise	95

1 Zusammenfassung

Ziel der Studie ist die Identifizierung marktverfügbarer, aber noch nicht breit genutzter Innovationen mit überdurchschnittlich hohem Effizienzpotenzial für das produzierende Gewerbe, die Analyse ihres Potenzials und der Hemmnisse, die ihre Verbreitung hindern sowie die Ableitung von Handlungsempfehlungen und konzeptionellen Ansätzen zur beschleunigten Marktdurchdringung dieser Innovationen.

Im ersten Teil dieser Studie wird das Effizienzpotenzial von zehn Technologien und systemischen Lösungen bewertet, die bereits am Markt verfügbar sind und das technische Potenzial besitzen einen signifikanten Effizienzsprung im produzierenden Gewerbe zu bewirken. Das technische Potenzial der betrachteten Technologien entspricht in Summe etwa 6 % des Primär- und 10 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland. In Anbetracht dessen, dass es sich hier um eine geringe Anzahl an Innovationen handelt, ist dieser Wert enorm. Da die untersuchten Innovationen Querschnittstechnologien sind, ist das angegebene technische Potenzial als untere Grenze anzusehen. Einen wesentlichen Anteil am hohen Einsparpotenzial haben die folgenden drei Technologien: die Hochtemperaturwärmepumpe, die Optimierungssoftware für Energieverbundsysteme und die intelligenten Antriebslösungen. Gerade die Hochtemperaturwärmepumpe hat ein sehr hohes technisches Potenzial. Allerdings bezieht sich dieses im Gegensatz zu den anderen Innovationen nicht auf eine Branche, sondern sektorübergreifend auf alle Einsatzgebiete der Hochtemperaturwärmepumpe. Rechnet man das technische Potenzial der Innovationen in CO₂-Emissionen um, würden 7 % der Emissionen in Deutschland eingespart.

Da es sich bei den betrachteten Technologien um Innovationen handelt, die erst seit kurzem am Markt verfügbar sind, ist eine Wirtschaftlichkeit nicht immer gegeben. Als wirtschaftlich in der Industrie gelten in der Regel Investitionen mit einer Amortisationszeit von unter drei Jahren, daher wird dieser Zeitraum auch als Schwellenwert zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Innovationen in dieser Studie herangezogen. Diesen Wert überschreiten einige Innovationen zum Teil stark. Die zuvor erwähnte Hochtemperaturwärmepumpe liegt mit einer Amortisationszeit von über 16 Jahren deutlich über diesem Schwellenwert. Somit beträgt das wirtschaftliche Potenzial nur ca. 5 % des technischen Potenzials. Ein wesentlicher Grund für die schlechte Wirtschaftlichkeit dieser Technologie ist die Benachteiligung von Strom gegenüber fossilen Energieträgern. Aufgrund der EEG Umlage ist Strom im Verhältnis zu fossilen Energieträgern teurer. Diese Problematik trifft alle Technologien, die fossile Energieträger wie bspw. Erdgas oder Mineralöl durch Strom substituieren. Insgesamt aber ist die Hälfte der Innovationen bereits heute wirtschaftlich. Insbesondere die intelligenten Antriebslösungen sind bereits jetzt durch das breite Anwendungsfeld und die kurze Amortisationszeit sehr attraktiv und bieten hohe Effizienzpotenziale für das produzierende Gewerbe. Auch die automatische Absperrung von Stand-by Druckluftnetzen ist eine Technologie, die ein signifikantes wirtschaftliches Potenzial aufweist, da sie heute bereits wirtschaftlich ist und Druckluftanwendungen weit verbreitet sind.

Die im zweiten Teil durchgeführte Analyse der Hemmnisse zeigt, dass das größte Hemmnis einer breiteren Markteinführung von Innovationen in der mangelnden Information über Kosten und Nutzen besteht. Auch wirtschaftliche Hemmnisse werden immer wieder erwähnt, wie z.B. die geringe Kapitalverfügbarkeit oder teure Einzelkomponenten. Verhaltensbezogene Faktoren, wie der Zwang des billigen Einkaufs oder der Vorrang von produktivitätssteigernden Investitionen, sind weitere gewichtige Hemmnisse für eine breitere Markteinführung. Außerdem sind auch kompetenzbezogene Hemmnisse,

wie etwa das fehlende Know-how zur Anwendung der Innovationen, ein bedeutender Faktor, insbesondere bei komplexen Systemen wie den intelligenten Antriebslösungen oder der Optimierungssoftware. Dies zeigt sich im Besonderen bei kleinen Unternehmen. Hier besteht eine geringe Bereitschaft (bzw. mangelnde Ressourcen) zur Einarbeitung in diese komplexen Systeme. Vielschichtige Kommunikations- und Entscheidungsstrukturen innerhalb eines Unternehmens wurden als größte organisatorische Hemmnisse genannt. Diese nehmen allerdings in der Gesamtbetrachtung einen geringeren Stellenwert ein. Technologiebezogene Hemmnisse fielen eher gering aus, mit Ausnahmen wie bspw. Gleichstromsysteme in der Industrie (aufgrund von fehlender Standardisierung) oder thermoelektrischen Generatoren. Hemmnisse bewusstseinsbezogener Art sind laut Aussage der Befragten nicht von großer Bedeutung. Allerdings können die geringen Energiekosten sowie unklare Einsparpotenziale das Bewusstsein für Energieeffizienz hemmen. Als sonstiges Hemmnis ist die unübersichtliche Organisation der Förderung der innovativen Technologien auf Bundes- und Länderebene zu nennen.

Im letzten Teil der Studie ergibt die Untersuchung der Förderlandschaft, dass ein Teil der Innovationen bereits förderberechtigt sind. Insbesondere Klima- und Kälteanlagen wie z.B. die energieeffiziente Schaltschrankkühlung sowie Wasser als Kältemittel werden bereits durch verschiedene Instrumente gefördert. Allerdings wird die magnetische Kühlung, obwohl sie prinzipiell derselben Technologiekategorie zugeordnet werden kann, nicht gefördert, da die zugrundeliegende Funktionsweise in den technischen Merkblättern nicht berücksichtigt wird. Hier gilt es, die Förderprogramme dahingehend zu überarbeiten, dass auch innovative Technologien, Verfahren und Systeme abgedeckt werden. Insbesondere empfehlenswert ist die Einführung der Technologiekategorie *Digitalisierung* in Verbindung mit Industrie 4.0.

Zuvor wurde die mangelnde Information über Kosten und Nutzen der Innovationen als häufigstes Hemmnis für eine breite Markteinführung genannt. Energieberater können hier Abhilfe leisten, indem sie Unternehmen dabei unterstützen, Effizienzpotenziale zu identifizieren und Lösungen aufzuzeigen. Allerdings fehlt auch den Energieberatern zum Teil das nötige Wissen über neuartige Innovationen. An dieser Stelle wäre es sinnvoll, regelmäßige Schulungen für Energieberater verpflichtend einzuführen und auch generell den Anforderungskatalog anspruchsvoller zu gestalten. Darüber hinaus würde die Förderung eines Energiemanagements im Unternehmen bewusstseinsbezogene Hemmnisse abbauen, indem Energie eine Managementaufgabe wird und somit stärker in den Fokus rückt. Ein in den operativen Unternehmensprozessen verankertes Energiemanagementsystem kann zudem mittel- bis langfristig helfen, Unternehmen nachhaltig für Energiethemen zu sensibilisieren und somit verhaltensbezogene Hemmnisse abzubauen.

Ein Punkt, der von Unternehmen häufig kritisiert wird, ist der umständliche und oft langwierige Förderungsprozess. Die auszufüllenden Formulare werden als kompliziert wahrgenommen, was gerade für mittelständische Unternehmen ein Hemmnis darstellt. Hier wäre die Schaffung einer zentralen Anlaufstelle, eines sogenannten „One-Stop-Shops“ empfehlenswert. Des Weiteren könnten durch die Betrachtung zusätzlicher Förderkriterien neben der Energieeffizienz und der Wirtschaftlichkeit eine ganzheitlichere Bewertung erfolgen. Mögliche Kriterien, die in die Förderentscheidung einfließen könnten wären bspw. Produktivität oder Digitalisierung.

2 Hintergrund

Die Steigerung der industriellen Energieeffizienz in Deutschland ist ein wesentlicher Treiber um die Energiewende voranzubringen. Damit die Energiewende ein Erfolg wird, muss noch effizienter mit Strom und Wärme umgegangen und der verbleibenden Bedarf weitestgehend mit erneuerbaren Energien gedeckt werden. 2015 sank der Primärenergieverbrauch um 8,3 % im Vergleich zu 2008 und soll nach Plänen der Bundesregierung bis 2020 um weitere 20 % sinken. Nach wie vor besteht also ein großer Handlungsbedarf. Daher kann die Energiewende nur gelingen, wenn die Energieeffizienz weiter steigt bei gleichzeitig sinkenden Energieverbrauch.

Im Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) hat die Bundesregierung ein umfassendes Maßnahmenpaket für diese Legislaturperiode auf den Weg gebracht, um die Potenziale für Energieeffizienz in Deutschland besser auszuschöpfen. Eine höhere Energieeffizienz macht auch die deutsche Wirtschaft international wettbewerbsfähiger, da ein geringerer Ressourcenverbrauch und weniger Emissionen zu einem Kostenvorteil führen. Ein sparsamer Umgang mit Energie fördert zudem neue Geschäftsmodelle sowie innovative Technologien und Dienstleistungen, mit denen die deutsche Wirtschaft auf internationalen Märkten punkten kann. Auch sind die Renditen von Investitionen in Energieeffizienz zurzeit meist höher als bei sicheren Anlagen auf dem Kapitalmarkt.

Die Steigerung der Energieeffizienz spielt auch eine entscheidende Rolle bei der Erreichung nationaler und internationaler CO₂ - Reduktionsziele. Denn wer energieeffizient wirtschaftet, stößt weniger CO₂-Emissionen aus.

3 Zielsetzung

Die Studie soll die Grundlage legen, um die Effizienz- und Förderstrategie sowie die konkreten Instrumententypen weiterzuentwickeln. Der Fokus liegt auf innovativen Technologien und systemischen Lösungen, die marktverfügbar, aber noch in geringem Maße verbreitet sind und die die Perspektive besitzen, wirtschaftlich zu werden. Zudem besteht eine Fokussierung auf das produzierende Gewerbe sowie einer branchenübergreifende Betrachtung.

Der Untersuchungsgegenstand umfasst sowohl Technologien als auch systemische Lösungen, die bereits am Markt verfügbar sind und das technische Potenzial besitzen, einen signifikanten Effizienzsprung im produzierenden Gewerbe zu bewirken.

Durch die Untersuchung des technischen und wirtschaftlichen Energieeffizienzpotenzials der Innovationen sowie der Hemmnisse, die bisher ihre Marktdurchdringung gehindert haben, werden konkrete Handlungsempfehlungen und Konzepte zur Verbreitung und Etablierung ausgewählter Innovationen mit hohem Effizienzpotenzial abgeleitet.

4 Methodisches Vorgehen

In Arbeitspaket 1 ist zunächst eine grundlegende Datenrecherche der bereits am Markt verfügbaren Innovationen erfolgt, die eine signifikante Effizienzsteigerung in der Industrie bewirken könnten. Die Ergebnisse dieses ersten Arbeitsschritts waren Grundlage für eine Longlist mit den 145 wichtigsten marktverfügbaren Innovationen mit hohem Effizienzpotenzial für die Industrie. In die Longlist flossen neben der Expertise und dem Know-how der Projektpartner vor allem die Erkenntnisse aus dem Screening von Literatur, Industrie-Roadmaps, Fördervorhaben von Bundesministerien und innovativen Start-ups ein. Ein besonderes Augenmerk lag auf der Identifikation von innovativen Technologien (u.a. ressourcen- oder energieeffiziente Verfahren) und systemischen Lösungen, z.B. Industrie 4.0-Anwendungen.

Um die Anzahl der Innovationen für eine detailliertere Betrachtung zu reduzieren, erfolgte nach Fertigstellung der Longlist eine Bewertung der Innovationen durch alle Projektpartner. Es wurden pro Projektpartner 30 Bewertungspunkte und maximal 3 Bewertungspunkte pro Innovation vergeben. Um keine von einem Projektpartner als sehr wichtig erachtete Innovation auszuschließen, wurden alle Innovationen mit 3 oder mehr Punkten weiter betrachtet. Die einzelnen Innovationen wurden darauf folgend in Technologiekategorien zusammengefasst, um die Vielfalt der Innovationen auch in den weiteren Schritten der Auswahl und Bewertung zu gewährleisten. Zu den Technologiekategorien wurden in einem weiteren Schritt auch schwächer bewertete Innovationen zugeordnet. Die Ergebnisse wurde in eine 74 Technologien umfassende Mediumlist zusammengefasst (siehe Anhang).

Die Innovationen innerhalb der Technologiekategorie wurde in einem letzten Schritt anhand qualitativer und quantitativer Indikatoren bewertet. Daraus ergab sich eine Reihenfolge und damit eine erste Shortlist der 15 am besten bewerteten Innovationen. Die Shortlist wurde in einem Workshop mit dem Auftraggeber diskutiert und final abgestimmt.

In Arbeitspaket 2 wurden die 15 Innovationen umfassende Shortlist (siehe Anhang) zunächst dahingehend bewertet, inwieweit eine belastbare Ermittlung der Effizienzpotenziale möglich ist. Wesentliche Entscheidungsfaktoren waren der Rechercheaufwand und die Skalierbarkeit der Effizienzpotenziale. Nach Diskussion im Projektkonsortium und Abstimmung mit dem Auftraggeber verständigten sich beide Seiten darauf, das technische und wirtschaftliche Potenzial von 10 Innovationen quantitativ zu ermitteln sowie zwei Innovationen qualitativ zu betrachten.

Im nächsten Schritt wurde je ein Fragebogen für den Hersteller und den Anwender der Innovation konzipiert, auf Basis dessen sich das technische und wirtschaftliche Potenzial bestimmen lässt. Um diesen Arbeitsschritt möglichst effizient zu gestalten und eine möglichst komplette Befüllung der Fragebögen zu ermöglichen, wurde dieser in einem gemeinsamen Telefonat zwischen Hersteller und Projektmitarbeiter diskutiert. Ein direkter Kontakt mit den Anwendern der Innovation war nicht nötig, da die Hersteller in den meisten Fällen Praxisbeispiele vorliegen hatten, auf Basis derer sich das wirtschaftliche Potenzial bestimmen lässt. Neben dem Kontakt mit Herstellern wurden Studien und andere Veröffentlichungen herangezogen, mit deren Hilfe sich die Effizienzpotenziale der Innovationen bestimmen lassen.

Die Daten aus den Fragebögen und der Literatur wurden dazu verwendet, ein konkretes Anwendungsbeispiel zu beschreiben. Teilweise wurden die Daten aus den Fragebögen durch interne Dokumente der Hersteller (Amortisations- und Kapitalwertrechnungen) ergänzt. Im nächsten Schritt wurden die Werte aus dem Anwendungsfall für die Top-Branche auf Deutschlandebene skaliert, um das technische Potenzial zu ermitteln. Als Top-Branche gilt derjenige Wirtschaftszweig, in dem die Innovation nach Einschätzung der Hersteller die weiteste Verbreitung haben wird. Gab es bereits Literaturwerte zum technischen Potenzial der einzelnen Innovationen, wurden diese verwendet.

Für die Hochrechnung des technischen Einsparpotenzials – entweder für Querschnittstechnologien auf die gesamte deutsche Industrie, oder für spezielle Prozesstechnologien auf alle relevanten Bereiche der deutschen Industrie – wird das Industriemodell der Prognos verwendet. Das Modell findet bei der Prognos Anwendung bei energiepolitischen und technologischen Fragestellungen zur Entwicklung und zu Optionen des industriellen Energieverbrauchs, z.B. in der Energierferenzprognose für den Auftraggeber¹. Das Modell untergliedert den Industriesektor in insgesamt 18 Branchen, 26 Anwendungen und 35 Energieträger. Es ist auf die Energiebilanz² sowie die UBA-Datenbasis³ kalibriert. Für die Fortschreibung über den statistischen Rand hinaus setzt das Industriemodell zum einen auf die Ergebnisse des Prognos-eigenen VIEW-Modells⁴ zur branchenscharfen zukünftigen Wirtschaftsleistung (Bruttowertschöpfung und Erwerbstätige). Zum anderen werden in der Vergangenheit beobachtete Effizienzverbesserungen, Energieträgersubstitutionen sowie Wertdichteentwicklungen trendmäßig in die Zukunft übertragen. Im verwendeten Modellraster lassen sich in manchen Fällen die Energieverbräuche definierter Technologien, insbesondere von Querschnittstechnologien, separieren. Diese Eigenschaft wurde für einige der untersuchten innovativen Technologien genutzt, um deren Einsparpotenzial für die gesamte Industrie zu skalieren. Per Definition kommt das technische Potenzial sofort, d.h. bereits im ersten Jahresschritt 2017, und überall dort zum Einsatz, wo es technisch sinnvoll ist.

Zur Abschätzung des wirtschaftlichen Energieeinsparpotenzials der deutschen Industrie wurde ein Kohortenverhalten nachgebildet. Der Bestand wird sukzessive durch neue Anlagen mit höherer spezifischer Energieeffizienz ersetzt. Die Austauschrate richtet sich zum einen an der Lebensdauer der Anlagen. Diese liegt in der Regel klar (bis zu 50 %) über der Nutzungs- bzw. Abschreibungsdauer, denn nicht jedes Unternehmen ersetzt Anlagen oder deren Komponenten, sobald diese abgeschrieben sind. Zum anderen muss die Austauschrate um die nicht-wirtschaftlichen Fälle abgeschwächt werden. Dabei müssen die unterschiedlichen Einsatzmodi (Auslastung, Leistungsaufnahme) der Anlage separat einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unterzogen werden, um eine Abschätzung über den Anteil der nicht-wirtschaftlichen Einsatzfälle zu bekommen. Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit führen zu einer jährlichen Austauschrate von alten zu neuen, effizienteren Anlagen. Falls eine Steigerung der Anlageneffizienz mit der Zeit unterstellt wird, kommt es zu zunehmend größeren Einspareffekten – zumindest bis der gesamte Altbestand erneuert wurde. Ab dann wirken sich weitere Anlagenerneuerungen nunmehr auf die anfänglich zugebauten Anlagen aus und der Effizienzsprung von der 1. auf die 2. Generation ist deutlich geringer als von der 0. auf die 1. Generation.

¹ Prognos (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose, Studie im Auftrag des BMWi, https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=7

² AG Energiebilanzen (2016): Bilanzen 1990-2014 sowie Satellitenbilanzen Erneuerbare Energien 2000-2014

³ Umweltbundesamt (2017): Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen in der Zeitreihe 2005 - 2014

⁴ Prognos (2017): Weltwirtschaftsmodell VIEW, <https://www.prognos.com/publikationen/prognos-economic-outlook-r/modell-view-r/>

Auf Grundlage der in AP1 und AP2 untersuchten Innovationen wurden in AP3 die jeweiligen Hemmnisse, welche bei der Ausschöpfung ihrer wirtschaftlichen und technischen Potenziale auftreten, identifiziert. Ziel dieser Hemmnis-Analyse ist es zu bestimmen, welche Rolle die jeweiligen Hemmnisse spielen, welche Hemmnisse abgebaut und (finanzielle) Anreize gesetzt werden müssen, damit es zu einer besseren Marktdurchdringung der jeweiligen Technologie kommt.

Dazu wurde in der ersten von drei Phasen zunächst bestehende Literatur sondiert und überprüft, inwieweit eine Übertragung der Methodik auf die in AP1 und AP2 untersuchten Innovationen möglich ist. Dabei konnten sowohl inhaltlich als auch methodisch Kenntnisse erzielt werden. Basierend auf der empirischen Forschung von Trianni et. al. in Norditalien, wurde die vorkommende Palette verschiedener Arten von Hemmnissen definiert⁵. Siehe Tabelle 1:

Tabelle 1: Arten von Hemmnissen

Technologiebezogen	<ul style="list-style-type: none"> a. Die energieeffizientere Technologie kann die ineffiziente aus technologischen Gründen nicht in gleichem Umfang ersetzen. b. Keine energieeffizientere Technologie verfügbar.
Informationsbezogen	<ul style="list-style-type: none"> a. Informationen zu Kosten und Nutzen fehlen. b. Die Informationsverbreitung der Technologie ist gering. c. Fehlende ordnungsgemäße Regulierung in Bezug auf Klassifizierung energieeffizienter Technologien. d. Informationen durch Anbieter der energieeffizienten Technologien sind unklar oder nicht auf aktuellem Stand. e. Zuverlässigkeit der Informationsquelle. Tritt auf, wenn die Technologieanbieter mangelnde Kommunikationsfähigkeiten besitzen, um energieeffiziente Technologien zu promoten oder wenig Interesse daran haben, ihren Klienten klare und detaillierte Informationen zur Verfügung zu stellen. f. Fehlende Informationen in Energieverträgen. Dieses Hemmnis bezieht sich auf mangelnde Kommunikationsfähigkeit der Anbieter und/oder dem fehlenden Interesse, klare und detaillierte Informationen zur Verfügung zu stellen.
Wirtschaftlich	<ul style="list-style-type: none"> a. Geringe Kapitalverfügbarkeit: Trotz großem Bewusstsein der Vorteile energieeffizienter Technologien und großem Engagement der Geschäftsleitung steht dem Unternehmen nicht genügend Kapital für Investitionen in energieeffiziente Technologien zur Verfügung. b. Investitionskosten: Die Anschaffungskosten sind sehr bzw. zu hoch. c. Externe Risiken die nicht direkt mit der Maßnahme zusammenhängen (z.B. Marktrisiken). d. Mit der Maßnahme zusammenhängende Risiken. Die Diskontierung für künftige Kosten und Erträge übersteigt durchweg die konventio-

⁵ Vgl. Cagno E./Worrell E./Trianni A./Pugliese G. (2013): A novel approach for barriers to industrial energy efficiency. In Elsevier (Hg.): Renewable Sustainable Energy Reviews. Oxford: Elsevier S. 290-308

	<p>nelle Faustregel für Investitionen. Ausreichende Rentabilität ist nicht gegeben.</p> <p>e. Versteckte Kosten: Diese Kosten weichen signifikant von der Schätzung der Investitionsanalyse ab. Darunter fallen Transaktionskosten um Informationen für energieeffiziente Technologien zu sammeln sowie Ausbildungskosten für Personal.</p>
Verhaltensbezogen	<p>a. Andere Prioritäten: Insbesondere KMUs legen ihren Fokus ausschließlich auf ihr Kerngeschäft und ignorieren somit Einsparmöglichkeiten in Energieeffizienz.</p> <p>b. Keine gemeinsamen Zielvorstellungen: Differenzen zwischen den Energiemanagement-Zielen und personellen Verhalten können auftreten und resultieren in einer geringen Implementierung von Energiemanagement-Praktiken.</p> <p>c. Mangelndes Interesse an Energieeffizienz-Maßnahmen. Energiekosten fallen bei den Produktionskosten nicht schwerwiegend ins Gewicht oder die Firma nimmt sich selbst als effizient wahr.</p> <p>d. Unvollständige Bewertungskriterien: Die Entscheidungsträger verfügen über unzureichende Kenntnisse oder Kriterien um Investitionen zu bewerten.</p> <p>e. Trägheit: Widerstand gegen Veränderung und Risiko. Resultiert in schnellen und kleinen Investitionen mit geringen Erträgen. Z.B. kleine Modifizierungen im Produktionssystem.</p>
Organisatorisch	<p>a. Zeitmangel: Die Entscheidungsträger haben nicht ausreichend Zeit, die Möglichkeiten der Energieeffizienz abzuwägen.</p> <p>b. Unterschiedliche Interessen: Der Entscheidungsträger hat keine direkten Anreize Energieeffizienz voranzutreiben.</p> <p>c. Mangelnde interne Kontrolle: Ohne adäquate Kontrollsysteme innerhalb des Unternehmens, welche das Management implementiert, werden energieeffiziente Maßnahmen nicht umgesetzt.</p> <p>d. Komplexe Entscheidungskette: Sind im Entscheidungsprozess zu viele Funktionen involviert, kann der Informationsfluss nicht effizient sein und unterbrochen werden.</p> <p>e. Niedriger Status der Energieeffizienz: Die geschaffenen Funktionen haben nicht ausreichend Befugnisse, um Energieeffizienz effektiv zu verbessern.</p>
Kompetenzbezogen	<p>a. Umsetzung der Maßnahmen: Diese Barriere zeigt die Schwierigkeit auf, energieeffiziente Maßnahmen ohne externe Beratung oder Hilfe zu implementieren.</p> <p>b. Identifizierung der Ineffizienzen: Trotz des Bewusstseins für Energieeffizienz und deren Vorteile fehlen spezifische Methodenkompetenz und Werkzeuge, um Energieverschwendung zu erkennen.</p> <p>c. Identifizierung der Chancen: Ähnlich wie beim Erkennen der Ineffizienzen repräsentiert diese Barriere (fehlende Kompetenz und Werk-</p>

	<p>zeuge) die Schwierigkeit, die Möglichkeiten der Energieeffizienz zu erkennen.</p> <p>d. Schwierigkeiten bei der Gewinnung von externen Sachkenntnissen.</p>
Bewusstseinsbezogen	<p>a. Fehlendes Bewusstsein für Energieeffizienz. Das fehlende Bewusstsein oder die Ignoranz gegenüber Energieeffizienz repräsentiert einen Status – nicht ein Verhalten – der Entscheidungsträger. Mögliche positive Effekte aus der Implementierung der Energieeffizienz-Maßnahme werden ignoriert.</p>

In der zweiten Phase stand die Analyse der potentiellen Hemmnisse in Bezug auf die einzelnen Innovationen im Vordergrund der Forschung. Aufgrund des frühen Stadiums der Markteinführung der verschiedenen Technologien ist die Anzahl der Marktakteure noch sehr gering. Um trotzdem möglichst fundierte Kenntnisse zu erhalten und gleichzeitig eine belastbare Priorisierung der Hemmnisse zu ermöglichen, wurde entschieden, qualitative Experteninterviews zu führen und mit einem quantitativen Ansatz zu verbinden. Dazu wurde ein Interviewleitfaden entwickelt, welcher offenes Antworten ermöglichte und mit Hilfe einer Likert-Skala eine Abschätzung des Schweregrades der Hemmnisse erlaubte.

Die zu einer konkreten Technologie befragten Personen – zumeist hohe Entscheidungsträger oder Energieberater eines Unternehmens – erhielten vorab, zur Vorbereitung auf das Interview, eine Übersicht mit Informationen zu allen Technologien sowie wichtigen Leitfragen. In den, im Durchschnitt ca. 50 Minuten andauernden, Telefoninterviews wurden die Interviewpartner zunächst zu den Rahmendaten des Unternehmens befragt. Im Anschluss stellten wir die verschiedenen Technologien vor, damit die Interviewten die Möglichkeit erhielten, anzugeben, ob Sie Erfahrungen zu einer der untersuchten Technologie hatten. Um den befragten Personen möglichst unvoreingenommene Antworten zu ermöglichen, wurde die erste Hemmnis-bezogene Frage sehr allgemein und ohne Hinweis auf die bereits vordefinierten Hemmnis-Arten formuliert. Dabei fiel auf, dass die Befragten sehr genaue Vorstellungen ihrer individuellen Hemmnisse hatten. Hauptteil der Befragungen war das Eingehen auf jedes der vordefinierten Hemmnis-Arten. Für die Bewertung und spätere Priorisierung der Hemmnisse wurde eine Likert-Skala von 1 = minimales Hemmnis bis 4 = maximales Hemmnis genutzt. Mit dieser Auslegung der Antwortmöglichkeiten wurde sichergestellt, dass kein wertneutrales Ergebnis abgegeben werden konnte.

In der dritten und letzten Phase dieses Arbeitspakets wurden Vorschläge zum Abbau der Hemmnisse der jeweiligen Technologie entwickelt.

In Arbeitspaket vier wurde im ersten Schritt die aktuelle Förderlandschaft in Deutschland analysiert. Hierzu wurde in Diskussion mit Experten auf dem Gebiet der Technologieförderungen sechs bundesweite Fördermaßnahmen identifiziert die Querschnittstechnologien und Innovationen im Bereich Energieeffizienz attraktiver machen sollen. Im nächsten Schritt wurden die technischen und ökonomischen Anforderungen in den Merkblättern der einzelnen Fördermaßnahmen mit den Kennzahlen der Innovationen verglichen. Durch den Abgleich zwischen technischem Merkblatt und Innovation konnte bestimmt werden, welche Technologien bereits heute förderfähig sind.

Im letzten Schritt wurden aufbauend auf den in Arbeitspaket drei identifizierten Hemmnissen und den Erkenntnissen aus der Analyse der aktuellen Förderlandschaft erste politische Handlungsfelder ermit-

telt. In einer anschließenden Diskussion mit Experten wurden diese weiter detailliert und zudem neue Handlungsfelder aufgenommen.

5 Vergleich der Innovationen mit hohem Effizienzpotenzial für die Industrie

Im Rahmen der Studie wird das technische und wirtschaftliche Potenzial von zehn Technologien quantitativ ermittelt sowie zwei Technologien qualitativ betrachtet.

5.1 Technisches Potenzial

Das technische Potenzial umfasst diejenigen Einsparungen, die sich ergeben, wenn die jeweilige Innovation überall dort eingesetzt wird, wo es technisch möglich ist (unabhängig von der Ausschöpfung oder den Investitionszeitpunkten). Zunächst wird auf Basis von konkreten Anwendungsfällen ein Einsparpotenzial abgeleitet. Zur Ermittlung des technischen Potenzials findet in den meisten Fällen eine Skalierung dieses Einsparpotenzials aus dem Anwendungsfall auf Deutschlandebene statt. Gibt es keinen konkreten Anwendungsfall, wird das technische Potenzial auf Basis eines Literaturwertes auf Deutschlandebene skaliert. Im Fall der Hochtemperaturwärmepumpe gibt es bereits Abschätzungen für das technische Potenziale auf Deutschlandebene, daher findet hier keine separate Branchenbetrachtung statt. Nachfolgend wird kurz beschrieben, wie das technische Potenzial der einzelnen Innovationen ermittelt wird. Die betrachteten Innovationen sind entsprechend ihres technischen Potenzials absteigend sortiert.

Hochtemperaturwärmepumpe (HTW)

Das technische Potenzial wurde einer Studie entnommen und bezieht sich nicht nur auf die Top-Branche, sondern auf alle Branchen, in denen die Innovation eingesetzt werden kann. Der Primärenergieverbrauch für den industriellen Wärmebedarf in Deutschland würde sich durch den Einsatz der Innovation von 530,4 TWh⁶ auf 360,7 TWh verringern was einem technischen Potenzial von 169,7 TWh sowie einer Reduktion der jährlichen industriebedingten CO₂-Emissionen von 34 Mio. t CO₂-Äquivalenten entspricht.

Optimierungssoftware für Energieverbundsysteme (OfE)

Das technische Potenzial ergibt sich aus der gemessenen Energieeinsparung eines Industrieparks aus der chemischen Industrie. Mit Hilfe des Gesamtprimärenergieverbrauchs der chemischen Industrie in Deutschland und dem Infrastrukturverhältnis zwischen Chemieparcs und anderen Chemieproduktionsstandorten wird das technische Potenzial der Innovation für Chemieparcs in Deutschland bestimmt. Der Primärenergieverbrauch für Chemieparcs würde sich mit diesen Annahmen durch den Einsatz der Innovation von 98,1 TWh auf 64,7 TWh verringern was einem technischen Potenzial von 33,4 TWh sowie einer Reduktion der jährlichen industriebedingten CO₂-Emissionen von 7 Mio. t CO₂-Äquivalenten entspricht.

⁶ S. Wolf, U. F. (2014).

Intelligente Antriebslösungen (IA)

Der Stromeinsatz der deutschen Industrie für Motoranwendungen (mechanische Arbeit) ist aus den Anwendungsbilanzen⁷ bekannt. Zusammen mit der Häufigkeit der Elektromotor-Leistungsklassen und durchschnittlichen Effizienzsteigerungen wird das Einsparpotenzial top-down abgeleitet. Der Endenergieverbrauch für Motoranwendungen würde sich durch den Einsatz der Innovation von 80,9 TWh auf 54,2 TWh verringern was einem technischen Potenzial von 26,7 TWh sowie einer Reduktion der jährlichen industriebedingten CO₂-Emissionen von 12,6 Mio. t CO₂-Äquivalenten entspricht.

Automatische Absperrung von Stand-By Druckluftnetzen (AASBD)

Der Stromeinsatz für die Erzeugung und Bereitstellung von Druckluft für die deutsche Industrie geht aus den Anwendungsbilanzen hervor. Darauf wird die für die innovative Technologie mögliche Stromeinsparung angewendet. Der Endenergieverbrauch für Druckluftanwendungen würde sich durch den Einsatz der Innovation von 16,6 TWh auf 13,6 TWh verringern was einem technischen Potenzial von 3 TWh sowie einer Reduktion der jährlichen industriebedingten CO₂-Emissionen von 1,4 Mio. t CO₂-Äquivalenten entspricht.

Wasser als Kältemittel (WaK)

Das technische Potenzial berechnet sich einerseits aus der Kälteleistungszahl (engl. energy efficiency ratio EER) aus dem Anwendungsbeispiel und Literaturwerten für den Strombedarf von Kühlgeräten in Serverräumen in der Informations- und Kommunikationstechnologiebranche (IKT) andererseits. Die Differenz zum tatsächlichen Strombedarf ergibt hier das technische Potenzial. Der aktuelle Endenergieverbrauch für die Kühlung von Serverräumen in der IKT beträgt 3 TWh und würde sich durch den Einsatz der Innovation auf 470 GWh verringern was einem technischen Potenzial von 2,53 TWh sowie einer Reduktion der jährlichen industriebedingten CO₂-Emissionen von 1,2 Mio. t CO₂-Äquivalenten entspricht.

Magnetische Kühlung (MK)

Die Anwendungsbilanzen lassen Rückschlüsse über den gesamten Prozesskältebedarf der Nahrungsmittelbranche zu. Auf diesen werden die Einsparpotenziale der magnetischen Kühlung angewendet. Dabei wird eine linear steigende Verfügbarkeit für industrielle Anwendungen von 5 %/a ab 2017 unterstellt. Der aktuelle Endenergieverbrauch für Prozesskälte in der Nahrungsmittelbranche würde sich durch die Innovation von 4,1 TWh auf 2,9 TWh reduzieren was einem technischen Potenzial von 1,2 TWh sowie einer Reduktion der jährlichen industriebedingten CO₂-Emissionen von 0,6 Mio. t CO₂-Äquivalenten entspricht.

Mikrowellentechnologie (MWT)

Der Prozesswärmebedarf der Glas-, Keramik- und Ziegelhersteller stammt aus der Anwendungsbilanz. Da sich die Technologie derzeit nur für Kleinserien eignet, wird als entsprechende Eingrenzung der Prozesswärmebedarf um den Energieanteil der Betriebe mit weniger als 50 Mitarbeitenden reduziert. Auf diesen Bedarf wirkt das Einsparpotenzial der Mikrowellentechnologie. Der aktuelle Endenergieverbrauch für Betriebe mit weniger als 50 Mitarbeitenden der Glas-, Keramik- und Ziegelherstellung

⁷ AGEB (2016): Zusammenfassung Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren 2013 bis 2015

für Prozesswärme würde sich durch die Innovation von 1,2 TWh auf 0,5 TWh reduzieren was einem technischen Potenzial von 0,65 TWh sowie einer Reduktion der jährlichen industriebedingten CO₂-Emissionen von 11.725 t CO₂-Äquivalenten entspricht.

Intelligente Gleichstromnetze (IG)

Die Zahl der Pressenlinien für das Formen der Karosserieteile der in Deutschland produzierten rund 50 Pkw-Modelle wird auf insgesamt 75 geschätzt. Für ein Pkw-Modell werden einige wenige Pressenlinien benötigt, jedoch kann eine einzelne Pressenlinie auch Karosserieteile für mehrere Modelle herstellen. Der durchschnittliche Stromverbrauch sowie das Einsparpotenzial einer einzelnen Pressenlinie wird dementsprechend skaliert. Der aktuelle Endenergieverbrauch aller Pressenlinien der Automobilbranche würde sich durch die Innovation von 422 GWh auf 338 GWh reduzieren was einem technischen Potenzial von 84 GWh sowie einer Reduktion der jährlichen industriebedingten CO₂-Emissionen von 39.703 t CO₂-Äquivalenten entspricht.

Wabenförmige keramische Wärmetauscher (WkW)

Das technische Potenzial ergibt sich aus der gemessenen Energieeinsparung eines Anwendungsfalls aus der chemischen Industrie und dem Anlagenbestand von thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland. Mit der Kombination dieser Faktoren kann das technische Potenzial der Innovation für die Müllbehandlungsbranche in Deutschland berechnet werden. Der aktuelle Endenergieverbrauch der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in der Müllbehandlungsbranche liegt bei 108 GWh und würde sich durch den Einsatz der Innovation auf 49 GWh verringern was einem technischen Potenzial von 59 GWh sowie einer Reduktion der jährlichen industriebedingten CO₂-Emissionen von 15.731 t CO₂-Äquivalenten entspricht.

Energieeffiziente Schaltschrankkühlung (ESK)

Das technische Potenzial ergibt sich aus der gemessenen Energieeinsparung eines Anwendungsfalls aus der Maschinenbauindustrie. Auf Basis der Anzahl ähnlicher Anwendungsfälle (mit gleicher Produktionstechnologie) wird die Energieeinsparungen aus dem Fallbeispiel auf Deutschlandebene skaliert. Der aktuelle Endenergieverbrauch für Presselinien in der Maschinenbauindustrie beträgt 0,7 GWh und würde sich durch den Einsatz der Innovation auf 0,2 GWh verringern was einem technischen Potenzial von 0,5 GWh sowie einer Reduktion der jährlichen industriebedingten CO₂-Emissionen von 245 t CO₂-Äquivalenten entspricht.

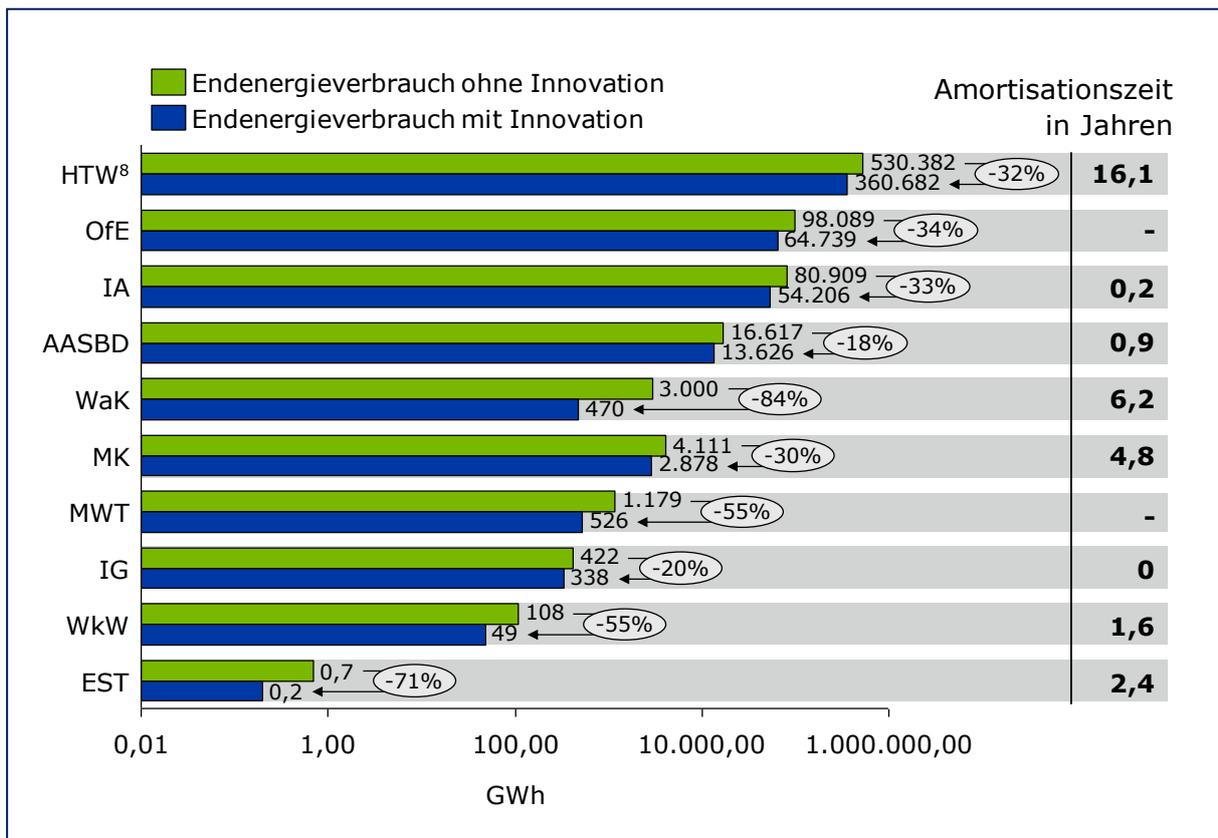


Abbildung 1: Endenergieverbrauch mit und ohne Innovation skaliert auf Deutschlandebene

In Abbildung 1 sind die Endenergieverbräuche mit und ohne Einsatz der Innovation in der Top-Branche abgebildet.⁸ Als Top-Branche versteht sich derjenige Wirtschaftszweig, in dem die Technologie die höchsten Effizienzpotenziale erzielen kann. Hierbei handelt es sich in den meisten Fällen um eine Skalierung für die Branche des Anwendungsbeispiels. Somit kann je nach Innovation von einem wesentlich höheren technischen Potenzial bei Anwendung überall dort wo möglich ausgegangen werden.

⁸ Im Gegensatz zu den anderen Technologien bezieht sich das Einsparungspotenzial der HTW auf den gesamten industriellen Wärmebedarf in Deutschland. Die anderen Technologien beziehen sich jeweils auf die Top-Branche. Auf Grund der unterschiedlichen Betrachtungsebenen (Top-Branche bzw. gesamter industrieller Wärmebedarf in Deutschland) kommt es zu Überschneidungen mit den anderen Innovationen, insbesondere der OfE.

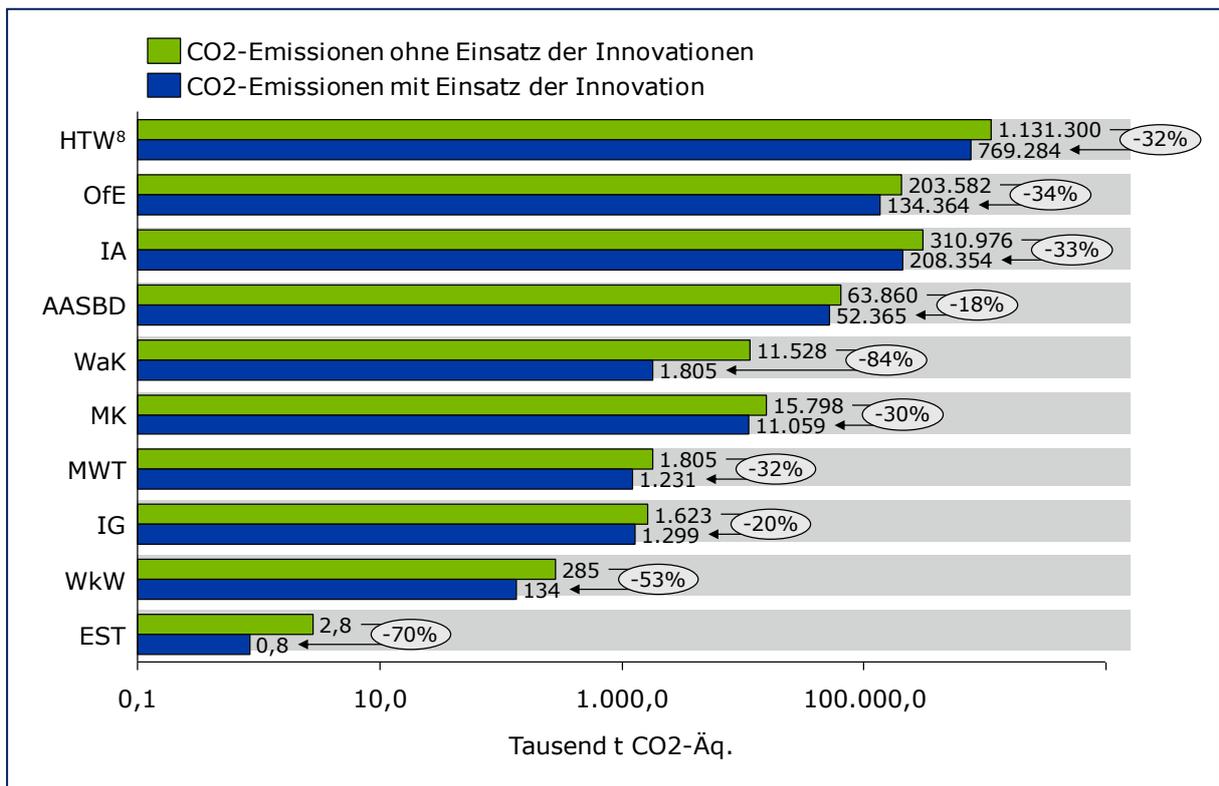


Abbildung 2: Kumulierte CO₂-Emissionen mit und ohne Einsatz der Innovation bis zum Jahr 2026

In Abbildung 2 sind die kumulierten CO₂-Emissionen einmal mit und ohne Einsatz der einzelnen Innovationen über zehn Jahre (bis zum Jahr 2026) abgebildet. Bei Einsatz der jeweiligen Innovation wird das gesamte technische Potenzial, unabhängig von der Wirtschaftlichkeit, in die Berechnung mit einbezogen. Das Diagramm zeigt deutlich, dass vor allem die Innovationen mit Einsparungen bei fossilen Brennstoffen die CO₂-Emissionen der deutschen Industrie signifikant verringern.

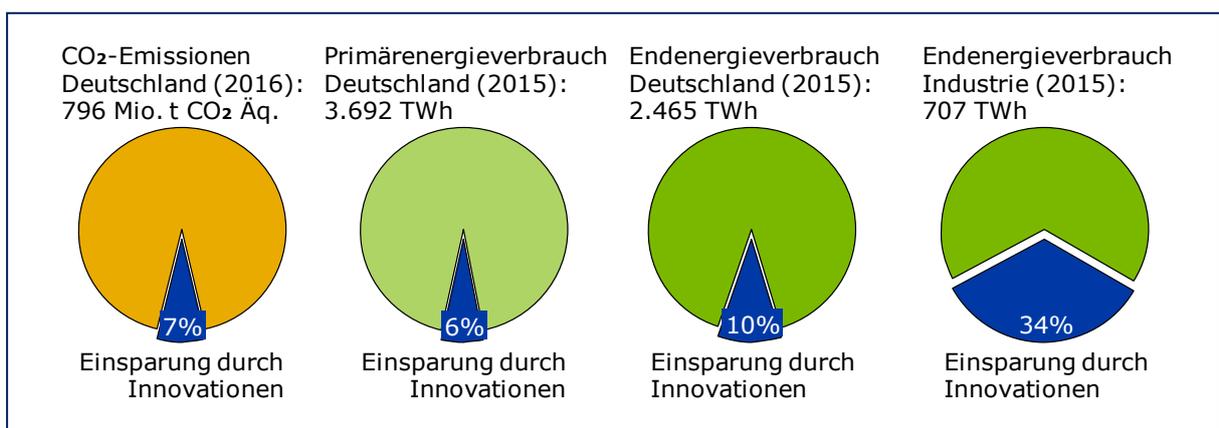


Abbildung 3: Einsparungen durch Einsatz der Innovationen gemessen an CO₂-Emissionen, Primärenergie- und Endenergieverbrauch

In Abbildung 3 werden die technischen Potenziale der Innovationen gesamthaft mit dem Primär- und den Endenergieverbrauch in Deutschland verglichen. Wie bereits zuvor erwähnt, handelt es sich bei

den hier betrachteten Innovationen mehrheitlich um Querschnittstechnologien, daher kann das Einsparpotenzial noch höher liegen. Einen wesentlichen Anteil an dem hohen Einsparpotenzial für die Industrie haben die HTW (24%), die OfE (4,7%) und die IA (3,8%). Neben dem Vergleich mit Primär- und Endenergieverbrauch wird auch die CO₂-Einsparung dargestellt, die sich durch den Einsatz der Innovationen heute ergeben würden. Wie bereits in den Abbildungen zuvor ist darauf hinzuweisen, dass die Einsatzgebiete der Innovationen und die daraus resultierenden Potenziale sich überschneiden können.

5.2 Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche Potenzial gibt die Einsparungen wider, die sich ergeben, wenn in den nächsten zehn Jahren bei allen relevanten Ersatz-, Erweiterungs- und Neuinvestitionen die jeweilige Innovation eingesetzt wird, sobald diese wirtschaftlich ist. Als wirtschaftlich gelten Innovationen mit einer (betriebswirtschaftlich ermittelten) Amortisationszeit von unter drei Jahren.

Für den Fall, dass die Amortisationszeit weniger als drei Jahre beträgt, entspricht das wirtschaftliche dem technischen Potenzial. Liegt die Amortisationszeit darüber, vermindert sich das wirtschaftliche Potenzial gegenüber dem technischen Potenzial entsprechend. In die Amortisationsrechnung gehen die Investitionskosten und die Energiekosten über 10 Jahre ein. Nicht-Energie Kosten wie z.B. Wartung werden, falls explizit von den Herstellern erwähnt, ebenfalls mit einbezogen.

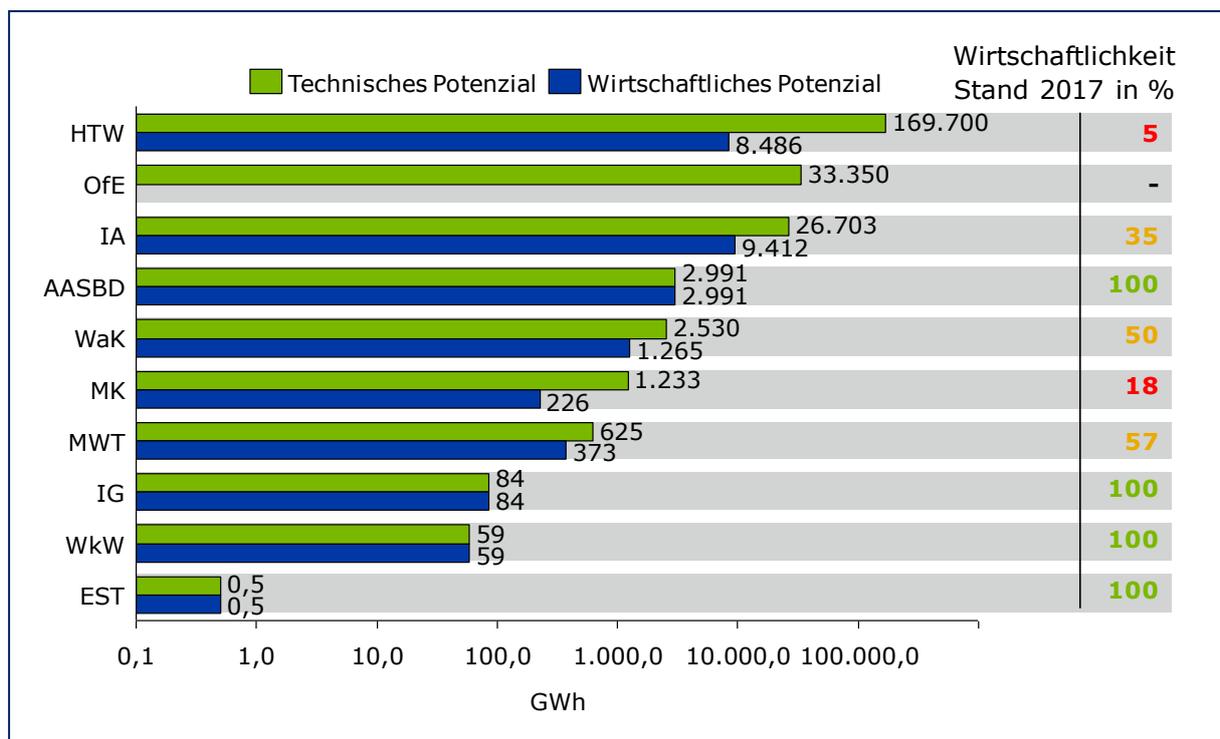


Abbildung 4: Wirtschaftliches Potenzial skaliert auf Deutschlandebene

In Abbildung 4 wird das wirtschaftliche und das technische Potenzial der einzelnen Innovationen gegenübergestellt. Die rechte Spalte zeigt an, welcher Prozentsatz des technischen Potenzials nach derzeitigem Stand bereits heute wirtschaftlich ist. Für die Technologie OfE wurde kein wirtschaftliches

Potenzial ausgerechnet, da die Amortisationszeit und somit das wirtschaftliche Potenzial sehr zwischen den einzelnen Anwendungsfällen variieren. Wie bereits aus Abbildung 1 zu entnehmen ist, liegen die Amortisationszeiten der Innovationen in den Fällen der MK, WaK und HTW über drei Jahre. Dies sorgt für eine wesentliche Differenz zwischen technischen und wirtschaftlichem Potenzial. Dies trifft vor allem auf die HWP zu. Bedingt durch die hohe Amortisationszeit von 16,1 Jahren ist davon auszugehen, dass nur 8,5 TWh des gesamten technischen Potenzials von 169,7 TWh umgesetzt werden.

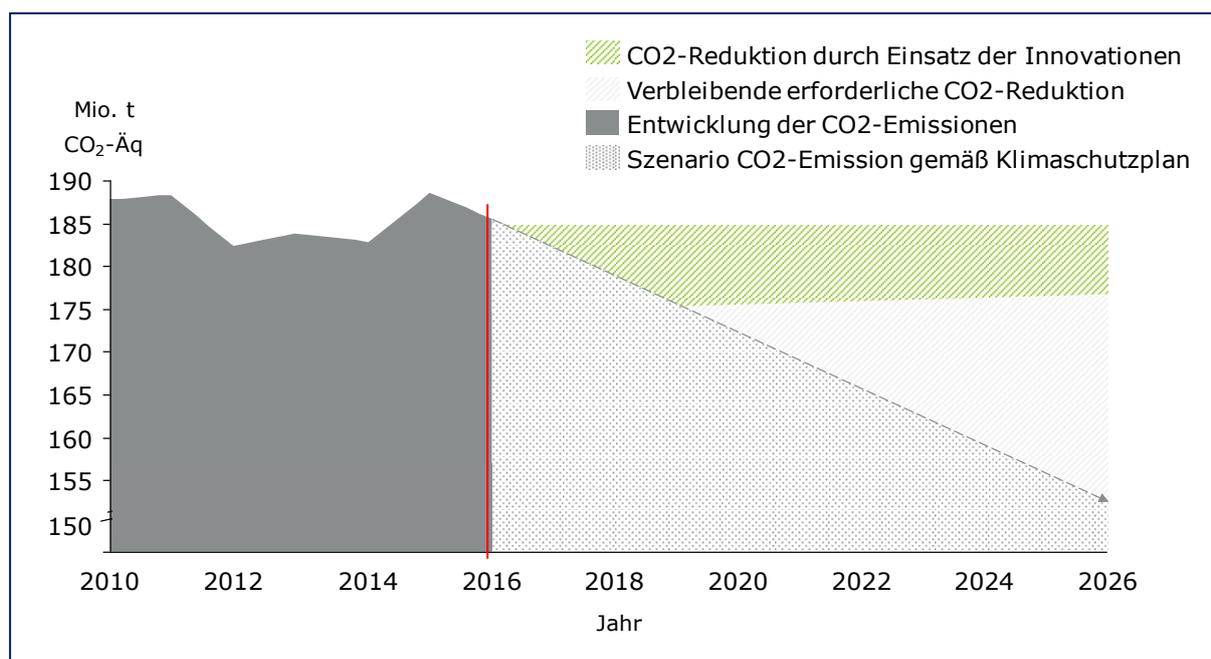


Abbildung 5: Wirtschaftliches Potenzial im Verhältnis zum Transformationspfad für die Industrie gemäß dem Klimaschutzplan 2050

In Abbildung 5 wird das wirtschaftliche Potenzial in CO₂-Emissionen umgerechnet und in Verhältnis zum Transformationspfad für die Industrie gemäß dem Klimaschutzplan 2050 gesetzt. Der Klimaschutzplan 2050 schreibt für das Jahr 2030 vor, die Treibhausgasemissionen der Industrie auf 140 bis 143 Mio. t CO₂-Äquivalente zu reduzieren.⁹ Mit der Annahme eines linearen Transformationspfads ergibt sich ein Zielwert von 155 Mio. t CO₂-Äquivalente für das Jahr 2026. Hieraus resultierend müssen die Treibhausgasemissionen der Industrie im Vergleich zum Durchschnitt (2011-2015) im Jahr 2026 um 30 Mio. t CO₂-Äquivalente reduziert werden. Gegeben der aktuellen wirtschaftlichen Parameter wird der Einsatz der Innovationen 18% der zu reduzierenden Emissionsmenge ausmachen. Würden sich die regulatorischen Rahmenbedingungen zu Gunsten der Wirtschaftlichkeit der HTW ändern, könnte die Innovation einen erheblichen Beitrag zu den Zielen des Klimaschutzplans leisten. Des Weiteren ist hier zu beachten, dass die CO₂-Einsparungen der Innovationen im Zeitverlauf abnehmen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die CO₂-Intensität des Stroms und somit die gesamten CO₂-Einsparungen der stromverbrauchsreduzierenden Innovationen sich verringern. Dieser Effekt wirkt

⁹ BMWi (2016): Klimaschutzplan 2050

sich jedoch positiv auf die HTW aus, da durch den Einsatz der HTW der Gasverbrauch reduziert und der Strommehrerverbrauch erhöht wird.

Für die Berechnung der Einsparungen der einzelnen Innovationen wurden dynamische Energiepreise für die nicht-energieintensive Industrie in Deutschland, sowie ein Diskontfaktor von 8 % benutzt (siehe Anhang). Die hier zu Grunde gelegte Energiepreisentwicklung stammt aus der Energiereferenzprognose des BMWi¹⁰. Die Entwicklung der Energiepreise (siehe Anhang) spielte eine erhebliche Rolle für die Wirtschaftlichkeit und die Amortisationszeit der einzelnen Innovationen. Insbesondere für die energieintensive Industrie ergeben sich sehr unterschiedliche Investitionsanreize, da die Kapitalwerte bedingt durch die geringeren Stromkosten wesentlich sinken bzw. für machen Innovationen sogar negativ werden (z.B. WaK).

5.3 Erwartetes Potenzial

Das erwartete Potenzial zeigt auf, welche Einsparungen in den nächsten 10 Jahren unter den momentan gegebenen Rahmenbedingungen wahrscheinlich sind. Als Basis für die Ermittlung des zu erwartenden Potenzials dient das wirtschaftliche Potenzial. Unter Einbeziehung der nachfolgend beschriebenen Hemmnisse verringern sich die Einsparpotenziale ein weiteres mal. Es wird prinzipiell zwischen einer starken, moderaten und einer geringen Minderung des wirtschaftlichen Potenzials unterschieden.

5.4 Hemmnisse

Während der Analyse der Hemmnisse durch Experteninterviews wurden verschiedene Hemmnisse mehrfach genannt.



¹⁰ BMWi (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose, Projekt Nr. 57/12

Abbildung 6: Word-Cloud der Hemmnisse

Abbildung 6 stellt die häufiger genannten Hemmnisse für einen ersten Eindruck in einer Word-Cloud dar. Wie eingangs im Kapitel der Methodik erwähnt, hatten die befragten Experten die Möglichkeit, eine Bewertung der Hemmnisse mit Hilfe einer Likert-Skala von 1 = minimale Hemmnisse bis 4 = maximale Hemmnisse vorzunehmen. Hierzu bietet Tabelle 2 eine Übersicht über die untersuchten Technologien, die verschiedenen Hemmnis-Arten und die zusammengefassten Ergebnisse. Zum Vergleich der verschiedenen Technologien und Hemmnis-Arten wurde jeweils der Mittelwert der Ergebnisse gebildet und anschließend der Größe nach absteigend sortiert. Naturgemäß besteht bei innovativen Technologien eine begrenzte Anzahl an Marktakteuren, daher sollten diese Ergebnisse lediglich als grobe Richtungsweisung interpretiert werden.

Es wird deutlich, dass informatorische und wirtschaftliche Hemmnisse bei den Befragten als schwerer gewertet wurden, während verhaltens-, organisations- und kompetenzbezogene Hemmnisse weniger schwer wiegen. Bewusstseinsbezogene und technologische Hemmnisse wurden von den Experten im Vergleich als am wenigsten schwer eingeschätzt.

Die größten Hemmnisse einer breiteren Markteinführung von Innovationen bestehen in der mangelnden Information über Kosten und Nutzen. Für viele Innovationen können außerdem keine verallgemeinernden Aussagen getroffen werden, da Einsparpotenziale individuell und anwendungsbezogen sind.

Auch wirtschaftliche Hemmnisse wurden immer wieder erwähnt, so z.B. geringe Kapitalverfügbarkeit, teure Einzelkomponenten oder die Konkurrenz gewonnener Energie mit teilweise geförderter Energie auf dem Markt (Bsp. thermoelektrische Generatoren).

Verhaltensbezogene Faktoren wie der vielbeschriebene Zwang des billigen Einkaufs oder der Vorrang von Produktivitätssteigerungen bei Investitionen scheinen weitere gewichtige Hemmnisse für eine breitere Markteinführung darzustellen.

Komplexe Kommunikations- und Entscheidungsstrukturen innerhalb eines Unternehmens wurden als größte organisatorische Hemmnisse genannt. Darüber hinaus kommt es bei Ersatzinvestitionen häufig zu Zeitdruck.

Außerdem sind auch kompetenzbezogene Hemmnisse, wie etwa das fehlende Know-how zur Anwendung der Innovationen ein bedeutender Faktor, insbesondere bei komplexen Systemen wie Intelligente Antriebslösungen oder Optimierungssoftware. Dies zeigt sich im Besonderen bei kleinen Unternehmen. Es besteht dabei eine geringe Bereitschaft (bzw. mangelnde Ressourcen) zur Einarbeitung in diese komplexen Systeme.

Technologiebezogene Hemmnisse vielen eher gering aus, mit Ausnahmen wie Gleichstromsysteme in der Industrie (aufgrund von fehlender Standardisierung) oder Thermoelektrischen Generatoren.

Hemmnisse bewusstseinsbezogener Art scheinen laut Aussage der Befragten nicht von großer Bedeutung zu sein. Allerdings können die geringen Energiekosten sowie unklare Einsparpotenziale das Bewusstsein für Energieeffizienz hemmen.

Als sonstiges Hemmnis ist die unübersichtliche Organisation der Förderung der innovativen Technologien auf den Ebenen der Länder und des Bundes zu nennen. Die Bearbeitung der Anträge für eine

Förderung dauert für Wirtschaftsunternehmen der Industrie meist sehr lange. Die Formulare sind kompliziert, was gerade für mittelständische Unternehmen ein Hemmnis darstellt.

Tabelle 2: Matrix der Bewertung der Hemmnisse durch die befragten Experten. (1 = minimale Hemmnisse, 4 = maximale Hemmnisse)

	Informati- on	Wirt- schaftlich	Verhalten	Organisati- on	Kompe- tenz	Technolo- gie	Bewusst- sein	Ø
Gleich- stromsyste- me in der Industrie (allgemein)	3	4	3,5	2,5	3	3	2,5	3,1
VWKPR	4	3	2,5	3	1	2	2,5	2,6
IA	2,6	2,6	2,9	2,4	2,65	1,75	2,5	2,5
ESK	1,5	4	2,5	3	2	2,5	1	2,4
MK	4	3	2	1	3	2	1	2,3
HTW	2,5	3	2,5	2,25	2,5	1,75	1,25	2,3
WkW	3,2	2,5	2,16	1,7	2,3	1,8	1,8	2,2
OfE	3,2	1,6	2,5	2	2,6	1,7	1,2	2,1
AASBD	4	1	2	3	2	1	2	2,1
WaK	1	2	4	2	1	1	3	2
TEG	2,25	3,25	1,25	1,5	1,5	2	1	1,8
IG	1	1	1	1	1	1	1	1
Ø	2,7	2,7	2,4	2,1	2	1,9	1,8	

6 Detailbetrachtung der Innovationen

6.1 Hochtemperaturwärmepumpe

6.1.1 Kurzbeschreibung

Die Dekarbonisierung der Wirtschaft stellt die Industriebranche vor große Herausforderungen. Aufgrund ihres hohen Wärmebedarfs (insbesondere der Prozesswärme), der zumeist über die Verbrennung von Erdgas gedeckt wird, sind zukünftig neue, emissionsarme Alternativen zur Deckung des Wärmebedarfs erforderlich. Sogenannte Hochtemperaturwärmepumpen – eine Weiterentwicklung gewöhnlicher Wärmepumpen zur Erzielung eines höheren Temperaturniveaus – können unter der Voraussetzung, dass der zukünftige Strommix in Deutschland auf 100 % erneuerbaren Energien beruht, einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung der Industriebranche leisten. Dabei ist hervorzuheben, dass HTWs in der Regel eine Ergänzungsmaßnahme zur bestehenden Technologie (z.B. Gasbrenner) darstellen, wodurch sich der Brennstoffbedarf reduzieren lässt. HTWs können neben der Deckung des Wärmebedarfs gleichzeitig auch zur Kühlung beitragen. Sie können insbesondere in der Lebensmittel-, Chemie-, Pharma-, Kunststoff- oder metallverarbeitenden Industrie eingesetzt werden.

HTWs sind Wärmepumpen, die mittels speziell entwickelter Kältemittel hohe Heiz- und Wassertemperaturen im Vorlauf erzeugen können (70 - 140 °C). Zudem kann eine solche HTW auch Kälte bereitstellen. Dabei können verschiedene Kältemittel bzw. Kältemittelgemische zum Einsatz kommen, u. a. ECO3, HFO-1336mzz-Z, LG6 oder CO₂.¹¹ Ein Verdichter bringt dabei dampfförmiges Kältemittel von einem niedrigen Druck- und Temperaturniveau auf ein hohes Druck- und Temperaturniveau. Als Antrieb hierzu wird in aller Regel ein Elektromotor genutzt, der aus dem Stromversorgungsnetz gespeist wird. In der Wärmepumpentechnik haben sich besonders Hubkolben-, Scroll-, Schrauben- und Turboverdichter etabliert. Bei der Planung von Wärmepumpenanlagen in industriellen Betrieben ist das Vorhandensein einer geeigneten Wärmequelle eine wesentliche Voraussetzung für die wirtschaftliche Umsetzbarkeit. Bei Vorhandensein einer solchen erreicht die HTW zumeist einen COP (engl. coefficient of performance) von mehr als drei.

Untersuchungen von Energieeinsparungen haben gezeigt, dass insbesondere in den Branchen Nahrungsmittel, Papier und Chemie große Potenziale für Hochtemperaturanwendungen, also jenseits eines Wärmebedarfs von 80 °C, liegen. Die relativen Energieeinsparungen unterliegen allerdings einer enormen Bandbreite, da diese im Wesentlichen von der Verfügbarkeit einer geeigneten Wärmequelle, der Wärmesenke, der bestehenden Infrastruktur und der untersuchten Industriebranche abhängen. Beispielsweise könnte laut Wolf et. al. (2014) durch die Einführung einer HTW bei einem Fertighersteller die Abwärme eines Betriebskraftwerks als Wärmequelle für die Trocknung von Holz genutzt werden, was den Wärmebedarf der Holz Trocknungsanlage um 73 % reduzieren würde.

¹¹ S. Wolf et. al. (2014). Analyse des Potenzials von Industriewärmepumpen in Deutschland.

6.1.2 Technisches Potenzial

Moderne HTWs können bereits ohne Probleme Temperaturen von bis zu 100 °C liefern. Laut Wolf et al. (2014) beträgt das deutschlandweite technische Energiesparpotenzial 121,4 TWh. Potenziale liegen vor allem in der Papierindustrie im Bleichen, Entfärben und der Presstrocknung des Papiers. Als Wärmequelle stehen in der Papierindustrie große Mengen Abwasser mit einer Temperatur von 30 bis 35 °C zur Verfügung. Erweitert man die Temperaturobergrenze auf 140 °C, die bereits von einigen Wärmepumpen erreicht wurden, so steigt das technische Potenzial auf 169,7 TWh. Das zusätzliche Potenzial besteht hauptsächlich in der Nahrungsmittel- (22,2 TWh) und der chemischen Industrie (23,6 TWh). Der Wärmebedarf bei diesen Temperaturen besteht in der Nahrungsmittelindustrie zu großen Teilen in den Prozessen Pasteurisierung, Sterilisierung und Trocknung. Die kumulierte CO₂-Einsparung für die nächsten 10 Jahre liegt bei 362 Mio. t.

6.1.3 Wirtschaftliches Potenzial

Bei der Planung von Wärmepumpenanlagen in industriellen Betrieben ist das Vorhandensein einer geeigneten Wärmequelle eine wesentliche Voraussetzung für die wirtschaftliche Umsetzbarkeit. Zudem fordern Industriebetriebe Amortisationszeiten von 2 bis 5 Jahren ein, die sich aufgrund hoher Anschaffungskosten von Wärmepumpenanlagen nicht erreichen lassen. All diese Faktoren wirken sich limitierend auf das wirtschaftliche Potenzial aus, so dass davon auszugehen ist, dass das wirtschaftliche Potenzial für Wärmepumpenanwendungen in der Industrie weitaus geringer einzuschätzen ist. Gegeben der Amortisationszeit von 16,1 Jahren und einer daraus resultierenden Umsetzung von 5 % des technischen Potenzials, ergibt sich ein wirtschaftliches Potenzial von 8,5 TWh.

Fallbeispiel

In diesem Fallbeispiel wird eine HTW bei einer Brauerei eingesetzt. Mit Hilfe der Wärmepumpe wird abgehende Wärme aus Kältemaschinen (Wärmequelle) wiederverwendet und zur Heißwassererzeugung (Wärmesenke) genutzt. Das heiße Wasser kommt anschließend in den Prozessen der Brauerei zum Einsatz. Gleichzeitig kann durch das Wärmerückgewinnungsverfahren auch ein Teil des Kälteenergiebedarfs reduziert werden. Die HTW stellt dabei eine Ergänzungsmaßnahme zur bestehenden Technologie dar, sodass für die nachfolgende Amortisationsrechnung weder ein Vergleich mit den Investitionskosten einer Bestandsanlage noch mit denen einer Referenzanlage durchgeführt wird. Anstelle dessen beruht die Amortisation auf den erzielbaren zusätzlichen Energieeinsparungen gegenüber einem System ohne die HTW. Im gegebenen Fall kann die HTW den jährlichen Erdgasverbrauch um 31 % reduzieren. Der Netto-Strommehrbedarf (i.e. der Strombedarf der Wärmepumpe abzüglich der Stromeinsparung der Kühlung) führt hingegen zu einer Steigerung des Stromverbrauchs um 13 %. Demnach ergibt sich eine Einsparung von 306 t CO₂ im Jahr 2017 und einer kumulierten Einsparung von 3.285 t CO₂ über die nächsten 10 Jahre. Bei Investitionskosten in Höhe von 360.000 € ergibt sich demnach eine Amortisationszeit von 16,1 Jahren, welche außerhalb des Betrachtungszeitraums von 10 Jahren liegt.

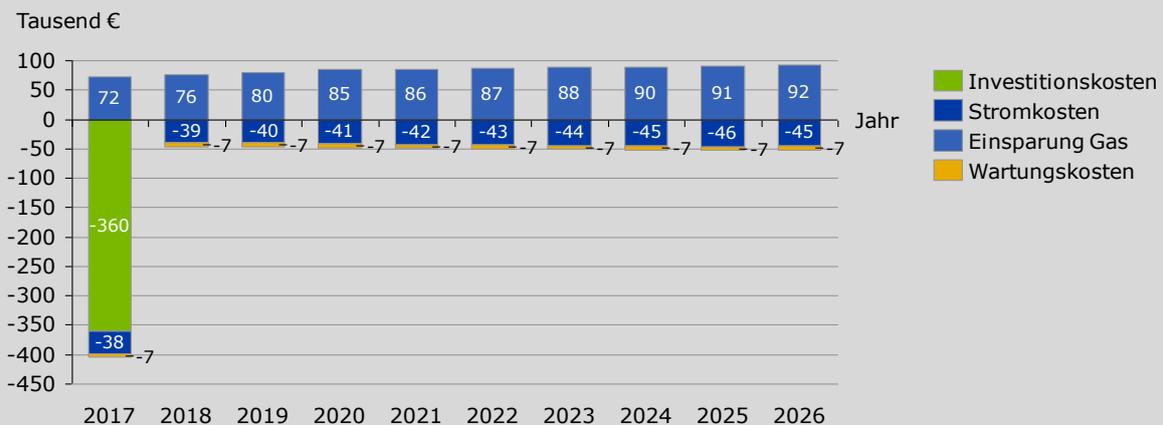


Abbildung 7: Amortisationsrechnung HTW Investition im gegebenen Fallbeispiel

6.1.4 Hemmnisse und erwartetes Potenzial¹²

Die Technologie der HTW bietet sehr große Energieeinsparpotentiale und genießt in Fachkreisen einen guten Ruf. Diese Potentiale wurden von mittlerweile ca. 5 - 10 Anbietern erkannt was bereits zu einer Wettbewerbssituation in diesem Markt führt. Dennoch befindet sich die Technologie der HTW, angesichts der großen Potenziale, noch im Anfangsstadium der Marktdurchdringung. Als größte

¹² Experteninterviews: Dürr thermea GmbH, Bau- und Liegenschaftsbetrieb Nordrhein Westfalen, Bosch Thermotechnik GmbH und IER Universität Stuttgart.

Hemmnisse wurden wirtschaftliche, verhaltensbezogene, und informationsbezogene Hemmnisse identifiziert.

Tabelle 3: Auflistung der Hemmnisse der Innovation HTW

Technologiebezogen	Gegenüber der Referenztechnologie keine technologischen Hemmnisse vorliegend.
Informationsbezogen	Potentiellen Anwendern sind die Informationen zu Kosten und Nutzen unbekannt. Ihnen fehlt damit die Entscheidungsgrundlage für eine adäquate Bewertung der Technologien.
Wirtschaftlich	<p>Durch die EEG-Umlage werden fossile Verbrennungstechnologien gegenüber elektrischen Anlagen bessergestellt. Höhere Strompreise machen HTWs daher wirtschaftlich uninteressanter und eine Sektorkopplung wird verhindert.</p> <p>Bei Investitionsentscheidungen werden Lebenszykluskosten nicht ausreichend berücksichtigt. Energieeinsparungen werden damit bei der Anschaffung unterbewertet.</p> <p>Die bestehenden Fördersysteme sind kompliziert und nicht weitreichend genug. Darüber hinaus werden nur Pumpen mit niedriger Leistung gefördert. Für industrielle Zwecke sind diese Förderungen nicht interessant.</p>
Verhaltensbezogen	Oftmals werden andere Prioritäten gesetzt und der Fokus ausschließlich auf das Kerngeschäft konzentriert. Entscheidungsträger sind träge, um Neuerungen ernst zu nehmen und schieben Investitionsentscheidungen auf die lange Bank.
Organisatorisch	Beim Ersetzen von Anlagen kommt es zu Zeitdruck, der die Kaufentscheidung beeinflusst.
Kompetenzbezogen	Große Planungsprojekte werden durch komplexe Planungs- und Entscheidungsketten fehleranfällig.
Bewusstseinsbezogen	Bewusstsein ist grundlegend vorhanden, ausschlaggebend sind allerdings ökonomische Kriterien.

Erläuterung

Die energieeffizienten elektrischen HTWs stehen im direkten Wettbewerb mit Technologien die auf Verbrennungstechnik wie Gasfeuerung beruhen. Durch die aktuelle Ausgestaltung des EEG wird die EEG-Umlage auf den Marktpreis für Elektrizität aufgeschlagen. Dies hat zur Folge, dass fossile **Verbrennungstechnologien gegenüber elektrischen Verbrauchern relativ bessergestellt** sind. Potentielle Anwender dieser Technologien erhalten daher den finanziellen Anreiz, in herkömmliche Verbrennungstechnologien, wie beispielsweise Gasfeuerung, zu investieren. Eine Erhöhung der Strompreise durch die EEG-Umlage mindert die periodischen Einsparungseffekte durch die Nutzung von effizienten HTWs und verlängert somit die Phase bis zum Eintreten des *Break-Even-Points*. Damit wirken hohe Strompreise der Etablierung dieser Technologie entgegen. Die Formel zur Berechnung des *primären Return on Investment* veranschaulicht diese Problematik.

$$\text{Primärer RoI bzw. Amortisationszeit in Jahren} = \frac{\text{Investitionskosten in €}}{\text{Jährliche Einsparungseffekte in €}}$$

Formel 1: Primärer Return on Investment bzw. Amortisationszeit im Investitionsgüterbereich in Jahren

Quelle: In Anlehnung an Kruschwitz L, (1993): Investitionsrechnung, 5. Auflage. De Gruyter. S. 37ff

Werden die jährlichen Einsparungen – bei gleichbleibenden Investitionskosten – im Nenner kleiner, so verlängert sich der *primäre RoI* in Jahren. Übersteigt der *primäre RoI* für HTWs die buchhalterische Grenze des Unternehmens, kann dies vorzeitig zum endgültigen Ausschluss der Technologie führen. Diese Aussage wurde durch bessere Verkaufszahlen im Ausland untermauert und sollte daher bei weiteren Verfahren berücksichtigt werden.

Ein Totalausfall einer Maschine kann zu **Zeitmangel** führen und der Druck, die Maschine zeitnah zu ersetzen, sehr groß sein. Da das Implementieren neuer Anlagen viel Zeit für Planung und Umsetzung in Anspruch nimmt, ist vorrausschauende Planung notwendig, um in solchen Fällen ausreichend schnell reagieren zu können.

Auch im Bereich der technischen **Planung der Umsetzung** einer Investition treten vermehrt Schwierigkeiten auf. So werden größere Projekte in Module zerschlagen. Diese Module werden als Aufträge an Planungsunternehmen abgegeben. Die Planungsunternehmen wiederum lassen einzelne Bausteine durch andere Hersteller produzieren. Final werden alle Bausteine zusammengefügt und das Projekt realisiert. Diese komplexen Ketten mit einer großen Anzahl an involvierten Akteuren führen zu Kommunikations- und Abstimmungsproblemen.

Vorschläge zum Hemmnisabbau

- Um die Technologie während der Investitionsentscheidung adäquat zu bewerten, sollte die *Life Cycle Analysis* und *Total Cost of Ownership* Analyse der Bewertung hinzugezogen werden. Somit werden durch das Management festgelegte Präferenzen um objektive Bewertungswerkzeuge bereichert.
- Beispielrechnungen bzw. Musterbeispiele sowie transparente Kosten und Nutzen sorgen für die korrekte Entscheidungsbasis. Als Hilfestellung können Musterbeispiele dienen, den interessierten Unternehmen die richtige Berechnungsmethode aufzuzeigen.

Minderung des Potenzials

Abseits der oben genannten wirtschaftlichen Hemmnisse gibt es keine, die das wirtschaftliche Potenzial wesentlich mindern könnten. Daraus ergibt sich eine geringe Minderung.

6.2 Optimierungssoftware für Energieverbundsysteme

6.2.1 Kurzbeschreibung

Verbundsysteme bestehen aus einer Vielzahl verschiedener Akteure mit unterschiedlichsten Energiebedürfnissen, bestehend aus Strom, Wärme und Kälte (unterschiedlicher Temperaturniveaus) sowie Druckluft. In diesen komplexen Systemen bestehen bisher ungenutzte Effizienzpotenziale, welche oftmals selbst den zentralen Energieversorgern nicht bekannt sind. Der Grund hierfür liegt vor allem in der komplexen Struktur der unzähligen Erzeugervarianten, sowie physischen und finanziellen Nebenbedingungen. Ebenso ist das Ziel der Optimierung von Verbundsystemen oftmals nicht die Minimierung des Energieverbrauchs sondern die Minimierung der Investitionssumme oder der Amortisationszeiten.

Die hier betrachtete Innovation ist eine Software, mit der eine optimale Planung von neuen Verbundsystemen und die Optimierung vorhandener Energiesysteme mit Hilfe mathematischer Algorithmen möglich ist. Das Ziel ist der Einsatz der Software in Planungsbüros, Industrieparks und Stadtwerken. Im Optimierungsprozess werden hierbei unter Angabe der jeweiligen Optimierungskriterien (Investitionskosten, Betriebskosten, Kapitalwert oder CO₂-Emissionen) verschiedene Auslegungen von Komponenten, Bauteilen und Anlagen berücksichtigt. Ebenfalls werden in der Berechnung die Lastgänge der unterschiedlichen Verbraucher, die Energiesystemstruktur, die Topographie der Verbundfläche, sowie eine Technologiedatenbank berücksichtigt. Das hieraus entstehende komplexe Optimierungsproblem kann mit Hilfe einer Heuristik (Voroptimierung mit konstanten Wirkungsgraden mit anschließender Nachjustierung mit variablen Wirkungsgraden) in relativ kurzer Zeit gelöst werden.

Die Energieeinsparung gegenüber dem Status Quo erzielt die Software durch die Identifizierung von Synergieeffekten zwischen Prozessen, Technologien und Unternehmen, welche bei einer begrenzten Analyse von Varianten, ohne eine Optimierungssoftware, wahrscheinlich nicht sichtbar geworden wären. Neben der reinen Strukturoptimierung von Verbundsystemen bietet die Software ebenfalls die Möglichkeit einer Optimierung des Anlagenfahrplans (Industrie 4.0 Anwendung). Der erfolgreiche Einsatz für diesen Zweck wurde bereits in einem Pilotprojekt getestet.¹³ Mit Hilfe der Software wurde hier eine Day-Ahead Optimierung des Anlagenfahrplans erstellt, welche verschiedene gekoppelte Systeme, sowie aktuelle Marktpreise berücksichtigt.

Die innovative Software befindet sich zur Zeit in der Markteinführungsphase. Es handelt es sich um eine Querschnittstechnologie sowohl in Bezug auf die Brancheneinsatzbarkeit (Optimierung von Verbundsystem unabhängig von der Branche), als auch bezogen auf die Anwendung für verschiedene Energieformen (Optimierung von Strom-, Gas-, Kühl-, Wärme- und Wasserversorgungsnetzen).

6.2.2 Technisches Potenzial

Auf Grund der sehr vielfältigen Anwendbarkeit des Produkts ist es schwierig, verallgemeinernde Einsparpotenziale aufzuzeigen. Anhand von erfolgreichen Feldtests und Projekten lässt sich jedoch skiz-

¹³ <http://www.top-energy.de/de/projekte/kraftwerkseinsatzplanung.html> (Abgerufen am 18.04.2017)

zieren, welches technische Potenzial durch eine umfangreiche Strukturoptimierung möglich ist. Auf Basis eines Fallbeispiels aus der chemischen Industrie lässt sich das technische Potenzial für Chemieparcs in Deutschland skalieren. Basierend auf dem Gesamtprimärenergieverbrauch der chemischen Industrie in Deutschland und dem Infrastrukturverhältnis zwischen Chemieparcs und anderen Chemieproduktionsstandorten ergibt sich ein technisches Potenzial von 33,4 TWh. Die kumulierte CO₂-Einsparung für die nächsten 10 Jahre liegt bei 69,2 Mio. t.

6.2.3 Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche Potenzial lässt sich auf Grund der mangelnden Anwendungsbeispiele und deren oftmals nur theoretische Umsetzung schwer abschätzen. Es hängt maßgeblich von den Amortisationszeiten der im strukturoptimierten Fall eingesetzten Maschinen und ihren Energieeinsparungen ab. Somit lässt sich keine belastbare Aussage über das wirtschaftliche Potenzial treffen. Die Kosten für die Lizenz der Strukturoptimierungssoftware liegen bei ca. 10.000 €. Diese Summe ist im Vergleich zu beispielhaften Investitionssummen von Chemieparcs über mehrere Millionen Euro vernachlässigbar.¹⁴

Fallbeispiel¹⁵

In diesem Fallbeispiel wurde mit der Software eine Strukturoptimierung für einen Industriepark in der Pharmaindustrie durchgeführt. Gegenstand der Optimierung war die Struktur eines Wärme- und Kälteversorgungssystems eines Chemieparcs. Verglichen wurde hier die optimierte Struktur mit der Ist-Struktur. Die Resultate zeigen, dass bei einer optimierten Struktur der Primärenergieverbrauch um 34 % gesenkt werden könnte. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von 53 GWh und einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes um 11.000 t. Bei der Primärenergieeinsparung handelt es sich hauptsächlich um Erdgas, da die Versorgung des Chemieparcs im strukturoptimierten Fall zu großen Teilen über KWK-Anlagen sichergestellt wird. Somit ist von einer konstanten CO₂-Einsparung über die nächsten zehn Jahre auszugehen. Die kumulierte CO₂-Einsparung liegt somit bei 110.000 t.

Die Einsparungen sind nur indirekt auf die Software zurück zu führen, stattdessen beziehen diese sich auf die zusätzlichen, zum Teil sehr hohen, Investitionen in die Strukturoptimierung.

6.2.4 Hemmnisse und erwartetes Potenzial¹⁶

Die Optimierungssoftware von Energieverbundsystemen verfügt im Bereich Strukturoptimierung noch nicht über eine ausreichende technologische Reife. Des Weiteren fehlen Informationen zu individuellen anwendungsbezogenen Kosten und Nutzen der Software sowie die Bereitschaft und die Ressourcen, sich in diese neue Software einzuarbeiten.

¹⁴ Voll, P., Klaffke, C., Hennen, M., Bardow, A. (2012): Automated superstructure-based synthesis and optimization of distributed energy supply systems. *Energy* 50 (2013) 374-388

¹⁵ <http://leistungsschau.klimaexpo.nrw/projekte-vorreiter/soptimo.html> (Abgerufen am 18.04.2017)

¹⁶ Experteninterviews mit Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik (GFal), Currenta GmbH & Co. OHG und Lehrstuhl für Technische Thermodynamik (LTT) der RWTH Aachen

Tabelle 4: Auflistung der Hemmnisse der Innovation OfE

Technologiebezogen	Im Bereich Strukturoptimierung ist, im Gegensatz zur Betriebsoptimierung, die Technologie teilweise noch nicht ausgereift. In manchen Fällen sind zudem zusätzlich zur Software externe Experten nötig, die mit der Software umgehen können.
Informationsbezogen	Die Zuverlässigkeit der Informationen der Anwender ist nicht immer gegeben. Daten fehlen oft genauso wie das konkrete Wissen über das eigene Energiesystem. Somit bekommen die Firmen die Software oft nicht parametrisiert. Aufgrund der Unsicherheit über den konkreten Nutzen im Vorfeld einer Anschaffung kommt es auch zu Hemmnissen. Es gibt bereits Erfahrungswerte, diese sind aber immer anwendungsbezogen.
Wirtschaftlich	-
Verhaltensbezogen	Andere Vorgehensweisen, die bisher angewendet wurden, sind schwer zu verändern. Ingenieure müssen glauben, was ihnen die Software an Ergebnissen liefert. Die Anwendung eines Optimierungstools ist mit neuem Lernaufwand / Einarbeitung verbunden, da die Systeme relativ komplex sind.
Organisatorisch	Obwohl z.B. Energieeffizienz-Maßnahmen vorgeschlagen wurden, die viel Geld einsparen, dauerte die Umsetzung Jahre. Oft ist keine Zeit da oder es fehlt z.B. eine bestimmte Unterschrift der zuständigen Person. Wenn Energieeffizienz im Unternehmen keine Rolle spielt, wird auch keine Notwendigkeit / Interesse für die Software bestehen.
Kompetenzbezogen	Unternehmen kaufen meistens externe Berater ein, die die Umsetzung durchführen. Es ist eine neue Software, die mit Einarbeitung verbunden ist – ein Kurs ist dafür notwendig. Es ist eine Person vor Ort nötig, die die Software gut kennt.
Bewusstseinsbezogen	Oft ist der Glaube, dass Energieeffizienz funktioniert, nicht da, oder das Vertrauen fehlt.
Sonstige	Ein weiteres großes Hemmnis stellt die vorhandene IT-Infrastruktur dar, die umgestellt werden muss. Datenbanken müssen aufgesetzt und neue Prozesse integriert werden. Oft ist es strukturell und organisatorisch schwierig, vorhandene Prozesse und Strukturen umzustellen.

Erläuterung

Für Unternehmen ist die IT-Infrastruktur kritisch, was ihre Datensicherheit angeht. Dort neue Software zu integrieren ist also oft mit großem Aufwand verbunden. Damit Unternehmen diesen hohen Aufwand betreiben, muss der Mehrwert klar erkennbar sein. Die Möglichkeiten, diesen Mehrwert besser darstellen zu können, werden nachfolgend beschrieben.

Vorschläge zum Hemmnisabbau

- Die mathematischen Methoden im Bereich der Strukturoptimierung müssen näher an die Praxis gelangen.

- Man sollte große Tagungen (Beispiel VDI) nutzen, um diese neuen Technologien besser zu kommunizieren. Dabei sollte VDI auch gezielter mit Lehrstühlen kooperieren, um eine bessere Verknüpfung zwischen Forschung und Industrie zu erreichen.
- Anfangshemmnisse (Kosten am Anfang) reduzieren.
- Bessere Kommunikation und Verdeutlichung, woher die Ergebnisse der Software stammen und was die jeweiligen Einflussfaktoren sind. Anwender sollten die Möglichkeit haben, verschiedene Optionen zu wählen.
- Bessere Kommunikation der Ergebnisse.
- Validierung der Modelle anhand von Messergebnissen in Hinblick auf die Richtigkeit von Modellen und Parametern. Dies kann dann zu einer Erhöhung des Vertrauens führen und verhaltensbezogene Hemmnisse abbauen.

Minderung des Potenzials

Bei dieser Technologie mindern vor allem die kompetenz- und informationsbezogene Hemmnisse das wirtschaftliche Potenzial. Die Planung und Optimierung von Industrieparks wird bis dato mehrheitlich durch erfahrene Ingenieure durchgeführt. Diese Expertise durch Software zu ersetzen bzw. zu erweitern stößt zum Teil auf Abneigung in den Unternehmen woraus sich eine moderate Potenzialminderung ergibt.

6.3 Intelligente Antriebslösungen

6.3.1 Kurzbeschreibung

Elektrische Antriebe finden sich in nahezu allen Bereichen des Produktionsprozesses. Ob automatisierter Materialtransport oder Fabrikinfrastruktur: Das Anwendungsspektrum elektrischer Antriebe ist groß. Entsprechend machen elektrische Antriebe rund zwei Drittel des industriellen Strombedarfs aus. Davon entfällt rund die Hälfte auf Mahl-, Press-, Walz- und andere mechanische Prozesse. Deren Energieverbrauch hängt unmittelbar vom eingesetzten Antriebssystem bestehend aus Elektromotor, Getriebe und Drehzahlregulierung ab. Insbesondere wegen der hohen Durchdringung von Elektromotoren bei elektrisch betriebenen Anwendungen und dem damit adressierbaren hohen Einsparpotenzial verabschiedete die Europäische Kommission im Jahr 2009 neue Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren¹⁷, basierend auf den bereits ein Jahr zuvor definierten international gültigen Effizienzstandards für Elektromotoren. Nach den gesetzlichen Mindesteffizienzstandards müssen ab dem 1.1.2017 neue Elektromotoren in der Leistungsspanne von 0,75 bis 375 kW mindestens den Standard IE3 (Premium-Wirkungsgrad) oder den Standard IE2 (Hoher Wirkungsgrad) inklusive Frequenzumrichter zur Drehzahlregulierung erfüllen.

¹⁷ Verordnung EG Nr. 640/2009 zur Durchführung der Ökodesign-Richtlinie 2005/32/EG, gültig für die allermeisten Niederspannungs-Drehstrommotoren

Intelligente Antriebslösungen hingegen zielen auf ein effizientes Gesamtsystem ab, denn dieses bestimmt, wieviel Energie für einen vorgegebenen Prozess eingesetzt werden muss. Häufig steht die Steigerung des Wirkungsgrads des Elektromotors im Fokus, obwohl sich durch die optimale Anpassung des Antriebs an den Arbeitsprozess eine höhere Einsparung erzielen lässt. Intelligente Antriebslösungen betrachten daher das ganze Antriebssystem bestehend aus Umrichter, Motor und Getriebe, welche alle aufeinander und auf die Arbeitsbedingungen abgestimmt werden. Diese Optimierung erfordert oft einen höheren Planungs- und Implementationsaufwand für das produzierende Unternehmen. Zudem bedarf es einer externen Beratung seitens des Herstellers des Antriebssystems oder eines Dienstleisters, um alle Aspekte des Gesamtsystems abdecken zu können.

6.3.2 Technisches Potenzial

Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich in der Abschätzung des in Deutschland technisch möglichen Einsparpotenzials intelligenter Antriebslösungen auf die Mahl-, Press-, Walz- und andere mechanische Prozesse wie z.B. Rühren oder Mixen.¹⁸ Alle diese Prozesse können in ihrer Funktionsweise praktisch auf ein bestimmtes Antriebssystem (Umrichter, Motor, Getriebe bzw. Übersetzung) generalisiert werden, sodass die im Folgenden genannten Annahmen zum Einsparpotenzial und zur relativen Häufigkeit gelten.

Eine Reihe von Publikationen beschäftigen sich mit dem Energieeinsparpotenzial elektrischer Antriebe, welches gesamthaft in Deutschland umsetzbar ist – wirtschaftlich wie technisch.¹⁹ Für die vorliegende Untersuchung wurden die technisch möglichen Effizienzverbesserungen der vorliegenden Referenzen genutzt. Durchschnittlich lassen sich beim Wechsel eines bestehenden auf ein energieeffizientes Antriebssystem an folgenden Komponenten energetische Einsparungen realisieren: Elektromotor (bis 7,5 kW Leistung 10 %, bis 75 kW Leistung 4 % und ab 75 kW Leistung 3 %), Getriebe (1 %), Drehzahlregulierung (Frequenzumrichter 8 %), bedarfsgerechte Dimensionierung (10 %), Leerlaufvermeidung (3 %), Tribologie (Schmiermittel, Lagerung 1 %), Spannungssymmetrie (1 %), regelmäßige Wartung (2 %) und Rekuperation (3 %). Das gesamte Einsparpotenzial beträgt demnach 32 bis 39 % je nach Motorleistungsklasse. Neben der Information über die relative Energieeinsparung ist weiterhin noch die relative, energiegewichtete Häufigkeit der verschiedenen Motorleistungsklassen relevant. Für Leistungsbereich bis 7,5, bis 75 sowie ab 75 kW beträgt der Anteil am Energieverbrauch jeweils 9, 68 sowie 23 %.²⁰ Damit können die Energieverbrauchspfade der drei Leistungsklassen getrennt voneinander ausgewertet werden.

Mit dem umfänglichen und sofortigen Ersatz des Bestandes durch intelligente Antriebssysteme können in ganz Deutschland rund 26,7 TWh oder 33 % Strom eingespart werden. Dies entspricht einer kumulierten CO₂-Einsparung von 102,6 Mio. t für die nächsten 10 Jahre.

¹⁸ Explizit ausgenommen aus der Betrachtung der Antriebslösungen werden die Verwendungszwecke Druckluft, Pumpen, Kompressoren und Ventilatoren. Für diese Anwendungen greifen weitergehende Einsparpotenziale, die sich nicht nur auf das Antriebssystem bzw. den Elektromotor beschränken und deshalb getrennt betrachtet werden müssen.

¹⁹ dena, 2010: Elektrische Motoren in Industrie und Gewerbe
EnergieAgentur.NRW, 2010: Elektrische Antriebe
Motor Challenge Programm, 2004: Sparsame elektrische Antriebe

²⁰ M. Blesl et al., 2011: Energieeffizienz in der Industrie

6.3.3 Wirtschaftliches Potenzial

Zur Abschätzung des wirtschaftlichen Energieeinsparpotenzials wird ein Kohortenverhalten nachgebildet. Die wichtigen Kenngrößen hierzu sind in Tabelle 5 aufgeführt. In Abhängigkeit der Motorleistung wird anhand der Nutzungsdauer²¹ (Abschreibungsdauer) des Antriebssystems auf die Lebensdauer (tatsächliche Einsatzdauer) geschlossen und diese weiterhin mit dem Anteil wirtschaftlicher Maßnahmen gewichtet. Dieser Anteil ist hier bewusst konservativ abgeschätzt worden. Im Allgemeinen lohnt sich für die meisten Motorleistungen schon ab lediglich 2.000 Betriebsstunden pro Jahr²² der Austausch des Elektromotors, dessen Energiekostenanteil an den Lebenszykluskosten 95 % und mehr beträgt.²³ Wichtiger Bestandteil intelligenter Antriebssysteme ist eine Drehzahlregulierung. Diese ist jedoch 3-5-mal teurer als der Elektromotor²⁴, weshalb für einen wirtschaftlichen Austausch des gesamten Antriebssystems von etwa 4.000 Betriebsstunden pro Jahr ausgegangen werden muss. Das Einsparpotenzial bei einem wirtschaftlichen Austausch der Antriebssysteme in der deutschen Industrie beläuft sich bis zum Jahr 2026 auf rund 9 TWh oder 12 % unterhalb des Referenzniveaus.

Tabelle 5: Relevante Kenngrößen zur Abschätzung der realistischen Austauschrate des Antriebssystems

Kenngröße (Einheit)	Leistung < 7,5 kW	Leistung < 75 kW	Leistung ≥ 75 kW
Nutzungsdauer (a)	12	16	20
Ideale Austauschrate (%/a)	8,2	6,3	5,0
Angenommene Lebensdauer (a)	18	24	30
Anteil wirtschaftlicher Maßnahmen (%)	75	85	95
Realistische Austauschrate (%/a)	4,2	3,5	3,2

²¹ dena, 2010: Elektrische Motoren in Industrie und Gewerbe

²² Dies entspricht 5 Tagen pro Woche im 1-Schichtbetrieb (8 Stunden pro Tag)

²³ M. Blesl et al., 2011: Energieeffizienz in der Industrie

²⁴ EnergieAgentur.NRW, 2010: Elektrische Antriebe

Fallbeispiel

In diesem Fallbeispiel wird bei einem Anwender eine neue Motor-Getriebe-Kombination installiert. Zur Auswahl stehen ein älterer IE1-Drehstrommotor mit Schneckengetriebe und ein IE2-Drehstrommotor mit Kegelradgetriebe. Zielgröße ist eine Wellenleistung von 0,8 kW. Das erste System benötigt hierfür eine Motorleistung von 1,5 kW, denn Elektromotor ($\eta = 78\%$) sowie Getriebe ($\eta = 72\%$) führen zu einem Gesamtwirkungsgrad von lediglich 56%. Das zweite System benötigt für die gleiche Wellenleistung eine Motorleistung von 1,1 kW, weil Elektromotor ($\eta = 81\%$) sowie Getriebe ($\eta = 95\%$) zusammen einen Wirkungsgrad von nunmehr 77% aufweisen. Bei einer Betriebszeit von 2.200 Stunden pro Jahr amortisieren sich die Investitionsmehrkosten von 30 € bei einer jährlichen Stromersparung von 0,88 MWh in weniger als drei Monaten. Im Vergleich zu den Bestandsanlagen konnte der Energieverbrauch um 21% reduziert werden, was einer Einsparung von 0,4 t CO₂ im Jahr 2017 entspricht und einer kumulierten Einsparung von 3 t CO₂ über die nächsten 10 Jahre.

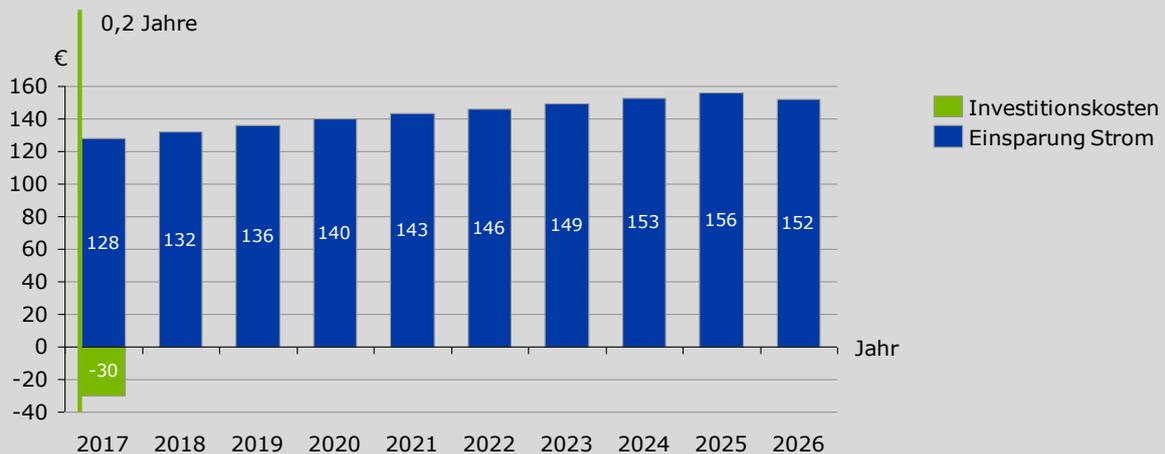


Abbildung 8: Amortisationsrechnung E-Motor und Getriebe im gegebenen Fallbeispiel

6.3.4 Hemmnisse und erwartetes Potenzial²⁵

Auf Basis der in den Experteninterviews abgefragten Angaben wurden besonders für drei Intralogistik²⁶-Komponenten Hemmnisse identifiziert: Rückspeiseeinheit, Motoren inkl. Regelung und hocheffiziente dezentrale Umrichter. Motoren und Umrichter werden in den kommenden Jahren marktverfügbar sein und so weiteren Energieeinsparungen führen. In der folgenden Tabelle werden die Hemmnisse, die diesen Einsparungen noch im Weg stehen, aufgeführt.

²⁵ Experteninterviews mit Lenze BlueGreen Solutions und Labor Leistungselektronik und elektrische Antriebe (Hochschule Ostwestfalen-Lippe)

²⁶ Unter Intralogistik versteht man logistische Material- und Warenflüsse innerhalb eines Betriebsgeländes mittels fördertechnischer Systeme und unterstützender Informationssysteme.

Tabelle 6: Auflistung der Hemmnisse der Innovation IA

Technologiebezogen	Die Rückspeiseeinheit R 700 ist umgesetzt und die Technologie verfügbar. Die energieeffiziente Motorreihe wird 2018 verfügbar sein. Die Umrichter werden eher in der Zukunft verfügbar sein (ca. in drei Jahren). Eine Weiterentwicklung der Konzepte und Demonstratoren findet statt.
Informationsbezogen	<p>In Hinblick auf die Rückspeiseeinheit liegen teilweise Hemmnisse aufgrund von fehlenden Informationen von Zulieferern (z.B. über Kosten-Spezifikationen) vor. Dies reduziert die Planungssicherheit von Anwendern.</p> <p>Die Motoren inklusive Regelung befinden sich noch in der Pilotphase. Es mangelt diesbezüglich an verfügbaren Informationen. Erste Erkenntnisse lassen sich nur für die Anwender innerhalb des Pilotprojektes treffen, und nicht für eine mögliche breite Kundenbasis.</p> <p>Die dezentralen Umrichter stellen ein neues Konzept dar. Eine noch stärkere Einsparung ist durch eine vollkommen andere Energiesteuerungs- und Energieversorgungsphysik möglich. Allerdings liegen aufgrund des radikalen Wandels nur wenige Informationen vor. Diese beziehen sich außerdem auf wenige Pilotanwender.</p> <p>Allgemein: Informationen stehen zur Verfügungen, werden aber noch nicht ausreichend von möglichen Anbietern aufgrund von limitierter Nachfrage abgerufen.</p>
Wirtschaftlich	<p>In Hinblick auf die Rückspeiseeinheit ist die Rentabilität sichergestellt, unter anderem auch durch niedrige Investitionskosten und eine geringe Amortisationszeit der Technologie.</p> <p>Auch bei den Motoren wird davon ausgegangen, dass die Investitionen wirtschaftlich rentabel sind. Die Kosten hängen jedoch von Stückzahlen ab und beruhen auf vorläufigen Annahmen (bisherige Anwendung im Rahmen von Pilotprojekten).</p> <p>Bei den Umrichtern ist die Wirtschaftlichkeit noch nicht eindeutig vorherzusagen; diese wird von der Lebensdauer und der Kundenakzeptanz abhängen.</p> <p>Allgemein: Einige Komponenten haben kurze Amortisationszeiten (etwa ein Jahr) und werden schnell wirtschaftlich rentabel. Dies hängt aber stark von der konkreten Anwendung ab. Die Wirtschaftlichkeit wird beeinflusst durch die Wahl der Komponenten und der richtigen Zusammensetzung. Bei einer Amortisationszeit von mehr als drei Jahren werden Investitionen oft nicht getroffen.</p>
Verhaltensbezogen	Eine neue Technologie setzt möglicherweise eine neue Systemarchitektur voraus, so dass vor allem die Trägheit ein Hemmnis darstellt. Außerdem tätigen Mitarbeit im Einkauf die Investitionen. Dort wird primär nach Zwang des billigen Einkaufs entschieden, und langfristige Nutzenfaktoren werden weniger mit einberechnet.
Organisatorisch	Zeitmangel ist das größte organisatorische Hemmnis. Außerdem ist Energieeffizienz aufgrund der niedrigen Energiekosten im Vergleich zu

	Investitions- und Personalkosten nur ein begrenzt wichtiges Entscheidungskriterium. Allgemein lässt sich festhalten, dass Entscheidungen in dem Bereich sehr komplex sind und verschiedene Hierarchieebenen überzeugt werden müssen. Der erwähnte ‚Zwang des billigen Einkaufs‘ in vielen Unternehmen hemmt auch langfristig (wirtschaftlich) sinnvolle Investitionen.
Kompetenzbezogen	Kompetenzbezogene Hemmnisse stellen ein großes Problem dar, vor allem wenn die Systeme recht komplex sind (wie beispielsweise bei den Umrichtern). Es mangelt häufig an systemischem Denken (mit Fokus auf größere Zusammenhänge) beim Kunden
Bewusstseinsbezogen	Energieeffizienz-Maßnahmen sind häufig nicht prioritär im Unternehmen. Der Grund für das fehlende Bewusstsein sind oft die niedrigen Energiekosten und die unklaren Einsparpotenziale durch Effizienzmaßnahmen. In diesem Rahmen werden oft kleine Maßnahmen durchgeführt, die allerdings nur mit richtiger Nutzungsweise ein Effizienzpotenzial ausschöpfen können. Produktivität geht immer noch vor Energieeffizienz.
Sonstige	Ein großes Hemmnis sind fehlende Anreize, Energieeffizienz in den Fokus zu rücken. Es fehlen sowohl Förderung als auch regulatorische Maßnahmen, die Anforderungen vorschreiben, um den Unternehmen den Umstieg attraktiver zu machen.

Erläuterung

Im Bereich der intelligenten Antriebslösungen bestehen noch wenige Informationen zu Kosten und Nutzen und oft mangelndes Know-how für die Komplexität der Systeme in Unternehmen. Dort werden Energieeffizienzmaßnahmen durch die geringen Energiekosten und die unklaren Einsparpotenziale bisher nicht stark verfolgt. Außerdem besteht eine Priorität des billigen Einkaufs. Wie diese Hemmnisse beseitigt werden können, wird nachfolgend dargestellt.

Möglichkeiten zur Hemmnisbeseitigung

- Anbieter müssen in ihrer Kommunikation leichter verständlich erklären, welche Vorteile eine Investition in neue Systeme und Technologien birgt. Mithilfe von Pilotprojekten sollten die Einsparmöglichkeiten besser aufgezeigt werden und die damit verbundene Reduktion von Betriebskosten kommuniziert werden. Endkunden sollten stärker in Betracht gezogen werden, damit diese auch die Komponenten beeinflussen können.
- Es braucht eine Sensibilisierung von Energieeffizienzmaßnahmen beim Kunden. Eine Lösung für das individuelle Problem ist wichtig, besonders in spezifischen und komplexen Antriebs- und Automatisierungsanwendungen.
- Entscheidungswege innerhalb von Unternehmen sollten vereinfacht werden, und langfristige Kosten-Nutzen-Potenziale stärker in Betracht gezogen werden (Abkehr vom Zwang des billigen und oft kurzfristig gedachten Einkaufs).
- Die Politik sollte stärkere Forderungen nach Energieeffizienz stellen. Die politischen Rahmenbedingungen spielen eine wichtige Rolle. Dabei ist allerdings eine Systembetrachtung wichtig; es sollte auf Anreize gesetzt werden (beispielsweise hinsichtlich vorweisbarer Verbesserungen und Erfolge im betrieblichen Energiemanagement). Abkehr von der spezifischen Förderungen, die oft nicht zu gewünschten Ergebnissen führen. Die Bürokratie muss möglichst gering gehalten werden.

Minderung des Potenzials

Bei dieser Innovation wird nur eine geringe Potenzialminderung erwartet. Diese ergibt sich vor allem aus dem oftmals fehlenden Know-how für die Komplexität der technischen Systeme in Unternehmen. Zudem werden Energieeffizienzmaßnahmen durch die geringen Energiekosten und die unklaren Einsparpotenziale bisher nicht tatkräftig verfolgt was die Kaufentscheidung für intelligente Antriebslösungen negativ beeinflusst.

6.4 Automatische Absperrung von Stand-By Druckluftnetzen mit zusätzlicher Leckage- und Druckabfallwarnung

6.4.1 Kurzbeschreibung

Druckluft findet aufgrund ihrer Eigenschaften als schnelle, präzise und gefahrlose Energieform ein breites Anwendungsspektrum. Eine häufige Anwendung der Druckluft ist die Reinigung von Werkstücken. Ein großer Teil der Druckluft wird auch für die Zerstäubung von Flüssigkeiten genutzt, wie es z.B. in der Farbspritzerei benötigt wird. Weiterhin können Linear- sowie Drehbewegungen über die Druckluft ausgeführt werden. Zwar steht die Anwendung hierbei in Konkurrenz zum elektrischen Antrieb. Doch wegen ihrer Vorteile – wie z. B. die Sicherheit gegen Überlast oder vor Unfällen (insbesondere die Explosionssicherheit) – kommt die Druckluft in vielen Fällen als geeignetere Energieform zum Einsatz. Auch zum Zwecke der Kühlung und Steuerung wird Druckluft angewendet.

Allerdings ist der Energieträger Druckluft eine sehr teure Energieform. Die Arbeit des Verdichters endet als Wärme und ist ohne entsprechende Wärmerückgewinnung verloren. Kleinste Leckagen und dadurch bedingte Druckverluste mindern die Effektivität und die Wirtschaftlichkeit, das gilt insbesondere beim Stand-by-Betrieb der Anlage. Der Energieverbrauch ist eng mit dem Wirtschaftlichkeitsaspekt verbunden, denn von den gesamten Lebenszykluskosten einer Druckluftstation entfallen etwa 70 % auf den Energieverbrauch.

Für die Druckluftherzeugung werden in Deutschland konstant rund 7 % des industriellen Stromverbrauchs benötigt. Mit einfach zu realisierenden und zudem wirtschaftlichen Maßnahmen lassen sich oft bis zu einem Drittel des Energieverbrauchs und fast ebenso viel an Kosten einer Druckluftanlage einsparen.²⁷ Vielen Betrieben sind jedoch die Druckluftverbräuche und die damit verbundenen Kosten nicht ausreichend bekannt. Unnötige Mehrkosten durch schlecht geführte Druckluftstationen liegen in größeren Betrieben bei bis über 100.000 € pro Jahr.

²⁷ Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken, 2012: Druckluft effizient nutzen – Praxisleitfaden für Energieeffizienz und Kosteneinsparung

6.4.2 Technisches Potenzial

Für das technische Potenzial auf Bundesebene werden die Ergebnisse mehrerer Untersuchungen zum Thema der effizienten Druckluft herangezogen.²⁸ Generell bietet die Druckluftbereitstellung enorme spezifische Einsparmöglichkeiten. Zusammen mit dem hohen Verbreitungsgrad und dem insgesamt hohen Stromverbrauchsanteil von rund 7 % in der Industrie lohnt eine genauere Betrachtung der Einsparmöglichkeiten. So sollte zuerst geprüft werden, ob die Druckluft nicht gänzlich ersetzbar ist, beispielsweise durch elektrische Antriebe, deren Wirkungsgrade deutlich über denen der Druckluftstationen liegen. Ist die Druckluft nicht ersetzbar, so sollte das System energetisch optimiert werden, wobei u. a. die folgenden Maßnahmen möglich sind: Leckagen aufspüren und beseitigen, Druck- und Leerlaufverluste minimieren, bedarfsgerechte Kompressoren (Größe und Bauart) auswählen, Steuerung der Kompressorenlaufzeiten optimieren, Wärmerückgewinnung integrieren und Wartung optimieren und systematisieren.

Für die Untersuchung des technischen Potenzials beschränken wir uns auf die ersten beiden Listeneinträge, welche über ein einzelnes, am Markt verfügbares Modul adressiert werden. Dieses Modul erkennt Leckagen und Leerlaufbetrieb der Anlage und regelt in beiden Fällen die Druckluftzufuhr ab, sodass in diesen Fällen keine Verluste entstehen. Unterstellt wird, dass der Betreiber die durch das Modul erkannten und gemeldeten Leckagen zeitnah behebt.

Leckagen können bis zu 60 % Verlust ausmachen. Für Druckluftnetze der Industrie wird im Mittel von 10 % ausgegangen. Dies ist eine konservative Abschätzung, denn eine Leckagerate von bis zu 15 % gilt als „akzeptabel“. Hingegen werden große Druckluftnetze, beispielsweise in einem Industriepark, in der Regel kosteneffizienter betrieben. Hier herrschen Leckageraten von 5 bis 10 % vor. Druckverluste zwischen Kompressor und Anwendung machen weitere 1,5 % Verlust aus. Hinzu kommen Leerlaufverluste: Wird die Anlage am Wochenende auf 20 % der Nennleistung heruntergedrosselt (3-Schichtbetrieb werktags), summieren sich die Standby-Verluste auf 6 %.

Falls das beschriebene Modul (sofort oder innerhalb des Modernisierungszyklus) flächendeckend in den deutschen Druckluftnetzen zum Einsatz kommt, werden rund 3 TWh oder 18 % Strom pro Jahr eingespart. Dies entspricht einer kumulierten CO₂-Einsparung von 11,5 Mio. t. für die nächsten 10 Jahre.

6.4.3 Wirtschaftliches Potenzial

Zur Abschätzung des wirtschaftlichen Energieeinsparpotenzials wird ein Kohortenverhalten nachgebildet. Die wichtigen Annahmen sind die wirtschaftliche Nutzungsdauer einer Druckluftanlage von 12 Jahren und daraus abgeleitet ein Wartungs- und Modernisierungszyklus von 4 Jahren. Die Wirtschaftlichkeit ist bei nahezu allen Anlagen gegeben, weshalb das wirtschaftliche Potenzial das technische innerhalb des Modernisierungszyklus eingeholt hat.

²⁸ EnergieAgentur.NRW, 2000: Druckluft – Störungsfreie, kostengünstige und energieeffiziente Bereitstellung
Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken, 2012: Druckluft effizient nutzen – Praxisleitfaden für Energieeffizienz und Kosteneinsparung

Fallbeispiel

Im Fallbeispiel installiert ein Betrieb ein Modul zur konstanten Überwachung des dortigen Druckluftnetzes. Das Modul misst stetig die Kennwerte des Druckluftnetzes wie Durchfluss und Druck und erkennt anhand ungewöhnlicher Druckluftabfälle Leckageverluste sowie Stand-by-Betrieb. In beiden Fällen regelt das Modul ab und vermeidet ungewollte Luft- bzw. unnötige Druckverluste. Die Beispielanlage hat einen Durchsatz von 1,5 Nm³/min (1.500 l/min). Da die Anlage älterer Bauart ist, kann mit einer Leckage von 18 % gerechnet werden. Bei einem 3-Schichtbetrieb an fünf Tagen pro Woche beträgt die Leerlaufzeit rund 20 %. Bei einer reduzierten Leerlaufleistung von 25 % gegenüber der Normleistung betragen die energetischen Verluste des Stand-by zusätzlich zur Leckage weitere 5 %. Verluste aufgrund von Leckagen und Leerlauf betragen bei einer Leistungsaufnahme von 9 kW bzw. einer Arbeit von rund 80 MWh pro Jahr etwa 15,5 MWh. Bei einem Modulpreis von etwa 2.000 € amortisiert sich die Investition in unter einem Jahr. Im Vergleich zu der Bestandsanlage konnte der Energieverbrauch (Strom) um 23 % reduziert werden, was einer Einsparung von 7,3 t CO₂ im Jahr 2017 entspricht und einer kumulierten Einsparung von 52,3 t CO₂ über die nächsten 10 Jahre.

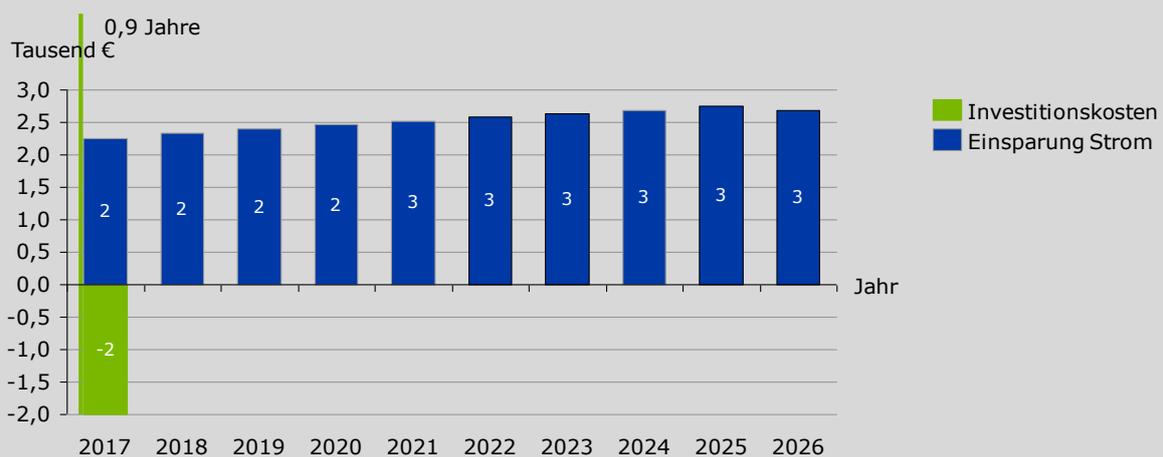


Abbildung 9: Amortisationsrechnung der AASBD in der Nahrungsmittelindustrie

6.4.4 Hemmnisse und erwartetes Potenzial²⁹

Das Produkt ist bereits in Serie am Markt erhältlich. Der Vorteil dieses Produktes tritt nur indirekt als Effizienz auf, da durch die Verhinderung von Leckagen Energie eingespart wird. Zudem ist die Beschaffung und Implementierung dieses Produktes relativ günstig. Sehr gravierend sind informationsbezogene, organisatorische und bewusstseinsbezogene Hemmnisse.

²⁹ IER Universität Stuttgart, Festo AG & Co. KG (<http://www.bluecompetence.net/documents/1848986/2098176/Festo%202020D/46a2a281-4ab4-4723-9b05-dc90061cc72c.jsessionid=FB7A1855638553764414CE34D8B7FBFA>) zuletzt abgerufen am 12.05.2017

Tabelle 7: Auflistung der Hemmnisse der Innovation AASBD

Technologiebezogen	Die Technologie ist serienreif am Markt verfügbar. Druckluftherzeugung mittels Verbrennungsmotor führt zu Fehlanreizen.
Informationsbezogen	Die Technologie ist breitenwirksam am Markt noch wenig bekannt. Über die Kosten der Druckluftherzeugung herrscht weitgehende Unklarheit.
Wirtschaftlich	Aktuelle Energiepreissituation (hoher Preis für Elektrizität und relativ niedriger Preis für fossile Rohstoffe) benachteiligt elektrische Verbraucher gegenüber Druckluftherzeugung mittels Verbrennungsmotor.
Verhaltensbezogen	Im Geschäftsalltag liegen die Prioritäten eher auf dem Kerngeschäft.
Organisatorisch	Es fehlen für Leckagen notwendige standardisierte Prüf- und Wartungsverfahren.
Kompetenzbezogen	Druckluftanlagen werden nicht als ineffizient erkannt.
Bewusstseinsbezogen	Leckagen in Druckluftanlagen werden teilweise ignoriert und erst ab einem gewissen Ausmaß erkannt und behoben.

Erläuterung

Ein großes Problem bei Druckluftsystemen besteht häufig in der Unwissenheit bzw. der fehlenden **Information** der Unternehmen über ihre Energiekosten und Energieeffizienz in Bezug auf ihr Druckluftsystem. Intransparente Kosten für die Druckluftbereitstellung zeigen sich als hemmend, da meist nicht separat aufgeführt wird, wie hoch der Anteil der Stromkosten für die Erzeugung von Druckluft ist. Des Weiteren genießt die Technologie keinen großen Bekanntheitsgrad.

Auch **verhaltensbezogene** Hemmnisse spielen eine große Rolle. Die Leckagen treten zumeist am Ende der Druckluftnetze auf. Häufige Benutzung sorgt für Verschleiß und lässt Dichtungen undicht werden. Aufgrund der Prioritäten auf das Kerngeschäft werden auftretende Leckagen vernachlässigt und als nicht relevant wahrgenommen. In Verbindung mit fehlenden Prüf- und Wartungsintervallen sind verspätete Wartungsarbeiten die Folge.

Die automatische Stand-By Druckluftabspernung steht zwar nicht direkt in Konkurrenz mit Produkten wie Druckluftherzeugung mittels Verbrennungsmotor. Allerdings sorgt das Ausweichen auf Verbrennungstechnologien, aufgrund hoher Preise für Elektrizität (EEG-Umlage) und geringer Preise für beispielsweise Erdgas, zu geringeren Kosten der Druckluftherzeugung, was den Anreiz Energie zu sparen verringert.

Vorschläge zum Hemmnisabbau

- Um die Identifizierung von Ineffizienzen allgemein und im vorliegenden Fall sicherzustellen, sollte die Informationslage in der Belegschaft verbessert werden. Informationskampagnen und im Besonderen die Sensibilisierung der Auszubildenden in Berufsschulen kann hierbei hilfreich sein.

- Interne Prüf- und Wartungsvorschriften sorgen zum einen für Klarheit über die anfallenden Kosten der Energieerzeugung, andererseits werden Ineffizienzen schneller erkannt. Des Weiteren führen klar definierte Zuständigkeiten zu mehr Bewusstsein für Ineffizienzen.

Minderung des Potenzials

Obwohl die Technologie große Einsparpotenziale bereithält ist Sie am Markt relativ unbekannt. Zudem werden Leckagen oft nicht berücksichtigt bzw. der Bedarf diese zu beheben wird nicht gesehen. Des Weiteren fehlt den Monteuren oftmals das Bewusstsein für Energieeffizienz im Bereich Druckluft. Aufgrund der Vielzahl an Hemmnissen muss mit einer starken Potenzialminderung gerechnet werden.

6.5 Wasser als Kältemittel

6.5.1 Kurzbeschreibung

Seit einigen Jahren sieht sich die konventionelle Kältetechnik, welche schon sehr lange eingesetzt wird, mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Auf Grund des Ozonabbaupotenzials und vor allem des Treibhauspotenzials werden immer mehr Kältemittel beschränkt oder gänzlich verboten. Eines der Erschwernisse auf der Suche nach neuen Kältemitteln besteht darin, dass bisherige Kälteanlagen in ihrem Design auf die konventionellen Kältemittel ausgelegt sind. Aus diesem Grund geht mit der Suche nach neuen Kältemitteln auch die Entwicklung eines neuen Anlagendesigns einher. Ein weiteres Erschwernis besteht in den schlechteren thermodynamischen Eigenschaften neu entwickelter Kältemittel im Vergleich zu ihren konventionellen Vorgängern.

Die hier analysierte Innovation umfasst den Einsatz eines bisher ungenutzten Kältemittels, Wasser. (Kältemittelkürzel R718). Durch die Wahl des Kältemittels ergibt sich, dass die Anlage im Unterdruck arbeitet (10-100 mbar(a)). Die realisierbaren Kaltwassertemperaturen beginnen bei ca. 10 °C.³⁰ Der eigentliche Kälteprozess ist der gleiche wie in konventionellen Kompressionskältemaschinen, und als Verdichter wird ein Turboverdichter eingesetzt. Die Anlage mit einer Kälteleistung von 35 kW pro Modul (bei 28 °C/22 °C) ist modular aufgebaut und für die Verwendung von freier Kühlung optimiert. Mit dem modularen Aufbau des Systems und der hydraulischen Verschaltung der beiden Behälter werden in Abhängigkeit von sowohl der inneren Wärmelast als auch der Außentemperatur nur die Anlagenteile betrieben, die für die jeweils geforderte Kälteleistung notwendig sind.³¹ Die Innovation kann somit in drei Stufen laufen, Freikühlung (EER > 120), Stufe I (EER 10-6,1) und Stufe II (EER 6,1-3,1).³² Die Energiemehreinsparung gegenüber Referenzanlagen erzielt die Innovation vor allem mit dem Einsatz der Freikühlung, welche in Deutschland an ca. 220 Tagen eingesetzt werden kann. Bei einem Einsatz der Innovation in einem Rechenzentrum in der Lebensmittelindustrie liefert diese über das gesamte Jahr gemittelt eine EER von 14. Dieses Ergebnis übersteigt die EER der vor Ort installierten Referenztechnologie um den Faktor drei bis sechs. Der Energieverbrauch für die Kühlung konnte im Vergleich

³⁰ https://efficient-energy.com/wp-content/uploads/2016/09/Produktbeschreibung-eChiller-2-35_K1.5_v1.1_dt.pdf (Abgerufen am 18.04.2017)

³¹ <https://efficient-energy.com/kaeltemaschine-echiller/nachhaltige-industriekuehlung/> (Abgerufen am 18.04.2017)

³² https://efficient-energy.com/wp-content/uploads/2016/09/Produktbeschreibung-eChiller-2-35_K1.5_v1.1_dt.pdf (Abgerufen am 18.04.2017)

zur Referenztechnologie um 80 % gesenkt werden. Das Einsparpotenzial im Allgemeinen variiert stark mit der verglichenen Referenztechnologie.³³ Neben dem geringeren Energieverbrauch entstehen auch nicht-energiebezogene Vorteile. Der Einsatz umweltschädlicher Kältemittel wird vermieden und durch den geschlossenen Kühlkreislauf fallen keine Kosten für Wasserverbrauch und -aufbereitung an, sowie es z.B. bei einer Kühlturmkühlung der Fall ist. Ebenso ist die Wartung der Innovation im Vergleich zur Referenztechnologie einfacher und günstiger, da keine gesetzlich geregelten Wartungsintervalle vorgeschrieben sind und Monteure ohne Kältemittelzulassung eingesetzt werden können.

Die Innovation verfügt über ein breites Anwendungsspektrum, jedoch kann sie auf Grund des eingeschränkten Temperaturbereichs (10-45 °C) konventionelle Kühltechniken nicht komplett ersetzen. Der ideale Verwendungszweck der Innovation ist die Kühlung von Elektronik, Telekommunikation und Serverräumen, da hier ein konstanter Bedarf an Kälte im Bereich von ca. 20 Grad vorherrscht. Weitere Einsatzgebiete sind die Prozesskühlung in der Kunststoff- und Chemieindustrie, die Gebäudeklimatisierung und sonstige Kaltwasseranwendungen.

6.5.2 Technisches Potenzial

Das technische Einsparpotenzial der Innovation und der damit einhergehende geringere Stromverbrauch variiert zwischen Branchen (unterschiedliche Temperaturanforderungen an Kühlanlage), sowie der ersetzten Bestandskühlanlage. Die hier durchgeführte Skalierung bezieht sich auf den Kühlenergiebedarf für Rechenzentren in Deutschland, welcher für das Jahr 2017 6,5 TWh beträgt (Stobbe et al., 2015). Um diesen Bedarf zu decken, wird von einem Stromverbrauch von 3 TWh ausgegangen. Mit der gegebenen Innovation wäre eine Stromeinsparung und somit ein technisches Potenzial von 2,5 TWh, gegeben der Annahme, dass die Innovation in allen Rechenzentren für die Kühlung eingesetzt wird, möglich. Dies entspricht einer kumulierten CO₂-Einsparung für die nächsten 10 Jahre von 9,7 Mio. t.

6.5.3 Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche Einsparpotenzial der Innovation, bestehend aus einer Reduzierung des Stromverbrauchs, liegt je nach Anwendungseinsatz und Bestandstechnologie zwischen 35 % und 80 %. Die Innovation befindet sich zur Zeit in der Markteinführungsphase. In Abhängigkeit der Marktdurchdringung wird in den nächsten Jahren von Herstellerseite eine Kostendegression von bis zu 50 % des aktuellen Preises erwartet. Dies wirkt sich positiv auf das wirtschaftliche Potenzial der Innovation aus, da – bedingt durch die Kostendegression – die Amortisationszeit der Anlage sich von heute 6,2 Jahren auf 4,3 Jahren in 2027 verringern wird. Durch diese signifikante Reduktion der Amortisationszeit ist davon auszugehen, dass sich die Umsetzung des technischen Potentials von 5 % zu 50 % erhöht. Dies entspricht einer Vergrößerung des wirtschaftlichen Potentials von momentan 126 GWh auf 1,27 TWh in den nächsten zehn Jahren.

³³ <https://efficient-energy.com/kaeltemaschine-echiller/kuehlung-von-rechenzentren/> (Abgerufen am 18.04.2017)

Indikatives Fallbeispiel

In diesem Fallbeispiel wird die Innovation bei einem Hersteller von Komponenten für die Kraftfahrzeug- und Nutzfahrzeugbranche eingesetzt. In der Amortisationsrechnung wird der Einsatz der Innovation mit der Bestandsanlage, einem Kühlturm, verglichen. Die Kühlung wird in einem Prozessschritt der Produktherstellung, sowie für die Kühlung der Prüfstandsgetriebe eingesetzt. Die Amortisationsrechnung bezieht sich auf den Vergleich der Investitionskosten der Innovation mit den Betriebskosten des Kühlturms. Im gegebenen Fall kann die Innovation während 57% des Jahres im Teillastmodus betrieben werden. Die Investitionskosten in der Innovation belaufen sich auf 250.000€ . Im Vergleich zu der Bestandsanlage konnte der Energieverbrauch (Strom) um 73% reduziert werden, was einer Einsparung von 71 t CO₂ im Jahr 2017 entspricht und einer kumulierten Einsparung von 584 t CO₂ über die nächsten 10 Jahre. Die Amortisationszeit der Investition lag bei 6,2 Jahren.

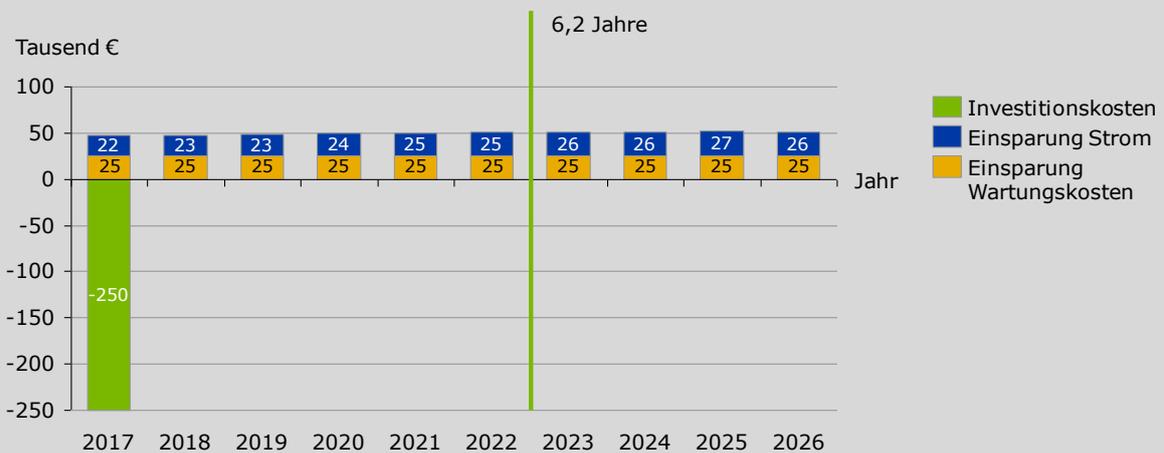


Abbildung 10: Amortisationsrechnung von WaK in der Kraftfahrzeug- und Nutzfahrzeugbranche

6.5.4 Hemmnisse und erwartetes Potenzial³⁴

Die Technologie „Wasser als Kältemittel (Direktverdampfung)“, *WaK*, ist serienreif am Markt erhältlich und gilt als gut verfügbar. Die Implementierung ist mit keinem Mehraufwand gegenüber einer herkömmlichen Referenztechnologie verbunden. Zu dem umweltfreundlicheren Kühlmittel kommt, dass die Herstellung der Anlagen bereits heute ressourceneffizienter ist als bei konventionellen Technologien. Die größten Hemmnisse treten hier im Bereich der verhaltensbezogenen, bewusstseinsbezogenen und informativen Hemmnisse auf.

³⁴ Experteninterview mit Efficient energy GmbH.

Tabelle 8: Auflistung der Hemmnisse der Innovation WaK

Technologiebezogen	Kein Mehraufwand gegenüber einer üblichen Referenztechnologie.
Informationsbezogen	Informationen zur Technologie sind nicht ausreichend bzw. zuverlässig verfügbar.
Wirtschaftlich	Geringe Stückzahlen führen zu hohen Stückkosten.
Verhaltensbezogen	Potentielle Anwender zeigen sich risikoavers in Bezug auf Funktionsweise, Zuverlässigkeit und Support der neuen Technologie und den jungen Unternehmen.
Organisatorisch	Energieberater müssen die operativen Einheiten im Unternehmen überzeugen. Dies nimmt viel Zeit in Anspruch, außerdem werden diese oftmals überstimmt.
Kompetenzbezogen	Chancen der Technologie werden nicht erkannt.
Bewusstseinsbezogen	Wasser als Kältemittel ist stark negativ belegt. Dies ist insbesondere für junge Unternehmen mit innovativen Technologien ein großes Hemmnis.

Erläuterung

Wasser als Kältemittel ist bisher, über die unterschiedlichsten Marktakteure hinweg, **negativ behaftet** und wird teils mit großer voreingenommener Skepsis betrachtet. **Informatorisch** stehen junge Unternehmen daher vor sehr großen Herausforderungen. Die Einführung der Produkte am Markt erfordert ein hohes Maß an Überzeugungsarbeit und das Vertrauen einiger *Early Adopters*, die das Produkt im Praxiseinsatz anwenden.

Glaubwürdigkeit der jungen Unternehmen gegenüber den potentiellen Kunden spielt eine große Rolle. Demnach ist es für Anwender der Kühlgeräte wichtig, dass der Hersteller der Kühlgeräte in einigen Jahren noch existiert und einen sicheren sowie langfristigen Betrieb des Produkts gewährleisten kann. Produzenten mit längerer Historie werden daher gegenüber Start-up-Unternehmen bevorzugt. *Early Adopters* können dieses Hemmnis durchbrechen helfen. Besonders im industriellen Bereich sind Kunden allerdings risikoavers und scheuen die Vorreiterrolle, um ihr Ausfallrisiko in der Produktion zu minimieren.

Geringe Stückzahlen, hohe Kosten für Entwicklung und Herstellung führen zu **hohen Stückkosten**, die sich erst durch positive Skaleneffekte verringern lassen. Tiefere Marktdurchdringung und damit verbundene höhere Stückzahlen sind daher ein unerlässlicher Bestandteil für den Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit dieser Technologie. Nach einer aktuellen Entwicklungseinschätzung der Technologie werden bei gegebener Serienfertigung geringere Produktionskosten als bei herkömmlichen Standardtechnologien erwartet.

Zudem spielt der Einkauf eine große Rolle, der das Ziel hat, die Investitionskosten zu minimieren. Überlagern die Investitionskosten die **Lebenszykluskosten**, fällt die Einkaufsentscheidung oftmals gegen die energieeffiziente Technologie.

Vorschläge zum Hemmnisabbau

- Um das Hemmnis der Risikoaversion der potentiellen Anwender zu minimieren, muss der Betrieb der Technologie über einen längeren Zeitraum hinweg gesichert sein. Garantien, welche den Support und die Funktionsweise der Anlagen absichern, können die Zurückhaltung der Investitionsbereitschaft der Unternehmen reduzieren. Namhafte Unternehmen könnten darüber hinaus als Referenzbeispiele dienen und somit eine Vorreiterrolle einnehmen. Verknüpft mit einer Informationskampagne, die die Zielkunden direkt anspricht, kann die Technologie besserer Wettbewerbsfähigkeit zugeführt werden.
- Zur Information der Fachkräfte sollte die Verbreitung der Technologie in der Praxis und nicht zuletzt in der Lehre vorangetrieben werden. Dies kann auch der negativen Behaftung der Technologie entgegenwirken.
- Die Investitionsentscheidung sollte darüber hinaus mit einer *Life Cycle Analysis* und *Total Cost of Ownership* Analyse ergänzt werden. Einspareffekte im laufenden Betrieb fließen somit in die Investitionsentscheidung mit ein und ermöglichen eine objektive Bewertung der Technologien.

Minderung des Potenzials

Obwohl die Technologie ausgereift ist und ressourceneffizient arbeitet, ist die Zurückhaltung auf Anwenderseite groß. Hauptgründe hierfür sind die Unbekanntheit der Technologie sowie Skepsis gegenüber jungen Unternehmen. Aus diesen Gründen ist von einer starken Reduktion des Potenzials auszugehen.

6.6 Magnetische Kühlung

6.6.1 Kurzbeschreibung

Derzeit basiert die Erzeugung von Kälte fast ausschließlich auf dem Prinzip der Kompressionskältemaschine. Dabei wird ein Kältemittel durch einen geschlossenen Kreislauf geleitet, nimmt im Inneren Wärme auf und gibt sie über Kondensatoren außen wieder ab. Ein Kompressor verdichtet das gasförmige Kältemittel vor dem Übergang in den flüssigen Zustand. Er bestimmt maßgeblich den Energiebedarf der Kältemaschine.

Das Konzept der magnetischen Kühlung basiert allein auf einem sogenannten magnetokalorischen Effekt: Magnetokalorische Materialien erwärmen sich, wenn sie einem starken Magnetfeld ausgesetzt sind und kühlen ab, sobald sie sich nicht mehr im Magnetfeld befinden. Die Erwärmung des Materials folgt einem thermodynamischen Prinzip: Innerhalb des Magnetfelds ordnen sich die magnetischen Momente im Material und die magnetische Entropie sinkt. Zum Ausgleich muss die Entropie im Atomgitter zunehmen. Die stärkere Bewegung der Atome sorgt für einen Temperaturanstieg im Material. Technisch umgesetzt ist dieses Konzept über einen Rotor aus einem magnetokalorischen Material, welcher sich in einem konstanten Magnetfeld dreht. Die Kälte im Rotor gelangt über Wärmetauscher in das Kühlgerät. Auf einen Kompressor und die bislang üblichen Kältemittel kann verzichtet werden.

Aufgrund dieser Eigenschaften ist eine magnetische Kühlung 30 bis 50 % effizienter als eine Kompressionskältemaschine.³⁵ Zudem arbeiten magnetische Kältegeräte praktisch geräuschfrei. Sie sind sicherer und umweltschonender, weil anstelle der giftigen und klimaschädigenden Kühlmittel z. B. Wasser als Wärmetauschflüssigkeit genutzt werden kann. Der Prozess ist reversibel und kann auch zum Heizen genutzt werden.

Wichtig für die Effizienz sind Materialien, die einen hohen magnetokalorischen Effekt bei Raumtemperatur aufweisen. Bis vor wenigen Jahren wurde noch das Seltenerdmetall Gadolinium genutzt, das für eine Massenproduktion jedoch viel zu teuer wäre. Für eine breite Anwendung kommen Legierungen mit ähnlichen Eigenschaften in Frage, insbesondere Lanthan, Eisen und Silizium, welche in großen Mengen herstellbar sind. Die mit dieser Legierung erzielbaren Temperaturen decken den Bereich von -30 bis +30°C ab und können somit konventionelle Wärmepumpen, Klimaanlage sowie Kühl- und Gefriergeräte ersetzen. Da die Anlagen äußerst kompakt sind, erweitert sich das Einsatzfeld u. a. auf Autoklimaanlagen. Mit den neuesten Werkstoffen sind prinzipiell auch Einsatztemperaturen von -170 bis +100 °C möglich.³⁶ Damit erschließt sich auch teilweise die Gasverflüssigung. Derzeit sind magnetischen Kühlgeräte vor allem wegen der benötigten Dauermagneten teuer.

6.6.2 Technisches Potenzial

Rund 14 % des jährlichen Stromverbrauchs in Deutschland wird für Kältetechnik aufgewendet. In der Industrie sind es immerhin noch 2,5 % des Stromverbrauchs (rund 20 PJ), der für die Erzeugung von Prozesskälte aufgewendet wird. Dabei benötigt die Nahrungsmittelindustrie den Großteil der Kälteenergie von 64 % bei Temperaturen von nicht tiefer als -30 °C. Die Grundstoffchemie sowie die sonstige chemische Industrie sind mit 27 % und 7 % die nächst größeren Prozesskälteabnehmer. Die chemischen Branchen benötigen jedoch Prozesskälte von -50 °C und darunter. Diese sind mit den am Markt verfügbaren magnetokalorischen Materialien noch nicht erreichbar, weshalb in der Potenzialbeurteilung diese Branchen ausgelassen werden. In allen weiteren Branchen wird nahezu keine Prozesskälte gebraucht.

Bereits seit 2003 werden einzelne industrielle Anlagen für die Lebensmittelbranche und die Klimatisierung als Prototypen TRL 5 (Technology Readiness Level) hergestellt. Seit 2016 sind kleine Kühlaggregate in der Größe eines Kühlschranks auf dem Markt verfügbar (TRL 9). In den nächsten Jahren wird mit einer Serienreife größerer Anlagen gerechnet, welche dann Industriekälteanlagen bis 500 kW substituieren.³⁷ In dieser Untersuchung wird von einem linearen Anstieg der Verfügbarkeit für die Nahrungsmittelindustrie ausgegangen, beginnend mit 5 % im Jahr 2017 und dann jährlich um weitere 5 % wachsend. Nach diesem Ansatz sind erst im Jahr 2036 für sämtliche Prozesskälteanwendungen der Nahrungsmittelindustrie marktverfügbare Lösungen basierend auf dem Prinzip der magnetischen Kühlung vorhanden. Der Effizienzvorteil der magnetischen gegenüber der Kompressionskälte beträgt konservativ 30 % und steigt ab 2021 jährlich um 1 % an bis zu einem Maximum von 50 % ab 2040. Im

³⁵ Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR), 2015: Entdeckt – Das Forschungsmagazin aus dem HZDR, Ausgabe 01.2015 ElektronikPraxis Nr. 14 (2010): Magnetische Kühlung für die Industrie

³⁶ Technik + Trends Nr. 9/2015 (2015): Neue Werkstoffe für die Klimatechnik – Magnetokalorische Legierungsfamilie ist serienreif

³⁷ Cooltech-Applications, 2017: <http://www.cooltech-applications.com/magnetic-refrigeration-system.html>

letzten Jahr der Betrachtung, 2026, liegt das *kumulierte* Einsparpotenzial (unter Berücksichtigung steigender Verfügbarkeit) bei 33 %.

Mit dem umfänglichen und sofortigen Ersatz des Bestandes durch magnetische Kühlung können rund 1,2 TWh Strom eingespart werden. Dies entspricht einer kumulierten CO₂-Einsparung für die nächsten 10 Jahre von 4,7 Mio. t.

6.6.3 Wirtschaftliches Potenzial

Unter Berücksichtigung der Investitionszyklen, welche bei industriellen Kälteanlagen durch die wirtschaftliche Nutzungsdauer von rund 15 Jahren dominiert wird, können nur moderate Austauschraten von letztlich 3 % im Jahr 2026 realisiert werden – auch hier gilt wie auch schon beim technischen Potenzial, dass die steigende Verfügbarkeit im Jahr 2026 erst 50 % erreicht und die Austauschrate der Anlagen effektiv halbiert. Das wirtschaftliche Potenzial zur Energieeinsparung beträgt 2026 rund 0,2 TWh (6 %).

Fallbeispiel

Eine konventionelle Wärmepumpe soll mit einer aktuellen magnetisch betriebenen Wärmepumpe der gleichen Heizleistung von 8 kW ersetzt werden. Die elektrischen Leistungen betragen 1,8 sowie 1,26 kW. Bei rund 16 Stunden Betrieb je Tag liegen die Stromeinsparungen durch die Wärmepumpe bei rund 3 MWh pro Jahr. Die 2.000 € Investitionsmehrkosten amortisieren sich danach in 4,8 Jahren. Die CO₂-Einsparung für das Jahr 2017 liegt bei 1,5 t CO₂ und die kumulierte Einsparung für die nächsten 10 Jahre liegt bei 10,6 t CO₂.



Abbildung 11: Amortisationsrechnung der MK in der Nahrungsmittelindustrie

6.6.4 Hemmnisse und erwartetes Potenzial³⁸

Die Technologie der magnetokalorischen Kühlung ist bereits seit einigen Jahren erforscht. Aktuell befindet sich die Marktdurchdringung allerdings auf einem sehr niedrigen Niveau. Erst wenige Hersteller – in Deutschland noch keiner – haben die Technologie in ihr Portfolio aufgenommen. Als größte Hemmnisse konnten informationsbezogene und wirtschaftliche Hemmnisse identifiziert werden.

Tabelle 9: Auflistung der Hemmnisse der Innovation MK

Technologiebezogen	Aktuell noch relativ geringe Kühlleistung. Hoher Bedarf an magnetokalorischen Materialien. Das Produkt wird aktuell nur von sehr wenigen Anbietern im Ausland vertrieben. Marktverfügbarkeit ist daher nicht gewährleistet.
Informationsbezogen	Technologie ist derzeit noch sehr unbekannt. Informationen der Anbieterseite sind schwierig zu erlangen.
Wirtschaftlich	Die konventionelle Technologie der Kompressionskältemaschine beherrscht den Markt. Die Herstellungskosten sind aufgrund der magnetokalorischen Materialien und geringer Stückzahlen hoch.
Verhaltensbezogen	Unternehmen minimieren ihre Produktionsausfallrisiken. Junge Unternehmen können einen jahrelangen sicheren Betrieb nicht glaubhaft gewährleisten.
Organisatorisch	-
Kompetenzbezogen	Als Nischentechnologie ist die Verbreitung in der Praxis und Lehre gering.
Bewusstseinsbezogen	-

Erläuterung

Große Hürden für die Verbreitung der Technologie liegen im **informativischen** Bereich. So ist der Bekanntheitsgrad der Technologie sehr gering. Die Informationsbereitstellung seitens der Anbieter ist nicht ausreichend und unzuverlässig.

Hinzu kommt bei **wirtschaftlicher** Betrachtung, dass das Konkurrenzprodukt, die konventionelle Kompressionskältemaschine, sehr große Marktanteile besitzt und sich bereits vor Jahrzehnten durchgesetzt hat. Günstige Anschaffungspreise, hohe Verbreitung, über Jahre sicherer Betrieb und bereit vorhandenes *Know-how* sprechen derzeit für die Verwendung der konventionellen Technologien. Spezielle Legierungen und großer Materialeinsatz an magnetokalorischen Materialien, in Verbindung mit geringen Stückzahlen, sorgen für hohe Produktions- und somit Anschaffungskosten der magnetischen Kühlsysteme.

³⁸ Experteninterview mit IER Universität Stuttgart.

Außerdem sind **verhaltensbezogene** Hemmnisse ein weiterer Faktor der einer Verbreitung der Technologie im Wege steht. Demnach minimieren Unternehmen ihr Ausfallrisiko in der Produktion. Angesichts der neuen Technologie und der daraus schlecht abzuschätzenden Folgekosten sowie der fehlenden Gewährleistung für einen jahrelangen sicheren Betrieb, scheuen Unternehmen das Risiko und wählen etablierte konventionelle Technologien.

Aus **technologischer** Sicht bedarf es weiterer Entwicklungen, da zum derzeitigen Stand, die erzeugbare Kälteleistung der magnetokalorischen Kühlung noch relativ gering ist.

Vorschläge zum Hemmnisabbau

- Verbesserung der Informationslage. Erstens in der Praxis, um Mitarbeiter und Entscheidungsträger für diese Technologie zu sensibilisieren. Zweitens in der Lehre, um Fachpersonal auf die Technologie aufmerksam zu machen. Diese zwei Wege führen dazu, dass die Technologie, angebots- und nachfrageseitig, in den Alltag der Unternehmen findet.
- Hersteller könnten über Förderanreize motiviert werden, die Technologie in ihr Portfolio aufzunehmen, weiterzuentwickeln und mit Hilfe von *Early Adaptors* erste Referenzen am Markt zu schaffen.

Minderung des Potenzials

Für diese Technologie ergibt sich eine moderate Potenzialminderung. Ein wesentlicher Einflussfaktor auf diese Minderungen sind vor allem informationsbezogene Hemmnisse. Aktuell ist die Informationsbereitstellung seitens der Anbieter nicht ausreichend sowie unzuverlässig. Zudem haben erst wenige Hersteller – in Deutschland noch keiner – die Technologie in ihr Portfolio aufgenommen. Folglich ist der Bekanntheitsgrad dieser Technologie sehr gering und in Verbindung mit der unzureichenden Informationslage ergibt die moderate Potenzialminderung.

6.7 Mikrowellentechnologie

6.7.1 Kurzbeschreibung

Mikrowellenöfen nutzen die Eigenschaft mancher Materialien, die Energie der Mikrowellen zu absorbieren und damit zu erhitzen. Nicht anders als bei den haushaltsüblichen Mikrowellenöfen funktioniert das in größeren Industrieöfen, basierend auf der gleichen Technologie. Die Vorteile sind dieselben – sofern das zu erhitzende Material die Mikrowellen mit einer Frequenz von 2,45 GHz absorbiert: Die Wärme entsteht direkt im Materialvolumen, so dass der Heizvorgang schnell, lokalisiert und sparsam abläuft. Insbesondere Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit wie Kunststoffe, Gläser, Pulver und Keramik lassen sich hiermit wesentlich schneller erwärmen. Z.T. lassen sich aufgrund der vorgenannten Eigenschaften die Prozesstemperaturen senken. Nachteile sind die „Transparenz“ mancher Materialien für Mikrowellen, welche entsprechend nicht oder nur kaum erwärmt werden, und eine unter Umständen inhomogene Wärmeverteilung. Die Erzeugung gleichmäßiger und großräumiger homogener Felder, wie sie für viele industrielle Prozesse benötigt werden, war ein Kernproblem der industriellen Mikrowellentechnik, die mit der jetzigen Ofengeneration gelöst ist.

Eine weitere große Neuerung ist die Möglichkeit, verschiedenste Materialien, z.B. Glas, Keramik, Zement, mit dem gleichen Mikrowellenofen mit nur geringen Modifikationen erwärmen zu können. In der Praxis liefern Mikrowellenöfen mit Energieeinsparungen von bis zu 50 % (und bis zu 90 % bei keramischen Fritten) sowie der Reduktion klimaschädlicher Gase um bis zu 95 % deutlich bessere Ergebnisse als industrielle Anlagen gleicher Leistungsklasse. Dennoch wird weiteres Energiesparpotential durch Skalierungseffekte erwartet.³⁹

6.7.2 Technisches Potenzial

Ausgehend vom Prozesswärmebedarf von derzeit rund 16 TWh, der in der Glas-, Keramik- und Ziegelproduktion herrscht, wird der Teil identifiziert, für welchen das derzeit noch begrenzte Volumen der Mikrowellenöfen von etwa 7 m³ zum Einsatz kommen kann. Als Näherung hierfür wird der Anteil der Betriebe mit weniger als 50 Mitarbeitenden separiert. Dieser beträgt 8 % und demnach lassen sich 1.240 GWh durch die neue Ofentechnologie adressieren. Das technische Einsparpotential (bei sofortiger Ausstattung aller damit betreibbarer Prozesse) beziffert sich in Deutschland auf 625 GWh oder 50 %. Dies entspricht einer kumulierten CO₂-Einsparung für die nächsten 10 Jahre von 0,57 Mio. t.

6.7.3 Wirtschaftliches Potenzial

Bislang baut ein Hersteller einen industrietauglichen Mikrowellenofen, der ein Volumen von rund 7 m³ erhitzt.⁴⁰ Dabei sinken die Prozesszeiten um 50 % und der Energieverbrauch um 70 %.⁴¹ Daten zur Wirtschaftlichkeit liegen nicht vor und waren auch nicht in Erfahrung zu bringen. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle pauschal Wirtschaftlichkeit unterstellt.⁴² Die Austauschraten von rund 6 % für Bestandsöfen (bei Lebensdauern von 15–20 Jahren) bestimmt die Zubaurate der Mikrowellenöfen. Bis 2026 können so maximal 373 GWh pro Jahr eingespart werden.

6.7.4 Hemmnisse und erwartetes Potenzial⁴³

Die Technologie der „Adaptiven Produktionssysteme für öko-effiziente Feuerungsprozesse mithilfe der Mikrowellentechnologie“ durchlief bisher sehr erfolgreiche Testläufe mittels eines Demonstrators. Besonders für Anwendungen mit kleineren Volumen bietet diese Technologie große Vorteile. Wirtschaftliche, technologische und informationsbezogene Hemmnisse sind bei dieser Technologie noch in besonderem Maße ausgeprägt.

Tabelle 10: Auflistung der Hemmnisse der Innovation MWT

Technologiebezogen	Sehr großer Implementierungsaufwand.
---------------------------	--------------------------------------

³⁹ Deutscher Nachhaltigkeitspreis (2016): https://www.nachhaltigkeitspreis.de/2016_forschung_daphne_detail/ (abgerufen am 25.4.2017)

⁴⁰ Weiss Technik (2017): <https://www.weiss-technik.com/de/produktbereich/voetschtechnik-mikrowellenanlage-vhm-hephaistos-patentierete-mikrowellentechnologie/> (abgerufen am 25.4.2017)

⁴¹ Karlsruher Institut für Technologie (2017): <https://www.ihm.kit.edu/307.php> (abgerufen am 25.4.2017)

⁴² Kleinserien bzw. Anlagen zur Fertigung von Produkten mit geringem Volumen sind nicht per se wirtschaftlich. Mangels Datengrundlage wurde das für diese Technologie unterstellt. Zudem folgen wir einer umgekehrten Logik: Die Tatsache, dass ein Mikrowellenofen bereits im Portfolio eines Ofenbauers existiert, lässt auf eine hohe Wirtschaftlichkeit schließen (Zeit- und Energieeinsparung). Bei zu geringem Absatz einer Produktlinie lohnt sich deren Herstellung nicht und wird auch nicht mehr angeboten.

⁴³ Experteninterview mit der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

	Testläufe mit kleineren Anlagen verliefen sehr erfolgreich. Bei großindustriellen Anwendungen ist die Technologie derzeit noch nicht wettbewerbsfähig. Ab einer bestimmten Größe entfällt der Vorteil der Flexibilität.
Informationsbezogen	Die Technik genießt bisher nur einen bedingten Bekanntheitsgrad.
Wirtschaftlich	Die Investitionskosten für eine Anlage sind sehr hoch. Instandhaltungs-, Wartungs- und Reparaturkosten sind aufgrund fehlender Langzeittests noch nicht genau bekannt. Aktuelle Energiepreissituation (einseitige Belastung der EEG-Umlage auf Elektrizität) ist kontraproduktiv.
Verhaltensbezogen	Potentielle Anwender beobachten die Technologie aber sind mit der Anwendung noch sehr zurückhaltend.
Organisatorisch	-
Kompetenzbezogen	Technologisches Know-how in potentiellen Unternehmen noch nicht vorhanden.
Bewusstseinsbezogen	Bewusstsein ist generell vorhanden aber die Priorisierung ist noch nicht sehr hoch.

Erläuterung

Abschreckende Hemmnisse **wirtschaftlicher Art** herrschen in verschiedenen Bereichen. Demnach sind die Investitionskosten für eine Anlage zum aktuellen Zeitpunkt und unter Berücksichtigung der aktuell herrschenden Risiken sehr hoch. Aufgrund der fehlenden Langzeittests können Instandhaltungs-, Wartungs- und Reparaturkosten noch nicht genau beziffert werden. Ein weiteres, vor allem in den letzten Jahren hemmendes Problem, betrifft die aktuelle Strom- und Ölpreissituation. Während die EEG-Umlage den Strompreis erhöht, konnten in den vergangenen Jahren relativ günstige Preise für fossile Brennstoffe beobachtet werden. Allein die einseitige Mehrbelastung elektrischer Verbraucher durch die EEG-Umlage führt zu fehlgeleiteten Anreizen in Richtung fossile Verbrennungstechnologien. Sinkende Preise für die zur Verbrennung notwendigen Rohstoffe befördern diesen Effekt zusätzlich. Aufgrund der substitutiven Beziehung der elektrischen und fossilen Technologien, präferieren potentielle Kunden die herkömmlichen fossilen Feuerungstechnologien.

Ein weiteres großes Hemmnis liegt in der **Implementierung** der Technologie. Hierbei sind die großen Unterschiede zwischen herkömmlichen Technologien zu nennen, wie auch der große Aufwand, die Anlagen zu implementieren.

Im Bereich großindustrieller Anwendungen ist die Technologie noch **nicht wettbewerbsfähig**. Dort sind zum einen weitere Entwicklungen notwendig, um größere Volumen an Material bearbeiten zu können, zum anderen entfällt im Einsatz mit großindustriellen Anwendungen ein wichtiger Vorteil: Die Flexibilität. Bei vielen Anwendungen läuft die Produktion 24 Stunden pro Tag und sieben Tage in der Woche. Schnelles zu- und abschalten der Feuerungsanlage wird dadurch zu einem weniger wichtigen Kriterium. Dazu kommt, dass die gesamte Prozesssteuerung sowie Regelung noch nicht verfügbar ist und Sensoren nicht im Mikrowellenfeld angewendet werden können.

Vorschläge zum Hemmnisabbau

- Aktuell sucht die Forschung nach Anwendern bzw. Herstellern, die die Entwicklung der Technologie weiter vorantreiben und in den Markt einführen. Dies ist dringend notwendig, da die Technologie bereits von einigen Unternehmen beobachtet, aber nicht aufgegriffen wird. *Early Adaptors* können den Anstoß geben, damit weitere Unternehmen ihr Investitionsinteresse konkretisieren.
- Um das für die Implementierung notwendige *Know-How* abrufen zu können, sollte bereits in der beruflichen Bildung die Technologie behandelt werden.

Minderung des Potenzials

Aktuell wird die Technologie nur in Demonstrationsprojekten bei kleinindustriellen Anwendungen eingesetzt. Großindustrielle Anwendungen finden auf Grund der fehlenden Flexibilität der Innovation nicht statt. Folglich wird das wirtschaftliche Potenzial für kleinere Anwendungen moderat und für größere Anwendungen stark eingeschränkt.

6.8 Intelligentes Gleichstromnetz für Pressenlinien

6.8.1 Kurzbeschreibung

In heutigen Presswerken formen Pressenlinien zuvor zugeschnittene Bleche zu Werkstücken. Im Fahrzeugbau erfordert die Fertigung großer Teile hauptsächlich für die Karosserien den Einsatz mehrerer Pressen, auf denen die unterschiedlichen, für die Formgebung notwendigen Prozessschritte vorgenommen werden. Große Pressenanlagen sind in der Lage, mehrere Tausend Tonnen Presskraft in rund 20 Hüben je Minute auszuführen.⁴⁴

Neue Generationen der Pressenlinien wurden um die Möglichkeit der Rekuperation erweitert. Die Pressen in einer Servopressenlinie benötigen nicht nur bei jedem Hub elektrische Energie, sondern erzeugen sie auch bei den zyklischen Bremsvorgängen. Die so erzeugte Energie lässt sich über ein eigens dafür entwickeltes Gleichstromnetz direkt an diejenigen Pressen weiterleiten, die gerade beschleunigen oder umformen und dafür Energie benötigen. Hierfür sind alle Antriebe drehzahl geregelt und rückspeisefähig. Zusätzlich wird das Konzept um eine intelligente Steuerung z. B. für Standby- und Pausenschaltungen ergänzt. Der Energiebedarf sinkt dadurch deutlich. Das Konzept ist bereits in einzelnen Pressenlinien bei der Automobilindustrie umgesetzt.⁴⁵

⁴⁴ BMW Group (2017): Presskraft ohne Ende, <http://www.bmwgroup-werke.com/de/regensburg/technologien/presswerk.html> (abgerufen am 21.4.2017)

⁴⁵ Schuler Technik Group (2017): Umwelttechnikpreis geht an Schuler, https://www.schulergroup.com/unternehmen/presse/pressemitteilungen/tab/archiv/2015/2015_07_08_umwelttechnikpreis (abgerufen am 21.4.2017)

6.8.2 Technisches Potenzial

In Deutschland produzieren die Automobilhersteller an 21 Standorten rund 50 verschiedene Pkw-Modelle.⁴⁶ Da je Modell mehrere Pressen zu Einsatz kommen, aber einzelne Pressen Karosserieteile nicht nur eines einzigen Modells verformen, wird in dieser Untersuchung von rund 75 Pressenlinien an deutschen Automobilwerken für die Herstellung von Pkw ausgegangen.

Für den flächendeckenden Einsatz der neuen Pressenlinien mit intelligentem Gleichstromnetz sprechen die Energieeinsparungen bei gleichbleibenden Investitionskosten. Jedoch ist der Implementationsaufwand hoch, sodass eine Modernisierung bestehender Pressenlinien nicht umgesetzt werden kann. Der Energiebedarf sinkt laut Angaben des Herstellers durchschnittlich um rund 20 % oder 1 GWh pro Jahr.⁴⁷ Bei 75 Pressenlinien in ganz Deutschland kann bei einer vollständigen heutigen Umsetzung der Innovation eine Stromeinsparung von 84,5 GWh erzielt werden. Dies entspricht einer kumulierte CO₂-Einsparung für die nächsten 10 Jahre von 0,33 Mio. t.

6.8.3 Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche entspricht dem technischen Potenzial, weil Pressenlinien mit Rekuperation gegenüber konventionellen Pressenlinien kostenneutral sind und zudem bei einer Nutzungsdauer von durchschnittlich 10 Jahren der komplette Anlagenbestand bis 2026 ausgetauscht sein wird.

⁴⁶ ZEITmagazin Nr. 28/2012: Autostädte, <http://www.zeit.de/2012/28/Deutschlandkarte-Autostaedte> (abgerufen am 21.4.2017)

⁴⁷ Schuler Umformtechnik (2016):

https://www.schulergroup.com/unternehmen/presse/presse-meldungen/tab/archiv/2014/2014_10_21_ecoform/index.html (abgerufen am 21.4.2017)

Fallbeispiel

Der Austausch einer alten Pressenlinie nach ihrer Nutzungsdauer von rund 10 Jahren mit einer neuen, auf Rekuperation beruhenden Pressenlinie ist laut Angabe des Herstellers kostenneutral. Die mit dem Austausch verbundene Stromeinsparung von jährlich 1.127 MWh entspricht gerechnet auf einen Zeitraum von 10 Jahren einem Kapitalwert von 131.800 €. Die CO₂-Einsparung für das Jahr 2017 liegt bei 530 t CO₂ und die kumulierte Einsparung für die nächsten 10 Jahre bei 3.800 t CO₂.

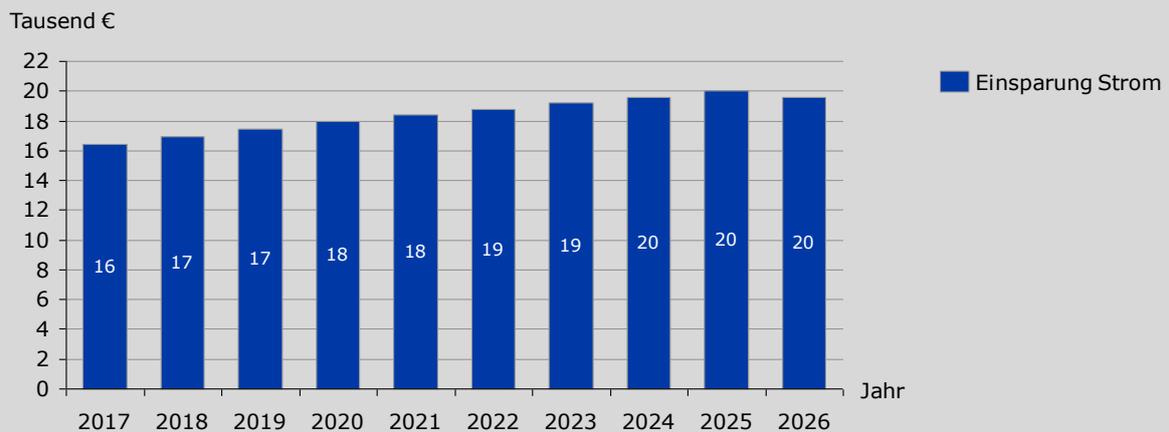


Abbildung 12: Amortisationsrechnung der IG im gegebenen Fallbeispiel

6.8.4 Hemmnisse und erwartetes Potenzial⁴⁸

Für die Technologie IG gibt es aus Anbietersicht keine Hemmnisse. Allerdings wurden für Gleichstromsysteme in der Industrie allgemein folgende Hemmnisse identifiziert: Fehlende Standardisierung, teure Einzelkomponenten, Überzeugungsarbeit in Unternehmen sowie fehlendes Know-how in kleinen Unternehmen.

Tabelle 11: Auflistung der Hemmnisse für die Innovation IG

Technologiebezogen	Im Hinblick auf intelligente Gleichstromnetze für Pressenlinien gibt es keine technologiebezogenen Hemmnisse. Allerdings bestehen technologiebezogene Schwierigkeiten für die Nutzung von ganzheitlichen Gleichstromsystemen, insbesondere durch die fehlende Standardisierung zwischen verschiedenen Maschinen und Komponenten.
Informationsbezogen	Informationen über Einzelanwendungen (wie intelligentes Gleichstromnetz für Pressenlinien) sind ausreichend vorhanden (u.a. durch Präsentationen auf fachspezifischen Messen). Allerdings fehlen Informationen in Hinblick auf Gesamtsysteme mit Gleichstrom. Anwen-

⁴⁸ Experteninterviews mit Schuler Umformtechnik (Schuler AG) und Fraunhofer IPA

	dungen dazu gibt es bisher nur auf Forschungsebene in einzelnen Pilotprojekten; die Ergebnisse dazu sind limitiert.
Wirtschaftlich	Die Technologie intelligentes Gleichstromnetz für Pressenlinien ist wirtschaftlich rentabel. Im Hinblick auf eine breitere Nutzung von Gleichstrom hingegen besteht ein großes wirtschaftliches Hemmnis, da die einzelnen Komponenten noch zu teuer sind. Erst sobald es standardisierte Komponenten für Gleichstromsysteme gibt, wird ein System rentabel.
Verhaltensbezogen	Die neue Technologie muss unternehmensintern diskutiert werden. Teilweise bedarf es dabei auch Überzeugungsarbeit gegenüber Entscheidungsträgern im Unternehmen.
Organisatorisch	Bei jeder neuen Entwicklung innerhalb eines Unternehmens muss Überzeugungsarbeit geleistet werden. Organisatorische Hemmnisse sind allerdings nur dann vorhanden, wenn die Rentabilität nicht gesichert ist.
Kompetenzbezogen	Die Ausprägung kompetenzbezogener Hemmnisse hängt von der Größe eines Unternehmens ab. Große Unternehmen verfügen i.d.R. über ausreichend Kompetenzen, dort sind die Hemmnisse gering. Bei kleineren Unternehmen sind die Hemmnisse jedoch höher, da meist Know-how und Fachleute fehlen zur Umsetzung und Anwendung von neuen Technologien.
Bewusstseinsbezogen	Während das Bewusstsein für Energieeffizienz im Allgemeinen groß ist, zeigt sich für Gleichstromtechnologien noch ein geringeres Bewusstsein bzw. Interesse. Der Mangel an erfolgreichen Demonstrationsprojekten wird als Grund dafür gesehen.

Erläuterung

Aus der Sicht des Anbieters der Technologie sind keine Hemmnisse bei der Verbreitung der Technologie vorhanden. Für Gleichstromsysteme in der Industrie allgemein sind aus Forschungssicht jedoch einige Hemmnisse vorhanden. Möglichkeiten diese Hemmnisse zu beseitigen, werden im Folgenden dargestellt.

Möglichkeiten zur Hemmnisbeseitigung

- Es braucht einen engen und frühzeitigen Dialog zwischen Anbietern und (potenziellen) Kunden, um die Innovation zu kommunizieren, von ihren Vorteilen zu überzeugen und die Anwendbarkeit sicherzustellen. Um letzteres zu gewährleisten, sollte auch eine technische Kooperation zwischen Anbietern und Kunden vorangetrieben werden, um die Technologie möglichst früh einzusetzen und zu testen.
- Wirksame Kommunikation von Rentabilitätsargumenten wie im Bereich intelligentes Gleichstromnetz für Pressenlinien: Wenn Wirtschaftlichkeit und Energiesparen zusammenkommt (wie bei dieser Technologie), lassen sich andere Hemmnisse oft einfach(er) überwinden. Dazu braucht es aber eine breitenwirksame Darstellung der Vorteile der Technologie.
- Die Gleichstrom-Technologie und insbesondere die Sicherungskomponenten (über das intelligente Gleichstromnetz für Pressenlinien hinausgehend) müssen weiterentwickelt werden, un-

ter anderem mit Hilfe von Förderinstrumenten durch die Politik. Eine Umstellung auf Gleichstromsysteme bedeutet einen enormen Technologiewechsel, der sowohl von der Politik als auch von der Industrie gewollt sein muss. Es braucht Best-Practice Beispiele und Demonstrationsprojekte, anhand derer Erfolge erzielt und sichtbar gemacht werden können.

Minderung des Potenzials

Bei dieser Technologie ist nur eine geringe Potenzialminderung zu erwarten. Die Minderung ist im Wesentlichen auf die nicht vorhandene Standardisierung sowie fehlendes Know-how in kleinen Unternehmen zurückzuführen

6.9 Wabenförmige keramische Wärmetauscher

6.9.1 Kurzbeschreibung

Die Abgasreinigung wird in Deutschland durch die 30. BImSchV geregelt und ist gesetzlich verpflichtend. Es existieren verschiedene Verfahren zur Abgasreinigung, wovon die thermische Abgasreinigung eine Variante ist. Die thermische Abgasreinigung beschreibt ein Reinigungsverfahren, welches Abluft und Abgas, entstanden durch Industrieprozesse, von organischen Abgasinhaltsstoffen durch thermische Oxidation, also der Verbrennung von Luft, befreit. Für die Verbrennung werden sehr hohe Temperaturbereiche (üblich 750 - 1.250 C°) benötigt, was wiederum einen hohen Energieverbrauch nach sich führt.⁴⁹ Im Vergleich zur normalen thermischen Abgasreinigung nutzt die regenerative thermische Abgasreinigung (auch regenerative thermische Oxidation (RTO) genannt) die in der Brennkammer freigesetzten thermische Energie, um sie über keramische Wärmetauscher für die Erhitzung der noch zu reinigenden Abluft zu nutzen. Dieser hoch effiziente Wärmetausch führt zu einer erheblichen Reduzierung der Energiekosten (Wirkungsgrade von über 90 %).

Bei der hier beschriebenen Innovation handelt es sich um den Austausch der Füllung für den keramischen Wärmetauscher. Die bisherigen keramischen Sattelkörper, in Form von Schüttmaterial, werden mit wabenförmigen Keramikbauten, in Form eines festen Konstrukts, ersetzt. Durch den Austausch der Füllung kann ein Wirkungsgrad von bis zu 98 % erreicht werden. Die Verbrennungsanlage wird mit Gas betrieben. Eine Verbesserung des Wirkungsgrades hat somit direkten Einfluss auf den Gasverbrauch einer RTO-Anlage. Des Weiteren wird durch die besondere wabenförmige Struktur der Druckverlust der Anlage reduziert, welches wiederum den elektrischen Energieverbrauch stark verringert. Zu den nicht energiebezogenen Vorteilen zählen die kompakte Leichtbauweise, die hohe Lebensdauer im Vergleich zur Referenztechnologie, der geringere Wartungsbedarf der Füllung, sowie der leichte Austausch bei Ersatz.

Die Innovation verfügt über ein breites Anwendungsspektrum. RTO-Anlagen können überall dort eingesetzt werden, wo sich organische Stoffe in der Abluft befinden. Zu den Einsatzbereichen gehören

⁴⁹ <http://www.abgasreinigungsanlagen.com/rto-anlage.html> (Abgerufen am 18.04.2017)

Druckereien, Beschichtungsanlagen, Lackierereien, Verarbeitung von Lösemitteln, Trocknungsanlagen, Chemie, Pharmaindustrie, Müllbehandlung, Ziegeleien und die Lebensmittelindustrie.

6.9.2 Technisches Potenzial

Das technische Einsparpotenzial der Innovation und der damit einhergehende geringere Strom- und Gasverbrauch variiert zwischen den Anwendungsbranchen (unterschiedliche Temperaturniveaus der Verbrennungsanlagen). Der Wirkungsgrad der Innovation liegt jedoch nie unter 90 %. Die hier durchgeführte Skalierung bezieht sich auf die Müllbehandlung in Deutschland, genauer gesagt auf den Einsatz thermischer Abfallbehandlungsanlagen in der Abfallentsorgung. Das technische Potenzial für Strom liegt bei 7,2 GWh und für Gas bei 51,9 GWh für ganz Deutschland. Dieses relativ niedrige technische Potenzial, verglichen mit der hohen Energieeffizienzsteigerung der Innovation und der breiten Anwendbarkeit, ist darauf zurückzuführen, dass der Markt für WkV in Deutschland mit über 80 % Marktdurchdringung gesättigt ist. Das Produkt wird bereits seit mehreren Jahren in Deutschland vertrieben und die Hauptabsatzmärkte des Monopolanbieters in Deutschland liegen vor allem im Ausland. Die kumulierte CO₂-Einsparung für die nächsten 10 Jahre liegt bei 0,15 Mio. t.

6.9.3 Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche Einsparpotenzial der Innovation entspricht dem technischen Potenzial für Strom und Gas, da die Amortisationszeit unter drei Jahren liegt. Die Innovation befindet sich zur Zeit auf dem deutschen Markt in der Sättigungsphase. Der Umsatz des Monopolanbieters für Deutschland wird hauptsächlich durch Ersatzinvestitionen getrieben, welche, bedingt durch die geringe Lebenszeit der Innovation, durchschnittlich alle 5 Jahre (für ein durchschnittlichen Temperaturniveau von 800-900 °C) anfallen.

Indikatives Fallbeispiel

In diesem Fallbeispiel wird die Innovation bei einem Produktionsunternehmen in der chemischen Industrie eingesetzt. In der Amortisationsrechnung wird der Einsatz der Innovation mit der Bestandsfüllung der RTO-Anlage (keramische Sattelkörper) verglichen. Der Wirkungsgrad konnte mit dem Austausch von 91,4 auf 95,5 % erhöht werden. Die Amortisationsrechnung bezieht sich auf den Vergleich der Investitionskosten der Innovation mit den Betriebskosten der RTO-Anlage. Die Kosten für die wabenförmigen Keramikbauten belaufen sich auf 150.000 €. Im Vergleich zu der Bestandsanlage konnte der Energieverbrauch für Gas um 59 % und für Strom um 36 % reduziert werden, was einer Einsparung von 489 t CO₂ im Jahr 2017 entspricht und einer kumulierten Einsparung von 4.206 t CO₂ über die nächsten 10 Jahre. Die Amortisationszeit der Investition lag bei 1,5 Jahren. Die Lebensdauer der Innovation beträgt 5 Jahre.

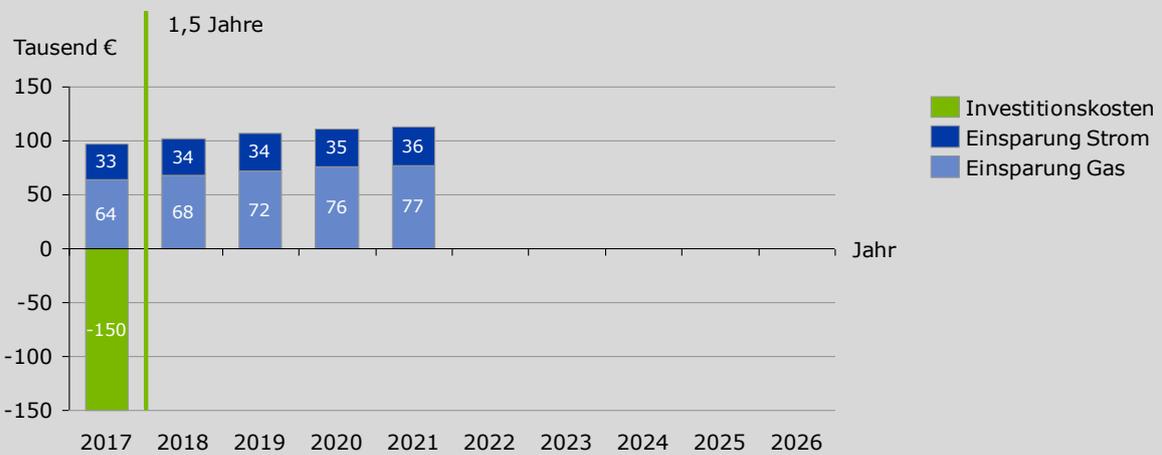


Abbildung 13: Amortisationsrechnung der WkW in der chemischen Industrie

6.9.4 Hemmnisse und erwartetes Potenzial⁵⁰

Experten sehen für die Technologie Wabenförmige keramische Wärmetauscher folgende Hemmnisse: Mangel an transparenter und anwendungsbezogener Kosten-Nutzen-Kalkulation, geringe Kapitalverfügbarkeit bei hohen Investitionskosten (insbesondere bei KMUs), Priorität der Produktivitätssteigerung, mangelndes Bewusstsein für Energieeffizienz sowie eine unübersichtliche Förderlandschaft. Nachfolgend werden die Hemmnisse im Detail aufgelistet und erläutert.

⁵⁰ Experteninterviews mit Caverion Deutschland GmbH, Folex / Celfa AG und Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Tabelle 12: Auflistung der Hemmnisse

Technologiebezogen	Schwierige Prognostizierung der Prozesse im Bereich der thermodynamischen Berechnungen. Wabenkeramiken müssen nach drei bis fünf Jahren ausgetauscht werden. Produktentwicklung kann noch weitergeführt werden.
Informationsbezogen	Anbieter der Produkte haben wichtige Informationen teilweise nicht vorliegen oder Angaben sind realitätsfremd. Man braucht Generalisten in der anwendenden Firma. Betriebsbedingungen der Anlage werden in der Beratung teilweise nicht berücksichtigt. Ein großes Problem besteht in einer fehlenden transparenten und anwendungsbezogenen Kosten-Nutzen-Kalkulation. Anbieter haben allerdings selbst oft keine Auskunft über konkrete Zahlen, da die Kosten-Nutzen-Rechnung sehr anwendungsbezogen und damit individuell ist. Anwendende Unternehmen sind in der Regel nicht bereit, Zahlen zu liefern. Zusätzlich sind die meisten Anbieter-Unternehmen neu und haben noch kein erfahrenes Marketing.
Wirtschaftlich	Hemmnis ist die geringe Kapitalverfügbarkeit der Kunden, da hohe Investitionskosten (mehrere 100.000 €). Es gibt Unterschiede wirtschaftlicher Hemmnisse zwischen KMU und Großbetrieben (KMU: größere Hemmnisse; Großbetriebe: geringere Hemmnisse).
Verhaltensbezogen	Kunden haben andere Prioritäten und sind oft nur an produktivitätssteigernden Maßnahmen interessiert. Oberste Priorität hat die Produktion, wenn diese läuft wird selten etwas an den Prozessen geändert. Freiwilligkeit zu Energieeffizienz ist auch ein Hemmnis. Bei der Umsetzung von EE-Maßnahmen geht es immer um Personen, die beim Anwender Entscheidungsträger sind. Wenn diese offen sind für EE-Maßnahmen, ist eine Investition kein Problem.
Organisatorisch	Als kleiner Konzern hat man nicht genügend Ingenieure, um ein Konzept aufzustellen. Daher verlangt man Beratungskompetenz von praktischer Seite, die z.B. von Anbietern nicht gegeben wird.
Kompetenzbezogen	Kompetenzverlust in den Unternehmen durch Outsourcing vorhanden. Eigene Mitarbeiter haben oft nicht mehr die Kompetenzen.
Bewusstseinsbezogen	Bewusstsein für Energieeffizienz ist teilweise nicht gegeben. Es braucht den tatsächlichen Willen / die Überzeugung von Entscheidungsträgern + die richtigen Mitarbeiter im Unternehmen, die die Maßnahmen ausführen können. Auf der Mitarbeiterebene ist tendenziell weniger Bewusstsein existent.
Sonstige	Sehr unübersichtliche Organisation der Förderung der innovativen Technologien speziell im Bereich Energieeffizienz. Es gibt diverse Fördertöpfe auf allen Ebenen, der Länder, der Bundes, welche zu sehr institutionalisiert sind. Die Bearbeitung der Anträge für Innovationen dauert für Wirtschaftsunternehmen der Industrie mit einem halben Jahr zu lange. Die Formulare sind zu kompliziert und ggf. ist noch einen Dienstleister einzuschalten. Aus diesen Gründen sind die Förderungen gerade für Mittelständler uninteressant und nur große Industriefirmen, die sich auskennen, nehmen sie in Anspruch. Diese Förderlandschaft verhindert viele Innovationen.

Erläuterung

Hemmnisse für wabenförmige keramische Wärmetauscher sind in sehr verschiedenen Bereichen vorhanden, da die Investitionskosten hoch sind und es sich um ein andersartiges Arbeitsmaterial handelt. Wie diese Hemmnisse beseitigt werden könnten, wird nachfolgend dargestellt.

Möglichkeiten zur Hemmnisbeseitigung

- Mehr Grundlagenforschung für die Hersteller der Wärmetauscher.
- KfW-Kredit wird selten abgerufen und sollte einfacher in Anspruch zu nehmen sein. Förderung sollte vereinfacht werden (zu komplex).
- Es sollten mehr Projekte von öffentlicher Hand gefördert werden, die der Informationsbeschaffung in Hinblick auf eine transparente Kosten-Nutzen-Rechnung dienen.
- Strengere gesetzliche Vorgaben zur Zertifizierung von Unternehmen, Verpflichtung und klare Vorgaben zu Energieeffizienz.
- Qualifizierung der verantwortlichen Personen.

Minderung des Potenzials

Trotz der teilweise unzureichenden und schlecht verfügbaren Informationen findet die Innovation bereits eine breite Anwendung. Daraus ergibt sich lediglich eine geringe Potenzialminderung.

6.10 Energieeffiziente Schaltschrankkühlung

6.10.1 Kurzbeschreibung

Schaltschränke sind ein wichtiger Baustein vieler industrieller Anlagen. Die verbauten Komponenten sind nur bis zu einem gewissen Grad temperaturstabil. Eine hohe Schaltschranktemperatur und große Temperaturschwankungen stellen eine Belastung für die Bauteile dar, wodurch eine vorzeitige Alterung der Komponenten eintritt, die zu Betriebsstörungen durch Defekte führen kann. Um daraus resultierenden Stillständen der Anlagen vorzubeugen, werden Schaltschränke gekühlt. Die Schwierigkeit besteht hier vor allem in der für die Kühlung benötigten Luftzufuhr, da die Luft in Produktionsbereichen typischerweise Schmutzpartikel enthält, die die Komponenten beschädigen können.

Die hier analysierte Innovation bietet ein neuartiges Konzept für die Schaltschrankkühlung. Die technologische Neuerung liegt in der Kombination von zwei Kältekreisläufen. Die Anlage besitzt neben dem klassischen Kreislauf einer Kompressionskältemaschine einen weiteren Kältekreislauf. Bei diesem zusätzlichen Kreislauf handelt es sich um eine Heatpipe⁵¹. Das System nutzt die Heatpipe für die Kühlung des Schaltschranks mit Umgebungsluft ohne Filtereinsatz, welche bei herkömmlichen Anlagen eingesetzt werden, um die Schmutzpartikel aus der Luft zu entfernen. Des Weiteren ist die Steue-

⁵¹ Heatpipes sind mit spezieller Flüssigkeit gefüllte hermetisch geschlossene Rohre, in denen die Flüssigkeit (meist Alkohole) an der einen Seite verdampft und dann allein durch die Dichtedifferenz zur Kondensationsseite fließt. Dort findet eine Verflüssigung unter Wärmeabgabe statt. Der Vorteil von Heatpipes ist, dass sehr hohe Wärmeübergänge beim Verdampfen und Kondensieren vorliegen, so dass konstante Temperaturen in der Nähe der Verdampfungstemperaturen herrschen.

rung der Kühlung sowie die der Ventilatoren auf Energieeffizienz ausgelegt. Durch eine Inverter-Regelung kann je nach Bedarf die Drehzahl der Kühlung gesteuert werden, was ein konstantes Temperaturniveau innerhalb des Schaltschranks ermöglicht.

Die Innovation erhöht die Energieeffizienz von Schaltschränken, indem sie einerseits die Kühlung je nach Umgebungstemperatur und Bedarf steuern kann und andererseits den Filtereinsatz umgeht. Durch den Einsatz der Heatpipe und der damit verbundenen Nutzung der Passivkühlung kann im Betrieb ein beträchtlicher Anteil an Strom gegenüber den aktuell eingesetzten Systemen eingespart werden. Ebenso wird ein Energiemehrverbrauch vermieden, der dann entsteht, wenn die entsprechenden Filter nicht regelmäßig ersetzt werden. Neben dem geringeren Energieverbrauch entstehen auch nicht-energiebezogene Vorteile (siehe 6.10.3).

In der Vergangenheit spielte die Effizienz von Schaltschrankkühlungen eine untergeordnete Rolle. Dies liegt unter anderem daran, dass in der Praxis das Bewusstsein für Energieverbrauch einzelner Prozesskomponenten oftmals nicht gegeben ist und somit die Höhe des Energieverbrauchs für die Schaltschrankkühlung nicht bekannt ist. Dabei spart die Innovation bis zu 70 % des Stromverbrauchs der Schaltschrankkühlungen ein. Der Anteil des Energieverbrauchs der Schaltschrankkühlung an einem Produktionsstandort eines deutschen Automobilherstellers liegt bei 5-10 %. Die im Jahr 2011 eingeführte ISO Norm 5001 sorgt seit einigen Jahren bei Unternehmen für mehr Anreize, den Energieverbrauch zu messen. Verbunden mit unternehmensspezifischen Energieeffizienzzielen kann die Schaltschrankkühlung zu einem wichtigen Handlungsfeld für Unternehmen werden.

Schaltschränke und somit Schaltschrankkühlungen werden in vielen verschiedenen Branchen eingesetzt. Es handelt sich bei der Innovation somit um eine Querschnittstechnologie. Vielfältige Einsatzbereiche finden sich vor allem in der Automobil-, Automobilzuliefer-, Metallherzeugnis- und Maschinenbauindustrie. Erste Feldtests wurden jedoch auch in der Tabakindustrie gestartet. Ein Einsatz der Innovation in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie ist ebenfalls möglich.

6.10.2 Technisches Potenzial

Das technische Einsparpotenzial der Innovation und der damit verbundene geringere Stromverbrauch variiert je nach Branche und Einsatz. Da es sich um eine Querschnittstechnologie handelt, besteht eine branchenübergreifende Anwendbarkeit und somit eine hohe Skalierbarkeit der Innovation. Das in dieser Studie ermittelte technische Potenzial bezieht sich auf den Einsatz von Schaltschrankkühlungen bei Pressenlinien im Maschinenbau, einer Standardanwendung der Innovation. Würden heute alle bestehenden Schaltschrankkühlungen von Pressenlinien durch die Innovation ersetzt, ergäbe sich eine Stromeinsparung von 0,52 GWh für ganz Deutschland. Dies entspricht einer kumulierten CO₂-Einsparung für die nächsten 10 Jahre von 2.003 t.

6.10.3 Wirtschaftliches Potenzial

Die Innovation kann je nach Branche und Anwendungseinsatz zu einer Reduzierung des Stromverbrauchs der Schaltschrankkühlung von bis zu 80 % führen. Potentielle Kunden sind sowohl Unternehmen, die planen, in Neuanlagen zu investieren, als auch Unternehmen mit Bestandsanlagen (vor Lebensdauerende). Besonders der Ersatzgerätemarkt bietet ein großes wirtschaftliches Einsatzpoten-

zial. Da die Nutzungsdauer von Schaltschränken zwischen 20–25 Jahren liegt, können bereits geringe relative Energieeinsparungen, durch eine effizientere Kühlung, für eine erhebliche Kostenreduktion über die gesamte Lebensdauer sorgen. Die gilt vor allem für Großanlagen, da das Verhältnis zwischen absoluter Energieeinsparung und Kosten der Kühlanlage sich mit zunehmender Größe der Anlage verbessert. Die Amortisationszeit einer Neuinvestition liegt bei einer Anlage mit durchschnittlicher Größe bei ca. 1 Jahr und bei einer Ersatzinvestition zwischen 2–3 Jahren. Die meisten Endkunden orientieren sich jedoch bei Investitionsentscheidungen auf Amortisationszeiten unter einem Jahr. Da die Amortisationszeit der Anlage unter drei Jahren liegt, entspricht das wirtschaftliche Potenzial dem technischen Potenzial von 0,52 GWh für ganz Deutschland.

Ein weiterer Vorteil der Innovation ist die längere Lebensdauer der Komponente im Vergleich zu herkömmlichen Technologien. Der Grund hierfür ist der verringerte Temperaturstress (konstantes Temperaturniveau durch bedarfsgerechte Kühlung), welche zu einer reduzierten Materialermüdung führt. Des Weiteren bedeutet der Verzicht des Filtereinsatzes und somit des regelmäßigen Austauschs der Filter eine erhebliche Reduktion der Wartungskosten der Anlage (Bsp. die Kosten für den Filteraustausch an einem Produktionsstandort eines deutschen Automobilherstellers betragen für 200 Anlagen in etwa 26.000 € pro Jahr).

Fallbeispiel

Das hier gezeigte Fallbeispiel beschreibt den Einsatz der Innovation in der Produktionsstätte eines Unternehmens aus der Maschinenbauindustrie, wo diese für die Kühlung von Schaltschränken in einem Produktionsprozess verwendet wird. Durch eine Ersatzinvestition wurden 37 Altgeräte der Bestandsanlagen durch die Innovation ersetzt. Die Kosten für diese Ersatzinvestition betragen 55.000 € (ohne Austausch und Installationskosten). Im Vergleich zu den Bestandsanlagen konnte der Energieverbrauch um 70 % reduziert werden, was einer Einsparung von 77 t CO₂ im Jahr 2017 entspricht und einer kumulierten Einsparung von 553 t CO₂ über die nächsten 10 Jahre. Die Amortisationszeit der Investition lag bei 2,4 Jahren. Die reduzierten Wartungskosten durch den Verzicht auf Filtereinsatz wurden in der Kalkulation nicht berücksichtigt.

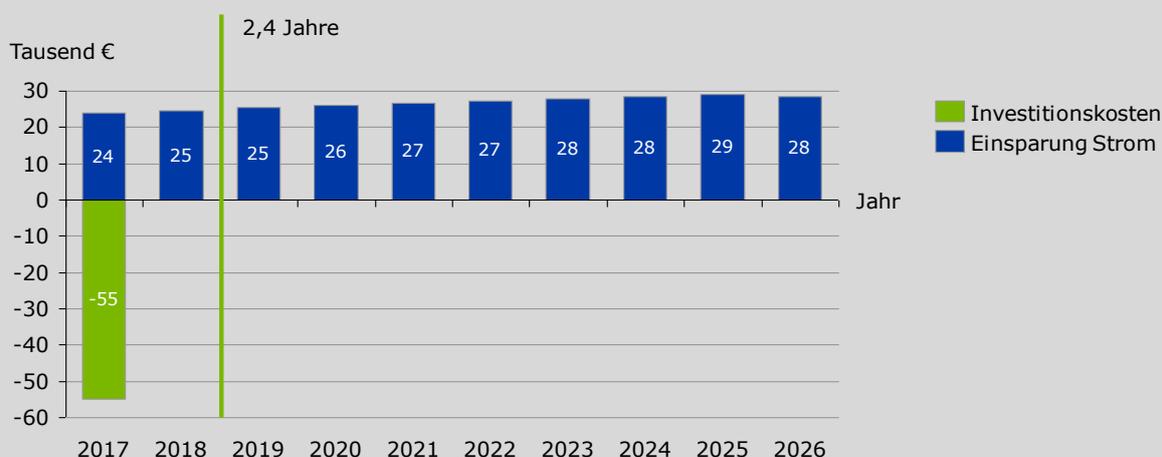


Abbildung 14: Amortisationsrechnung der ESK in der Maschinenbauindustrie

6.10.4 Hemmnisse und erwartetes Potenzial⁵²

Die neuartige Technologie der Schaltschrankkühlung mit Heatpipe ist am Markt verfügbar. Anbietende Unternehmen konnten bereits eine beträchtliche Anzahl an Einheiten absetzen. Allerdings sind bei Schaltschrankkühlgeräten immer Anpassungen am Inverter notwendig. Eine Serienproduktion ohne Individualisierung ist derzeit nicht umsetzbar. Als größte Hemmnisse wurden wirtschaftliche, organisatorische sowie verhaltensbezogene Hemmnisse identifiziert.

Tabelle 13: Auflistung der Hemmnisse der Innovation ESK

Technologiebezogen	Anlagen mit einer Leistung <1000 Watt sind noch nicht kostendeckend realisierbar und bedürfen weiterer Entwicklungen. Technik muss auf das jeweilige Kühlgerät individuell angepasst werden.
Informationsbezogen	Da diese Technologie als Bauteil in größeren Anlagen eingeht, können Effizienzvorteile schlecht in den Markt kommuniziert werden.
Wirtschaftlich	Der <i>primäre Return on Investment</i> überschreitet die von Unternehmen gesetzten Grenzen teilweise nur sehr knapp, was für die Technologie das Ausscheiden aus der Investitionsentscheidung bedeutet.
Verhaltensbezogen	Kapital wird bevorzugt in die Erweiterung der Produktionskapazität gesteckt. Kunden zeigen sich abwartend, antizipieren sinkende Preise, größere Marktdurchdringung und beobachten die langfristige Funktionalität der Technologie. Energieberater und Produktionsleiter haben unvollständige Bewertungskriterien. Dadurch bewerten sie Technologien unterschiedlich.
Organisatorisch	Die Rahmenbedingungen und Auflagen, um Fördermittel zu erhalten, sind für die Unternehmen schwierig zu durchschauen. Der daraus resultierende Zeitaufwand ist angesichts des zu erwartenden Nutzens zu groß.
Kompetenzbezogen	Ineffizienzen werden oftmals nicht identifiziert.
Bewusstseinsbezogen	Das Bewusstsein für Energieeffizienz bei offensichtlichen Verbrauchern wie Beleuchtung oder Isolierung ist grundsätzlich vorhanden. Unscheinbare Technologien, wie die energieeffiziente Schaltschrankkühlung, werden oftmals ignoriert.

Erläuterung

Eine Besonderheit dieser Kühlgeräte ist, dass sie häufig **Komponenten einer Schaltanlage** oder einer Maschine sind. Der Endkunde der Maschine kauft das Kühlgerät nicht beim Hersteller des Kühl-

⁵² Experteninterviews mit Rittal GmbH & Co. KG und LuK GmbH & Co.KG.

geräts direkt, sondern indirekt über einen Maschinen- bzw. Schaltungsbauer. Diese haben keinen direkten finanziellen Anreiz die energieeffizienten Kühlgeräte zu verbauen, da sie von den Energieeinsparungen nicht profitieren. Als Produktionsfaktor enthält die energieeffiziente Technologie sogar fehlgeleitete Anreize, da sie durch mehr und kompliziertere Bauteile höhere Herstellungskosten verursacht und insofern im Zweifel gar nicht erst angeboten wird.

Darüber hinaus wird die Investitionsentscheidung oftmals nach dem **primären Return on Investment (RoI)** bewertet. Liegt der *primäre RoI* der jeweiligen Technologie außerhalb des vom Management gewählten Grenzwerts, scheidet die Technologie endgültig aus dem Entscheidungsprozess aus. Durch die Beurteilung von Investitionen durch *RoI* werden oftmals Investitionen ausgeschlossen, die unter Berücksichtigung anderer Faktoren wie beispielsweise der *Life Cycle Analysis (LCA)* oder *Total Cost of Ownership (TCO)* lohnend wären.

Abbildung 15 zeigt die Beziehungen sowie die Konfliktpotentiale zwischen den Produzenten der Kühlgeräte und den Herstellern von z.B. Schaltanlagen sowie den Endkunden.

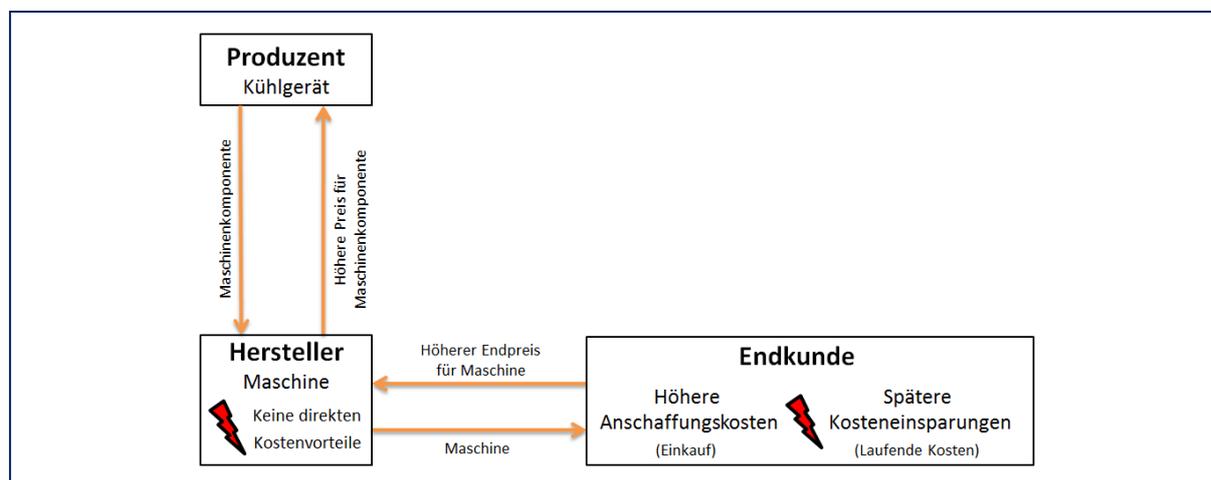


Abbildung 15: Akteursbeziehungen Schaltschrankkühlung

Diese Grafik verdeutlicht die Komplexität und Problematik der divergierenden Interessen. Die Gewinnmaximierungsabsicht des Maschinenherstellers erschwert demnach die Implementierung der energieeffizienten Kühlgeräte. Die Minimierung der Investitionskosten bei einem Endkunden kann spätere Kosteneinsparungen überlagern. Beides wirkt der Investitionsentscheidung für ein energieeffizientes Kühlgerät entgegen.

Potentielle Anwender wissen oftmals nicht, mit welchem **Energiekostensatz Kostenberechnungen** durchgeführt werden müssen. Auch die Frage, wer die Berechnungen durchführt, spielt dabei eine entscheidende Rolle. Der Energiemanager in großen Unternehmen sucht nach Möglichkeiten, Energieeinsparpotentiale aufzuzeigen und kalkuliert tendenziell mit höheren Energiekosten, während ein Produktionsleiter eher niedrigere Kosten ansetzt. Diese unterschiedlichen Sichtweisen und Bewertungskriterien hemmen die Durchsetzung energieeffizienter Technologien.

Vor allem große Unternehmen stehen unter besonderer Beobachtung ihrer Wettbewerber und werden gerne kopiert. Entscheidet sich ein solcher Hersteller, nur noch energieeffiziente Produkte zu vertreiben, würden die Wettbewerber ihre Produkte zwar als energieeffizient bewerben, aber nur in minderer Qualität herstellen. Dies kann zu einem **race to the bottom** führen, wonach eine qualitative und preisliche Abwärtsspirale zu verstehen ist. Somit stellen energieeffiziente Produkte eine Möglichkeit dar, um sich von den Wettbewerbern abzuheben

Vorschläge zum Hemmnisabbau

- Energieeffizienz-Siegel (ähnlich wie im Markt für Elektro-Haushaltsgeräte) können mehr Transparenz auf dem Markt herstellen und die Hersteller der Maschine veranlassen, energieeffiziente Bauteile zu verwenden.
- Im Endkundenbereich kann die Betrachtung der *Life Cycle Analysis* und *Total Cost of Ownership* die Entscheidungsgrundlage bereichern und dafür sorgen, dass der Fokus nicht nur auf den Anschaffungspreis gerichtet ist.

Minderung des Potenzials

Vor allem auf Grund der Tatsache, dass diese Innovation als Bauteile in größere Anlage eingeht und nicht direkt den Endkunden angeboten wird, können die Effizienzvorteile der Technologie nicht klar in den Markt kommuniziert werden. Für den Endkunden ist die Energieeffizienz der Gesamtanlage ausschlaggebend, und nicht die des innovativen Bauteils. Daher ist eine moderate Potenzialminderung zu erwarten.

6.11 Thermoelektrische Generatoren

6.11.1 Kurzbeschreibung

Thermoelektrische Module erlauben einerseits die Umwandlung eines Wärmestroms in einen elektrischen Strom (Seebeck-Effekt) und andererseits die Umwandlung eines elektrischen Stroms in einen Wärmestrom (Pelletier-Effekt). Über den Pelletier-Effekt lassen sich thermoelektrische Module als Wärmepumpe zur Kühlung oder Erwärmung einsetzen. Der Seebeck-Effekt wird ausgenutzt, um einerseits thermoelektrische Module als Temperatursensoren und andererseits als Generatoren zu verwenden und damit Abwärme in elektrische Energie zu wandeln.

Im Gegensatz zu alternativen Technologien benötigen thermoelektrische Module keine Mechanik. Sie sind vibrationsfrei, geräuschlos und sehr stabil. Neben dem Einsatz als Temperatursensoren werden thermoelektrische Module überwiegend als elektrische Wärmepumpen zum Kühlen (70–80 % Marktanteil) verwendet. Pelletier-Elemente werden beispielsweise zum Kühlen in Hotelkühlschränken, Kühlboxen, zur Klimatisierung von Autositzen, Computerprozessoren oder Batterien von Elektroautos eingesetzt. Sie ermöglichen eine effektive Kühlung mit einer hohen Leistungsdichte und benötigen wenig Raum.

Trotz der hohen Stabilität und der guten Integrierbarkeit in Wärmetauscher sind thermoelektrische Elemente bislang kaum als Möglichkeit zur Wärmerückgewinnung, genauer der Erzeugung von elektrischer Energie aus Abwärme bekannt.

Grund dafür sind bislang hohe Kosten und der geringe Wirkungsgrad, welcher je nach Temperaturniveau zwischen 2 und 7 % liegt. Theoretische Obergrenze des Wirkungsgrades bildet der Carnot-Wirkungsgrad, welcher mit zunehmender Temperaturdifferenz steigt. Das Abwärmepotenzial in Industrie, privaten Haushalten und Verkehr wird für Deutschland auf 300 TWh/a geschätzt. Bei hohen Temperaturdifferenzen lohnt sich der Einsatz von mechanischen Anlagen wie Turbinen oder Stirlingmotoren, deren Wirkungsgrade je nach Temperaturniveau bis 40 % (Gasturbine) erreichen können. Bei niedrigeren Temperaturniveaus ab 95 °C werden ORC-Dampfturbinen eingesetzt mit Wirkungsgraden zwischen 10 und 20 %. Thermoelektrischen Generatoren (TEG) können bei sehr viel niedrigeren Temperaturdifferenzen von wenigen Grad zwischen Abwärme und Umgebung eingesetzt werden. Neue Generatoren erreichen Leistungen bis 1 kW.⁵³

Thermogeneratoren werden bereits in Nischenanwendungen eingesetzt. In der Raumfahrt werden sie seit Jahrzehnten zur Stromversorgung von Raumsonden eingesetzt und zeichnen sich durch eine exzellente Langlebigkeit und Wartungsfreiheit aus. In Haushaltsgeräten wie Waschmaschinen und Gasherden werden thermoelektrische Sicherungen eingesetzt.

Ein wichtiger Anwendungsbereich sind energieautarke Sensor- und Sendesysteme mit Leistungen im Milliwatt-Bereich. Kabel und Batterien werden dadurch überflüssig. Anwendungsbereich ist die Überwachung an unzugänglichen Stellen in Automobilen und Flugzeugen, sowie in der Prozess- und Anlagentechnik, welche bislang nicht überwacht wurden bzw. werden konnten.

Bei Automobilen mit Verbrennungsmotor kann mittels TEG aus Abwärme elektrische Energie gewonnen werden und die Lichtmaschine entlasten. Dadurch könnten 2 - 5 % Kraftstoff eingespart werden. Bei der Nutzung industrieller Abwärme haben TEG gegenüber Konkurrenztechnologien den Vorteil, dass sie sich einfach in bestehende Systeme integrieren lassen. Im Temperaturbereich über 95 °C können sie trotz des niedrigeren Wirkungsgrades eingesetzt werden, wenn der Einsatz von ORC aufgrund von Sicherheitsanforderungen nicht möglich ist (z. B. bei der Aluminiumelektrolyse oder der Stahlherstellung).

Wenn es gelingt, die Effizienz zu steigern und Kosten zu senken, ist mit einer deutlichen Ausweitung des Einsatzes thermoelektrischer Generatoren zu rechnen. Schätzungen und Marktanalysten halten ein hohes Wachstum für möglich, die Unsicherheit ist allerdings groß.

6.11.2 Hemmnisse⁵⁴

Für Thermoelektrische Generatoren besteht teilweise eine mangelnde Verfügbarkeit von Bauelementen und effizienten Produktionselementen. Außerdem gibt es nur unzureichende Informationen hinsichtlich der Kosten und Nutzen. Die gewonnene Energie steht zudem in Konkurrenz zu teilweise geförderter Energie auf dem Markt, was die Rentabilität senkt.

⁵³ BINE-ThemenInfo I/2016: Thermoelektrik: Strom aus Abwärme

⁵⁴ Experteninterviews mit Thyssenkrupp AG, Oberflächenzentrum (Hochschule Niederrhein, HSN) und O-Flexx Technologies GmbH

Tabelle 14: Auflistung der Hemmnisse der Innovation TEG

Technologiebezogen	Teilweise besteht eine mangelnde Verfügbarkeit von Bauelementen und effizienten Produktionselementen. In manchen Bereichen wird die Technik allerdings schon erfolgreich genutzt. Langzeittests sind bei der Produktion notwendig.
Informationsbezogen	Es bestehen unzureichende Informationen und Transparenz zur Rentabilität (Kosten-Nutzen-Analyse) der Technologie. Kostenkalkulationen können bisher nicht umfassend dargestellt werden.
Wirtschaftlich	Die Wirtschaftlichkeit stellt ein gewisses Hemmnis dar. Mit der Investition sind Risiken verbunden. Die gewonnene Energie steht in Konkurrenz zu der Energie auf dem Markt. Durch die Förderung von Wind- und Sonnenenergie (EEG-Umlage) wird die Rentabilität gedrückt. Die Platzierung der TEG-Technologie am Markt wird dadurch schwieriger. Bei prognostizierter Wirtschaftlichkeit einer Investition wird diese aber i.d.R. getätigt.
Verhaltensbezogen	Ein Hemmnis bei der Implementierung der Technologie stellt etwa die Trägheit innerhalb eines Unternehmens dar. Außerdem hat die Funktionsfähigkeit der Produktion meist Vorrang vor Effizienzsteigerungen, weshalb Investitionen oft an anderer Stelle getätigt werden.
Organisatorisch	Unter der Voraussetzung, dass ein grundlegendes Interesse an der Technologie im Unternehmen besteht, sind organisatorische Hemmnisse gering. Allerdings ist die Nutzung einer neuen Technologie immer mit komplexen Entscheidungsketten verbunden, die eine Anwendung verlangsamen können (insbesondere bei Risiken).
Kompetenzbezogen	Kompetenzbezogene Hemmnisse gibt es primär bei kleinen Unternehmen bzw. Unternehmenseinheiten.
Bewusstseinsbezogen	-
Sonstige	Politische Rahmenbedingungen wie etwa die Förderung von anderen (erneuerbaren) Technologien und die Ausgestaltung des Einspeisegesetzes haben eine hemmende Wirkung auf die Entwicklung und Nutzung von TEG. Außerdem stellt der hohe Forschungsaufwand ein Hemmnis dar.

Vorschläge zum Hemmnisabbau

- Die Forschung im Bereich TEG (Produktionstechniken) sollte – insbesondere von politischer Seite – stärker angeschoben werden. In diesem Sinne sollte auch Verständnis für lange Entwicklungszyklen geschaffen werden. Ebenso sollten Förderinstrumente für energieeffiziente Technologien ausgeweitet werden.
- Stabile politische Rahmenbedingungen zur Planungssicherheit sind von besonderer Bedeutung. Regulierungen und Anreize von politischer Seite sollten immer mit Fokus auf wesentliche Stellhebel erfolgen. Es braucht eine Abkehr von kleinteiligen Regulierungen, die mit hohem bürokratischem Aufwand für ein Unternehmen, aber nur mit geringen Effizienzerfolgen verbunden sind.

- Es sollten mehr (Anwendungs-)Beispiele geschaffen werden, um Informationen zu generieren und die Lücke zwischen Anbietern und Anwendern zu schließen. Es braucht in dieser Hinsicht Gespräche mit Branchenverbänden und Demonstrationsprojekte. Anhand dieser Pilotprojekte sollte dann auch die Kosten-Nutzen-Analyse besser dargestellt und kommuniziert werden.

6.12 Vernetztes Wärme-und Kältekonzept für Produktionsprozesse und Raumklima

6.12.1 Kurzbeschreibung

Die η -Fabrik (η steht für ETA = Energieeffizienz-, Technologie- und Anwendungszentrum) ist ein Forschungs- und Demonstrationsprojekt der TU Darmstadt gemeinsam mit 39 Forschungspartnern. Es ist das Folgeprojekt des Maxiem Projekts der TU Darmstadt, welches im Jahr 2012 endete. Im Juni 2013 wurde der Bau der η -Fabrik begonnen und im März 2016 wurde die η -Fabrik offiziell eröffnet. Ziel des Projekts ist die ganzheitliche und energieeffiziente Optimierung und Analyse einer repräsentativen Produktionsanlage aus der Metallbearbeitungsindustrie. Durch die energetische Vernetzung bisher unabhängiger Bereiche (Produktionsanlagen, Maschinenperipherie, Haustechnik und Fabrikgebäude) sollen bis zu 40 % der Primärenergie eingespart werden. Das Projekt ist in acht eigenständige Teilprojekte untergliedert, welche untereinander vernetzt sind.

Im Folgenden werden drei Teilprojekte bezüglich ihrem Mehrwert zum Thema Energieeffizienz, ihrem Anwendungsspektrum und ihrer Marktreife genauer betrachtet.

6.12.2 Teilprojekt 1: Die virtuelle energieeffiziente Fabrik

Das erste Teilprojekt der η -Fabrik befasst sich mit der Entwicklung eines Modells zur Simulation des Energieverbrauchs und der Energieflüsse einer Produktionsanlage. Der Hintergrund ist, dass in der Praxis oft der genaue Energieverbrauch einer Produktionsanlage, weder von Hersteller noch von Betreiberseite, bekannt ist. Dies liegt unter anderem an der individuellen Konfiguration und Verbauung der Komponenten in komplexen Systemen, welche zu unterschiedlichen Verbrauchswerten führen können. Eine belastbare Messung des Energieverbrauchs der Komponenten lässt sich aus diesem Grund nur direkt an der Maschine durchführen, was nur mit erschwerten Aufwand oder dem Aussetzen der Produktion verbunden ist. Mit Hilfe von Simulationsmodellen soll eine Messung des Energieverbrauchs verschiedener Produktionsverfahren bzw. -maschinen ermöglicht werden, ohne tatsächliche Messung durchführen zu müssen. Dies würde einen Einsatz in der Planungsphase, sowie eine einfache und effiziente Messung des Energieverbrauchs von bestehenden Produktionsanlagen ermöglichen.⁵⁵

Die Modelle für die Simulation der Energieverbräuche werden mit Hilfe verschiedener Softwareprogramme programmiert. Hierzu zählt unter anderem die Blockdiagrammumgebung Simulink in MATLAB

⁵⁵ http://www.eta-fabrik.tu-darmstadt.de/eta/projektstruktur_eta/teilprojekte_eta/tp1_virtuelle_fabrik_eta/tp1_eta.de.jsp (Abgerufen am 18.04.2017)

und TRNSYS. Die einzelnen Teilsimulationen lassen sich über Schnittstellen an andere Softwareprogramme übergeben. Die letztendliche Entwicklung einer eigenen Software wird im Rahmen der η -Fabrik nicht durchgeführt. Der Mehrwert der Simulation besteht nicht in direkten Energieeinsparmöglichkeiten sondern in der Informationsbeschaffung über den detaillierten aktuellen Energieverbrauch. Bei der Simulation der Produktionsprozesse handelt es sich vor allem um Prozesse aus der Metallbearbeitung und dem Maschinenbau. Eine universale Anwendung der Simulationsmodelle besteht somit nur bedingt. Denn nur die Simulation der universal einsetzbaren Komponenten der Prozesse (z.B. Reinigungsmaschinen), sowie die Simulation der Gebäudetechnik lassen sich auf andere Anwendungsbereiche übertragen. Die Simulationsmodelle lassen sich theoretisch nach Ablauf des Projektzeitraums (März 2018) sowohl bei der Modellierung von bestehenden Anlagen als auch für den Bau neuer Anlagen einsetzen.

6.12.3 Teilprojekt 2: Energieflusssteuerung und -monitoring

Das zweite Teilprojekt der η -Fabrik befasst sich mit dem Aufbau eines Energie-Monitoring-Prozesses. Mit Hilfe von Sensoren sollen elektrische und thermische Leistungsflüsse, sowie Druckluftverbrauch kontinuierlich erfasst werden. Zusammen mit anderen Zustandsinformationen über die Gebäudeausrüstung werden die Daten zentral gesammelt und von einer SCADA Software aufbereitet und visualisiert. Mit Hilfe eines Condition-Monitoring-Prozesses soll der Energiebedarf auf Fabrikebene verursachergerecht erfasst und mögliche Ineffizienzen/Schwankungen im System frühzeitig erkannt und beseitigt werden.⁵⁶

Die hier eingesetzten Sensoren lassen sich in vielen Anwendungsbereichen einsetzen, da sie unabhängig von dem Maschinenpark sind. Die Anwendung des Condition Monitoring erfolgt im Zusammenspiel mit dem System der jeweiligen Maschine. Bei den hier getesteten Maschinen handelt es sich um die repräsentative Produktionsanlage. Somit beschränkt sich die bisherige Anwendbarkeit des Condition Monitoring auf Maschinen aus der Metallbearbeitung.

6.12.4 Teilprojekt 3: Thermische Interaktion zwischen Fabrikgebäude, Gebäudetechnik und Prozesskette

Das siebte Teilprojekt der η -Fabrik befasst sich mit der thermischen Vernetzung und Integration des Produktionsgebäudes. Hierbei sollen die Komponenten Gebäudehülle (innere und äußere Schicht), BHKW, Absorptionskältemaschine und Produktionsmaschinen miteinander vernetzt werden, um thermische Flüsse untereinander möglichst effizient zu nutzen. Ein Energiekonzept bestehend aus drei Temperaturniveaus (Heißwasser ca. 80–95 °C, Warmwasser/Abwärme ca. 25–45 °C und Kaltwasser ca. 17–22 °C) stellt die Grundlage der Innovation dar. Hierfür werden thermische Speicher auf allen drei Temperaturniveaus installiert und über ein hydraulisches Netzwerk mit den anderen Komponenten

⁵⁶ http://www.eta-fabrik.tu-darmstadt.de/eta/projektstruktur_eta/teilprojekte_eta/tp2_energieflusssteuerung_eta/tp2_eta.de.jsp (Abgerufen am 18.04.2017)

verbunden. Dieses Netzwerk ermöglicht zusätzlich die Verteilung von Lastanforderungen auf energetisch günstigere Zeiten.⁵⁷

Das geplante Energieeinsparpotenzial des Vernetzungskonzepts liegt bei 15 %. Gemäß Projektverantwortlichen ist das Gesamtsystem bereits installiert. Auf Grund des kurzen Messzeitraums liegen noch keine belastbaren Ergebnisse für die Validierung der Soll-Werte vor. Weitere Anwendungsbereiche wie z.B. der Einsatz des Systems für Klimaräume wird zur Zeit geplant (außerhalb des Projekts η -Fabrik). Das Ziel des Teilprojekts ist neben der Erprobung des Gesamtsystems auch die Sammlung von Erkenntnissen über die technischen und wirtschaftlichen Aspekte der einzelnen Technologien.

6.12.5 Einschätzung

Die Projektlaufzeit der ETA Fabrik endet im März 2018. Zu den Folgeprojekten der η -Fabrik zählt die Phi-Factory (Projektstart 1. Dezember 2016) und das Projekt ETA 2.0 (in Planung). Nach Einschätzung der Projektverantwortlichen ist die η -Fabrik nicht eine 1:1 Vorzeigefabrik der Zukunft. Der Mehrwert liegt vor allem in der Entwicklung und Erprobung der Einzellösungen, welche konkreten Nutzen in unmittelbarer Zukunft liefern können.

Hemmnisse für die Technologie Vernetztes Wärme-und Kältekonzept für Produktionsprozesse und Raumklima sind unter anderem komplexe Kommunikations- und Entscheidungsstrukturen in anwendenden Unternehmen sowie der Vorrang der Produktivitätssteigerung bei Investitionsentscheidungen. Unsichere Zukunftsperspektiven für Unternehmen wurden als weiteres Hemmnis für Investitionen im Bereich Energieeffizienz ausgemacht.

6.12.6 Hemmnisse⁵⁸

Hemmnisse für die Technologie Vernetztes Wärme-und Kältekonzept für Produktionsprozesse und Raumklima sind unter anderem komplexe Kommunikations- und Entscheidungsstrukturen in anwendenden Unternehmen sowie der Vorrang der Produktivitätssteigerung bei Investitionsentscheidungen. Unsichere Zukunftsperspektiven für Unternehmen wurden als weiteres Hemmnis für Investitionen im Bereich Energieeffizienz ausgemacht.

Tabelle 15: Auflistung der Hemmnisse des Forschungsprojekts

Technologiebezogen	-
Informationsbezogen	Informationen über die Technologie sind vorhanden. Viele potenziellen Anwender haben im Tagesgeschäft jedoch nicht die (zeitlichen) Kapazitäten, sich umfassend zu informieren. Insofern besteht im engeren Sinne kein informationsbezogenes, sondern ein ressourcenbezogenes Hemmnis.

⁵⁷ http://www.eta-fabrik.tu-darmstadt.de/eta/projektstruktur_eta/teilprojekte_eta/tp7_thermische_interaktion_zwischen_fabrikgebaeuden_und_prozesskette_eta/index.de.jsp (Abgerufen am 18.04.2017)

⁵⁸ Experteninterview mit Limón GmbH

Wirtschaftlich	-
Verhaltensbezogen	<p>Verhaltensbezogene Hemmnisse sind sehr stark abhängig von den Menschen, die in einem Unternehmen arbeiten. Es können daher keine generalisierenden Aussagen getroffen werden. Wenn es einen Fürsprecher der Technologie gibt, kann eine neue Technologie vorangetrieben werden (auch bei eingeschränkter Rentabilität). Gleichzeitig wird eine neue Technologie ohne den Antrieb von einzelnen Mitarbeitern sicher nicht durchzusetzen sein. Die Personen im Unternehmen inklusive ihrer beruflichen Vorerfahrungen sind daher entscheidend.</p> <p>Außerdem: Wenn Unternehmen Geld investieren, wird dies eher direkt für die Produktionsanlage genutzt statt für die Peripherie (Wärme- und Kältenetze) – trotz hohem Nutzen. Die Produktivitätssteigerung hat bei Investitionen i.d.R. Vorrang.</p>
Organisatorisch	Organisatorische Hemmnisse sind relativ groß, u.a. auch durch die Kommunikationsstrukturen innerhalb eines Unternehmens. Oft werden Informationen an die falschen bzw. nicht verantwortlichen Leute weitergegeben. Kommunikationsstruktur und Ressourcenpolitik sind entscheidend.
Kompetenzbezogen	Kompetenzbezogene Hemmnisse werden als gering eingeschätzt, wenn der Wille einer technologischen Veränderung besteht. Im Falle unzureichender unternehmensinterner Kompetenzen kann dies etwa durch externe Berater ausgeglichen werden.
Bewusstseinsbezogen	-
Sonstige	Unsichere Zukunftsperspektiven (was das eigene Unternehmen angeht) werden als Hemmnis für Investitionen in EE-Maßnahmen gesehen.

Vorschläge zum Hemmnisabbau:

- Energieaudits helfen beispielsweise dabei, ein größeres Bewusstsein für Energieeffizienz innerhalb von Unternehmen zu schaffen.

7 Handlungsempfehlungen

In diesem Kapitel wird dargestellt, durch welche konkreten Maßnahmen bestehende wirtschaftliche und nicht wirtschaftliche Hemmnisse abgebaut werden können. Hierzu werden auch die Rahmenbedingungen der momentanen Förderlandschaft mit einbezogen.

7.1 Aktuelle Förderlandschaft auf Bundesebene zur Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie

Dieser Überblick erfasst das derzeit bestehende Anreizsystem zur Energieeffizienzsteigerung in der Industrie und beschreibt welche Technologien gefördert werden und wie. Daraus sollen einerseits Schlussfolgerungen gezogen werden, ob es Bereiche gibt, die noch nicht hinreichend adressiert sind und andererseits bietet die Darstellung eine Übersicht der Förderlandschaft. Das Anreizsystem wurde mit den einzelnen Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung bei Industrietechnologien gesichtet und nach Maßnahmentypen kategorisiert. Darüber hinaus wurden Nutzergruppen identifiziert und aufgezeigt, ob es sich um Neugeräte oder Verbesserung im Bestand bzw. Betriebsoptimierung handelt. Die Projekte der BAFA und PTKA bezuschussen die Anschaffung energieeffizienter Lösungen

Tabelle 16: Überblick Förderlandschaft und Förderfähigkeit der einzelnen Innovationen

Technologie	BAFA Querschnittstechno.	BAFA Kälte- und Klimaanlage.	PTKA Produktionsprozesse	KfW 292, 293	KfW 294	KfW 276, 277, 278
HTW				✓	✓	
OfE				✓	✓	
IA	✓			✓		
AASBD	✓			✓		
WaK		✓	✓	✓		
MK				✓		
MWT			✓	✓		
IG				✓		
WkW	✓		✓	✓	✓	
ESK		✓		✓		
TEG				✓		
VWKPR	✓		✓	✓	✓	✓

7.1.1 BAFA Förderung von Querschnittstechnologien⁵⁹

Das Förderprogramm „Förderung von Querschnittstechnologien“ des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert investive Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz durch den Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien. Der Ersatz und die Neuanschaffung einzelner hocheffizienter Anlagen der folgenden Technologien werden als Einzelmaßnahmen gefördert: Elektrische Motoren und Antriebe, Pumpen, Ventilatoren sowie Anlagen zur Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen, Druckluftherzeuger sowie Anlagen zur Wärmerückgewinnung in Druckluftherzeugern, Wärmerückgewinnungs- bzw. Abwärmenutzungsanlagen für eine Wärmenutzung in Prozessen und Dämmung von industriellen Anlagen bzw. Anlagenteilen. Dabei werden kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit 30 % und große Unternehmen mit 20 % ihrer Ausgaben bezuschusst (Netto-Investitionsvolumen mindestens 2.000€, maximaler Zuschuss 30.000€ je Vorhaben).

Des Weiteren können Unternehmen im Rahmen der Optimierung von technischen Systemen, auf Grundlage eines individuellen Konzeptes eine Förderung für den Ersatz, die Erneuerung und die Neuinstallation der oben genannten hocheffizienten Querschnittstechnologien in Anspruch nehmen. Zusätzlich werden hierbei auch die technischen Systeme, in die die Technologien eingebettet sind, gefördert. KMU werden mit 30 % sowie sonstige und große Unternehmen mit 20 % ihrer Netto-Ausgaben bezuschusst (Netto-Investitionsvolumen mindestens 20.000€, maximaler Zuschuss 100.000€ je Vorhaben).

Tabelle 17: Förderfähigkeit der einzelnen Innovation für die BAFA Förderung von Querschnittstechnologien

Technologie	Förderfähig	Merkmale
HTW	✗	Anlagen zur Wärmeerzeugung, einschließlich Wärmepumpen sowie Anlagen zur Verstromung von Abwärme, sind nicht förderfähig.
OfE	✗	Software wird nicht gefördert, aber einzelne Maßnahmen aus der Strukturoptimierung können förderfähig sein.
IA	✓	Elektromotoren, deren Nennausgangsleistung unterhalb von 0,75 kW liegt, müssen eine Nenn-Mindesteffizienz größer gleich 82,4 % aufweisen. Bei Elektromotoren mit einer Nennausgangsleistung zwischen 0,75 kW und 375 kW muss die Effizienzklasse IE4 nach Verordnung (EG) Nr. 640/2009 i.V.m. IEC 60034-30 nachgewiesen werden. Motoren mit einer Nennausgangsleistung größer als 375 kW können nur gefördert werden, wenn diese eine Nenn-Mindesteffizienz größer 96 % haben.
AASBD	✓	Bei mehreren parallel in das gleiche Verbrauchernetz fördernden Einzelkompressoren muss eine übergeordnete Steuerung die Betriebsweise der einzelnen Kompressoren zur energieoptimalen Deckung des Druckluftbedarfs (z.B. Betrieb in gemeinsamem Druck-

⁵⁹ http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Querschnittstechnologien/querschnittstechnologien_node.html (Abgerufen am 19.04.2017)

		band) übernehmen. Übergeordnete Steuerung bei mehreren Kompressoren: Nachrüstung einer übergeordneten Steuerung bei mehreren Kompressoren zur bedarfsgeregelten Optimierung der Gesamteffizienz der Druckluftstation.
WaK	✗	Anlagen zur Kälteerzeugung, Komponenten und Systeme des Kältemittelkreislaufs sowie Kühlmittleitungen für Wasser und Sole sind nicht förderfähig.
MK	✗	Anlagen zur Kälteerzeugung, Komponenten und Systeme des Kältemittelkreislaufs sowie Kühlmittleitungen für Wasser und Sole sind nicht förderfähig.
MWT	✗	Heizsysteme ohne Abwärmenutzung oder Wärmerückgewinnung sind nicht förderfähig.
IG	✗	Komplette Produktionsanlagen, Maschinen (z.B. Werkzeugmaschinen) und Fertigungseinrichtungen inkl. kompletter Bearbeitungszentren sowie die darin eingebauten Querschnittstechnologien sind nicht förderfähig.
WkW	✓	Wärmeübertrager für die Wärmerückgewinnung bzw. Abwärmenutzung aus einem wärmeleitenden Abwasserstrom. Integrierte Wärmeübertrager zur Vorwärmung der Verbrennungsluft in industriellen Brennern. Die Bauarten umfassen integrierte Reku-peratoren aus Keramik oder Metall sowie integrierte, kontinuierlich arbeitende Regeneratoren.
ESK	✗	Anlagen zur Kälteerzeugung, Komponenten und Systeme des Kältemittelkreislaufs sowie Kühlmittleitungen für Wasser und Sole sind nicht förderfähig
TEG	✗	Umwandlung von elektrischen Strom in Wärmestrom und umgekehrt nicht förderfähig, da nur das Prinzip der Wärmerückgewinnung bzw. der Abwärmenutzung Zuschuss begünstigt.
VWKPR	✓	Teilprojekte können förderungsfähig sein.

7.1.2 BAFA Kälte- und Klimaanlage⁶⁰

Das BAFA fördert die Neuerrichtung, Vollsanierung und Teilsanierung der folgenden Kälte- und Klimaanlage, die mit umweltfreundlicheren (bei Neuerrichtung mit nicht-halogenisierten) Kältemitteln betrieben werden: Kleine Kompressions-Kälteanlagen (2 – 5 kW), Kompressions-Kälte- und Kompressions-Klimaanlagen (einschließlich Mono-Split-Klimaanlagen und Heiz-/Kühlsysteme) (5 – 300 kW), Ammoniakanlagen (5 – 200 kW) und Sorptionsanlagen (5 – 500 kW). Zusätzlich kann bei einer Verbesserung der Energieeffizienz des Gesamtsystems eine Bonusförderung für Wärmespeicher mit Wärmeübertrager zur Abwärmenutzung der Kälte- oder Klimaanlage in Anspruch genommen werden:

⁶⁰ http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Klima_Kaeltetechnik/klima_kaeltetechnik_node.html (Abgerufen am 19.04.2017)

Tabelle 18: Förderfähigkeit der einzelnen Innovation für die BAFA Kälte- und Klimaanlageförderung

Technologie	Förderfähig	Merkmale
HTW	✗	Keine Kälte- oder Klimaanlage
OfE	✗	Keine Kälte- oder Klimaanlage
IA	✗	Keine Kälte- oder Klimaanlage
AASBD	✗	Keine Kälte- oder Klimaanlage
WaK	✓	Ja, da Kompressionskältemaschine
MK	✗	Keine Kompression- oder Absorptionskälteanlage
MWT	✗	Keine Kälte- oder Klimaanlage
IG	✗	Keine Kälte- oder Klimaanlage
WkW	✗	Keine Kälte- oder Klimaanlage
ESK	✓	Ja, da Kompressionskältemaschine
TEG	✗	Keine Kälte- oder Klimaanlage
VWKPR	✗	Keine Kälte- oder Klimaanlage

7.1.3 PTKA Energieeffiziente und klimaschonende Produktionsprozesse⁶¹

Der Projektträger Karlsruhe (PTKA) fördert mit der Maßnahme „Energieeffiziente und klimaschonende Produktionsprozesse“ investive Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in gewerblichen und industriellen Produktionsprozessen. Zu den explizit aufgeführten Förderfeldern gehören Produktionsprozess- und Produktionsverfahrensumstellungen auf energieeffiziente Technologien, Maßnahmen zur effizienten Nutzung von Energie aus Produktionsprozessen oder Anlagen und energetische Optimierung von bestehenden Anlagen und Investition in energieeffiziente Technologien bei Neuanlagen.

Gefördert werden Unternehmen mit Sitz oder Niederlassung in Deutschland und Contractoren mit Ausnahme von Energieversorgern. Die Fördersumme wird in Form einer Anteilsfinanzierung als nicht rückzahlbarer Zuschuss gewährt. Die Zuwendung (maximal 1.500.000 € je Vorhaben) beträgt bis zu 20 % der Investitionsmehrkosten (bezogen auf die Verbesserung der Energieeffizienz). Voraussetzungen sind Investitionsmehrkosten von mindestens 50.000 €, eine Endenergieeinsparung von mindestens 5 % und mindestens 100 kg/a CO₂-Einsparung je 100€ Investitionsmehrkosten. Falls die verfügbaren Haushaltsmittel nicht ausreichen, stehen die zulässigen Anträge untereinander im Wettbewerb. Die Auswahl der zur fördernden Innovation erfolgt mit Hilfe verschiedener Kriterien (Reduktion des Ausstoßes von CO₂, Replikationspotenzial etc.). Die letzte Fördergeldvergabe findet am 31.12.2017 statt.

⁶¹ <https://www.ptka.kit.edu/560.php> (Abgerufen am 19.04.2017)

Nach Sichtung der veröffentlichten Förderregularien besteht für folgende Innovation die Möglichkeit einen Antrag auf Förderung zu stellen.

Tabelle 19: Förderfähigkeit der einzelnen Innovation für die PTKA Förderung

Technologie	Förderfähig	Merkmale
HTW	✗	Verhältnis CO ₂ -Einsparung zu Investitionsmehrkosten liegt unterhalb der Anforderungsgrenze. Investitionskosten gleich Investitionsmehrkosten, da keine Referenztechnologie vorhanden ist.
OfE	✗	Vorplanung für Projekte und Beratungsleistungen, sowie Energiemanagementsysteme werden nicht gefördert.
IA	✗	Investition liegt unterhalb der Mindestanforderung für Investitionsmehrkosten.
AASBD	✗	Investition liegt unterhalb der Mindestanforderung für Investitionsmehrkosten.
WaK	✓	Die Förderung umfasst nur die Investitionsmehrkosten im Vergleich zu herkömmlichen Kältekompressionsanlagen.
MK	✗	Förderfähig sind nur Firmen mit Sitz in Deutschland und aktuell gibt es keine.
MWT	✓	Prinzipiell förderfähig da hohes Einsparpotenzial aber von Fall zu Fall prüfen ob Mindestanforderungen an Mehrinvestitionen gegeben sind.
IG	✗	Nicht förderfähig, da keine Investitionsmehrkosten.
WkW	✓	Abhängig davon, ob Investition im Rahmen einer Durchführung von gesetzlichen Verpflichtungen bezüglich Emissionswerten stattfindet.
ESK	✗	Investition liegt unterhalb der Mindestanforderung für Investitionsmehrkosten (im Vergleich zu herkömmlichen Schaltschrankkühlungen).
TEG	✗	Es werden keine Entwicklungsvorhaben gefördert.
VWKPR	✓	Einzelne Maßnahmen aus dem Forschungsvorhaben.

7.1.4 KfW-Energieeffizienzprogramm – Produktionsanlagen/-prozesse (292, 293)⁶²

Die KfW fördert im Rahmen der Förderkredite 292 und 293 ein breites Spektrum für Energieeffizienzmaßnahmen im Bereich Produktionsanlagen und -prozesse gewerblicher Unternehmen. Mit Krediten finanziert werden Investitionsmaßnahmen, Modernisierungsmaßnahmen und Neuinvestitionen.

Gefördert werden in- und ausländische Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft (mehrheitlich in Privatbesitz), Contracting-Geber (für Energiedienstleistungen) und freiberuflich Tätige. Ebenfalls werden für ausländische Vorhaben Tochtergesellschaften und Joint Ventures mit maßgeblicher deutscher Beteiligung gefördert. Die Förderung (bis zu 100 % der förderfähigen Investitionskosten) wird in Form von zinsgünstigen Darlehen (bis zu 25 Mio. Euro pro Vorhaben) gewährt. Bei der Zinshöhe wird unterschieden zwischen den Energieeffizienzstufen Einstiegsstandard (Energieeinsparung von mindestens 10 %) und Premiumstandard (Energieeinsparung von mindestens 30 %). Für Modernisierungsinvestitionen wird der Durchschnittsverbrauch der letzten 3 Jahre als Referenzfall genommen. Ebenfalls können mit der Investition verbundene Aufwendungen für die Planungs- und Umsetzungsbegleitung, sowie Energiemanagementsysteme gefördert werden.

Nach Sichtung der veröffentlichten Förderregularien besteht für alle Innovation die Möglichkeit einen Antrag auf Förderung zu stellen. Das Förderspektrum des Kredits umfasst die Bereiche: Maschinen/Anlagen/Prozesstechnik, Druckluft/Vakuum/Absaugtechnik, elektrische Antriebe/Pumpen, Prozesswärme, Prozesskälte/Kühlhäuser/Kühlräume, Wärmerückgewinnung/Abwärmennutzung (für Produktionsprozesse), Mess-, Regel- und Steuerungstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.

7.1.5 KfW-Energieeffizienzprogramm – Abwärme (294)⁶³

Im Rahmen der "Offensive Abwärmennutzung" des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie fördert die KfW mit dem Förderkredit 294 Investitionen innerhalb Deutschlands in die Modernisierung, die Erweiterung oder den Neubau von Anlagen oder von Verbindungsleitungen zur Vermeidung oder Nutzung von Abwärme. Das Programm läuft bis zum 31.12.2019. Zu den explizit aufgeführten Förderfeldern gehören Investitionen in die innerbetriebliche Vermeidung und Nutzung von Abwärme, außerbetriebliche Nutzung von Abwärme, Verstromung von Abwärme und Abwärmekonzepte sowie Aufwendung für die Umsetzung und Controlling.

Gefördert werden in- und ausländische Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft (mehrheitlich in Privatbesitz), Unternehmen mit Kommunenbeteiligung, antragsberechtigte Contracting-Dienstleistungsunternehmen und freiberuflich Tätige. Die geförderte Investitionsmaßnahme muss in Deutschland durchgeführt werden. Die Förderung (bis zu 100 % der förderfähigen Investitionskosten) wird in Form von zinsgünstigen Darlehen (bis zu 25 Mio. Euro pro Vorhaben) und mit Tilgungszuschüssen des Bundeswirtschaftsministeriums (zwischen 30 % und 40 % der förderfähigen Investitionsmehrkosten) gewährt. Für kleine und mittelgroße Unternehmen wird zusätzlich ein Bonus in Höhe von 10 % auf die förderfähigen Investitionskosten gewährt. Somit liegt der Tilgungszuschuss hier zwi-

⁶² <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/EE-Produktion-292-293/> (Abgerufen am 19.04.2017)

⁶³ [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/EE-Abwaerme-\(294\)/#1](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/EE-Abwaerme-(294)/#1) (Abgerufen am 20.4.2017)

schen 40 und 50 %. Eine Voraussetzung für die Bewilligung des Antrags ist ein Abwärmekonzept, welches von einem zertifizierten externen Energieberater angefertigt werden muss.

Nach Sichtung der veröffentlichten Förderregularien besteht für folgende Innovation die Möglichkeit einen Antrag auf Förderung zu stellen.

Tabelle 20: Förderfähigkeit der einzelnen Innovation für das KfW-Programm 294

Technologie	Förderfähig	Merkmale
HTW	✓	Gehört zu der Kategorie innerbetriebliche Vermeidung und Nutzung von Abwärme.
OfE	✓	Die Software kann dazu beitragen, sowohl inner- und außerbetriebliche Abwärmepotenziale zu lokalisieren. Aufwendungen für die Erstellung von Abwärmekonzepten sind förderfähig.
IA	✗	Kein Bezug zu Abwärme
AASBD	✗	Kein Bezug zu Abwärme
WaK	✗	Kein Bezug zu Abwärme
MK	✗	Kein Bezug zu Abwärme
MWT	✗	Kein Bezug zu Abwärme
IG	✗	Kein Bezug zu Abwärme
WkW	✓	Gehört zu der Kategorie innerbetriebliche Vermeidung und Nutzung von Abwärme.
ESK	✗	Kein Bezug zu Abwärme
TEG	✗	Kein Bezug zu Abwärme
VWKPR	✓	Gehört zu der Kategorie innerbetriebliche Vermeidung und Nutzung von Abwärme.

7.1.6 KfW-Energieeffizienzprogramm – Energieeffizient Bauen und Sanieren (276, 277, 278)⁶⁴

Die KfW fördert im Rahmen der Förderkredite 276, 277 und 278 den Neubau, den Ersterwerb und die Sanierung gewerblich genutzter Nichtwohngebäude einschließlich der Umsetzung von Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Rahmen des "CO₂-Gebäudesanierungsprogramms" des Bundes. Eine Voraussetzung für die Förderung von Sanierungen ist, dass durch die energetischen Sanierungen das Niveau eines KfW-Effizienzhauses (KfW-Effizienzhaus 70, 100 und Denkmal) erreicht wird. Ausschlaggebend für die Förderung von Einzelmaß-

⁶⁴ <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/#1> (Abgerufen am 20.04.2017)

nahmen ist die Verbesserung der Energieeffizienz durch Änderungen an der Gebäudehülle oder technischen Gebäudeausrüstung. Gewerbliche Neubauten müssen für einen Förderanspruch das Niveau eines KfW-Effizienzhauses 55 oder 70 erreichen.

Gefördert werden in- und ausländische Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft (mehrheitlich in Privatbesitz), Contracting-Geber (für Energiedienstleistungen) und freiberuflich Tätige. Die Förderung (bis zu 100 % der förderfähigen Investitionskosten) wird in Form von zinsgünstigen Darlehen (bis zu 25 Mio. Euro pro Vorhaben) und mit Tilgungszuschüssen (zwischen 5 und 17,5 % des Zusagebetrages) gewährt. Der Tilgungszuschuss ist abhängig von der jeweiligen Maßnahme (Neubau, Sanierung, etc.) und des erreichten KfW-Effizienzhaus-Niveaus (muss durch einen zertifizierten Sachverständigen bestätigt werden). Die Höhe des Tilgungszuschusses ergibt sich dann aus einem Prozentsatz des Zusagebetrages und einem Höchstbetrag pro m² Nettogrundfläche.

Tabelle 21: Förderfähigkeit der einzelnen Innovation für der KfW-Programm 276, 277 und 278

Technologie	Förderfähig	Merkmale
HTW	✗	Kein Bezug zu Gebäudehülle bzw. Infrastruktur
OfE	✗	Die bisherige Anwendung bezieht sich auf die Nutzung von Abwärme bzw. Synergieeffekten in Verbundsystemen und nicht auf energetische Aspekte der Gebäude bzw. Infrastrukturen.
IA	✗	Kein Bezug zu Gebäudehülle bzw. Infrastruktur
AASBD	✗	Kein Bezug zu Gebäudehülle bzw. Infrastruktur
WaK	✗	Kein Bezug zu Gebäudehülle bzw. Infrastruktur
MK	✗	Kein Bezug zu Gebäudehülle bzw. Infrastruktur
MWT	✗	Kein Bezug zu Gebäudehülle bzw. Infrastruktur
IG	✗	Kein Bezug zu Gebäudehülle bzw. Infrastruktur
WkW	✗	Kein Bezug zu Gebäudehülle bzw. Infrastruktur
ESK	✗	Kein Bezug zu Gebäudehülle bzw. Infrastruktur
TEG	✗	Kein Bezug zu Gebäudehülle bzw. Infrastruktur
VWKPR	✓	Teilprojekt 3 befasst sich mit thermische Interaktion zwischen Fabrikgebäude, Gebäudetechnik und Prozesskette. Marktreife Maßnahmen fallen in das Förderschema.

7.2 Handlungsempfehlungen

Aus Basis der erhobenen Hemmnisse, der analysierten aktuellen Förderlandschaft sowie einer Expertendiskussion ergeben sich im wesentlichen folgende Handlungsempfehlungen:

Erweiterung der Merkblätter

Bei der Aktualisierung der Förderprogramme sollte darauf geachtet werden, dass die untersuchten Innovationen abgedeckt werden. Aktuell werden einige Innovationen nicht unterstützt obwohl sie grundsätzlich Teil einer förderfähigen Technologiekategorie sind. Allerdings gibt es innerhalb der einzelnen Technologiekategorien zum Teil Merkmale, welche die Innovationen nicht erfüllen da diese bspw. eine völlige neue Technologie nutzen. Neuartige Konzepte wie bspw. die magnetische Kühlung werden so nicht berücksichtigt. Zwar gibt es zahlreiche Förderprogramme die auf die Effizienzsteigerung im Klima- und Kältebereich zielen, jedoch beziehen diese sich auf Kompressions- und Sorptionskältemaschinen. Systeme mit magnetokalorischem Effekt wie die magnetische Kühlung nutzen dieses Wirkungsprinzip nicht und werden somit nicht gefördert. Hier sollten bestehende Technologiekategorien erweitert werden um auch neuartige Technologien abzudecken.

Neben der Erweiterung bestehender Technologiekategorien wäre es förderlich neue Kategorien zu definieren. Ein mögliche Kategorie die gerade in Anbetracht der fortschreitenden Automatisierung und Vernetzung ein immer größere Rolle spielt ist die *Digitalisierung*. Hierunter würden Technologien fallen wie bspw. intelligente Gleichstromnetze, intelligente Antriebslösungen oder Software zur Optimierung von Energieverbundsystemen. Mit Hilfe dieser Kategorie könnten systemische Effizienzlösungen gefördert werden die aktuellen Trends im Rahmen von Industrie 4.0 entsprechen.

Zuletzt besteht noch die Möglichkeiten, technologieoffener Kategorien einzuführen. Allerdings müsste hier auf Alternativsysteme referenziert werden, was schwierig zu administrieren ist

Höhere Anforderungen an die Energieberater

Energieberater können helfen versteckte Effizienzpotenziale in Unternehmen zu erkennen und geeigneten Lösungen aufzuzeigen um diese zu heben. Somit können vor allem bewusstseins- und informationsbezogene Hemmnisse schnell überwunden werden.

Gerade kleinere Unternehmen sind auf diese Beratungsleistung angewiesen, da es keine internen Energiemanager gibt bzw. kein Energiemanagement betrieben wird. Allerdings fehlt Energieberatern teilweise das Wissen über die aktuellsten Innovationen auf dem Gebiet der Energieeffizienz. Hier wäre es sinnvoll regelmäßige Schulung verpflichtend zu machen um weiterhin als von der BAFA akkreditierter Energieberater Dienstleistungen anbieten zu können. Ein wesentlicher Inhalt der Weiterbildungsmaßnahmen sollte die Vermittlung von aktuellen Innovation im Bereich Energieeffizienz sein. Durch die Aufnahme neuartiger Technologien in den Schulungskatalog können auch immer wieder genannte informatorische Hemmnisse beseitigt werden in dem der Energieberater die beauftragenden Unternehmen über die Innovationen aufklärt.

Ein weitere Kritikpunkt an Energieberatern ist die nicht immer hohe Qualität der Beratungsleistung. Um die Qualität zu erhöhen sollte der Anforderungskatalog an Energieberater deutlich anspruchsvoller gestaltet werden. Dadurch kann auf Seiten der Unternehmen nachhaltig Wissen und Expertise im Bereich Energieeffizienz aufgebaut werden.

Verankung von Energiemanagementsystemen

Eng verknüpft mit der Empfehlung die Qualität der Energieberatung zu steigern ist die der nachhaltigen Verankerungen eines Energiemanagementsystems (ENMS). Bei dieser Empfehlung geht es insbesondere darum neben bewusstseins- und kompetenzbezogene Hemmnisse abzubauen.

Ein ENMS hat sowohl die Ressourcenschonung als auch Klimaschutz und Kostensenkungen, bei Sicherstellung des Energiebedarfs des Unternehmens zum Ziel. Die Implementierung eines ENMS ist aber durchaus komplex und bindet personelle Ressourcen die gerade bei kleineren Unternehmen oftmals knapp sind. Die ISO 5001 ist sicherlich das geläufigste ENMS, stellt aber auch hohe Anforderungen an das anwenden Unternehmen. Für kleiner Unternehmen sind diese aber oftmals zu hoch. Hier wäre die Einführung eines schlanken Energiemanagementsystem in Anlehnung an die ISO 5001 und durch Unterstützung des qualifizierten Energieberater sinnvoll. Durch ein funktionierendes ENMS wird das Bewusstsein für Energieeffizienz im Unternehmen geschärft und nachhaltig verankert. Die Realisierung der mit Hilfe des ENMS identifizierten Potenziale kann durch ein Prämiensystem gefördert werden. Nachgewiesene Energieeinsparungen durch umgesetzte Maßnahmen werden honoriert.

Für ein funktionierendes ENMS im Unternehmen ist der Energiemanager zuständig, welcher sich durch seine Rolle auch bestens aus mit den energetischen Bedürfnissen der eigenen Organisation auskennt. Energiemanager sind oftmals wesentliche Treiber hinter Effizienzmaßnahmen. Hier wäre es sinnvoll regelmäßig Schulungen zu fördern um Energiemanager mit den neusten Innovationen vertraut zu machen. Der Energiemanager kann die gewonnene Expertise in das eigene Unternehmen tragen und so kompetenzbezogene Hemmnisse abbauen.

Multiple Benefits

Aktuelle Fördermaßnahmen betrachten in der Regele ausschließlich Kriterien hinsichtlich Energieeinsparung und die entstandenen Mehrinvestitionskosten. Weitere Kriterien, die nicht direkt in Verbindung zur Effizienzsteigerung stehen werden nicht bewertet. Dabei kann eine Innovation auch weitere Vorteile über die Einsparung an bieten wie bspw. eine geringere Geräuschentwicklung, eine gesteigerte Produktivität oder eine bessere Bedienergonomie. Eine Betrachtung zusätzlicher Kriterien ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung von Technologien und bewirkt eine differenziertere Entscheidung. Die zusätzlichen Vorteile sollten wen möglichst die Wirtschaftlichkeit im engeren und im weiteren Sinn erhöhe, wie bei einer gesteigerten Produktion auch der Fall ist. Dadurch kann die Akzeptanz im Unternehmen für Energieeffizienzmaßnahmen gesteigert werden wodurch gleichzeitig verhaltens- und bewusstseinsbezogene Hemmnisse abgebaut werden können.

One-Stop-Shop (zentrale Lotsenstelle)

Die Schaffung einer Institution, die auf Basis einer Energieeffizienz-Technologieliste konkrete Projektanträge kontrolliert, bewertet und Hilfestellungen unterbreitet. So kann eine konkrete Energieeffizienzsteigerungs-Idee, die ein Energieberater eines Unternehmens vorstellt, von Fachpersonal im technischen und wirtschaftlichen Bereich der Organisation geprüft und mit Förderungsinformationen zurückgesandt werden. Vorstellbar ist auch die Kombination mit direkten Förderzu- oder absagen. Diese **Prüfungsorganisation** könnte auf diesem Wege die verschiedenen Projekte auf die Verwen-

dung korrekter Kosten und Nutzen und auf adäquate Berechnungs- und Bewertungsmethoden überprüfen. Des Weiteren werden Energieberater durch bereits geprüfte bzw. förderungsbewilligte Projekte in ihrer Verhandlungsposition in Entscheidungsgremien gestärkt, was die Chancen auf die Implementierung der energieeffizienten Technologie erhöht. Ein solches Werkzeug ist in der Lage, einige Hemmnisse auf einmal zu reduzieren. So werden unvollständige Bewertungskriterien erkannt und korrigiert, mangelnde Informationsbeschaffungsmöglichkeiten zu den Technologien abgebaut, interne Gremien erhalten objektive Entscheidungsgrundlagen, komplizierte Förderprogramme müssen nicht durch einzelne Mitarbeiter des jeweiligen Unternehmens durchforstet werden und Trägheit sowie Risikoaversion können reduziert werden. Um die Informationen seitens der Technologieanbieter, mit der Nachfrageseite optimal zusammenführen zu können und der Prüfungsorganisation als Beratungsbasis zu dienen, wäre es zudem hilfreich bzw. notwendig, einen **Technologiepool** anzulegen. Hierbei ist eine Datenbank vorstellbar, in der die Technologieanbieter ihre energieeffizienten Innovationen einpflegen und aktualisieren können

8 Fazit

Ziel der Studie ist es, marktverfügbare, aber noch nicht flächendeckend verwendete Innovationen mit überdurchschnittlich hohem Effizienzpotenzial für das produzierende Gewerbe zu identifizieren. Die Effizienzpotenziale werden aus technischer sowie aus wirtschaftlicher Perspektive betrachtet. Zudem wird auf Basis der Hemmnisanalyse das zu erwartende Potenzial abgeleitet. In der Hemmnisanalyse werden Hürden bestimmt, die die Verbreitung der Innovationen hindern können. Abschließend werden aus den Erkenntnissen der detaillierten Untersuchung der einzelnen Innovationen, der Hemmnisanalyse und der aktuellen, deutschen Technologieförderlandschaft Handlungsempfehlungen und konzeptionelle Ansätze zur beschleunigten Marktdurchdringung der Technologien abgeleitet.

Die Ermittlung der Effizienzpotenziale ergibt, dass die identifizierten Innovationen einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung des nationalen Aktionsplan Energieeffizienz und damit auch der Energiewende liefern können. Würde das technische Potenzial der Innovationen voll ausgenutzt werden, ließe sich der Endenergieverbrauch in Deutschland um 10 % senken, der der Industrie sogar um 34 %. Wird das technische Potenzial auf CO₂-Emissionen übertragen, ergibt sich eine Reduktion der CO₂-Emissionen in Deutschland um 7 %.

Die Hälfte der Innovationen sind bereits heute wirtschaftlich, d.h. sie haben eine Amortisationszeit von weniger als drei Jahren. Daraus ergibt sich, dass ca. 10 % des technischen Potenzials auch wirtschaftlich sind. Vergleicht man das wirtschaftliche Potenzial mit den CO₂-Reduktionszielen für die Industrie aus dem Klimaschutzplan ergibt sich, dass durch eine Realisierung des wirtschaftlichen Potenzials der Innovationen bereits 18 % der erforderlichen CO₂-Reduktionsmenge erreicht wird. Hier soll noch erwähnt werden, dass sowohl das technische als auch das wirtschaftliche Potenzial sich im Wesentlichen aus drei Innovationen ergibt: der Hochtemperaturwärmepumpe, der Optimierungssoftware für Energieverbundsysteme und der intelligenten Antriebslösungen.

Die Hemmnisanalyse zeigt auf, dass im Wesentlichen informatorische und wirtschaftliche Hemmnisse einer raschen Marktdurchdringung der Innovationen im Wege stehen. Hier nannten die Befragten insbesondere die fehlenden Informationen über Kosten und Nutzen der Innovationen. Hiervon ist vor allem die Druckluft betroffen, da den Unternehmen oftmals Informationen zu Energiekosten und -effizienz in Bezug auf die Druckluft fehlen. Häufig genannt wurden auch verhaltensbezogene Hemmnisse wie z.B. der Zwang zum billigen Einkauf oder der Skepsis gegenüber innovativen Technologien und Start-ups. Als Beispiel ist hier der Einsatz von Wasser als Kältemittel zu nennen, einer Technologie die potenzielle Anwender als risikobehaftet erachten aufgrund deren Funktionsweise und des fraglichen langfristigen Supports durch ein junges Unternehmen. Weniger stark ins Gewicht fallen technologiebezogene (mit Ausnahme der intelligenten Gleichstromnetze) und bewusstseinsbezogene Hemmnisse.

Es existiert bereits eine Vielzahl von Förderprogrammen, unter anderem von der BAFA, dem PTKA und der KfW. Diese Förderprogramme decken Querschnittstechnologien zur Steigerung der Energieeffizienz im allgemeinen aber auch spezielle Technologien für die Abwärmenutzung oder energieeffiziente Prozesse ab. Ein Teil der betrachteten Innovationen wird hierüber bereits gefördert, allerdings schließen die für die Förderfähigkeit zu erfüllenden technischen Merkmale auch gewisse Technologien aus oder neuartige Funktionsweisen der Innovationen sind nicht Teil der Merkblätter.

Auf Basis der Analyse der Effizienzpotenziale, der Hemmnisse sowie der Technologieförderlandschaft werden Handlungsempfehlungen abgeleitet. Eine der Empfehlungen bezieht sich auf die Erweiterung der Merkblätter wodurch auch innovative Technologien und neuartige Funktionsweisen förderfähig wären. Höhere Anforderungen an Energieberater sorgen dafür, dass diese stets auf den neuesten Stand der Technik sind und Unternehmen bestmöglich hinsichtlich Energieeffizienz beraten können. Des Weiteren können Energieberater dabei unterstützen, Energiemanagementsysteme nachhaltig in den operativen Unternehmensprozessen zu verankern. Energiemanagementsysteme helfen dabei das Bewusstsein für Energieeffizienz im Unternehmen zu steigern und dementsprechend Energieeffizienzpotenziale zu heben. Eine weitere Handlungsempfehlung ist, die Förderentscheidung nicht nur an technische und wirtschaftliche Kriterien zu knüpfen, sondern auch andere Merkmale wie bspw. Digitalisierung, Verwendung recyclingfähiger Materialien oder Geräuschentwicklung in die Entscheidungsfindung mit einzubeziehen. Im Rahmen der Hemmnisanalyse wurde vielfach die aus Unternehmenssicht unübersichtliche Förderlandschaft beklagt. Hier würde eine zentrale Lotsenstelle Abhilfe schaffen.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die Erreichung der Energieeinsparungsziele der Bundesregierung sowie die Umsetzung der Energiewende durch die zügige Verbreitung der hier betrachteten Innovationen enorm beschleunigt werden kann. Um die Energiewende zu vollziehen, sollte zudem darauf geachtet werden, strombasierte Technologien nicht gegenüber Verbrennungstechnologien zu benachteiligen, wie dies aktuell durch die EEG-Umlage der Fall ist. Zudem müssen Fördermaßnahmen angepasst und deren Beantragung vereinfacht werden. Ein zentrales Ziel sollte immer sein, Fördermaßnahmen so niederschwellig wie möglich zu gestalten um viele Unternehmen zu erreichen.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Endenergieverbrauch mit und ohne Innovation skaliert auf Deutschlandebene	18
Abbildung 2: Kumulierte CO ₂ -Emissionen mit und ohne Einsatz der Innovation bis zum Jahr 2026	19
Abbildung 3: Einsparungen durch Einsatz der Innovationen gemessen an CO ₂ -Emissionen, Primärenergie- und Endenergieverbrauch	19
Abbildung 4: Wirtschaftliches Potenzial skaliert auf Deutschlandebene	20
Abbildung 5: Wirtschaftliches Potenzial im Verhältnis zum Transformationspfad für die Industrie gemäß dem Klimaschutzplan 2050	21
Abbildung 6: Word-Cloud der Hemmnisse	23
Abbildung 7: Amortisationsrechnung HTW Investition im gegebenen Fallbeispiel	27
Abbildung 8: Amortisationsrechnung E-Motor und Getriebe im gegebenen Fallbeispiel	36
Abbildung 9: Amortisationsrechnung der AASBD in der Nahrungsmittelindustrie	41
Abbildung 10: Amortisationsrechnung von WaK in der Krafffahrzeug- und Nutzfahrzeugbranche	45
Abbildung 11: Amortisationsrechnung der MK in der Nahrungsmittelindustrie	49
Abbildung 12: Amortisationsrechnung der IG im gegebenen Fallbeispiel	56
Abbildung 13: Amortisationsrechnung der WkW in der chemischen Industrie	60
Abbildung 14: Amortisationsrechnung der ESK in der Maschienebauindustrie	64
Abbildung 15: Akteursbeziehungen Schaltschrankkühlung	66

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Arten von Hemmnissen.....	11
Tabelle 2:	Matrix der Bewertung der Hemmnisse durch die befragten Experten. (1 = minimale Hemmnisse, 4 = maximale Hemmnisse).....	24
Tabelle 3:	Auflistung der Hemmnisse der Innovation HTW.....	28
Tabelle 4:	Auflistung der Hemmnisse der Innovation OfE.....	32
Tabelle 5:	Relevante Kenngrößen zur Abschätzung der realistischen Austauschrate des Antriebssystems	35
Tabelle 6:	Auflistung der Hemmnisse der Innovation IA.....	37
Tabelle 7:	Auflistung der Hemmnisse der Innovation AASBD	42
Tabelle 8:	Auflistung der Hemmnisse der Innovation WaK	46
Tabelle 9:	Auflistung der Hemmnisse der Innovation MK.....	50
Tabelle 10:	Auflistung der Hemmnisse der Innovation MWT	52
Tabelle 11:	Auflistung der Hemmnisse für die Innovation IG	56
Tabelle 12:	Auflistung der Hemmnisse.....	61
Tabelle 13:	Auflistung der Hemmnisse der Innovation ESK	65
Tabelle 14:	Auflistung der Hemmnisse der Innovation TEG	69
Tabelle 15:	Auflistung der Hemmnisse des Forschungsprojekts	72
Tabelle 16:	Überblick Förderlandschaft und Förderfähigkeit der einzelnen Innovationen	74
Tabelle 17:	Förderfähigkeit der einzelnen Innovation für die BAFA Förderung von Querschnittstechnologien.....	75
Tabelle 18:	Förderfähigkeit der einzelnen Innovation für die BAFA Kälte- und Klimaanlageförderung	77
Tabelle 19:	Förderfähigkeit der einzelnen Innovation für die PTKA Förderung	78
Tabelle 20:	Förderfähigkeit der einzelnen Innovation für das KfW-Programm 294	80
Tabelle 21:	Förderfähigkeit der einzelnen Innovation für der KfW-Programm 276, 277 und 278.....	81

11 Literaturverzeichnis

- AG Energiebilanzen (2016): Bilanzen 1990-2014 sowie Satellitenbilanzen Erneuerbare Energien 2000-2014
- AGEB (2016): Zusammenfassung Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren 2013 bis 2015
- Bahl, B. (Februar 2017): Experteninterview. (M. Kosinski, Interviewer)
- BINE-ThemenInfo I (2016): Thermoelektrik: Strom aus Abwärme
- Blesl, M., Kessler, A. (2011): Energieeffizienz in der Industrie
- BAFA (2017): Förderung von Querschnittstechnologien,
http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Querschnittstechnologien/querschnittstechnologien_node.html
- BAFA (2017): Kälte- und Klimaanlageanlagen,
http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Klima_Kaeltetechnik/klima_kaeltetechnik_node.html
- BMW Group (2017): Presskraft ohne Ende, <http://www.bmwgroup-werke.com/de/regensburg/technologien/presswerk.html>
- BMW i (2016): Klimaschutzplan 2050
- Cagno, E., Worrell, E., Trianni A., Pugliese, G. (2013): A novel approach for barriers to industrial energy efficiency.
- Cooltech-Applications (2017): <http://www.cooltech-applications.com/magnetic-refrigeration-system.html>
- dena (2010): Elektrische Motoren in Industrie und Gewerbe
- Dr. Süß, Jürgen (März 2017). Experteninterview. (S. Büttner, Interviewer)
- Dr. Uhlig, Volker (April 2017). Experteninterview. (F. Bottner, Interviewer)
- Deutscher Nachhaltigkeitspreis (2016):
https://www.nachhaltigkeitspreis.de/2016_forschung_daphne_detail/ (abgerufen am 25.4.2017)
- Elektronik Praxis Nr. 14 (2010): Magnetische Kühlung für die Industrie
- EnergieAgentur.NRW (2010): Elektrische Antriebe
- EnergieAgentur.NRW (2000): Druckluft – Störungsfreie, kostengünstige und energieeffiziente Bereitstellung
- Efficient energy (2017): https://efficient-energy.com/wp-content/uploads/2016/09/Produktbeschreibung-eChiller-2-35_K1.5_v1.1_dt.pdf (Abgerufen am 18.04.2017)
- Gosse, Daniel (April 2017). Experteninterview. (F. Bottner, Interviewer)

- Hanslik, F. (Februar 2017). Experteninterview. (M. Kosinski, Interviewer)
- Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf (2015): Entdeckt – Das Forschungsmagazin aus dem HZDR, Ausgabe 01.2015
- Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken (2012): Druckluft effizient nutzen – Praxisleitfaden für Energieeffizienz und Kosteneinsparung
- Karlsruher Institut für Technologie (2017): <https://www.ihm.kit.edu/307.php>
- Kaiser, S. (März 2017): Experteninterview. (M. Kosinski, Interviewer)
- KfW (2017): KfW-Energieeffizienzprogramm – Produktionsanlagen/-prozesse, <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/EE-Produktion-292-293/>
- KfW (2017): KfW-Energieeffizienz-programm – Abwärme, [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/EE-Abwärme-\(294\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/EE-Abwaerme-(294)/)
- KfW (2017): KfW-Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen und Sanieren, <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/>
- Kirschbaum, D. S. (März 2017): Experteninterview. (M. Schimmel, Interviewer)
- Kruschwitz, L., (1993): Investitionsrechnung, 5. Auflage. De Gruyter. S. 37ff
- Motor Challenge Programm (2004): Sparsame elektrische Antriebe
- Oberländer Steffen (März 2017). Experteninterview. (S. Büttner, Interviewer)
- Prognos (2017): Weltwirtschaftsmodell VIEW
- Prognos (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose
- PTKA (2017): Energieeffiziente und klimaschonende Produktionsprozesse <https://www.ptka.kit.edu/560.php>
- Reiß Martin (März 2017). Experteninterview. (S. Büttner, Interviewer)
- Riese Christian (März 2017). Experteninterview. (S. Büttner, Interviewer)
- Schneider Ralf (März 2017). Experteninterview. (S. Büttner, Interviewer)
- Schneider, R. (Februar 2017). Experteninterview. (M. Kosinski, Interviewer)
- Schraml, P. (März 2017). Experteninterview. (M. Kosinski, Interviewer)
- Schuler Technik Group (2017): Umwelttechnikpreis geht an Schuler, https://www.schulergroup.com/unternehmen/presse/pressemitteilungen/tab/archiv/2015/2015_07_08_umwelttechnikpreis (abgerufen am 21.4.2017)
- Technik + Trends Nr. 9/2015 (2015): Neue Werkstoffe für die Klimatechnik – Magnetokalorische Legierungsfamilie ist serienreif

- Umweltbundesamt (2017): Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen in der
Zeitreihe 2005 - 2014
- Unger Manuel (April 2017). Experteninterview. (F. Bottner, Interviewer)
- Universität Darmstadt (2017): ETA Fabrik, http://www.eta-fabrik.tu-darmstadt.de/eta/projektstruktur_eta/teilprojekte_eta/tp1_virtuelle_fabrik_eta/tp1_eta.de.jsp
- Wolf, Stefan (März 2017). Experteninterview. (T. Hähl, Interviewer)
- Wolf, Stefan (April 2017). Experteninterview. (F. Bottner, Interviewer)
- Wolf, S. Fahl, U., Blesl, M., Voß, A, Jakobs, R. (2014). Analyse des Potenzials von
Industriewärmepumpen in Deutschland.
- Voll, P., Klaffke, C., Hennen, M., Bardow, A. (2012): Automated superstructure-based synthesis and
optimization of distributed energy supply systems
- ZEITmagazin Nr. 28/2012 (2012): Autostädte, <http://www.zeit.de/2012/28/Deutschlandkarte-Autostaedte>

12 Anhang

Mediumlist

Studie zu marktverfügbaren Innovationen für Energieeffizienz

AP1: Identifizierung marktverfügbarer Innovationen mit hohem Effizienzpotenzial für die Industrie

Medium List

Technologiekategorie mit

Bewertung	Projekt mit Gesamtbewertung aller Partner im Konsortium		
Energieeffiziente Kühlung	24	Magnetische Kühlung	7
		Kühlung durch Umgebungstemperatur (Energieeffiziente Rechenzentren durch Passiv Kühlung)	6
		Wasser als Kältemittel (Direktverdampfung)	4
		Adiabater Kühler für transkritische CO2 Kälteanlagen	2
		Einsatz von Hochleistungs-Energiepfehlen (HEP) zur Maschinenkühlung (Europoles GmbH & Co. KG und Viatherm GmbH)	2
		Lokale Kühlkonzepte (Einhausungen z.B. von Produktionsbändern)	1
		Sorptionswärmepumpen / Sorptionskälteanlagen	1
		Sorptionskälteanlagen	1
		Einbau von Entspannungsmaschinen in den Kältekreislauf	0
		strukturierte Wärmeübertrager (Rohre)	0
		Hocheffizienter Axialventilator für Kälteanwendungen	0
		Neuartiges Kühlkonzept einer Profilkühlung	0
	Druckluft	20	Automatische Absperrung von Stand-By Druckluftnetzen (inkl. Leckageerkennung)
		Blade Compressor: wastewater aeration technology	5
		Druckluftlose Hebezeuge	5
		Bedarfsorientierte Energieanpassung bei Hydraulik-Schaltmagneten	2
Hochtemperaturwärmepumpe	19	Hochtemperaturwärmepumpe	14
		Absorptionswärmetransformator mit hohem Temperaturhub	3
		Hochleistungswärmepumpen	2
Energieeffiziente Antriebs- und Steuerungstechnologien (Industrie 4.0)	16	Energieeffiziente Intralogistik aus OWL	7
		Energieeffiziente Absauganlagen	4
		Intelligentes Gleichstromnetz für Pressenlinien mit kurzfristiger Energierückgewinnung und -speicherung bei Bremsvorgängen in der Industrie	3
		Intelligente Antriebslösungen Lenze BlueGreen Solutions	2
		Use and Optimization of Conveyor Belts	0
		Resonanz Förderrinne (Gießerei)	0
		itsOWL-IASI: Intelligente Steuerungstechnik für die energieeffiziente Intralogistik (energieeffiziente Logistik im Warenlager)	0
Organic Rankine Cycle (ORC)	12	Organic Rankine Cycle (ORC) Anlage zur Strom- und Wärmeerzeugung aus Abwärme in einem Kaltwalzwerk	5
		Verstromung der Prozessabwärme in Warmbehandlungsprozessanlagen über ORC-Kolbenmotor	5
		Abwärmeverstromung mittels ORC oder Kalina	2
		Abwärmeverstromung in Stahlschmieden durch Nutzung von Niedertemperatur-Abwärme mittels eines Dampfturbinensystems	0

Technologiekategorie mit

Bewertung	Projekt mit Gesamtbewertung aller Partner im Konsortium		
Vernetztes Anlagenkonzept	11	Vernetztes Wärme- und Kältekonzept für Produktionsprozesse und Raumklima (Kombination modernster Anlagentechnik, umfassende Prozessmesstechnik, selektive Prozesssteuerung und kontinuierliche Datenauswertung; CAPiTA MFG, Feistritz, Österreich)	5
		Abwärmenutzung durch interne Wärmerückgewinnung (Verschaltung interner Wärmeströme) Pinch Point Analyse	2
		ESIMA, ermittelt in einem drahtlosen Condition Monitoring System energierelevante Systemgrößen	2
		Smart Consumer, Intelligente Industrieverbraucher als zentrales Element der Energiewende	1
		Energiemanagementsystem auf Basis eines innovativen Stromsensors (Über Software werden Stromdaten erfasst, systematisch aufbereitet und mit anderen Daten verknüpft; Rauschert Heinersdorf-Pressig GmbH, DIENES Apparatebau)	1
Hochtemperatur-Supraleiter (HTS)	10	Energiesparende Induktionsheizung für Metalle mit Supraleitern (Bültmann GmbH und Zenergy Power GmbH) in Kombination mit dem Prinzip der Wirbelstrombremse	7
		Induktionsblockheizer auf Basis der Supraleitertechnologie	3
Energieeffizienter Wärmeübertrager	9	Abwasserwärmetauscher als Wärmequelle für Wärmepumpen	4
		Einsatz wabenförmiger keramischer Wärmetauscher zur Abgasreinigung	3
		Sand und Energierückgewinnung	2
		Winderhitzer in der Stahlindustrie mit Heatpipe	0
Mikrowellentechnologie	9	Adaptive Produktionssysteme für öko-effiziente Feuerungsprozesse mithilfe der Mikrowellentechnologie	7
		Mikrowellenerwärmung	2
Solarthermische	8	Nutzung von solarer Prozesswärme in der Ernährungsindustrie	8
Reinigung/Prävention von Verschmutzung von Rohrleitungen & Wärmeübertragern	8	Impuls-Spülverfahren zur Beseitigung von Ablagerungen in Rohrleitungssystemen und Wärmetauschern	5
		Verfahren zur Reinigung von Wärmetauschern zur Erhöhung der Energieeffizienz	3
Membrantrennverfahren	7	Energieeffiziente Stofftrennung durch organophile Nanofiltration	3
		Umstieg von Amalgam- und Diaphragmaverfahren in der Chlorherstellung auf Membrantechnologie	2
		Membrangastrennung	2
		Membranfilterpresse (einstufiges Trocknungsverfahren) zur Verwertung von Anodenschlämmen mit Kupfer, Edelmetallen und Begleitmetallen	0
Energieeffizientes Metallgießen	5	Bandgießen von Leichtbaustählen	4
		Endlosbandproduktion durch Kopplung der Gießprozesse und des Walzprozesses	1
		Direktcompoundierung (Spritzgießen)	0
		Ressourceneffizientes Blankglühkonzept bei der Wärmebehandlung von Bändern aus Messing	0
		Einsatz einer integrierten Sprühbeize	0
Abwärmeverstromung durch Thermoelektrik (dT = 20°C -> 1mW)	5	Thermoelektrische Generatoren (TEG) als Energy Harvesting Lösung für drahtlose Industriesensoren	3
		TEG	2
		High-TEG, Highly efficient manufacturing of ThermoElektric Generators	0
		TEG	0
Wärmedämmung in der Industrie	4	Harnessing the Potential of Industrial Insulation	4
		Neuartige Fassadendämmung	0
		ERANET-MANUNET-MANUbuilding: Energy efficient building for industrial environment (Intelligentes Energiemanagement für die Produktion)	0
Energieeffiziente Heizung	3	Hocheffiziente, energiesparende Hallenheizungsanlage mit Infrarot-Dunkelstrahlern (Restwärme zur Büroheizung; Thelen Holding GmbH, Essen, Kübler GmbH)	3

Technologiekategorie mit

Bewertung

Projekt mit Gesamtbewertung aller Partner im Konsortium

Bewertung	Projekt mit Gesamtbewertung aller Partner im Konsortium		
Hochtemperatur-speicher	3	Wärmeschichtspeicher für Effizientere Wärmespeicherung (auch Konzepte mit Kombinierten Kältespeicher)	3
Software zur Live-Prozessdatenerfassung und -auswertung	3	Assistenzsystem ("ValueFactoring") vernetzt alle am Fertigungsprozess beteiligten Anlagen, Systeme und Personen (Maschinenfabrik Reinhausen)	1
		itsOWL-SelfXPro: Selbstkorrigierende Fertigungsprozesse	1
		TruConnect (Trumpf GmbH & Co. KG): erste System, das alle Prozesse entlang der Wertschöpfungskette in einer Anwendung abbildet	1
		eniMES Framework (Energiesensitive Steuerung der Produktion)	0
		Software „TOP-Energy“ (Algorithmus sOptimo) zur Optimierung von komplexen Energieverbundsystemen	0
		OEE-Box - Industrie 4.0 für den Mittelstand	0
		iMAIN, Instandhaltungsrelevante Daten einfach, sicher und schnell zu erfassen und in einer Cloud systematisch und effizient auswerten	0
		itsOWL-SDIE: Software Defined Industrial Ethernet - Intelligente adaptive Koppler für industrielle Automationsnetzwerke (effiziente Maschinen und Anlagen durch intelligente Automatisierung)	0
		itsOWL-EE: Querschnittsprojekt EE in intelligenten technischen Systemen (Instrumentarium für effiziente und bedarfsgerechte Wandlung, Steuerung und Verteilung von Energie in der Produktion)	0

Shortlist

Studie zu marktverfügbaren Innovationen für Energieeffizienz

AP1: Identifizierung marktverfügbarer Innovationen mit hohem Effizienzpotenzial für die Industrie

Short List (12 Technologien)

Technologie

Intelligentes Gleichstromnetz für Pressenlinien

Intelligente Antriebslösungen

Magnetische Kühlung

Energieeffiziente Schaltschrankkühlung

Wasser als Kältemittel

Automatische Absperrung von Stand-By Druckluftnetzen mit zusätzlicher Leckage- und Druckabfallwarnung

Wabenförmige keramische Wärmetauscher

Hochtemperaturwärmepumpe

Optimierungssoftware für Energieverbundsysteme

Mikrowellen-Technologie

Thermoelektrische Generatoren

Vernetztes Wärme- und Kältekonzept für Produktionsprozesse und Raumklima

Energiepreise

	Einheit	2017	2020	2030	2040
Gaspreis	€/MWh	40	47	54	54
Strompreis Industrie	€/MWh	146	159	157	152
Strompreis stromintensive Industrie	€/MWh	51	49	78	94
CO2 Emissionsfaktor Gas	t/MWh	0,238	0,238	0,238	0,238
CO2 Emissionsfaktor Strom	t/MWh	0,470	0,413	0,342	0,228
CO2 Emissionsfaktor Heizöl	t/MWh	0,27	0,27	0,27	0,27
CO2 Emissionsfaktor Fernwärme	t/MWh	0,12	0,12	0,12	0,12

Für die Berechnungen wurden die Jahreswerte zwischen den offiziellen Prognosewerten interpoliert.

