

Preiß, Marlene

Article — Published Version

Treiber und Hemmnisse betrieblicher Effizienzmaßnahmen – Vernetzung als Erfolgsfaktor

Sustainability Management Forum

Provided in Cooperation with:

Springer Nature

Suggested Citation: Preiß, Marlene (2021) : Treiber und Hemmnisse betrieblicher Effizienzmaßnahmen – Vernetzung als Erfolgsfaktor, Sustainability Management Forum, ISSN 2522-5995, Springer, Berlin, Heidelberg, Vol. 29, Iss. 2, pp. 93-106, <https://doi.org/10.1007/s00550-021-00512-w>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/286772>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Treiber und Hemmnisse betrieblicher Effizienzmaßnahmen – Vernetzung als Erfolgsfaktor

Marlene Preiß¹ 

Eingegangen: 31. März 2021 / Überarbeitet: 17. Juni 2021 / Angenommen: 19. Juli 2021 / Online publiziert: 26. Oktober 2021
© Der/die Autor(en) 2021

Zusammenfassung

Produzierende Unternehmen können durch betriebliche Effizienzmaßnahmen einerseits einen Beitrag zur Minderung des Klimawandels leisten und andererseits ökonomische Vorteile generieren. Hinsichtlich Energieeffizienz wurde bereits umfangreich bestätigt, dass verschiedene Hemmnisse die Umsetzung von Maßnahmen verhindern. Als Gegenstück wurden Treiber ausgemacht, die Energieeffizienzmaßnahmen begünstigen. Bezüglich Materialeffizienz sind solche Untersuchungen noch selten, dennoch kann auch hier von Treibern und Hemmnissen ausgegangen werden. Da Energie- und Materialeffizienz im betrieblichen Kontext nicht strikt getrennt werden können und sich oft bedingen, stellt sich die Frage, welche Unterschiede es zwischen beiden Bereichen hinsichtlich Treibern und Hemmnissen gibt und wie sich diese bei Ressourceneffizienzmaßnahmen, die beide Bereiche kombinieren, verhalten. Anhand von Erkenntnissen hierzu können geeignete Strategien entwickelt werden. Daher wurden erfolgreich umgesetzte Energieeffizienz- und Materialeffizienzmaßnahmen sowie Maßnahmen, die in beiden Bereichen zu Steigerungen führten, hinsichtlich ihrer Treiber und Hemmnisse untersucht und verglichen. Hierfür wurde eine qualitative Inhaltsanalyse von Fallbeispielbeschreibungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Hemmnisse der untersuchten Beispiele hinsichtlich der Effizienzbereiche nicht wesentlich unterscheiden, wohl aber die Treiber. So waren für alle Effizienzbereiche ökonomische Vorteile ausschlaggebend, Material- und Ressourceneffizienzmaßnahmen waren zudem stark von ökologischen Bestrebungen getrieben. Vernetzung innerhalb der Unternehmen und entlang der Wertschöpfungskette, die hauptsächlich in Studien zu Materialeffizienz als Treiber thematisiert wurde, erwies sich in den Beispielen für alle Effizienzbereiche als wichtiger Erfolgsfaktor.

Schlüsselwörter Ressourceneffizienz · Energieeffizienz · Materialeffizienz · Treiber · Hemmnisse · Vernetzung

✉ Marlene Preiß
marlene.preiss@hs-pforzheim.de

¹ Institut für Industrial Ecology (INEC), Hochschule Pforzheim, Tiefenbronner Straße 65, 75175 Pforzheim, Deutschland

Drivers and barriers of operational efficiency measures—networking as a success factor

Abstract

Via operational efficiency measures manufacturing companies can contribute to climate change mitigation as well as generate economic benefits. However with regard to energy efficiency, it has been extensively confirmed that various barriers prevent the implementation of measures. As a counterpart, drivers that favor energy efficiency measures have been identified. With regard to material efficiency, such studies are still rare, nevertheless the existence of drivers and barriers can be assumed, too. Since energy efficiency and material efficiency cannot be strictly separated in the operational context and are often interdependent, the question arises what are the differences between the two with regard to drivers and barriers and how these behave in resource efficiency measures that combine both areas. Based on the findings, suitable strategies can be developed. Therefore, successfully implemented energy efficiency, material efficiency and resource efficiency measures were examined and compared with regard to their drivers and barriers. For this purpose, a qualitative content analysis of case study descriptions was conducted. The results showed that the barriers in the examined case studies do not differ significantly with regard to the efficiency areas, but the drivers do. Thus, economic benefits were the decisive factor for all efficiency areas, but material efficiency and resource efficiency measures were also strongly driven by ecological aspirations. Networking within companies and along the value chain, which was mainly addressed as a driver in studies on material efficiency, proved to be an important success factor for all efficiency areas

Keywords Resource efficiency · Energy efficiency · Material efficiency · Drivers · Barriers · Networking

1 Einleitung

Die Weltbevölkerung zählt aktuell knapp 8 Mrd. Menschen und steigt kontinuierlich an, sodass in 25 Ländern bis 2050 mit einer Verdopplung der Bevölkerung gerechnet wird (Deutsche Stiftung Weltbevölkerung 2020). Zusätzlich vollzieht sich insbesondere in Schwellenländern wie Indien weiterhin ein starkes Wirtschaftswachstum (International Monetary Fund 2020). Beides führt zu einem enormen Anstieg der weltweiten Nachfrage an Schlüsselmaterialien wie Stahl, Zement und Aluminium, für deren Bedarf bis 2060 ein Anstieg um etwa 30 %, 10 % bzw. 75 % im Vergleich zu 2017 prognostiziert wird (International Energy Agency 2019). Die Herstellung dieser und anderer Materialien geht mit dem Verbrauch von Energie und dem Ausstoß von Emissionen einher, der die Umwelt belastet und gefährdet. Die mit der Produktion von Materialien verbundenen Emissionen betragen im Jahr 2015 bereits 11 Gt, was 23 % der globalen Treibhausgasemissionen entspricht (United Nations Environment Programme 2020).

Eine mögliche Strategie, dem steigenden Material- und auch Energieverbrauch zu begegnen, ist die Steigerung der Ressourceneffizienz, definiert als Verhältnis zwischen dem Nutzen eines Produktes oder einer Funktionseinheit und den für die Herstellung benötigten natürlichen Ressourcen (VDI 4800 2016 Blatt 1, S. 12).

Ein wichtiger Akteur zur Umsetzung und Beschleunigung dieser Strategie sind produzierende Unternehmen, die hierfür geeignete technische und auch organisatorische Maßnahmen umsetzen können. Sie sind hierzu zwar gesetzlich nicht verpflichtet, jedoch bringt dieses Vorgehen neben ökologischen auch ökonomische Vorteile mit sich.

Das verarbeitende Gewerbe in Deutschland umfasst mehr als 46.800 Unternehmen, deren Materialkostenanteil 2019 durchschnittlich 56,3 % des Umsatzes betrug, was rund 1,2 Billionen Euro entspricht (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2020). Die Mehrheit der deutschen Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes schätzt ihr Materialeinsparpotenzial auf ca. 5 %, Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau, der Metallverarbeitung und der chemischen Industrie sogar auf 6–10 % oder mehr (Schröter et al. 2012).

Obleich vorhandener Einsparpotenziale und den damit verbundenen ökonomischen Vorteilen bestätigen Studien zu Energieeffizienzmaßnahmen, dass verschiedene Hemmnisse die Maßnahmenumsetzung verhindern (z. B. Cagno und Trianni 2014; Nagesha und Balachandra 2006; Kostka et al. 2013). Bezogen auf Energie ist der sogenannte Energy Efficiency Gap bereits seit den 1990er-Jahren weithin bekannt und diskutiert (Hirst und Brown 1990; Jaffe und Stavins 1994). Neben Hemmnissen wurden Treiber von Energieeffizienzmaßnahmen als Gegenstück untersucht (z. B. Cagno und Trianni 2013; Thollander et al. 2013; Brunke et al. 2014). Zu Materialeffizienz hingegen existieren nur wenige Studien, doch auch diese bestätigen das Vorhandensein von Hemmnissen und Treibern (Allwood et al. 2011; Milford et al. 2011; Shahbazi et al. 2016; Tura et al. 2019).

Da Energie- und Materialeffizienz im betrieblichen Kontext nicht strikt getrennt werden können und sollten, ist es notwendig, die Unterschiede von Energie- und Materialeffizienzmaßnahmen in Hinblick auf Treiber und Hemmnisse zu beleuchten. Insbesondere im Hinblick auf Ressourceneffizienzmaßnahmen (im Sinne von Material- und Energieeffizienz) stellt sich die Frage, ob es hierbei zu einer Kombination von Treibern und Hemmnisse reiner Ener-

gie- bzw. Materialeffizienzmaßnahmen kommt oder möglicherweise sogar neue auftreten. Vergleicht man die Kategorien von Treibern und Hemmnissen bestehender Studien, fällt hinsichtlich Materialeffizienz insbesondere die größere Bedeutung der Vernetzung entlang der Lieferkette auf. Erst kürzlich gingen zwei Unternehmen unterschiedlicher Wertschöpfungsstufen eine Kooperation zur Steigerung der Nachhaltigkeit und dem effizienteren Einsatz von Ressourcen ein, weil sie überzeugt sind, dass dies oftmals nur über die gesamte Wertschöpfungskette möglich ist (Schaefer 2021).

2 Theorie

Bezüglich Energieeffizienz stützen sich Studien auf die Definition eines Hemmnisses von Sorrell et al. (2000, S. 6), die ein Hemmnis als postulierten Mechanismus versteht, der Investitionen in Technologien hemmt, die sowohl effizient als auch (scheinbar) ökonomisch effizient sind. Die Auslöser (Venmans 2014) oder Motivatoren (Meath et al. 2016) einer Maßnahme werden hingegen als Treiber betrachtet. Weiter gefasst sind Treiber Faktoren, die die Einführung energieeffizienter Technologien und Praktiken erleichtern, sie gehen dabei über Investitionen hinaus und umfassen auch die Förderung einer energieeffizienten Kultur und des Bewusstseins (Cagno und Trianni 2013). Diese Definitionen werden im weiteren Verlauf auch für Materialeffizienz- und Ressourceneffizienzmaßnahmen verwendet.

Verschiedene Theorien, darunter die Neoklassik, die Transaktionskostentheorie sowie die Organisationstheorie wurden anfangs herangezogen, um die Hemmnisse von Energieeffizienzmaßnahmen zu kategorisieren und anschließend in Fallstudien zu überprüfen (Sorrell et al. 2000). Diese Kategorisierung wurde später hinsichtlich Überschneidungen und Lücken überarbeitet und erweitert (Cagno et al. 2013) sowie ebenfalls in verschiedenen Studien getestet (Trianni et al. 2013b, c, 2016). Treiber von Energieeffizienzmaßnahmen wurden zwar in Studien untersucht, jedoch unterschiedlich kategorisiert (de Groot et al. 2001; Thollander und Ottosson 2008; Cagno und Trianni 2013; Thollander et al. 2013; Venmans 2014; Trianni et al. 2016), sodass sich bisher keine einheitliche Taxonomie etabliert hat.

Vorhandene Untersuchungen zu den Hemmnissen von Energieeffizienzmaßnahmen umfassen verschiedene Regionen weltweit, darunter Europa, Asien, Amerika, Australien und Afrika (z. B. Cagno und Trianni 2014; de Groot et al. 2001; Trianni et al. 2013c; Hasanbeigi et al. 2010; Kostka et al. 2013; Anderson und Newell 2004; Meath et al. 2016; Apeaning und Thollander 2013). Betrachtet man den europäischen Raum beziehen sich die meisten Studien auf Italien (Cagno und Trianni 2014; Trianni et al. 2013b, c,

2016; Trianni und Cagno 2012) und Schweden (Rohdin und Thollander 2006; Brunke et al. 2014; Thollander und Ottosson 2008; Rohdin et al. 2007). Neben den notwendigerweise fokussierten energieintensiven Industrien (Gießereien, Eisen und Stahl sowie Papier) (Trianni et al. 2013a; Brunke et al. 2014; Thollander und Ottosson 2008; Venmans 2014; Rohdin et al. 2007) wurden nicht-energieintensive verarbeitende Industrien ebenfalls untersucht (Trianni und Cagno 2012; Rohdin und Thollander 2006; Trianni et al. 2016). Als einflussnehmende Faktoren wurden häufig die Firmengröße (z. B. de Groot et al. 2001; Kostka et al. 2013; Trianni et al. 2013c), Branche (Hasanbeigi et al. 2010; Nagesha und Balachandra 2006; Reddy und Shrestha 1998), Produktionskomplexität (Cagno und Trianni 2014; Trianni et al. 2013a, c) und Wettbewerberstärke (de Groot et al. 2001; Trianni et al. 2013c) untersucht. Weniger häufig wurden die jährlichen Energiekosten (Kostka et al. 2013; Trianni et al. 2013c; Anderson und Newell 2004; Blass et al. 2014), vorherige Erfahrung mit Energieaudits oder Energieeffizienz (Trianni et al. 2013a; Trianni und Cagno 2012) und die Amortisationszeit der Maßnahmen betrachtet (Anderson und Newell 2004). Anhand der Ergebnisse der Studien wird deutlich, dass Hemmnisse sowohl länder- als auch branchenspezifisch sind, weshalb eine Verallgemeinerung schwierig und nicht zielführend ist. So wird wirtschaftlichen Hemmnissen wie dem Zugang zu Kapital, langen Amortisationszeiten und versteckten Kosten zwar in vielen Fällen die größte Bedeutung beigemessen (Sorrell et al. 2000; Johansson 2015; Trianni und Cagno 2012; Trianni et al. 2013c; Harris et al. 2000; Sardianou 2008; Anderson und Newell 2004), in Prozessindustrien (Gießereien, Zellstoff und Papier) fürchtet man hingegen Kosten durch Produktionsunterbrechungen und Unannehmlichkeiten (Rohdin et al. 2007; Thollander und Ottosson 2008). In Schwellenländern indes liegen die größten Hemmnisse nicht im wirtschaftlichen Bereich, sondern im gesetzlichen Bereich in Form von mangelnden adäquaten Richtlinien und deren Durchsetzung sowie im informationsbezogenen Bereich in Form von mangelnden Informationen zu Technologien und Praktiken (Nagesha und Balachandra 2006; Kostka et al. 2013; Apeaning und Thollander 2013).

Treiber von Energieeffizienzmaßnahmen wurden zwar untersucht, jedoch in viel geringerem Umfang (z. B. Cagno und Trianni 2013; Thollander et al. 2013; Blass et al. 2014), zum Teil erfolgte die Untersuchung auch zusammen mit Hemmnissen (z. B. de Groot et al. 2001; Rohdin et al. 2007; Hasanbeigi et al. 2010; Brunke et al. 2014). Als wichtigster Treiber wird die Reduktion der Kosten durch einen geringeren Energieverbrauch erachtet (Thollander et al. 2013; Thollander und Ottosson 2008; Venmans 2014; Meath et al. 2016). Weitere wichtige Treiber sind organisationsbezogene Aspekte wie das Engagement des Top-Managements (Thollander et al. 2013; Blass et al. 2014; Brunke et al. 2014),

eine langfristige Energiestrategie und das Umweltprofil des Unternehmens (Thollander et al. 2007; Rohdin et al. 2007; de Groot et al. 2001).

Im Gegensatz zu Energieeffizienz sind Studien zu Treibern als auch Hemmnissen von Materialeffizienz noch selten. Die vorhandenen Studien beziehen sich oftmals auf eine bestimmte Strategie zur Steigerung der Materialeffizienz und stellen die damit verbundenen Hemmnisse un kategorisiert dar (z. B. Allwood et al. 2011; Carruth et al. 2011; Milford et al. 2011). Auch Untersuchungen, die sich nicht auf eine Strategie beschränkten, kategorisierten Treiber und Hemmnisse nicht (Biebeler 2014). Eine erste Kategorisierung der Hemmnisse wurde von Shahbazi et al. (2016) basierend auf Erkenntnissen aus dem Bereich der nachhaltigen Produktion vorgenommen. Eine weitere Kategorisierung betrachtet Treiber und Hemmnisse von Materialeffizienz aus dem Blickwinkel der Kreislaufwirtschaft (Tura et al. 2019). Beide Kategorisierungen wurden an einer kleinen Anzahl von Fallstudien getestet.

Neben Studien, die sich nur auf einen der beiden Effizienzbereiche beziehen, existieren Untersuchungen zu Treibern und Hemmnissen von Maßnahmen, die beide Bereiche umfassen. Hierbei wurde jedoch keine Kategorisierung angewandt. Wesentliche Hemmnisse sind hohe Investitionskosten, lange Amortisationszeiten sowie die Gefährdung von Prozess- bzw. Produktqualität, wohingegen die Aussicht auf Kostensenkungen, eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit und der Ausbau von Wettbewerbsvorteilen Maßnahmen motivieren (Erhardt und Pastewski 2010; von Wecus und Willeke 2015).

Die Kategorisierungen von Treibern und Hemmnissen von Energie- bzw. Materialeffizienz sind in Abb. 1 gegenübergestellt, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufzuzeigen.

Ein wesentlicher Unterschied ist die Bedeutung, die zwischenbetrieblicher (Partnerschaftsbildung und -management, kooperative Lieferanten, Zusammenarbeit) und innerbetrieblicher Kooperation (Kommunikation, Kooperation und Interaktion) im Zusammenhang mit Materialeffizienz

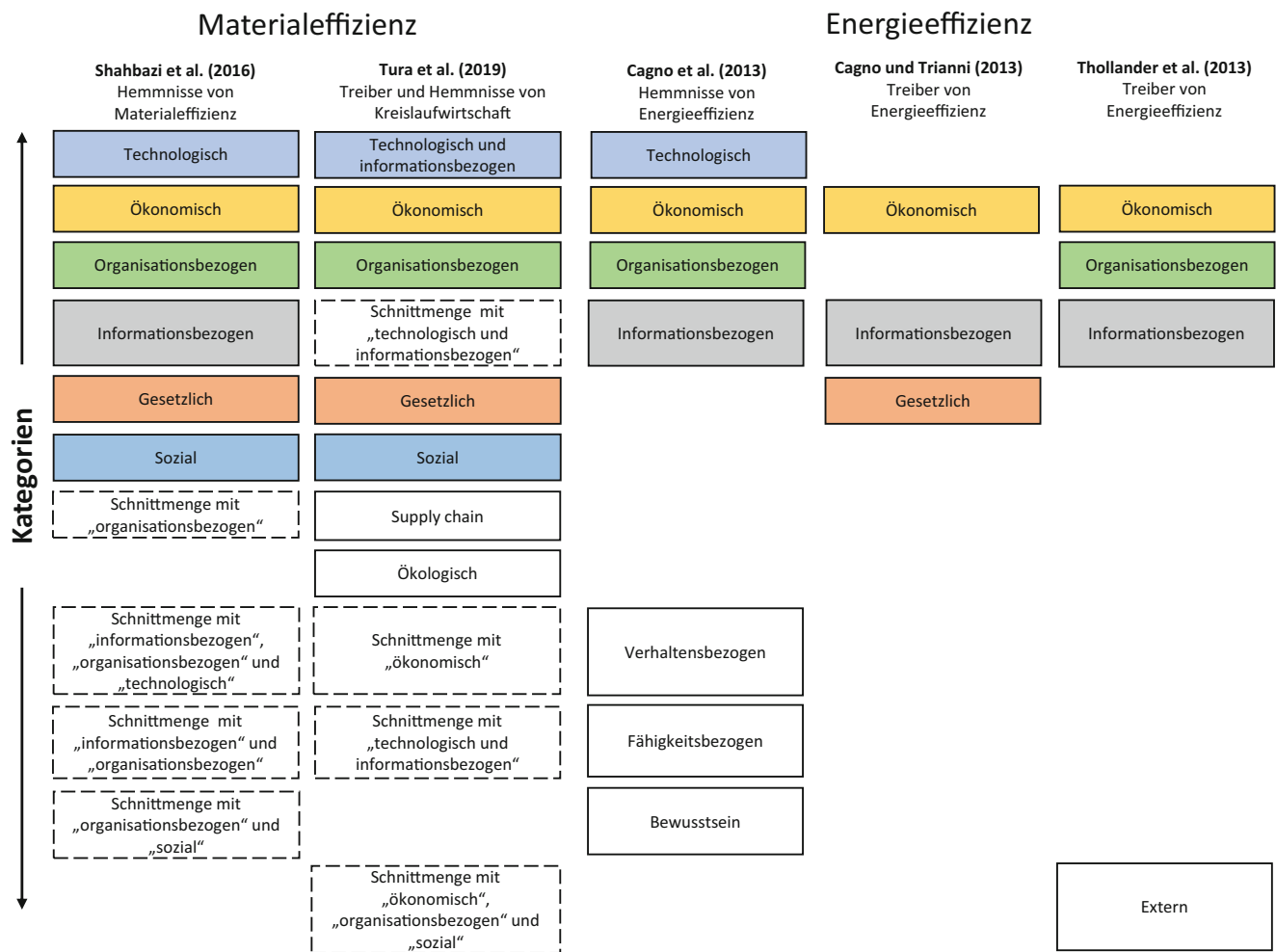


Abb. 1 Vergleich der Kategorien von Treibern und Hemmnissen aus Studien zu Energie- und Materialeffizienz

beigemessen wird (Milford et al. 2011; Shahbazi et al. 2016; Tura et al. 2019). So setzen Unternehmen, die mit Kunden, Lieferanten oder Forschungseinrichtungen kooperieren, eher auf Materialeffizienzkonzepte als Unternehmen, die das nicht tun (Schröter et al. 2012).

Ein Netzwerk umfasst eigenständige Organisationen (z.B. Unternehmen oder bezogen auf das Unternehmen einzelne Abteilungen), die eigene Interessen haben, sich aber einem gemeinsamen Problem bzw. dessen Lösung verschrieben haben (Messner 1994). Vernetzen sich Unternehmen, entstehen demnach verschiedene Kooperationsbeziehungen, die beispielsweise Informationsaustausch, Wissenstransfer oder die gemeinsame Entwicklung von Lösungen ermöglichen. Netzwerke bieten Unternehmen somit großes Potenzial, Wissen zu generieren und die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten (Marchiori und Franco 2019). Während sich Netzwerke einem größeren weitergefassten Thema verschreiben, beziehen sich Kooperationen auf konkrete Projekte.

In Studien zu Energieeffizienz werden ein Netzwerk innerhalb des Unternehmens oder ein Netzwerk innerhalb der Branche zwar als Treiber genannt (z.B. Thollander et al. 2013; Apeaning und Thollander 2013; Thollander und Ottosson 2008), jedoch unterscheidet sich die assoziierte Bedeutung stark. Während ghanaische Unternehmen sie als wichtig erachten (Apeaning und Thollander 2013), ist dies für europäische Prozessindustrien nicht der Fall (Thollander et al. 2013; Thollander und Ottosson 2008; Brunke et al. 2014). Produzierende Unternehmen aus Italien hingegen beurteilten den Aufbau eines lokalen Wissensnetzwerks, das Unternehmen und Technologielieferanten umfasst, als wichtig (Trianni et al. 2013b).

Prinzipiell sehen Unternehmen Energieeffizienz-Netzwerke als Möglichkeit, um Wissen auszutauschen und Ideen zu finden (Johansson 2015), den spezifischen Energieverbrauch zu verringern (Amundsen 2000) sowie sich schneller über neue Optionen zu informieren und die Transaktionskosten im Energieeffizienzbereich zu senken (Jochem und Gruber 2007). Die Tatsache, dass Kollegen innerhalb des Unternehmens und der Branche als vertrauenswürdigste und zuverlässigste Informationsquellen für Energieeffizienzmaßnahmen betrachtet werden, unterstreicht das Potenzial des Netzwerkgedankens (Rohdin et al. 2007; Thollander und Ottosson 2008). Werden Unternehmensbereiche hierarchie- und funktionsübergreifend zusammengebracht, kann das Wissen der Einzelnen vernetzt und so ein gemeinsamer Kenntnisstand erreicht und Bewusstsein geschaffen werden (Schmitt und Rohn 2013), eine solche Verknüpfung von Unternehmensbereichen trägt zur Optimierung von Abläufen und Einsparung von Ressourcen bei (Lange und Surdyk 2018). Neben den genannten Synergieeffekten, die sich durch ein Netzwerk ergeben, haben unternehmensübergreifende Maßnahmen

zur Steigerung der Ressourceneffizienz zudem eine größere Hebelwirkung, als Maßnahmen einzelner Unternehmen (Lange und Surdyk 2018). Ebenso ist die Vernetzung innerhalb von Gewerbegebieten eine gute Möglichkeit zur Steigerung der Ressourceneffizienz (Pichlmeier 2018). Insbesondere vor dem Hintergrund der Globalisierung und der voranschreitenden Digitalisierung ist eine Flexibilisierung von bestehenden Lieferketten hin zu Wertschöpfungsnetzwerken notwendig (Schebeck et al. 2017; Lange und Surdyk 2018).

Da die Ursache von Ineffizienzen oder auch deren Lösung außerhalb des Unternehmens liegen kann, ist die Vernetzung von Unternehmen nicht nur im Hinblick auf technologische Lösungen relevant, sondern auch für Methoden zur Identifikation von Ressourceneffizienzpotenzialen. Beispielsweise zeigen Erfahrungen von japanischen Unternehmen mit der Methode der Materialflusskostenrechnung (MFKR), dass die Zusammenarbeit hilft, Umweltbelastungen im Zuge einer Prozessoptimierung nicht einfach nur zu verlagern (Prox 2015). In einer Befragung gaben rund 40 % der Einkäufer japanischer Unternehmen an, dass sie gerne mit ihren Lieferanten zusammenarbeiten würden, um die CO₂-Emissionen in der Lieferkette zu reduzieren, eine solche Kooperation gelang jedoch nur gut 6 % (Nakajima et al. 2013).

Energie- und Materialeffizienz unterscheiden sich offensichtlich bezüglich ihrer Treiber und Hemmnisse. Jedoch ist Materialeffizienz diesbezüglich noch immer wenig untersucht. Daher sind weitere Untersuchungen in verschiedenen Ländern, darunter auch Deutschland und Branchen sowie insbesondere in Kombination mit Energieeffizienz erforderlich. Die Relevanz von zwischen- und innerbetrieblicher Vernetzung unterscheidet sich in den Effizienzbereichen, wobei Untersuchungen zu den Vernetzungsarten und -gründen anhand von konkreten Beispielen fehlen. Im weiteren Verlauf wird Vernetzung als der Aufbau und das Vorhandensein verschiedener Kooperationsbeziehungen verstanden.

Vor diesem Hintergrund werden die folgenden Fragen skizziert:

- Unterscheiden sich die Treiber und Hemmnisse von Energie- bzw. Materialeffizienzmaßnahmen in deutschen Unternehmen?
- Ergeben sich bei Ressourceneffizienzmaßnahmen (Energie- und Materialeffizienz) neue Treiber und Hemmnisse?
- Bei welcher Art von Effizienzmaßnahme lässt sich zwischen- und innerbetriebliche Vernetzung beobachten?
- Welche Arten von Vernetzung gibt es und was sind die Gründe dafür?

3 Methode

Zur Untersuchung der Fragen werden Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes in Baden-Württemberg herangezogen. Dieses umfasst rund 8550 Unternehmen mit 1,3 Mio. Beschäftigten (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2019). Kleine und mittlere Unternehmen prägen die Wirtschaftsstruktur des Bundeslandes. Die untersuchten Unternehmen beteiligten sich an einer Initiative mit dem Ziel, erfolgreiche Beispiele für betriebliche Ressourceneffizienzmaßnahmen zu finden und zu publizieren. Die Initiative resultierte in 103 Beispiele. Hinsichtlich der Unternehmensgröße sind 18 % der untersuchten Unternehmen kleine Unternehmen mit weniger als 50 Mitarbeitern, 28 % sind mittlere Unternehmen mit 50–249 Mitarbeitern und die restlichen 54 % sind große Unternehmen mit 250 oder mehr Mitarbeitern. Die Unternehmen repräsentieren 20 verschiedene Branchen, wobei der größte Anteil auf die metallverarbeitende Industrie entfällt, gefolgt vom Maschinen- und Anlagenbau, der Automobilindustrie und der chemischen Industrie. Von den untersuchten Beispielen haben 17 eine Energieeffizienzmaßnahme umgesetzt, 40 eine Materialeffizienzmaßnahme und 46 eine Ressourceneffizienzmaßnahme.

Studien zu Treibern und Hemmnissen von Energie- bzw. Materialeffizienz haben meist explorativen Charakter und sind als Fallstudien angelegt, die sich auf qualitative Daten aus Interviews stützen (Cagno und Trianni 2014; Johanson 2015; Trianni et al. 2016; Venmans 2014; Shahbazi et al. 2016; Tura et al. 2019) oder eine Kombination aus Interview und Fragebogen (O'Malley et al. 2003; Trianni et al. 2013a; Trianni und Cagno 2012; Cagno und Trianni 2013; Sivill et al. 2013; Thollander et al. 2007, 2013; Rohdin und Thollander 2006; Brunke et al. 2014; Apeaning und Thollander 2013). In Studien, die sich auf größere Stichproben beziehen, kamen ökonomische Analysen zum Einsatz (Schleich 2009; Schleich und Gruber 2008; Kostka et al. 2013; Anderson und Newell 2004).

Im vorliegenden Fall wird eine qualitative Inhaltsanalyse der einheitlichen schriftlichen Maßnahmenbeschreibungen eingesetzt, um Treiber und Hemmnisse sowie die verschiedenen Vernetzungsarten und -gründe zu explorieren. Ein ähnliches Vorgehen anhand von Archivdaten eines Regierungsprogramms zu Energiesparmaßnahmen findet sich bei Meath et al. (2016). Qualitative Daten zeichnen sich durch ihren Bezug auf gewöhnliche Ereignisse in ihrer natürlichen Umgebung sowie ihre Realitätsnähe aus (Miles et al. 2014, S. 11). Während andere Studien die Wahrnehmung von verschiedenen Treibern und Hemmnissen beurteilen ließen, beziehen sich die Treiber und Hemmnisse in diesem Fall jeweils auf konkrete, erfolgreich umgesetzte Maßnahmen. Die erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen betont Trei-

ber und deren Wirkung, dennoch werden auch angetroffene und überwundene Hemmnisse thematisiert.

Für die qualitative Inhaltsanalyse wurde basierend auf den Kategorisierungen aus vorhandenen Studien (s. Abb. 1) ein Kodierungsrahmen definiert. Die Hauptkategorien repräsentieren dabei das Forschungsinteresse, in diesem Fall die verschiedenen Arten von Treibern und Hemmnissen (ökonomisch, organisatorisch etc.), die Unterkategorien gehen einen Schritt tiefer und spezifizieren, was im Material in Bezug auf die Hauptkategorien gefunden wird (hohe Investitionskosten, Kostenreduktion durch gesenkten Energieverbrauch etc.) (Schreier 2014). Die Analyse wurde mithilfe der webbasierten Open-Access-Software QCAmap durchgeführt. Als einflussnehmender Faktor wurde der Effizienzbereich der Maßnahme herangezogen. Aus den Beschreibungen wurde ebenfalls entnommen, ob es im Zuge der Maßnahme zu einer Kooperation mit einem anderen Unternehmen, einem Berater oder einer Forschungseinrichtung kam sowie ob und welche Abteilungen innerhalb des Unternehmens zusammengearbeitet haben. Die zwischenbetrieblichen Kooperationsarten wurden mit der Software Gephi visualisiert. Neben den Kooperationsarten wurden die Gründe hierfür anhand der Beschreibungen herausgearbeitet, geclustert und mit konkreten Beispielen illustriert.

4 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse hinsichtlich der berichteten Treiber und Hemmnissen nach Effizienzbereich sowie die Vernetzungsarten und -gründe dargestellt. Tab. 1 enthält einen Überblick der häufigsten Hemmnisse bzw. Treiber nach Effizienzbereich.

4.1 Hemmnisse der Effizienzmaßnahmen

Die am häufigsten berichteten Hemmnisse in allen drei Effizienzbereichen sind technologischer Art, gefolgt von einer Kombination ökonomischer und technologischer Hemmnissen. Technologische Hemmnisse sind in den Beispielen jedoch nur zu einem kleinen Teil unzureichende oder nicht verfügbare Technologien wie von Cagno et al. (2013) für Energieeffizienz formuliert, sondern vielmehr die Umsetzung und Integration der Maßnahme in die bestehende Produktionsumgebung, ein Hemmnis, das für Materialeffizienz formuliert wurde (Shahbazi et al. 2016).

Bei den untersuchten Materialeffizienzmaßnahmen trat die Problematik der Integration in die Produktionsumgebung häufig in Kombination mit der Befürchtung von versteckten Kosten durch Probleme in angrenzenden Prozessen auf. Ebenso wurde bei Maßnahmen, die zu einer Veränderung des Produktes führten, die Angst von mangelnder Marktakzeptanz in Kombination mit technologischen

Tab. 1 Die drei häufigsten Hemmnisse bzw. Treiber in den untersuchten Beispielen nach Effizienzbereich

<i>Effizienzbereich</i>	<i>Hemmnisse (Kategorie)</i>	<i>Konkrete Hemmnisse</i>
Materialeffizienz	Technologisch	Integration in die bestehende Produktionsumgebung
	Ökonomisch und technologisch	Integration in die bestehende Produktionsumgebung in Kombination mit Furcht vor versteckten Kosten, mangelnder Marktakzeptanz oder hohen Investitionskosten
	Ökonomisch	Hohe Investitionskosten Furcht vor versteckten Kosten
Energieeffizienz	Technologisch	Integration in die bestehende Produktionsumgebung
	Ökonomisch und technologisch	Integration in die bestehende Produktionsumgebung in Kombination mit Furcht vor versteckten Kosten oder Unsicherheit bezüglich Rentabilität der Maßnahme
	Ökonomisch, technologisch und organisationsbezogen	Die unter ökonomisch und technologisch beschriebenen Kombinationen ergänzt um Schwierigkeiten bei der wertschöpfungsübergreifenden Zusammenarbeit oder Akzeptanz und Praxistauglichkeit der Lösung
Ressourceneffizienz	Technologisch	Integration in die bestehende Produktionsumgebung Variantenvielfalt der Produkte
	Ökonomisch und technologisch	Integration in die bestehende Produktionsumgebung in Kombination mit Furcht vor versteckten Kosten, Unsicherheit bezüglich Rentabilität der Maßnahme oder hohen Investitionskosten
	Ökonomisch, technologisch und organisationsbezogen	Die unter ökonomisch und technologisch beschriebenen Kombinationen ergänzt um Schwierigkeiten bei der wertschöpfungsübergreifenden Zusammenarbeit oder Koordination verschiedener interner Bereiche
<i>Effizienzbereich</i>	<i>Treiber (Kategorie)</i>	<i>Konkrete Treiber</i>
Materialeffizienz	Ökonomisch	Potenziale zur Verbesserung der Kosteneffizienz
	Ökonomisch und ökologisch	Potenziale zur Verbesserung der Kosteneffizienz oder veränderte Marktanforderungen in Kombination mit Bestrebungen die Umweltwirkungen der Produktion zu reduzieren
Energieeffizienz	Vielzahl individueller Kombinationen von Treibern	
	Ökonomisch	Potenziale zur Verbesserung der Kosteneffizienz
	Ökonomisch und technologisch	Potenziale zur Verbesserung der Kosteneffizienz in Kombination mit Potenzialen bestehende Prozesse technologisch zu verbessern
Ressourceneffizienz	Organisationsbezogen	Langfristige Energie-/Nachhaltigkeitsstrategie Umweltprofil des Unternehmens
	Ökonomisch	Potenziale zur Verbesserung der Kosteneffizienz
	Ökonomisch und technologisch	Potenziale zur Verbesserung der Kosteneffizienz in Kombination mit Potenzialen bestehende Prozesse technologisch zu verbessern
	Ökonomisch und ökologisch	Potenziale zur Verbesserung der Kosteneffizienz in Kombination mit Bestrebungen die Umweltwirkungen der Produktion zu reduzieren

Hemmnissen berichtet. Oftmals wurde die Integration zudem von hohen Investitionskosten flankiert, die hemmend wirkten. In Beispielen, in denen die Materialeffizienzmaßnahmen einzig mit ökonomischen Hemmnissen konfrontiert waren, waren dies meist versteckte Kosten oder hohe Investitionskosten.

Die Hemmnisse der untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen decken sich teilweise mit denen der Materialeffizienzmaßnahmen. Auch hier war das größte Hemmnis die Umsetzung der Maßnahmen in der bestehenden Produktionsumgebung. Ein Hemmnis, das in vorhandenen Studien zu Energieeffizienzmaßnahmen nicht genannt wird. Dies liegt möglicherweise daran, dass die untersuchten Ener-

gieeffizienzmaßnahmen in den Produktionsprozessen der Unternehmen ansetzten und nicht an typischen „low hanging fruits“. Bei den Energieeffizienzmaßnahmen kam es ebenfalls häufig zu einer Kombination von technologischen und ökonomischen Hemmnissen. Ökonomische Hemmnisse waren dabei einerseits wie für die Materialeffizienzmaßnahmen versteckte Kosten und zum anderen Unsicherheit bezüglich der Rentabilität der Maßnahme, die sich durch die Prognose der Energieeinsparungen ergab. Technologische und ökonomische Hemmnisse wurden oftmals auch durch organisationsbezogene Hemmnisse ergänzt. Dies war einerseits die wertschöpfungsübergreifende Zusammenarbeit im Falle der Entwicklung spezifischer maßgeschneiderter Lö-

sungen. Andererseits die Akzeptanz und Praxistauglichkeit der Lösungen, insbesondere dann, wenn eine Maßnahme von der Mitwirkung und Akzeptanz der Mitarbeiter abhing.

Die untersuchten Ressourceneffizienzmaßnahmen berichteten ebenfalls die Integration in die bestehende Produktionsumgebung als maßgebliches Hemmnis. Als weiteres technologisches Hemmnis erwies sich die Variantenvielfalt der Produkte, die Verbesserungen erschwerte. Dieses Hemmnis wurde bisher in keiner Kategorisierung festgestellt. Die beobachteten Kombinationen ökonomischer und technologischer Hemmnisse erwiesen sich als Kombination derer von reinen Material- und reinen Energieeffizienzmaßnahmen, so sind hier sowohl versteckte Kosten, hohe Investitionskosten als auch die Befürchtung der mangelnden Rentabilität relevant. Ähnlich zu den untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen wurde in Kombination mit ökonomischen und technologischen Hemmnissen organisationsseitig, die wertschöpfungsübergreifende Zusammenarbeit sowie die Koordination verschiedener interner Bereiche als herausfordernd berichtet.

4.2 Treiber der Effizienzmaßnahmen

Die Hauptmotivation aller Maßnahmen ungeachtet des Effizienzbereichs war ökonomischer Natur und kann als Potenzial zur Verbesserung der Kosteneffizienz verstanden werden (Tura et al. 2019). Dieses Potenzial umfasst in den Beispielen die Kostenreduktion durch verringerten Energieeinsatz, verringerten Materialverbrauch, verringerten Wasserverbrauch, verringertes Abfallaufkommen und Kostenreduktion im Allgemeinen.

Bei den untersuchten Materialeffizienzmaßnahmen war eine Kombination ökonomischer und ökologischer Treiber die zweithäufigste Motivation. Die Unternehmen wollten in diesen Fällen einerseits die Kosteneffizienz verbessern oder auf Marktentwicklungen reagieren und waren andererseits bestrebt, die Umweltwirkungen ihrer Produktion zu reduzieren. Abgesehen davon zeigten sich in den untersuchten Materialeffizienzmaßnahmen viele verschiedene Kombinationen von Treibern, was die Individualität der jeweiligen Maßnahmen und Unternehmen unterstreicht. Auffallend war zudem, dass bei den Materialeffizienzmaßnahmen im Gegensatz zu den untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen rechtliche Treiber wie das Antizipieren von Gesetzesänderungen relevant waren.

Für die untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen folgte an zweiter Stelle eine Kombination ökonomischer und technologischer Treiber. Die Unternehmen sahen dabei das Potenzial, ihre bestehenden Prozesse zu verbessern und im Zuge dessen auch die Kosteneffizienz. Darüber hinaus wurden übereinstimmend mit anderen Studien (z.B. Rohdin et al. 2007; de Groot et al. 2001) organisationsbezogene Treiber wie das Umweltprofil des Unternehmens und eine langfristige Energiestrategie als ausschlaggebend berichtet.

Bei den Ressourceneffizienzmaßnahmen ließ sich wiederum eine Kombination der Treiber reiner Material- bzw. Energieeffizienzmaßnahmen feststellen. Auf die ökonomische Motivation folgte eine Kombination ökonomischer und technologischer Beweggründe. Technologische Beweggründe waren die Möglichkeit, bestehende Prozesse zu verbessern (Tura et al. 2019) und umfassten die folgenden konkreten Prozessverbesserungen: Reduktion der Bearbeitungszeiten/Prozesszeiten, Verbesserung der Produkt-/Prozessqualität, Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit und Modernisierung, Kapazitätserweiterung (Umbau, Neubau, Ersatzinvestition etc.). An dritter Stelle folgte die Kombination ökonomischer und ökologischer Treiber ähnlich den reinen Materialeffizienzmaßnahmen.

Die technologischen, ökonomischen, organisationsbezogenen und ökologischen Treiber in den Beispielen können als Auslöser und Motivatoren der Maßnahmen betrachtet werden. Hinsichtlich der weiter gefassten Definition von Cagno und Trianni (2013) als Faktoren, die zum Erfolg der Umsetzung einer Maßnahme beitragen, wurden in den Beispielen insbesondere inner- und zwischenbetriebliche Kooperation genannt. Die zwischenbetriebliche Kooperation wurde in 37 Beispielen rückblickend als entscheidend für den Erfolg der Maßnahme bezeichnet. Von diesen 37 Beispielen waren die Unternehmen in 11 Fällen mit einem technologischen Hemmnis konfrontiert, in 6 Fällen mit einer Kombination von ökonomischen und technologischen Hemmnissen und in 6 Fällen mit einer Kombination von ökonomischen, technologischen und organisationsbezogenen Hemmnissen.

Innerbetriebliche Vernetzung im Sinne einer abteilungsübergreifenden Kooperation wurde in 15 Fällen als erfolgsentscheidend betrachtet. Dabei wurde in vier Fällen kein Hemmnis berichtet und in drei eine Kombination von ökonomischen und technologischen Hemmnissen. Tab. 2 zeigt die Beurteilung des Erfolgsfaktors Vernetzung nach Un-

Tab. 2 Beurteilung von Vernetzung als erfolgsentscheidend für Effizienzmaßnahme nach Unternehmensgröße und Effizienzbereich

	Kleine Unternehmen (N= 18)	Mittlere Unternehmen (N=29)	Große Unternehmen (N= 56)	Material (N=40)	Energie (N= 17)	Material und Energie (N=46)
Zwischenbetriebliche Vernetzung	8	9	20	14	7	16
Innerbetriebliche Vernetzung	1	5	9	6	3	6

ternehmensgröße und Effizienzbereich der Maßnahme. Kooperation wurde insbesondere von kleinen Unternehmen als wichtig erachtet. Bezogen auf den Effizienzbereich der Maßnahme wurde Vernetzung in allen drei in ähnlichem Maße als erfolgsentscheidend betrachtet. Im Weiteren werden die verschiedenen Arten der Vernetzung in den Beispielen, die Gründe hierfür sowie die dadurch überwundenen Hemmnisse dargestellt.

4.3 Zwischen- und innerbetriebliche Vernetzung im Zuge von Effizienzmaßnahmen

In 36 Beispielen wurde die Maßnahme ohne jegliche externe Unterstützung umgesetzt. Während die Unternehmen in den restlichen 67 Beispielen mit Lieferanten, Kunden, Beratern oder Universitäten/Forschungseinrichtungen zusammenarbeiteten. Die Kooperation erstreckte sich dabei sowohl über die Grenzen des Bundeslandes als auch ins Ausland. Die geografische Verteilung der untersuchten Unternehmen und ihrer Partner ist in Abb. 2 dargestellt.

Innerhalb der Beispiele mit zwischenbetrieblicher Vernetzung ließen sich 16 verschiedene Konstellationen identifizieren. Dabei war die Kooperation mit einem Lieferanten die häufigste Art der Vernetzung (27 Beispiele), wobei es sich vorwiegend um Maschinen- und Anlagenbauer handelte. In elf Beispielen war ein Berater beteiligt und in sechs Beispielen kooperierte das Unternehmen mit einem Kunden.

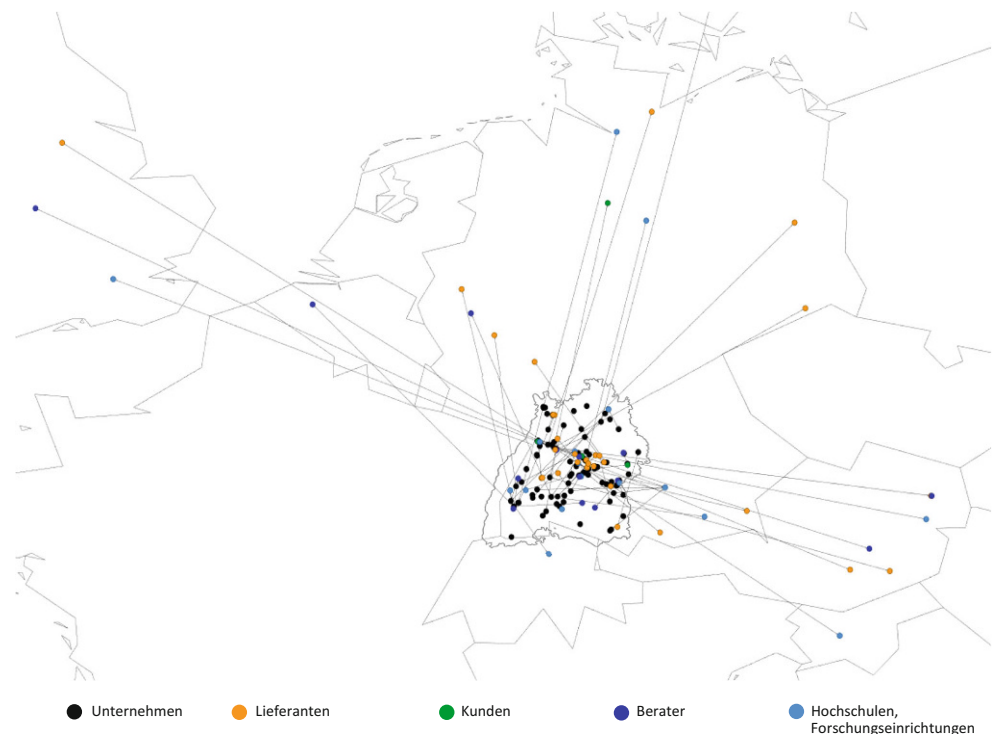
Hinsichtlich der innerbetrieblichen Kooperation enthielten 42 Beschreibungen keine Angaben zu den beteiligten Abteilungen. In 31 Beispielen wurde die Maßnahme von einer Abteilung alleine umgesetzt, wobei es sich vorwiegend um die Forschung und Entwicklung (19 Fälle) und die Produktion (6 Fälle) handelte. In den restlichen 30 Beispielen waren zwei oder bis zu fünf Abteilungen an der Umsetzung beteiligt. Auch in diesen Beispielen waren Forschung und Entwicklung sowie die Produktion die häufigsten Akteure. Zur Realisierung der Effizienzmaßnahmen bildeten die Unternehmen mehrheitlich interdisziplinäre Projektteams. In wenigen Fällen waren auch die Geschäftsleitung oder Arbeitnehmervertreter in die Maßnahmenumsetzung involviert. Die Beteiligung und Kooperation verschiedener Abteilungen zeigt, dass die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen in den Unternehmen nicht durch eine einzelne Abteilung gelingt, sondern von verschiedenen Abteilungen abhängt und beeinflusst wird.

4.4 Gründe für die Vernetzung im Zuge von Effizienzmaßnahmen

Anhand der Beispiele konnten vier Gründe für zwischen- und innerbetriebliche Vernetzung identifiziert werden:

- Entwicklung von neuen, ressourceneffizienteren Produktionsprozessen
- Sicherstellung der Akzeptanz neuer Produkte durch Kunden

Abb. 2 Kooperation der Unternehmen (*schwarz*) mit Lieferanten (*gelb*), Kunden (*grün*), Beratern (*dunkelblau*) und Universitäten/Forschungseinrichtungen (*hellblau*) im Zuge der umgesetzten Effizienzmaßnahmen. Der Umriss von Baden-Württemberg ist in *grau* eingezeichnet. (Eigene Darstellung in Gephi)



- Realisierung von Kreislaufwirtschaftsgeschäftsmodellen
- Entwicklung von Lösungen zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung
- Anwendung von Methoden zur Identifikation von Ressourceneffizienzpotenzialen

Diese Gründe werden nachfolgend anhand von konkreten Beispielen kurz illustriert.

4.4.1 Entwicklung von neuen, ressourceneffizienten Produktionsprozessen

Die Entwicklung von neuen, ressourceneffizienten Produktionsprozessen erfolgte sowohl durch zwischen- als auch innerbetriebliche Kooperation. Die Ausgangssituation war dabei dadurch gekennzeichnet, dass die am Markt vorhandenen Technologien nicht ausreichend waren, Technologien nicht verfügbar waren oder sich die Umsetzung in der bestehenden Produktionsumgebung schwierig gestaltete. Ein konkretes Beispiel stammt von einem Automobilzulieferer, der Ringdichtungen durch konventionelles Stanzen herstellte, wobei bis zu 90 % des Materials als Stanzabfall anfielen. Zusammen mit einem Maschinen- und Anlagenbauer wurde ein neues Verfahren entwickelt, bei dem Bandabschnitte zu einem Ringband geformt und in der Maschine zusammengeschnitten werden. Durch das neue Verfahren werden jährlich 21 t Nickelbasislegierung eingespart.

Ein ähnliches Vorgehen durch innerbetriebliche Kooperation lässt sich an einem Unternehmen beobachten, das Bauprofile herstellt. In diesem sollte der Stahlverbrauch bei gleichbleibender Produktqualität und Funktionalität minimiert werden. Auch in diesem Fall wurden die Löcher in den Bauprofilen durch Stanzen erzeugt, wodurch folglich Materialverlust entstand. Ein Team aus Mitgliedern der Entwicklung, des Produktmanagements, der Konstruktion, des Werkzeugbaus und der Produktion entwickelte gemeinsam einen neuen Produktionsprozess. Das Bauprofil wird nun durch Schneiden und anschließendes Umformen des Metallbandes hergestellt.

Durch die Kooperation konnten sowohl technologische Hemmnisse überwunden als auch ökonomische Hemmnisse wie versteckte Kosten oder Kosten für Produktionsunterbrechungen gesenkt werden. Wurde eine Entwicklung zudem in Serie übernommen, ergaben sich für den Maschinenbauer neue Umsatzmöglichkeiten und weitere Unternehmen können von der ressourceneffizienteren Technologie profitieren.

4.4.2 Sicherstellung der Akzeptanz neuer Produkte durch Kunden

Wirkte sich die Effizienzmaßnahme auf das Produkt aus, erfolgte eine Kooperation mit den Kunden, um die Akzeptanz des veränderten Produktes sicherzustellen. Für die Pläne ei-

nes Garnherstellers, in der Produktion recycelte Baumwollfasern einzusetzen, wurden die Qualitätseigenschaften des Garns, das recycelte Fasern enthielt, im Vorfeld mit den Kunden eruiert und erprobt. In einem anderen Beispiel entwickelte ein metallverarbeitendes Unternehmen eine Mutter nach Leichtbaukriterien, die dennoch mit den herkömmlichen Werkzeugen der Kunden kompatibel sein musste. Die Zusammenarbeit mit den Kunden half in den Beispielen, wirtschaftliche Barrieren wie versteckte Kosten oder mangelnde Marktakzeptanz zu reduzieren und zu überwinden.

4.4.3 Realisierung von Kreislaufwirtschaftsgeschäftsmodellen

Insbesondere beim Aufbau von Kreislaufwirtschaftsgeschäftsmodellen sind Unternehmen auf die Kooperation mit Kunden und Lieferanten angewiesen. Die untersuchten Beispiele beinhalten die Wiederaufbereitung und -verwendung von Gütern sowie die Herstellung von Produkten aus recycelten Materialien.

Ein Unternehmen etablierte ein Geschäftsmodell für die Wiederaufbereitung von Wasserzählern, wofür es eigene Werkzeuge und Verfahren entwickelte sowie eine Abteilung aufbaute. Die Maßnahme reduziert den Bedarf an Primärmessing um 30 %. Ohne die Kooperation und das Vertrauen der langjährigen Kunden wäre dieses Modell nicht möglich. Die Kunden beteiligen sich an der Sammlung und Rückgabe der gebrauchten Wasserzähler und nutzen die wiederaufbereiteten Zähler.

Ein anderes Unternehmen nahm die Produktion von Recycling-Beton auf. Hierfür mussten zunächst Lieferanten des entsprechenden Inputmaterials akquiriert werden sowie Kunden überzeugt werden, das neue Produkt zu verwenden. Die Kooperation entlang der Wertschöpfungskette half in beiden Fällen die Marktakzeptanz sicherzustellen und die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme zu gewährleisten.

4.4.4 Entwicklung von Lösungen zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung

Bezogen sich die bisher beschriebenen Gründe vornehmlich auf Material- und Ressourceneffizienzmaßnahmen, lassen sich in den Beispielen auch Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung als Grund für eine Kooperation feststellen. Konzepte zur Abwärmenutzung sind häufig mit Infrastruktur- und Standortprobleme (Walsh und Thornley 2012) konfrontiert, ein Umstand, der auch in den untersuchten Beispielen deutlich wurde. Das Vorhaben einer großen Mineralölraffinerie mit einem lokalen Energieversorger zu kooperieren, um die Abwärme der Raffinerie im Fernwärmenetz der Stadt zu nutzen, erforderte den umfangreichen Aufbau von Infrastruktur in Form von Wärmetauschern und Rohrleitungen. Als Ergebnis haben die Stadtwerke nun Zu-

gang zu Fernwärme aus der Raffinerie von bis zu 90 MW. Die Zusammenarbeit spart über 100.000 t CO₂ im Vergleich zur Erzeugung der verdrängten Wärme mit modernster Erdgas-Brennwerttechnik.

4.4.5 Anwendung von Methoden zur Identifikation von Ressourceneffizienzpotenzialen

Neben der Entwicklung von technischen Lösungen konnte eine Kooperation vorgelagert bei der Identifizierung von Ansatzpunkten durch verschiedene Methoden wie Ökobilanzierung, Materialflusskostenrechnung oder Material- und Informationsflussanalyse beobachtet werden. Die Unternehmen konnten keine Ansatzpunkte zur Realisierung von Effizienzpotenzialen benennen und die Anwendung entsprechender Methoden scheiterte aufgrund mangelnder Methodenkenntnis und personeller Knappheit, um die Methode zu erlernen. Sie arbeiteten daher mit Beratern, Universitäten oder anderen Forschungseinrichtungen zusammen. Vorwiegend kleine und mittlere Unternehmen suchten sich Unterstützung für die Methodenanwendung. Die angewandten Methoden verbindet die Tatsache, dass sie auf Daten und Informationen aus verschiedenen Abteilungen des Unternehmens angewiesen sind und deren Kooperation erfordern. Hier lässt sich folglich zwischen- und innerbetriebliche Vernetzung beobachten. Unternehmen, die eine der Methoden anwandten, gaben an, dass die Datenerhebung aus verschiedenen Abteilungen eine neue Dynamik und Motivation in das Unternehmen brachte und half, das Abteilungsdenken aufzubrechen. Außerdem führte die Einbindung verschiedener Abteilungen zu einer hohen Akzeptanz von Lösungen und Maßnahmen, die aus den Ergebnissen der Analysen abgeleitet wurden.

5 Diskussion

Die Analyse der Fallbeispiele zeigt, dass sich je nach Effizienzbereich einer Maßnahme Unterschiede hinsichtlich Treibern und Hemmnissen ergeben.

Zwar ergeben sich aus den Beispielen keine neuen Kategorien, jedoch Ergänzungen in den damit verbundenen Aspekten. Zu nennen sind diesbezüglich die Marktakzeptanz bei den ökonomischen Hemmnissen, die Variantenvielfalt bei den technologischen Hemmnissen und die Kostenreduktion durch geringeren Materialeinsatz, Wasserverbrauch oder geringeres Abfallaufkommen bei den ökonomischen Treibern. Während die meisten Studien zu Energieeffizienzmaßnahmen ökonomische Hemmnisse als größtes Problem identifizierten (z.B. Sorrell et al. 2000; Johansson 2015; Trianni und Cagno 2012; Trianni et al. 2013a; Harris et al. 2000; Sardanou 2008; Anderson und Newell 2004), sind die Haupthemmnisse ungeachtet des Effizienzbereichs in

den Beispielen technologischer Natur. Im Gegensatz zu bisherigen Studien zu Energieeffizienzmaßnahmen ergibt sich die Integration in die bestehende Produktionsumgebung in den Beispielen als Hemmnis. Dieser Umstand ergibt sich möglicherweise aus der Tatsache, dass die Energieeffizienzmaßnahmen an den Produktionsprozessen ansetzen, sodass sich bei Hemmnissen auch die Prozessnähe der Maßnahmen auswirkt. Hinsichtlich der niedrigeren Relevanz von ökonomischen Hemmnissen ist zu beachten, dass die Studien zu Energieeffizienzmaßnahmen die Wahrnehmung verschiedener Hemmnisse abfragten, die vorliegende Studie jedoch auf erfolgreich umgesetzten Maßnahmen basiert, weshalb ökonomische Faktoren kein grundlegendes Hemmnis darstellen dürften.

Unabhängig vom Effizienzbereich der Maßnahme ist der wichtigste Treiber in den Beispielen ökonomischer Art, zu diesem Schluss kommen auch Studien zu Energieeffizienzmaßnahmen (Thollander et al. 2013; Thollander und Ottosson 2008; Venmans 2014; Meath et al. 2016). Bei den Material- und Ressourceneffizienzmaßnahmen zeigt sich die Ökologie als wichtiger Beweggrund, der bei Tura et al. (2019) für Materialeffizienz genannt wird, jedoch nicht in Untersuchungen zu Energieeffizienzmaßnahmen auftaucht. Im Hinblick auf die politischen Entwicklungen dürfte die Bedeutung dieser Dimension zunehmen und bei der Umsetzung von Maßnahmen an Relevanz gewinnen. Wurde ursprünglich davon ausgegangen, dass Zusammenarbeit innerhalb und außerhalb des Unternehmens für Materialeffizienzmaßnahmen entscheidend ist (Shahbazi et al. 2016; Tura et al. 2019), zeigte sich dies auch für die untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen.

Vernetzung erwies sich unabhängig vom Effizienzbereich als gute Strategie, um verschiedenen Hemmnissen vorzubeugen und diese zu überwinden. Bezogen auf technologische Hemmnisse sollte insbesondere die Kooperation mit Maschinen- und Anlagenherstellern forciert werden, da sie die Entwicklung von maßgeschneiderten Lösungen und neuen Technologien ermöglicht. Durch diese Kooperation können Synergieeffekte genutzt werden und das Potenzial für Innovationen erhöht werden. Die Übernahme der entwickelten Technologien oder Anpassungen in Serie führt zu zusätzlichen Umsätzen für die Maschinenhersteller. Technologische Barrieren konnten auch durch innerbetriebliche Kooperationen ohne Unterstützung von außen bewältigt werden. Der Erfolg solcher Inhouse-Projekte hängt dabei stark von den intern vorhandenen Kompetenzen ab. Die Kooperation mit Maschinenherstellern adressiert zudem versteckte Kosten durch Produktionsunterbrechungen/Unannehmlichkeiten, die insbesondere in Prozessindustrien als wesentliches Hemmnis von Energieeffizienz angesehen werden (Rohdin et al. 2007; Thollander und Ottosson 2008). Die frühzeitige Einbindung der Maschinenhersteller ermöglicht es auf spezifische Umstände in der Produkti-

on zu reagieren und die Risiken einer nachlassenden Prozessstabilität oder Produktqualität zu senken. Die zwischenbetriebliche Kooperation mit Kunden wirkt ökonomischen Hemmnissen wie mangelnder Kunden- und Marktakzeptanz entgegen. Neben ökonomischen und technologischen Hemmnissen kann Vernetzung genutzt werden, um fähigkeitsbezogene Hemmnisse im Zusammenhang mit Methoden zu überwinden. Die Krux hierbei ist, dass im Unternehmen selbst zunächst nur wenig Wissen aufgebaut wird. Jedoch berichteten Unternehmen die Methode aufgrund der guten Ergebnisse aus der ersten Anwendung aufzugreifen und weiterzuerfolgen, wodurch weitere Effizienzpotenziale gehoben werden können.

6 Schlussfolgerungen

Die Untersuchung gibt erste Einblicke in die Treiber und Hemmnisse verschiedener Effizienzmaßnahmen in deutschen Unternehmen, jedoch sind insbesondere für Materialeffizienzmaßnahmen weitere Studien in verschiedenen Regionen und Branchen notwendig. Vernetzung kann dazu beitragen, betriebliche Effizienzmaßnahmen voranzubringen. Sie sollte sich jedoch nicht auf eine Branche oder ähnliche Unternehmen beschränken, sondern Unternehmen aus verschiedenen Wertschöpfungsstufen entlang der Lieferkette zusammenbringen. Vernetzung könnte sich dabei auf ausgewählte Prozesstechnologien fokussieren und die Beteiligten entlang der entsprechenden Wertschöpfungsketten zusammenbringen. Es werden jedoch Konzepte benötigt, um die Kooperation entlang der Wertschöpfungskette und im Unternehmen zu strukturieren und zu erleichtern. Abgesehen von organisierten Netzwerken sollten Unternehmen versuchen, eine regelmäßige Interaktion und Vernetzung mit ihren Rohstofflieferanten und Maschinen- und Anlagenherstellern aufzubauen. Innerhalb der Unternehmen stellt der Aufbau von interdisziplinären Ressourceneffizienz-Teams eine vielversprechende Option dar.

Zur weiteren Untersuchung der skizzierten Fragen sollen die Ergebnisse einer schriftlichen Befragung in ein Modell, das die Bereiche Motivation, Möglichkeit und Fähigkeit umfasst, überführt werden, um den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen zu untersuchen. Ergänzend soll das Verständnis von Effizienz in Unternehmen mittels Kurzinterviews näher betrachtet werden.

Förderung Die Dissertation und die daraus vorgestellten Ergebnisse sind im Rahmen des kooperativen Promotionskollegs Energiesysteme und Ressourceneffizienz (ENRES) entstanden. Das Promotionskolleg wurde von der Landesgraduiertenstiftung und dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg gefördert.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Interessenkonflikt M. Preiß gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Allwood JM, Ashby MF, Gutowski TG, Worrell E (2011) Material efficiency. A white paper. *Resour Conserv Recycl* 55(3):362–381. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.002>
- Amundsen A (2000) Networking among companies represents a potential for CO₂ reduction. *J Clean Prod* 8:495–501
- Anderson ST, Newell RG (2004) Information programs for technology adoption. The case of energy-efficiency audits. *Resour Energy Econ* 26(1):27–50. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2003.07.001>
- Apeaning RW, Thollander P (2013) Barriers to and driving forces for industrial energy efficiency improvements in African industries—a case study of Ghana's largest industrial area. *J Clean Prod* 53:204–213. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.003>
- Biebeler H (2014) Aktivitäten und Hemmnisse der Steigerung der betrieblichen Materialeffizienz. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktivitaeten-hemmnisse-der-steigerung-der>. Zugriffen: 30. Apr. 2019 (Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau)
- Blass V, Corbett CJ, Delmas MA, Muthulingam S (2014) Top management and the adoption of energy efficiency practices. Evidence from small and medium-sized manufacturing firms in the US. *Energy* 65:560–571. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.030>
- Brunke J-C, Johansson M, Thollander P (2014) Empirical investigation of barriers and drivers to the adoption of energy conservation measures, energy management practices and energy services in the Swedish iron and steel industry. *J Clean Prod* 84:509–525. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.078>
- Cagno E, Trianni A (2013) Exploring drivers for energy efficiency within small- and medium-sized enterprises. First evidences from Italian manufacturing enterprises. *Appl Energy* 104:276–285. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.053>
- Cagno E, Trianni A (2014) Evaluating the barriers to specific industrial energy efficiency measures. An exploratory study in small and medium-sized enterprises. *J Clean Prod* 82:70–83. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.057>
- Cagno E, Worrell E, Trianni A, Pugliese G (2013) A novel approach for barriers to industrial energy efficiency. *Renew Sustain Energy Rev* 19:290–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.007>

- Carruth MA, Allwood JM, Moynihan MC (2011) The technical potential for reducing metal requirements through lightweight product design. *Resour Conserv Recycl* 57:48–60. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.018>
- Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (Hrsg) (2020) Soziale und demografische Daten weltweit DSW-Datenreport 2020. https://www.dsw.org/wp-content/uploads/2020/10/DSW-Datenreport_2020_web-150.pdf. Zugegriffen: 5. Febr. 2021
- Erhardt R, Pastewski N (2010) Relevanz der Ressourceneffizienz für Unternehmen des produzierenden Gewerbes. Ergebnisse der Datenerhebung über die Relevanz des Themas Ressourceneffizienz im produzierenden Gewerbe Deutschlands. Fraunhofer, Stuttgart (Online verfügbar unter http://www.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/studie_relevanz_ressourceneffizienz.pdf)
- de Groot HLF, Verhoef ET, Nijkamp P (2001) Energy saving by firms: decision-making, barriers and policies. *Energy Econ* 23:717–740
- Harris J, Anderson J, Shafron W (2000) Investment in energy efficiency: a survey of Australian firms. *Energy Policy* 28:867–876
- Hasanbeigi A, Menke C, Du Pont P (2010) Barriers to energy efficiency improvement and decision-making behavior in Thai industry. *Energy Effic* 3(1):33–52. <https://doi.org/10.1007/s12053-009-9056-8>
- Hirst E, Brown M (1990) Closing the energy efficiency gap: barriers to the efficient use of energy. *Resour Conserv Recycl* 3:267–281
- International Energy Agency (2019) Material efficiency in clean energy transitions. <https://webstore.iea.org/download/direct/2454>. Zugegriffen: 25. März 2020 (Hg. v. International Energy Agency)
- International Monetary Fund (Hrsg) (2020) World economic outlook: a long and difficult ascent. International Monetary Fund, Washington DC
- Jaffe AB, Stavins RN (1994) The energy-efficiency gap. What does it mean? *Energy Policy* 22:804–810
- Jochem E, Gruber E (2007) Local learning-networks on energy efficiency in industry—Successful initiative in Germany. *Appl Energy* 84(7):806–816. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.01.011>
- Johansson MT (2015) Improved energy efficiency within the Swedish steel industry—the importance of energy management and networking. *Energy Effic* 8(4):713–744. <https://doi.org/10.1007/s12053-014-9317-z>
- Kostka G, Moslener U, Andreas J (2013) Barriers to increasing energy efficiency. Evidence from small-and medium-sized enterprises in China. *J Clean Prod* 57:59–68. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.025>
- Lange U, Surdyk K (2018) Ressourceneffizienz in der Wertschöpfungskette. https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/VDI_ZRE_Kurzanalyse_Nr_23_Ressourceneffizienz_in_der_Wertschoepfungskette_bf.pdf. Zugegriffen: 11. Juni 2021 (Hg. v. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE))
- Marchiori D, Franco M (2019) Knowledge transfer in the context of inter-organizational networks. Foundations and intellectual structures. *J Innov Knowl*. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.02.001>
- Meath C, Linnenluecke M, Griffiths A (2016) Barriers and motivators to the adoption of energy savings measures for small- and medium-sized enterprises (SMEs). The case of the ClimateSmart Business Cluster program. *J Clean Prod* 112:3597–3604. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.085>
- Messner D (1994) Fallstricke und Grenzen der Netzwerksteuerung. *PROKLA* 24(97):563–596. <https://doi.org/10.32387/prokla.v24i97.980>
- Miles MB, Huberman AM, Saldaña J (2014) Qualitative data analysis. A methods sourcebook, 3. Aufl. SAGE, Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC
- Milford RL, Allwood JM, Cullen JM (2011) Assessing the potential of yield improvements, through process scrap reduction, for energy and CO2 abatement in the steel and aluminium sectors. *Resour Conserv Recycl* 55(12):1185–1195. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.021>
- Nagesha N, Balachandra P (2006) Barriers to energy efficiency in small industry clusters. Multi-criteria-based prioritization using the analytic hierarchy process. *Energy* 31(12):1969–1983. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.07.002>
- Nakajima M, Kiumura A, Oka S (2013) MFCA management as sustainable management. In: Proceedings of the 7th Asia Pacific Interdisciplinary Research in Accounting Conference (Paper#:K276. Online verfügbar unter <http://www.apira2013.org/proceedings/pdfs/K276.pdf>)
- O'Malley E, Scott S, Sorrell S (2003) Barriers to energy efficiency: evidence from selected sectors. <http://www.tara.tcd.ie/bitstream/handle/2262/84677/PRS47.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Zugegriffen: 8. Nov. 2019 (The Economic and Social Research Institute Dublin (Policy Reserach Series, 47))
- Pichlmeier F (2018) VDI ZRE Kurzanalyse Nr. 22: Ressourceneffizienzpotenziale von Gewerbegebieten. https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/VDI_ZRE_Kurzanalyse_Nr_22_Ressourceneffizienzpotenziale_von_Gewerbegebieten_bf_01.pdf. Zugegriffen: 17. Juni 2021 (Hg. v. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE))
- Prox M (2015) Material flow cost accounting extended to the supply chain—challenges, benefits and links to life cycle engineering. *Procedia CIRP* 29:486–491. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.077>
- Reddy BS, Shrestha RM (1998) Barriers to the adoption of efficient electricity technologies: a case study of India. *Int J Energy Res* 22:257–270
- Rohdin P, Thollander P (2006) Barriers to and driving forces for energy efficiency in the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden. *Energy* 31(12):1836–1844. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.10.010>
- Rohdin P, Thollander P, Solding P (2007) Barriers to and drivers for energy efficiency in the Swedish foundry industry. *Energy Policy* 35(1):672–677. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.01.010>
- Sardianou E (2008) Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece. *J Clean Prod* 16(13):1416–1423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.08.002>
- Schaefer J (2021) OPTIMA und Voith gehen Entwicklungspartnerschaft ein. <https://voith.com/corp-de/news-room/press-releases/2021-02-02-vp-optima-und-voith-gehen-entwicklungspartner-schaft-ein.html>. Zugegriffen: 11. Febr. 2021
- Schebeck L, Kannengießner J, Campitelli A, Fischer J, Abele E, Baurdick C et al (2017) Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0. Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf. Zugegriffen: 14. Juni 2021 (Hg. v. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE))
- Schleich J (2009) Barriers to energy efficiency. A comparison across the German commercial and services sector. *Ecol Econ* 68(7):2150–2159. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.02.008>
- Schleich J, Gruber E (2008) Beyond case studies. Barriers to energy efficiency in commerce and the services sector. *Energy Econ* 30(2):449–464. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.08.004>
- Schmitt M, Rohn H (2013) Die Bedeutung von Ressourcenkultur aus Sicht der Unternehmen. Betriebliche Ressourcenkultur: Hohe Bedeutung, geringe Umsetzung – ein Herausforderung für Unternehmen und Berater/-innen. In: Klinker S, Rohn H (Hrsg) Ressourcenkultur. Vertrauenskulturen und Innovationen für Ressourceneffizienz im Spannungsfeld normativer Orientierung und betrieblicher Praxis, 1. Aufl. Nachhaltige Entwicklung, Bd. 4. Nomos, Baden-Baden, S 21–44
- Schreier M (2014) Qualitative content analysis. In: Flick U (Hrsg) The SAGE handbook of qualitative data analysis. SAGE, London, S 170–183

- Schröter M, Lerch C, Jäger A (2012) Goldgrube Materialeffizienz? Materialeinsparpotenziale und Ansätze zur Verbreitung von Effizienzmaßnahmen. http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-1958715.pdf. Zugegriffen: 30. Apr. 2019 (Hg. v. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Mittelungen aus der ISI-Erhebung, 59))
- Shahbazi S, Wiktorsson M, Kurdve M, Jönsson C, Bjelkemyr M (2016) Material efficiency in manufacturing. Swedish evidence on potential, barriers and strategies. *J Clean Prod* 127:438–450. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.143>
- Sivill L, Manninen J, Hippinen I, Ahtila P (2013) Success factors of energy management in energy-intensive industries. Development priority of energy performance measurement. *Int J Energy Res* 37(8):936–951. <https://doi.org/10.1002/er.2898>
- Sorrell S, Schleich J, Scott S, O'Malley E, Trace F, Boede U et al (2000) Reducing barriers to energy efficiency in public and private organisations. Energy research centre—science and technology policy research (SPRU). University of Sussex, Brighton
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2020) Branchen und Unternehmen. Industrie, Verarbeitendes Gewerbe. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/_inhalt.html. Zugegriffen: 26. März 2020
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2019) Strukturdaten. Eckdaten des Verarbeitenden Gewerbes. <https://www.statistik-bw.de/Industrie/Struktur/LRt0901.jsp>. Zugegriffen: 26. März 2020
- Thollander P, Ottosson M (2008) An energy efficient Swedish pulp and paper industry—exploring barriers to and driving forces for cost-effective energy efficiency investments. *Energy Effic* 1(1):21–34. <https://doi.org/10.1007/s12053-007-9001-7>
- Thollander P, Backlund S, Trianni A, Cagno E (2013) Beyond barriers—A case study on driving forces for improved energy efficiency in the foundry industries in Finland, France, Germany, Italy, Poland, Spain, and Sweden. *Appl Energy* 111:636–643. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.036>
- Thollander P, Danestig M, Rohdin P (2007) Energy policies for increased industrial energy efficiency. Evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs. *Energy Policy* 35(11):5774–5783. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.06.013>
- Trianni A, Cagno E (2012) Dealing with barriers to energy efficiency and SMEs. Some empirical evidences. *Energy* 37(1):494–504. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.005>
- Trianni A, Cagno E, Farné S (2016) Barriers, drivers and decision-making process for industrial energy efficiency. A broad study among manufacturing small and medium-sized enterprises. *Appl Energy* 162:1537–1551. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.078>
- Trianni A, Cagno E, Thollander P, Backlund S (2013a) Barriers to industrial energy efficiency in foundries. A European comparison. *J Clean Prod* 40:161–176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.040>
- Trianni A, Cagno E, Worrell E (2013b) Innovation and adoption of energy efficient technologies. An exploratory analysis of Italian primary metal manufacturing SMEs. *Energy Policy* 61:430–440. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.034>
- Trianni A, Cagno E, Worrell E, Pugliese G (2013c) Empirical investigation of energy efficiency barriers in Italian manufacturing SMEs. *Energy* 49:444–458. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.10.012>
- Tura N, Hanski J, Ahola T, Ståhle M, Piiparinen S, Valkokari P (2019) Unlocking circular business. A framework of barriers and drivers. *J Clean Prod* 212:90–98. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.202>
- United Nations Environment Programme (Hrsg) (2020) Resource efficiency and climate change: material efficiency strategies for a low-carbon future. <https://www.resourcepanel.org/reports/resource-efficiency-and-climate-change>. Zugegriffen: 3. Febr. 2021
- VDI 4800 (2016) Blatt 1 Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien
- Venmans F (2014) Triggers and barriers to energy efficiency measures in the ceramic, cement and lime sectors. *J Clean Prod* 69:133–142. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.076>
- von Wecus A, Willeke K (2015) Status quo der Ressourceneffizienz im Mittelstand. Befragung von Unternehmensentscheidern im verarbeitenden Gewerbe 2015. https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/Studie_VDI_ZRE_Status_quo_Ressourceneffizienz_2015.pdf. Zugegriffen: 11. Juni 2021 (Hg. v. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE))
- Walsh C, Thornley P (2012) Barriers to improving energy efficiency within the process industries with a focus on low grade heat utilisation. *J Clean Prod* 23(1):138–146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.038>