Alexander Sauer
Thomas Bauernhansl *Hrsg.*

Energieeffizienz in Deutschland – eine Metastudie

Analyse und Empfehlungen

2. Auflage

Springer Vieweg

Energieeffizienz in Deutschland – eine Metastudie

Alexander Sauer • Thomas Bauernhansl
Herausgeber

Energieeffizienz in Deutschland – eine Metastudie

Analyse und Empfehlungen

2., aktualisierte Aufl. 2016

Springer Vieweg

Herausgeber
Alexander Sauer
Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Thomas Bauernhansl
IFF und IPA
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

ISBN 978-3-662-48882-9 ISBN 978-3-662-48883-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-48883-6

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Springer Vieweg
© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2016
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.
Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Geleitwort 2. Auflage

Fünf Jahre nachdem die Energiewende in die Wege geleitet wurde, findet der Begriff auch außerhalb der Grenzen des deutschen Sprachraumes zunehmend Verwendung. Für ihr Gelingen ist eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz Voraussetzung. Nur in erneuerbare Energien zu investieren, ist der falsche Weg, solange das Problem Speicherung nicht gelöst ist.

Neben den Energie- und Klimakonzepten und Richtlinien auf europäischer und Bundesebene sind es vor allem die überfälligen Beschlüsse des Pariser Klimaabkommens, die eine deutliche Senkung des Energieverbrauchs erforderlich machen. Anders als bisher, muss das Prinzip „efficiency first“ zur Leitlinie werden, um den Klimawandel zu stoppen und die Energieproduktivität zu steigern. Das 27 % Energieeinsparungsziel der EU bis 2030 ist hier nicht ausreichend, denn nur durch eine effizientere Nutzung von Energie kann eine sukzessive Dekarbonisierung der Energieerzeugung bei geringeren Erzeugungskapazitäten Erfolg haben.

Dabei muss aber das Gesamtsystem in Betracht gezogen werden: Der Faktor Strom hat in den ersten Jahren der Energiewende eine zentrale Rolle eingenommen. Das ebenso wichtige, aber weit komplexere Thema Wärme/Kälte hat dagegen bislang ein Schattendasein geführt, was sich durch neue Programme nun zu ändern scheint. Den Strom- und Wärme-/Kältebereich zu koppeln und dabei Umwandlungsverluste möglichst zu verringern, sowie auf eine Flexibilisierung des Energiesystems hinzuarbeiten, ist eine der zentralen Herausforderungen für die Zukunft.

Dies ist auch deshalb von zentraler Bedeutung, weil die in Paris abgegebenen Selbstverpflichtungen von nahezu 200 Ländern noch immer zu einer Klimaerwärmung von 2,7 °C und damit zum Versinken weiter Landstriche, unter anderem Bremen und Teile Hamburgs, führen. Um „deutlich unter 2 °C“[1] erreichen zu können, muss signifikant mehr getan werden. Laut IEA sind 48 % der erforderlichen zusätzlichen Maßnahmen der Energieeffizienz zuzuordnen und bedürfen einer Verachtfachung der jährlichen Investitionen.

[1] Adoption of the Paris Agreement, UN FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1, 12.12.2015.

Diese Potenziale müssen jetzt intelligent angegangen werden! Um Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft eine fundierte Arbeitsgrundlage dafür zu geben, hat das Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart die hier vorliegende, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage der Metastudie „Energieeffizienz in Deutschland“ verfasst.

Vorsitzender des Beirats Heinz Dürr
Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)
Stuttgart, Deutschland

Geleitwort 1. Auflage

Die in Deutschland beschlossene Energiewende heißt vereinfacht: Abschalten der Kernkraftwerke und Ersatz der Kapazitäten durch erneuerbare Energien, also atomfreier, fossilfreier Strom. Die Energiewende ist damit derzeit vor allen Dingen ein Stromthema und Strom wurde seit die Energiewende beschlossen ist erheblich verteuert. Jedes Jahr werden über zwanzig Milliarden Euro für erneuerbare Energien ausgegeben, und dies ist festgeschrieben bis 2024. Dabei ist die Kostenbelastung äußerst ungleich auf die unterschiedlichen Verbraucher verteilt. Der Begriff der Energiearmut geht um.

Aber in der Diskussion über die Energiewende wird viel zu viel über Strompreise, Stromumlagen und Stromnetze gesprochen und viel zu wenig über Energieeffizienz. Die Energiewende fußt immerhin auf zwei Säulen: neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien ist das die Energieeffizienz.

Das BMU beschrieb die Energiewende wie folgt: „Die Philosophie der Energiewende besteht schlicht und einfach in dem weitgehenden Verzicht auf tradierte Energieträger und Energieversorgungsstrukturen und stattdessen in der Dominanz von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien."

Die Bundesregierung hat im Jahr 2010 Ziele vorgegeben, wie viel Energie in den nächsten Jahren eingespart werden soll. Aus heutiger Sicht werden diese Ziele nicht erreicht. Erstaunlicherweise sind im aktuellen Koalitionsvertrag der Bundesregierung jedoch keine Zahlen mehr zu finden.

Die vorliegende Metastudie zeigt, dass zahlreiche Effizienztechnologien für Unternehmen in der Industrie hochrentabel sind, den Investitionen stehen erheblich größere Energieeinsparungen gegenüber.

Warum wird Energieeffizienz nicht intensiver diskutiert und bearbeitet? Weil sie nicht kampagnenfähig ist? Weil für Politiker die Einweihung einer großen Windparkanlage viel attraktiver ist als die Inbetriebnahme einer stromsparenden Fabrik?

Im Unterschied zum Ausbau der regenerativen Energien und dem Netzausbau, geht es bei der Energieeffizienz meist um sehr viele und relativ kleine Projekte und Handlungsfelder. In der Summe zeigen sie allerdings eine große Wirkung. Eine technologische und branchenübergreifende Optimierung zur Ausschöpfung des Gesamtpotenzials ist daher unerlässlich.

Radikale Innovationen in den Bereichen des Produktdesigns und der Produktion sind in Zukunft unabdingbar und es bedarf einer progressiven Förderpolitik für innovative Technologien. So gesehen ist gezielte Förderpolitik ein essenzielles Instrument zur langfristigen Klimazielerreichung.

Die Einführung von Klimaschutztechniken hilft Unternehmen, die sich frühzeitig auf die Bereitstellung und Nutzung von innovativen Technologien spezialisieren und damit ihre Wettbewerbsposition stärken und ausbauen.

Untersuchungen zeigen auch, dass die vielfältig existierenden Einsparpotenziale oftmals hochrentabel und somit abseits von reinen Nachhaltigkeitsbetrachtungen für Unternehmen interessant sind. Die Metastudie zeigt beeindruckende Beispiele, etwa dass mit Investitionen in Höhe von fünf Milliarden Euro bis 2020 ein kumulierter monetärer Einspareffekt von rund zwanzig Milliarden Euro möglich ist.

Dennoch fehlt es dem Thema Energieeffizienz an Wahrnehmung und Förderung. Hier ist die Politik gefragt, die entsprechenden Rahmenbedingungen zu schaffen. Dabei kann es um steuerliche Maßnahmen, Sonderabschreibungen oder auch Finanzierungsmodelle gehen, vor allem aber um die Förderung von Forschung und Entwicklung.

Wir brauchen Technologiesprünge für die Energieeffizienz. Es gibt viele Start-Ups und Institute, die zwar tolle Ideen haben, aber häufig an der Finanzierung scheitern. Hier steht die Bundesregierung in der Pflicht zu unterstützen und so eine optimale Umsetzung der Energiewende zu befördern. Am Ende müssen die erneuerbaren Energien den entscheidenden Beitrag leisten. Aber bis das Problem der Speicherung gelöst und die Volatilität der erneuerbaren Energien geregelt ist, brauchen wir die Reduzierung des Energieverbrauchs. Höhere Energiepreise werden die Energieeffizienz nicht automatisch erhöhen. Die Nachfrage nach Strom ist kaum preiselastisch, da in Energiemärkten kurz- und mittelfristig praktisch keine Substitutionsmöglichkeiten bestehen.

Perspektivisch muss Energiesparen zum integrativen gesellschaftlichen Ansatz werden – positiv assoziiert mit der Energiewende, diesem größten und wichtigsten volkswirtschaftlichen Projekt Deutschlands.

Die sauberste Energie, der sauberste Strom ist der, der nicht verbraucht wird. In Deutschland ist die Produktion einer Kilowattstunde im Schnitt dreimal so teuer wie die Vermeidung ihres Verbrauchs.

Die vorgelegte Metastudie gibt umfassende Anregungen, wie wir in Deutschland auf diesem Gebiet erfolgreich sein können.

Vorsitzender des Beirats Heinz Dürr
Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)
Stuttgart, Deutschland

Vorwort 2. Auflage

Energieeffizienz auf der Agenda von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft nach oben zu bringen und dort zu halten, ist ein vorrangiges Ziel des Stiftungsinstituts für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart. In den vier Jahren seit Institutsgründung hat sich viel getan. Als wesentlicher Baustein der Energiewende wurde von der Bundesregierung im Dezember 2014 der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz NAPE verabschiedet, in dessen Rahmen das Institut seit März 2015 zusammen mit der Deutschen Energie-Agentur die Geschäftsstelle der Nationalen Plattform Energieeffizienz führt. Seit 2013 zeichnet der Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie, der vom EEP halbjährlich erhoben wird, die Entwicklung des teilweise wechselnden Stimmungsbilds bezüglich der Energieeffizienz nach und gibt regelmäßig empirisches Feedback zu aktuellen politischen Entwicklungen und Überlegungen. Erst im März 2016 hat der Wirtschafts- und Energieminister Sigmar Gabriel im Rahmen des 2. Berliner Energiewendedialoges mit ‚Efficiency First' die wichtige Rolle der Energieeffizienz hervorgehoben. Die positiven Auswirkungen dieser durchaus neuen Haltung werden sich hoffentlich auch in naher Zukunft in empirischen Beobachtungen widerspiegeln.

Ebenso wichtige Bausteine der Energiewende sind das Weltklimaabkommen von Paris und die eingeleitete Dekarbonisierung der Energieerzeugung. An Energieeffizienzpotenzialen mangelt es nicht, auch nicht an (theoretisch) vorhandenem Kapital, diese umzusetzen. Warum dies aber nicht in ausreichendem Maße und in der erforderlichen Geschwindigkeit geschieht, haben wir in der 2. vollständig überarbeiteten und ergänzten Auflage der Metastudie herausgearbeitet.

Die zunehmend globale Betrachtung des Themas Energieeffizienz auf politischer Ebene durch die Vereinten Nationen sowie insbesondere durch die Gruppe der 20 (G20) und die Europäische Union wurde ebenso in die Neuauflage der Metastudie integriert wie auch das Thema Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzpotenzialen: Das Kapitel „Zentrale Szenarien & Wirtschaftlichkeitsbetrachtung" analysiert, insbesondere motiviert durch den niedrigen Ölpreis, die Sensitivität hinsichtlich der Energiepreisdifferenzen zur Veränderung der Amortisationszeit. Dabei werden die Preisannahmen aus den Studien mit den aktuellen Preisentwicklungsprognosen verglichen. Aus den sich ergebenden Amortisationszeiten kann die Wirtschaftlichkeit neu bewertet werden.

Zusätzlich haben wir in den Kapiteln zu den drei Sektoren (Industrie, Gebäude, Verkehr) weitere neu identifizierte oder aktualisierte Veröffentlichungen aufgenommen. Insgesamt sind in der 2. Aufl. 403 Publikationen untersucht worden. Da für jeden Sektor Energieeffizienzpotenziale aufgezeigt werden, stellen wir zudem jeweils Ansätze vor, wie die zuvor identifizierten Energieeffizienzpotenziale implementiert werden können. Dabei unterscheiden wir zwischen organisatorischen und technologischen Ansätzen und deren Finanzierung.

Die vorliegende Metastudie konzentriert sich auf Studien und Energieszenarien, die im Auftrag von wissenschaftlichen und staatlichen Organisationen oder Verbänden erstellt wurden. Die Recherchetiefe reicht von der Aktualisierung der bestehenden Quellen bis hin zu vollständig neu recherchierten und verfassten Bereichen. Dabei wurden teilweise auch Erkenntnisse und Veröffentlichungen Dritter ergänzt.

Besonderer Dank gilt den Autoren der 1. Aufl., die 2014 die Grundlage für diese Metastudie gelegt haben. Zudem danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des EEP, die zu dieser Neuauflage beigetragen haben. Diese sehr aufwendig überarbeitete 2. Aufl. wäre nicht ohne die Mitarbeit zahlreicher studentischer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter möglich gewesen. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Den Blick in die Zukunft gerichtet, gilt es künftig, das Augenmerk verstärkt auf das Thema Wärme/Kälte zu richten und das Thema besser mit dem Stromsektor zu koppeln. Auch der angestrebte Anteil erneuerbarer Energien wird nicht ohne Flexibilisierung des Energiesystems, auf Erzeuger- wie auf Verbraucherseite, realisierbar sein.

Leiter Alexander Sauer
Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)
Stuttgart, Deutschland

Vorwort 1. Auflage

Die nachhaltige Energiewende in Deutschland wird nur erfolgreich umsetzbar sein, wenn es gelingt, Wohlstand und ökonomisches Wachstum vom Primärenergieverbrauch zu entkoppeln. Dazu muss die Energieeffizienz in der Produktion von Maschinen, Anlagen und Gütern massiv verbessert werden, denn die produzierende Industrie in Deutschland verbraucht ein Drittel der Gesamtenergie. Viel Forschung ist hier noch zu leisten.

Die Heinz und Heide Dürr Stiftung und die Karl Schlecht Stiftung haben der Universität Stuttgart im Oktober 2012 finanzielle Starthilfe für ein „Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)“ gegeben.

Das EEP will einen entscheidenden Beitrag zum Gelingen der Energiewende in Deutschland leisten. Für eine erfolgreiche Energiewende muss aus unserer Sicht neben dem Ausbau regenerativer Energiequellen und der Dezentralisierung der Energieerzeugung insbesondere die massive Verbesserung der Energieeffizienz im Zentrum stehen. Doch die Energieeffizienz in der Produktion wird bisher noch stiefmütterlich behandelt, denn bislang wird in der Energiepolitik die Angebotsseite weit mehr diskutiert und gefördert als die Nachfrageseite.

Das Institut hat neben einschlägiger Grundlagenforschung die Aufgabe, die Politik auf Bundes- und Europaebene zu beraten. Es gibt daher halbjährlich den Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie heraus (www.eep.uni-stuttgart.de), nach dem Vorbild des ifo Geschäftsklimaindex. Es entwickelt aber auch – gemeinsam mit anderen universitären und außeruniversitären (Fraunhofer-) Forschungsinstituten – langfristige Technologie-Roadmaps für die unterschiedlichen Industrien bzw. Branchen in Deutschland.

Sie werden den Geldgebern von Forschungsinitiativen, beispielsweise der EU, dem BMBF, der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen AiF und der Großindustrie Anhaltspunkte für sinnvolle Initiativen geben. Andererseits bilden die Roadmaps die Basis für eigene Forschungsvorhaben, die gemeinsam mit anderen Forschungsinstituten sowie Industriepartnern umgesetzt werden.

Warum diese Metastudie?

Es gibt eine große Anzahl von Studien zur Energieeffizienz, erstellt von den unterschiedlichsten Organisationen und Interessengruppen. Es wäre also nicht effizient, ja müßig gewesen, noch eine weitere zu schreiben. Sinnvoll dagegen war es, die Ergebnisse der

vorhandenen Publikationen übersichtlich zusammenzufassen. Mit der vorliegenden Metastudie schaffen wir Transparenz, eine gute Basis für weitere Forschungsarbeiten.

Unsere Publikation gibt aber auch Anregungen und nennt Beispiele für die Wirtschaft und die Bürger. Sie soll darüber hinaus Denkanstoß für die Politik sein, das Thema Energieeffizienz ganz oben auf die Tagesordnung zu setzen.

In der Metastudie wurde die Essenz aus über 250 Studien und anderen Veröffentlichungen übersichtlich aufgearbeitet. Wir werden sie nun kontinuierlich aktualisieren, mit dem Ziel, Licht in den Dschungel der Erkenntnisse zur Energieeffizienz zu bringen. So erarbeiten wir eine Basis für rasche Fortschritte.

Unser Anliegen ist es, an den richtigen Themen zu arbeiten und den Leserinnen und Lesern Orientierung zu geben, damit sie effektiv weiterarbeiten können. Die Studie hilft jedem an seinem Platz – in der Fabrikhalle, im Plenarsaal, am Schreibtisch oder im Wohnzimmer –, die richtigen Maßnahmen zu ergreifen und so die Energiewende effektiv voranzutreiben.

Leiter Thomas Bauernhansl
Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)
Stuttgart, Deutschland

Abkürzungsverzeichnis

Acatech	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
AGEB	AG Energiebilanzen e.V.
APEE	Anreizprogramm Energieeffizienz
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BAU	Business as usual
BCS	Bundesverband CarSharing e.V.
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BDL	Bundesverband der deutschen Luftverkehrswirtschaft e.V.
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium der Finanzen
BMJV	Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BVT	Beste verfügbare Technologie
BWS	Bruttowertschöpfung
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CEPI	Confederation of European Paper Industries
CO_2	Kohlendioxid
CO_{2e}	CO_2-Aquivalente
COP	Coefficient of performance
COP21	21st Conference of the Parties
CPS	Current Policies Scenario
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
Dena	Deutsche Energie-Agentur GmbH
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EDL-G	Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Effizienzmaßnahmen
EEEF	Europäischer Energieeffizienzfonds

EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEP	Institut für Energieeffizienz in der Produktion, Universität Stuttgart
EEV	Endenergieverbrauch
EEWärmeG	Erneuerbare Energien Wärmegesetz
EHPA	European Heat Pump Association
EI	Energieintensität
EIB	Europäische Investitionsbank
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnergieStG	Energiesteuergesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnVHV	Energieverbrauchshöchstwerteverordnung
EnVKV	Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EnMS	Energiemanagementsystem
EP	Energieproduktivität
EU	Europäische Union
EUP	Europäisches Parlament
EVG	Elektronisches Vorschaltgerät
EVPG	Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz
EWI	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
EZFH	Ein-/Zweifamilienhäuser
FfE	Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
FhG-IPA	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
FhG-ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
FU	Frequenzumrichter
G7	Gruppe der sieben bedeutendsten Industrienationen der westlichen Welt
G20	Gruppe der 20 führenden Industrienationen
GEEAP	Global Energy Efficiency Accelerator Platform
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
HeizAnlV	Heizanlagenverordnung
HeizkostenV	Verordnung über Heizkostenabrechnung
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
Ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
IHK	Industrie- und Handelskammer
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
INDC	Intended Nationally Determined Contribution
IPEEC	International Partnership for Energy Efficiency Corporation
IREES	Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien
ITZB	Bayerische Gesellschaft für Innovation und Wissenstransfer mbH
IW Köln	Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

KBA	Kraftfahrtbundesamt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LED	Licht emittierende Diode
LfA	Förderbank Bayern
MessZV	Messzugangsverordnung
MEPS	Minimum Energy Performance Standard
MFH	Mehrfamilienhäuser
MIV	motorisierter Individualverkehr
MSRO	Mess-, Steuerungs-, und Regelungstechnik, Optik
MSR	Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
NAPE	Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz
NAZCA	Non-State Actor for Climate Action
NDC	Nationally Determined Contributions
NEEAP	Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan
NE-Metalle	Nicht-Eisen-Metalle
NPS	New Policies Scenario
NWG	Nicht-Wohngebäude
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
ODEX	Energieeffizienz-Index der Industrie in Europa
OGD	Obergeschossdecke
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PEP	Primärenergieproduktivität
PEV	Primärenergieverbrauch
Pkw	Personenkraftwagen
PwC	PricewaterhouseCoopers
RLT	Raumlufttechnik
SE4ALL	Sustainable Energy for All
StBA	Statistisches Bundesamt
StMWi	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie
StromStG	Stromsteuergesetz
TEHG	Treibhausgasemissionen Gesetz
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt
UM BW	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
UN	Vereinte Nationen
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

USA	Vereinte Staaten von Amerika
VBW	Vereinigung der bayerischen Wirtschaft e.V.
VDE	Verband der Elektrotechnik, Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
WE	Wohneinheit
WEC	World Energy Council
WG	Wohngebäude
WRG	Wärmerückgewinnung
WSVO	Wärmeschutzverordnung
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e. V.
ZuG	Zuleitungsgesetz
450	450 Scenario

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
Fabian Zimmermann und Alexander Sauer
1.1 Begriffsdefinitionen 2
1.2 Abgrenzung des Begriffs Energieeffizienz 4
1.3 Hemmnisse der Energieeffizienz 5
1.4 Treiber der Energieeffizienz 7
1.5 Indikatoren der Energieeffizienz 11
Literatur 13

2 Methodik 19
Fabian Zimmermann, Markus Reichart, Martin Reisinger, Ekrem Köse, Diana Wang und Alexander Sauer

3 Makroökonomische Betrachtung 23
Diana Wang, Stefan M. Büttner und Alexander Sauer
3.1 Energieeffizienzpolitik 23
3.1.1 Multilaterale Initiativen 23
3.1.2 Energieeffizienzpolitik in Europa 27
3.1.3 Energieeffizienzpolitik in Deutschland 29
3.2 Volkswirtschaftliche Einflussfaktoren 35
3.2.1 Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch bzw. die Energieintensität 35
3.2.2 Status Quo und Prognosen 38
3.3 Fazit 50
Literatur 51

4 Zentrale Szenarien und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 55
Diana Wang und Alexander Sauer
4.1 Zentrale Szenarien und Studien 56
4.1.1 Sektorübergreifende Studien 56
4.1.2 Sektorspezifische Studien 61

4.2 Bewertungsarten und deren Einfluss auf die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen ... 66
4.3 Prognosen für Energiepreisentwicklungen und ihre Auswirkungen auf die Amortisationszeit ... 70
4.4 Fazit ... 74
Literatur ... 75

5 Industrie ... 77
Fabian Zimmermann, Ekrem Köse, Markus Reichart, Sebastian Weckmann und Alexander Sauer
5.1 Sektorspezifische Einflussgrößen und Entwicklungen ... 82
5.2 Energieanalyse des Industriesektors ... 85
5.3 Energieeffizienzpotenziale ... 92
5.3.1 Branchenspezifische Effizienzpotenziale ... 94
5.3.2 Querschnittstechnologien ... 127
5.3.3 Energieeffizienz nach Fertigungstechnologien ... 142
5.3.4 Materialeffizienz ... 146
5.4 Management der Umsetzung von Energieeffizienzpotenzialen ... 148
5.4.1 Organisatorische Ansätze ... 148
5.4.2 Technologische Ansätze ... 153
5.5 Trends und Prognosen ... 157
5.6 Fazit ... 161
Literatur ... 162

6 Gebäude ... 173
Markus Reichart und Alexander Sauer
6.1 Sektorspezifische Entwicklungen und Einflussgrößen ... 173
6.1.1 Haushalte/Wohngebäude ... 174
6.1.2 Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) ... 179
6.2 Energieanalyse des Gebäudesektors ... 180
6.2.1 Wärme/Kälte ... 181
6.2.2 Beleuchtung ... 203
6.2.3 Haushaltsgeräte ... 205
6.3 Energieeffizienzpotenziale ... 207
6.3.1 Nichtwohngebäude ... 208
6.3.2 Wohngebäude ... 208
6.3.3 Smart Meter ... 209
6.4 Management der Umsetzung von Energieeffizienzpotenzialen ... 211
6.5 Trends und Prognosen ... 212
6.5.1 Prognosen bis 2020 ... 214
6.5.2 Prognosen bis 2030 ... 222
6.6 Fazit ... 225
Literatur ... 225

7 Verkehr 235
Martin Reisinger, Ekrem Köse und Alexander Sauer
7.1 Sektorspezifische Entwicklungen und Einflussgrößen 235
7.2 Energieanalyse 239
7.2.1 Personenverkehr 244
7.2.2 Güterverkehr 245
7.2.3 CO_2-Emissionen 247
7.3 Effizienzpotenziale 249
7.3.1 Verkehrsträgerspezifische Effizienzpotenziale 254
7.3.2 Effizienzpotenziale ganzheitlicher Verkehrssysteme 267
7.4 Management der Umsetzung von Energieeffizienzpotenzialen 277
7.5 Trends und Prognosen 283
7.6 Fazit 288
Literatur 289

8 Zusammenfassung 301
Fabian Zimmermann, Markus Reichart, Martin Reisinger, Diana Wang, Ekrem Köse und Alexander Sauer

9 Anhang 305
Fabian Zimmermann
9.1 Einheiten-Umrechnungstabelle 305
9.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 306
9.3 Förderung 309
9.4 Verkehr 316

Stichwortverzeichnis 319

Einleitung 1

Fabian Zimmermann und Alexander Sauer

Klimawandel, Ressourcenverknappung und steigende Energiepreise haben seit den 1970er-Jahren zu einem Umdenken in der Gesellschaft geführt. Nachhaltigkeit spielt heute eine wesentliche Rolle bei Entscheidungsfindungen in Wirtschaft, Politik, Wissenschaft sowie zunehmend auch in privatem Konsumverhalten. Dabei sollen die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt werden, ohne zukünftigen Generationen diese Möglichkeit zu nehmen. Seit der industriellen Revolution geht der weltweite Wohlstand mit einer dauerhaften Bereitstellung von Energie einher. Die Bereitstellung von Energie auf Basis fossiler Brennstoffe ist jedoch, gemessen am CO_2 Ausstoß, der Haupttreiber des Klimawandels In diesem Kapitel werden zunächst die Fachbegriffe, die thematisch von Bedeutung sind, definiert und näher erläutert. Zudem werden die Hemmnisse und Treiber vom Ausbau der Energieeffizienz beschrieben.

Die globale Erwärmung gilt daher als eine der zentralen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts (Notz 2010). Die Folgen des Klimawandels sind schwerwiegend: Innerhalb der vergangenen 100 Jahre stieg der Meeresspiegel im Mittel um 20 Zentimeter (Mittelmaier et al. 2011) bei einem durchschnittlichen Temperaturanstieg um 0,74 Grad Celsius (Haupt 2007). Die Liste der Auswirkungen des verschwenderischen Umgangs mit Energie ist lang. Neben den Risiken der Kernkraft werden hier in erster Linie die großflächige Landschaftszerstörung durch Kohleförderung oder massive Eingriffe bei der Realisierung von Wasserkraftprojekten genannt. Außerdem gelten Boden- und Gewässerbelastung, Verschmutzung der Meere und Küsten durch Öl- und Gasförderung sowie deren Transport als extrem schädlich für die Umwelt. Die Folge ist, dass die Energieversorgung weltweit vor einem großen Wandel steht.

F. Zimmermann (✉) • A. Sauer
Universität Stuttgart, Institut für Energieeffizienz in der Produktion, Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart, Deutschland
E-Mail: Fabian.zimmermann@eep.uni-stuttgart.de; Alexander.sauer@eep.uni-stuttgart.de

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2016

A. Sauer, T. Bauernhansl (Hrsg.), *Energieeffizienz in Deutschland – eine Metastudie*,
DOI 10.1007/978-3-662-48883-6_1

Die Steigerung der Energieeffizienz in den Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr ist neben dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien ein zentraler Hebel zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Darüber hinaus soll der volkswirtschaftliche Wohlstand durch einen schonenderen Umgang mit Ressourcen weiterhin sichergestellt werden. Positive Nebeneffekte dieser Entwicklung sind die Reduzierung der Importabhängigkeit sowie die Schaffung von Arbeitsplätzen in Zukunftsbranchen. Ein rationeller Umgang mit Energie ist in vielen Fällen gleichzusetzen mit enormen Kosteneinsparungen für Unternehmen und Haushalte. Besonders Unternehmen sind von ständig wachsender Konkurrenz und sich verschärfenden Marktbedingungen betroffen. Eine kosten- und ressourceneffiziente Erzeugung von Gütern und Dienstleistungen ist daher von essenzieller Bedeutung, um sich wettbewerbsfähig am Markt zu positionieren und zukunftsorientiert zu wirtschaften. Vor diesem Hintergrund ergeben sich folgende Fragen:

1. Welche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz existieren in den Anwendungsbereichen Industrie, Gebäude und Verkehr?
2. Welche Möglichkeiten stehen zur Verfügung, um die Potenziale auszuschöpfen?
3. Welchen Beitrag können die einzelnen Sektoren zum Erreichen der Energieziele leisten?

1.1 Begriffsdefinitionen

Bevor der Begriff Energieeffizienz beschrieben und abgegrenzt wird, sollen im Folgenden einige relevante Begrifflichkeiten erläutert werden.

▶ **Primärenergie** Primärenergie umfasst den Energieinhalt aller natürlich vorkommenden Energieträger, welche technisch noch nicht umgewandelt wurden (AGEB 2015b).

▶ **Sekundärenergie** Sekundärenergie bezeichnet den Energieinhalt von Energieträgern, die durch einen oder mehrere (chemische/physikalische) Umwandlungsschritte aus Primärenergie gewonnen wurden. Zu dieser Gruppe gehören alle Stein- und Braunkohlenprodukte sowie Mineralölprodukte, Gichtgas, Konvertergas, Kokereigas, Strom und Fernwärme (AGEB 2015b).

▶ **Endenergie** Endenergie ist der Energieinhalt der Primär- bzw. Sekundärenergieträger, der dem Endverbraucher nach Abzug von Übertragungs- und Umwandlungsverlusten zur Erzeugung von Nutzenergie zur Verfügung steht (BMWi 2014a).

▶ **Nutzenergie** Nutzenergie ist die Form der Energie, die nach der letzten Umwandlung in den Geräten des Endverbrauchers zur Bereitstellung von Energiedienstleistungen, wie beispielsweise temperierte Räume oder transportierte Güter (Springer Gabler Verlag 2015), bereitgestellt wird (s. Abb. 1.1). Verschiedene Arten der Nutzenergie sind z. B. Wärme, Licht oder mechanische Arbeit (BMWi 2014a).

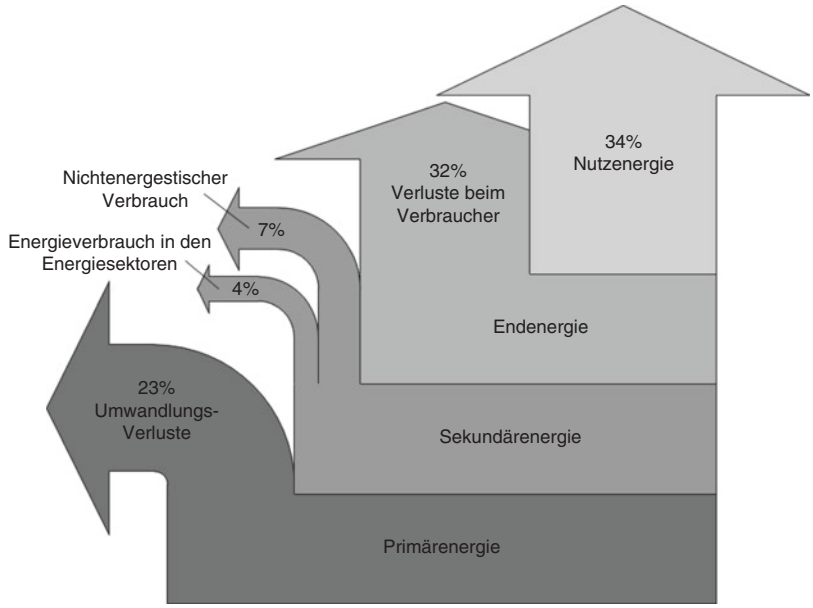

Abb. 1.1 Energieflussdiagramm 2012 (AGEB 2013; FIZ Karlsruhe 2000)

▶ **Nutzungs- und Wirkungsgrad** Der Nutzungsgrad einer Energie umsetzenden Anlage bezeichnet das Verhältnis der in einem gewissen Zeitraum abgegebenen und genutzten Energie zur eingesetzten Endenergie oder Primärenergie (Paschotta 2015). Der Wirkungsgrad (einer Maschine) wird definiert durch den Quotienten aus der abgegebenen Nutzenergie und dem hierfür nötigen Aufwand an Energie (Baehr und Kabelac 2012):

$$\eta = \frac{\text{Nutzenergie}}{\text{aufgewendete Energie}}$$

▶ **Exergie** „Exergie ist derjenige Teil einer Energieform, der sich bei einem bestimmten Prozess und in einer bestimmten Umgebung vollständig in jede beliebige andere Energieform umwandeln lässt.“ (Stierstadt 2010)

▶ **Anergie** „Anergie ist derjenige Teil einer Energieform, der sich nicht in jede beliebige andere Energieform umwandeln lässt, das heißt die technisch nicht nutzbare Energie.“ (Stierstadt 2010)

Jede Energie besteht aus Exergie und Anergie; es gilt daher für jede Energieform die Gleichung:

$$Energie = Anergie + Exergie$$

1.2 Abgrenzung des Begriffs Energieeffizienz

Der rationelle Einsatz von Energie steht im Zentrum jedweder Nachhaltigkeitsstrategie. Dabei existiert keine trennscharfe Abgrenzung des Begriffs Energieeffizienz. In der Literatur finden sich diverse Beispiele für Definitionen. Erdmann versteht unter Energieeffizienz die Produktivität des Energieeinsatzes (Erdmann und Zweifel 2008). Pro aufgewendeter Energieeinheit soll also ein möglichst großer Output erzeugt werden. Patterson verweist in diesem Zusammenhang auf die ausschließliche Eignung des nutzbaren Anteils des Outputs als Bezugsgröße (Patterson 1996). Während diese Definition einen effizienten Einsatz von Energie mit einer möglichst hohen Ausbringungsmenge gleichsetzt, hat sich die Betrachtung einer vorgegebenen Ausbringungsmenge durch einen möglichst geringen Energieeinsatz ebenso durchgesetzt. Die Entwicklung der Energieeffizienz einer Volkswirtschaft oder einzelner Sektoren wird in erster Linie anhand von zwei Indikatoren bewertet, der Energieintensität bzw. der Energieproduktivität (UBA 2015). Die Energieproduktivität (EP) beschreibt die wirtschaftliche Leistung pro Einheit Primärenergieverbrauch (PEV) oder Endenergieverbrauch (EEV). Ihr Kehrwert, die Energieintensität (EI), drückt aus, wie viele Einheiten Primärenergie bzw. Endenergie benötigt werden, um eine Geldeinheit des Bruttoinlandprodukts (BIP) herzustellen. Sie ist damit das zentrale Maß für Energieeffizienz auf makroökonomischer Ebene. Formal lassen sich beide Größe wie folgt darstellen:

$$EP = \frac{1}{EI} = \frac{BIP}{PEV\,oder\,EEV}$$

$$EI = \frac{1}{EP} = \frac{PEV\,oder\,EEV}{BIP}$$

Generell wird eine Steigung der Energieproduktivität bzw. Reduktion der Energieintensität einer Volkswirtschaft u. a. durch Nutzung von Energieeinsparpotenzialen in allen Wirtschaftssektoren und Haushalten sowie der Optimierung von Kraftwerken angestrebt.

Allgemein beschreibt Energieeffizienz also den Versuch, eine größtmögliche Ausbringungsmenge pro Energieeinsatz zu erzeugen. Die International Energy Agency (IEA) führt einen effizienteren Energieeinsatz auf drei wesentliche Faktoren zurück: Technologischer Fortschritt, menschlicher Verhaltenswandel und Substitution von Brennstoffen (IEA 2012a).

Insgesamt können nach Pehnt drei Ebenen der Energieeffizienz unterschieden werden, die in Folgenden beschrieben werden (Pehnt 2010).

Energieintensität Auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene ist es möglich, die Energieeffizienz als Energieintensität oder mit dem Kehrwert der Energieproduktivität zu messen. Mögliche Einheiten der Energieintensität sind der Primärenergieverbrauch je Einheit Bruttoinlandsprodukt oder Primärenergieverbrauch je Einwohner. Ziel der Energieintensität ist es, eine Aussage zu treffen, wie viel Energie eingesetzt wurde, um ein gewisses Ergebnis zu produzieren.

Energieumwandlung Die zweite Ebene der Energieeffizienz ist die Energieumwandlung, die das Verhältnis von erzeugter End- oder Nutzenergie zu eingesetzten Energierohstoffen beschreibt. Das heißt, die Energieumwandlung kann auch durch einen Wirkungs- oder Nutzungsgrad ausgedrückt werden.

Energienachfrageseite Wie viel Energie für die Befriedigung energierelevanter Bedürfnisse benötigt wird, ist die Interpretation der Energienachfrageseite und somit die dritte Ebene der Energieeffizienz.

Die Verwendung von Energie hat seit der ersten industriellen Revolution zu einer signifikanten Diskrepanz zwischen realem und optimalem Energieverbrauch geführt (Jaffe und Stavins 1994). Diese sogenannte Energieeffizienz-Kluft ist neben dem Ausstoß von Treibhausgasen hauptverantwortlich für den Klimawandel. Eine möglichst optimale Verwendung von Energie muss daher zukünftig das Ziel von Bundesregierung, Gesellschaft und Unternehmen werden.

1.3 Hemmnisse der Energieeffizienz

Eine Vielzahl von Gründen kann die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen behindern. Im Folgenden werden deshalb verschiedene Hemmnisse (IEA 2012b; Seefeldt et al. 2007; Golove und Eto 1996; Sutherland 1991; Howarth und Andersson 1993; DeCanio 1998; Zimmermann 2014) in sechs Kategorien beschrieben.

Informatorische Hemmnisse bzw. fehlende Sichtbarkeit Informatorische Hemmnisse bedeuten, dass die Energieeffizienz nicht über einen Faktor oder eine Kennzahl gemessen werden kann und für den Entscheidungsträger nicht sichtbar ist. Zusätzlich ist die staatliche Unterstützung für Energieeffizienzmaßnahmen bis heute limitiert.

Das führt dazu, dass in Unternehmen Chancen für Energieeinsparung bis heute ungenutzt bleiben und so Potenziale nicht voll ausgeschöpft werden können. Durch den eingeengten Handlungsspielraum aufgrund von mangelnder Schulung oder fehlender Übung, wird die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen behindert.

Trotz der Bemühungen der Regierung, die Erhöhung der Energieeffizienz insbesondere in der Industrie zu unterstützen, wird von immerhin 32 % Prozent der Unternehmen fehlende Förderung als Grund für nicht ausgeschöpfte Effizienzpotenziale angegeben (EEP 2014). Dies kann in mangelnder Informationsarbeit oder auch in tatsächlichen Lücken in

der Bandbreite der existierenden Förderprogramme begründet liegen. Eine Übersicht über aktuelle Förderungsansätze und -programme ist dem Anhang (s. Kap. 9.3) zu entnehmen.

Priorisierung bzw. Bewertung Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen werden oft mit anderen Investitionen gebündelt, daher ist das Bewusstsein der Menschen für das Thema Energieeffizienz häufig gering. Grund dafür sind unter anderem auch fehlende ganzheitliche Bewertungsinstrumente für Energieeffizienz.

Der Stellenwert der Energieeffizienz wird dadurch verkannt, was dazu führt, dass die Gesamtinvestitionen in Energieeffizienz sehr niedrig sind im Vergleich zu anderen Investitionen.

Finanztechnische Hemmnisse Größtes finanztechnisches Hemmnis der Energieeffizienz ist das zeitliche Auseinanderklaffen von Kosten und Nutzen. Die Investitionen sind oft hoch, der Nutzen aber eher gering oder die Amortisationszeit ist zu lang. Ein weiterer Grund ist die geringe Verfügbarkeit finanzieller Ressourcen aufgrund begrenzter Kreditrahmen oder eines erschwerten Zugangs durch den gestiegenen Informationsbedarf (Dokumentation von Vorhaben bzw. Offenlegung von Geschäftszahlen und -strategien sowie höhere geforderte Sicherheiten). Oft steht die Energieeffizienz in Konkurrenz zu anderen Bedürfnissen bzw. Investitionen. Zudem wird die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen häufig unterbewertet, da nicht alle Kosten und Nutzenaspekte vollständig berücksichtigt werden. Daher sind die Investitionen in Energieeffizienz eher gering. Die Life-Cycle-Kosten werden künstlich angehoben und dabei werden Energiepreisrisiken unterschätzt.

Organisatorisch-formale Hemmnisse Die Aufteilung des Energieverbrauchs auf die unterschiedlichsten Verbrauchergruppen ist ein Aspekt, der die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen erschwert. Des Weiteren fokussieren sich die Geschäftsmodelle entweder auf die Energiebereitstellung oder auf die Energieeffizienz. Dazu kommt, dass unter dem Gesichtspunkt der Globalisierung die Supply Chains sehr fragmentiert sind. Dadurch werden Produkte in mehreren Stufen an unterschiedlichen Standorten in verschiedenen Ländern produziert. Zusätzlich spielen auch hierarchische Verhältnisse von Vorgesetzten zu Mitarbeitern einer Rolle.

Das zeigt, dass die kollektive Implementierung von Energieeffizienz sehr schwierig ist, da auch die Geschäftsmodelle sich hauptsächlich auf die Energiebereitstellung beziehen. Daraus folgt, dass die Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen aufgrund verschiedener Interessenlagen (Bsp. technisch vs. wirtschaftlich) unterschiedlich ausfällt.

Rechtliche Hemmnisse Die rechtlichen Rahmenbedingungen verhindern vielfach die Erschließung von Effizienzpotenzialen. Das schränkt den Handlungsspielraum für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen ein und führt dazu, dass Unternehmen zögern, die oft hohen Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen zu tätigen.

Konsumentenverhalten Oft reinvestieren Unternehmen ihre finanziellen Einsparungen in andere Bereiche, da die Nachhaltigkeit noch eine untergeordnete Rolle spielt. Eine Folge ist unter anderem der Rebound-Effekt, der in Kap. 3.2.2 genauer beschrieben wird. Das führt dazu, dass der Energieeffizienz kein entsprechender Stellenwert zugeordnet wird, was gleichzeitig zum Effizienz-Paradoxon führt. Das Paradoxon ist dabei, dass Energieeffizienzmaßnahmen nicht wahrgenommen bzw. umgesetzt werden, obwohl sie profitabel sind.

Die IEA formuliert in diesem Zusammenhang sechs allgemeine Handlungsgrundsätze für politische Entscheidungsträger zur Überwindung der Hemmnisse und Realisierung signifikanter Einsparungen (IEA 2012b):

1. Verbesserung der Messung und Aufzeigen von wirtschaftlichem Nutzen um Energieeffizienz „sichtbar zu machen“,
2. Bedeutung von Energieeffizienz erhöhen: Energieeffizienz muss integraler Bestandteil in Entscheidungsprozessen auf Regierungsebene, in der Wirtschaft und in der Gesellschaft werden,
3. Sicherstellen von Erträgen für Investoren durch Schaffen von Anreizen und Finanzierungsinstrumenten sowie Förderung geeigneter Geschäftsmodelle,
4. Energieeffiziente Technologien etablieren durch gesetzliche Verbannung der am wenigsten effizienten Konzepte sowie Schaffung von Anreizen für effizienteste Lösungen,
5. Kontrolle, Überprüfung und Durchsetzung von Energieeinsparungen,
6. Sicherstellung von Regierungs- und Verwaltungskapazitäten durch höhere Investitionen.

1.4 Treiber der Energieeffizienz

Natürlich gibt es nicht nur Hemmnisse sondern, auch Treiber der Energieeffizienz, die die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen unterstützen. Sie werden im Folgenden beschrieben.

Eigenenergieerzeugung Sowohl bei privaten Haushalten als auch in der Industrie steigt der Anteil derer, die ihre Energie selber über regenerative Quellen erzeugen. Grund hierfür war bisher vor allem der steigende Energiepreis. Selbsterzeugter Strom war, auch bei Berücksichtigung mitunter hoher Investitionskosten zu Beginn, insgesamt günstiger als fremdbezogener. Denn nach aktueller Rechtslage fallen dabei zusätzliche Kosten durch Stromsteuer, Netzentgelte, Konzessionsabgaben etc. weg. Bei Privathaushalten zählte dazu auch die EEG-Umlage. Wie eine beispielhafte Berechnung des BDEW zeigt, kann bei einem Mehrfamilienhaus durch Verwendung einer optimierten Kombination von Erzeugern eine Gesamtkostenersparnis von etwa 26 % erzielt werden (Bardt et al. 2014).

Bei Unternehmen im produzierenden Gewerbe liegt die Kostenersparnis bei Verwendung einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage zur eigenen Erzeugung von Strom nach einer

Vergleichsrechnung von PwC bei etwa 32 % (PwC 2014). Durch die Änderung des KWKG vom 21.12.2015 könnte die Förderung von KWK-Anlagen bis 2022 verlängert und die zu Verfügung stehenden Mittel verdoppelt werden. Außerdem könnte die Förderdauer von Kleinanlagen und Brennstoffzellen erhöht werden (LFU 2015). Allerdings kann das in Deutschland verabschiedete Gesetz noch nicht in Kraft treten, da es noch durch das Notifizierungsverfahren der EU-Kommission durchläuft. Unternehmen können auch teilweise von der EEG-Umlage befreit werden, wenn sie zum Beispiel erneuerbare Energien zur Eigenstromerzeugung nutzen und den Strom dabei nicht durch das öffentliche Verteilnetz leiten. Das ist ein weiterer entscheidender Punkt, da die EEG-Umlage mit 6,17 ct/kWh im Jahr 2015 etwa 40 % des Strompreises für die Industrie (inkl. Stromsteuer) ausmacht (BMWi 2015). Eine vollständige Befreiung von der EEG-Umlage ist seit August 2014 für neue Anlagen nicht mehr möglich, wird aber bei bereits bestehenden Anlagen weiter gewährt (PwC 2014).

Soziale Rahmenbedingungen Die Motivation der Mitarbeiter eines Unternehmens lässt sich steigern, wenn die Mitarbeiter in die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen eingebunden werden und sich so jeder mit dem Unternehmen und den Produkten identifizieren kann. Dabei spielen nicht nur die eingesparten Energiekosten eine Rolle für das Unternehmen, sondern auch das zunehmende Nachhaltigkeitsbewusstsein der Kunden, die eine klimaneutrale Produktion bzw. klimaneutrale Produkte fordern (Gruber 2013).

Technische Rahmenbedingungen Seit 2014 sind die Wirkungsgradklassen für Drehstrom-Niederspannungsmotoren im Leistungsbereich 0,75 bis 1.000 kW durch die Norm IEC Netzmotoren 60034-30-1 neu definiert (Nau 2014; KSB 2015). Es gibt folgende vier Wirkungsgradklassen:

- IE1 = Standard Wirkungsgrad
- IE2 = Hoher Wirkungsgrad
- IE3 = Premium Wirkungsgrad
- IE4 = Super Premium Wirkungsgrad

Gemäß der Norm müssen ab Januar 2015 Motoren mit einer Leistung ab 7,5 kW der IE3-Klassifizierung entsprechen. Die nächste Stufe, IE4, ist erst ab 2017 Pflicht und soll die Verluste gegenüber IE3-Motoren zwischen 10 und 24 % verringern (Nau 2014).

Gesetzliche Rahmenbedingungen Die EU-Energieeffizienzrichtlinie, die im Jahr 2012 vom EU-Parlament verabschiedet wurde, legt nationale Energieeffizienzziele für 2020 fest. Zudem enthält die Richtlinie verpflichtende Energieeinsparungen der Mitgliedsstaaten von jährlich durchschnittlich 1,5 % im Zeitraum 2014 bis 2020 (BMWi 2014b). Ein weiterer Kernpunkt der Richtlinie ist, eine Sanierungsrate für Gebäude der Zentralregierung von 3 % pro Jahr. Für Unternehmen gibt es eine verpflichtende Durchführung regelmäßiger

Energieaudits sowie eine verpflichtende Kosten-Nutzen-Analyse bei Neubau oder Modernisierung von Kraftwerken und Industrieanlagen.

Mit Einführung der Norm DIN EN ISO 50001 „Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung“ im Jahr 2011 existiert eine global gültige, sektorübergreifende Managementsystemnorm, die Unternehmen bei dem Aufbau eines systematischen Energiemanagements leitet und unterstützt. Ziel des Energiemanagements ist es, spezifische Energieziele zu definieren, Energieverbräuche transparent zu machen und kontinuierlich zu senken. Daraus resultierend soll die Energieproduktivität nachhaltig gesteigert werden. Ein Energiemanagementsystem identifiziert und quantifiziert alle relevanten Energieströme und ermöglicht somit eine möglichst hohe Verbrauchs- und Kostentransparenz. (DIN EN ISO 50001)

Entwicklung der Energiepreise Die Entwicklung der Energiepreise ist einer der zentralen Treiber der Energieeffizienz. Grund hierfür ist, dass die Energiepreise die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energieeffizienz bestimmen. Bei momentan eher niedrigen bzw. sinkenden Energiepreisen kann das auch zu einem Rückgang der Energieeffizienzinvestitionen führen (s. Abb. 1.2). Mittel- bis langfristig werden die Energiepreise für Öl und Gas gemäß Schlesinger allerdings steigen (Schlesinger et al. 2014).

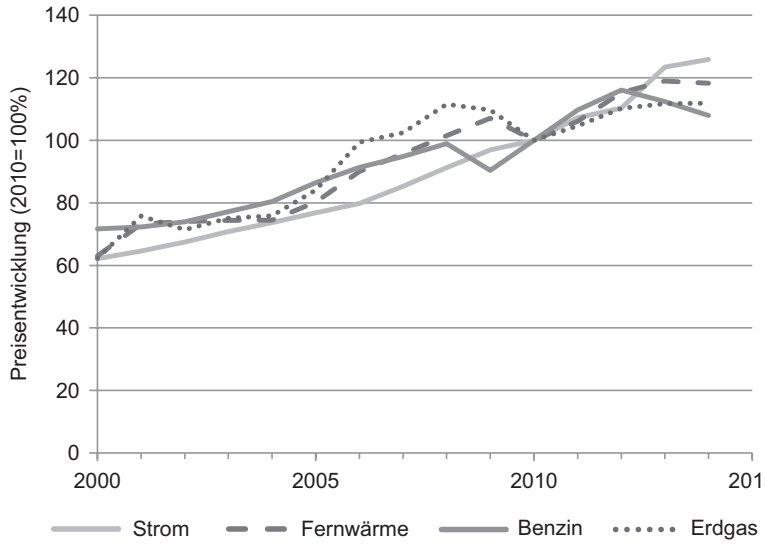

Abb. 1.2 Entwicklung des Verbraucherpreisindex für Endkunden in Deutschland (StBA 2016)

Energiewende in Deutschland Die Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung in den Bereichen Strom, Wärme und Mobilität wird in Deutschland unter dem Begriff „Energiewende“ geführt. Dieser, erstmals Ende der 1980er-Jahre vom Öko-Institut verwendete Begriff beschreibt die Schaffung einer vollständigen Versorgung durch erneuerbare Energien (Krause et al. 1981). Als Grundlage zur Umsetzung der Energiewende dient das Energiekonzept der Bundesregierung (BMWi 2010b). Darin wird als Ziel eine nahezu klimaneutrale, auf erneuerbaren Energien basierende, Energieversorgung bis zum Jahr 2050 vorgegeben. Das im September 2010 beschlossene Konzept baut, unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien der künftigen Energieversorgung (Schlesinger et al. 2010), auf eine möglichst marktorientierte Förderung von Technologien sowie Energieeinsparungen bei den Endverbrauchern (BMWi 2010b). Zentrale Elemente dieser langfristigen Gesamtstrategie sind u. a.:

- Die Senkung des Primärenergieverbrauchs bis 2020 um 20 % gegenüber 2008 und bis 2050 um 50 %.
- Die Verdopplung der Energieproduktivität bis 2020 gegenüber 1990 und weitere Steigerung um durchschnittlich 2,1 % pro Jahr bis 2050, bezogen auf den Primärenergieverbrauch.
- Die Senkung des Stromverbrauchs um 10 % bis 2020 und 25 % bis 2050.
- Die Minderung des Wärmebedarfs des Gebäudebestands um 20 % bis 2020 und die Schaffung eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands durch Senkung des Primärenergiebedarfs um 80 % bis 2050.
- Die Verdopplung der Sanierungsrate für Gebäude von jährlich weniger als 1 % auf 2 % des gesamten Gebäudebestands zur Reduzierung des Wärmebedarfs.
- Die Minderung des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor um 10 % bis 2020 und um 40 % bis 2050 gegenüber 2005.

Unter dem Eindruck der Katastrophe in den Reaktorblöcken eins bis vier des Kernkraftwerks Fukushima Daiichi, Japan, zu Anfang des Jahres 2011, verabschiedete der Bund ein Gesetzespaket zur Beschleunigung der Energiewende. Darin werden u. a. folgende Punkte geregelt (Bundestag 2011):

- der Komplettausstieg aus der friedlichen Nutzung der Kernenergie bis zum Jahr 2022 (BMWi und BMU 2012),
- die Schaffung eines Energie- und Klimafonds,
- Neuregelungen zum Ausbau der Erneuerbaren Energien und zur Beschleunigung des Netzausbaus sowie
- Eckpunkte der Energieeffizienz.

Damit übernimmt die Bundesrepublik Deutschland weltweit eine führende Rolle im Bereich der nachhaltigen Entwicklung im Energiesektor (BMWi 2010a). Neben der Technologie-, Markt- und Innovationsführerschaft u. a. bei Wind- und Solarenergie sowie einer Reihe von Energieeffizienztechnologien gelten politische Instrumente wie die Einspeisevergütung des EEG als Vorlage für Nachhaltigkeitsmaßnahmen weltweit (Couture et al. 2010). Weitere politische Maßnahmen finden sich auf der Ebene des Bundes, der Länder sowie Kommunen. Hier sind u. a. ordnungspolitische (z. B. Energieeinsparverordnung) und fiskalpolitische (z. B. ökologische Steuerreform) Regelungen zu nennen (BMWi 2013). Darüber hinaus bietet die staatliche KfW Bankengruppe eine Reihe von Förderprogrammen für den Gebäudebereich sowie umfassende Energieberatungen an (KfW 2014).

1.5 Indikatoren der Energieeffizienz

Energieeffizienz ist ein generischer Begriff, für den kein einheitliches Maß existiert (Patterson 1996). Vielmehr wird durch Abstraktion relevanter Attribute auf eine Gemeinsamkeit geschlossen. Der effiziente Einsatz von Energie kann also nur als Kennzahl verstanden werden, indem der Faktor Energie auf eine weitere Größe bezogen wird. Die Bezugsgrößen und Bilanzrahmen können sich, je nach Betrachtung, allerdings erheblich unterscheiden. Beispielsweise kann aus makroökonomischer Perspektive der gesamte Primärenergieverbrauch Deutschlands auf das Bruttoinlandsprodukt bezogen werden (Pehnt 2010).

Für die mikroökonomische Analyse eines Gebäudes macht dagegen die Betrachtung des Endenergieeinsatzes pro m^2 Gebäudefläche Sinn. Die makroökonomische Analyse wird daher als Top-Down, die mikroökonomische als Bottom-Up-Ansatz bezeichnet. Im Detail bezeichnet der Bottom-Up-Ansatz das „Auszählen“ von Effekten und Effizienzentwicklung auf Ebene von Einzelmaßnahmen oder Einzelobjekten, wie der Betrachtung einer einzelnen Produktionsanlage in einem Fertigungsbetrieb (VDMA Forum Energie 2009).

Durch Auswertung der Einzeleffekte werden daraufhin Rückschlüsse innerhalb eines festgelegten Bilanzrahmes gezogen. Die Betrachtung unterschiedlicher Ebenen ist aus diversen Gründen sinnvoll. Die makroökonomische Bewertung erfolgt auf der Ebene ganzer Volkswirtschaften oder einzelner Wirtschaftssektoren (Pehnt 2010). Auf diese Weise können Entwicklungen betrachtet und in einen globalen Zusammenhang gestellt werden. Werden gezielt Haushalte oder einzelne Produktionslinien auf Energieeffizienz untersucht, spricht man von einer mikroökonomischen Analyse. Politische Vorgaben und Gesetze sind gewissermaßen durch eine ‚Top-Down-Up‘-Strategie gekennzeichnet. Zunächst werden auf makroökonomischer Ebene der Istzustand erfasst und Zielvorgaben festgelegt, welche dann über Gesetze und Verordnungen an Haushalte und Unternehmen kommuniziert werden. Der Erfolg eines politischen Instrumentes wird wiederum auf makroökonomischer Ebene erfasst und bewertet. Gegebenenfalls sind Anpassungen erforderlich. (Pehnt 2010)

Abb. 1.3 zeigt die zeitliche Entwicklung der makroökonomischen Indikatoren der Energieeffizienz in Deutschland von 1990 bis 2014. In den vergangenen Jahren ist die Energieproduktivität in Deutschland kontinuierlich gestiegen – im Zeitraum von 1990 bis 2014 um durchschnittlich 1,89 % pro Jahr. In den 90er-Jahren stieg die Energieproduktivität durchschnittlich um 2,16 % pro Jahr, wohingegen sie Anfang der 2000er bis zur Finanzkrise 2008 nur um 1,41 % pro Jahr gestiegen ist. Seit der Finanzkrise (ab 2009) bis 2013 hat die Energieproduktivität ungefähr wieder das jährliche Durchschnittswachstum der 90er von 2,21 %. Allerdings ist das Ziel der Bundesregierung, die Energieproduktivität bis 2020 gegenüber 1990 zu verdoppeln, noch nicht erreicht. Die Energieintensität sank im gleichen Zeitraum durchschnittlich um 1,81 %. Die Energieintensität pro Kopf ist dagegen nur um durchschnittlich 0,52 % pro Jahr gesunken. Im Vergleich dazu ist die Stromintensität – kWh Stromverbrauch je Tsd. € BIP – über den gesamten Zeitraum um durchschnittlich 1,05 % gesunken und damit geringer als die Energieintensität. Daraus lässt sich schließen, dass die Brennstoffintensität stärker gefallen sein muss, als die Stromintensität.

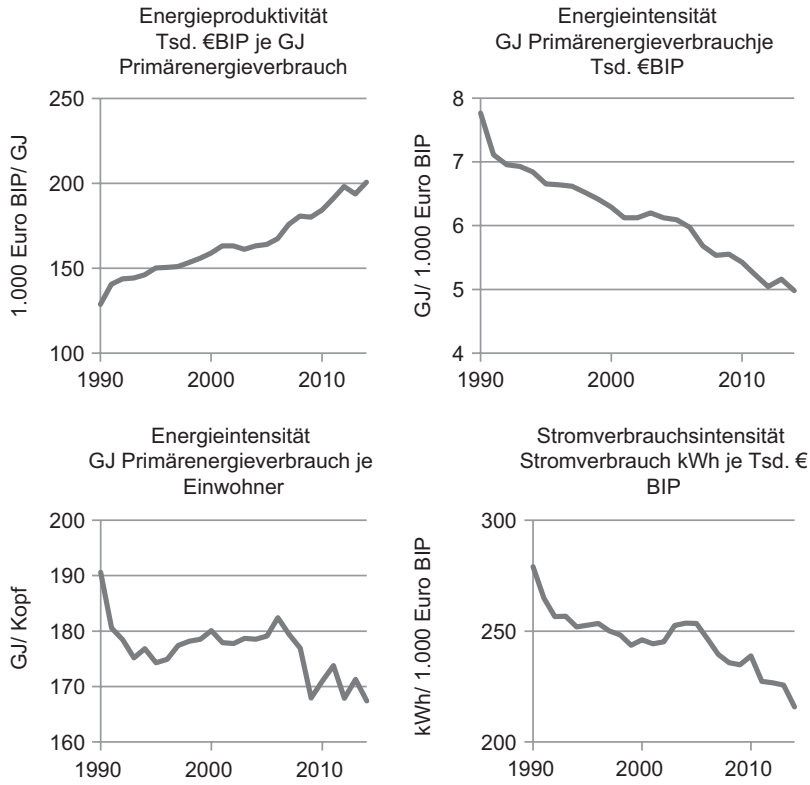

Abb. 1.3 Makroökonomische Indikatoren der Energieeffizienz in Deutschland von 1990 bis 2014 (AGEB 2015a; Pehnt 2010)

In den weiteren Kapiteln der Metastudie wird die methodische Vorgehensweise erläutert und der Aufbau der Kapitel Industrie, Gebäude und Verkehr. Im Kapitel Globale Betrachtung wird die Energieeffizienzpolitik in Deutschland, Europa und weltweit beschrieben sowie die volkswirtschaftlichen Einflussfaktoren. In den drei anschließenden Kapiteln Industrie, Gebäude und Verkehr wird die aktuelle Entwicklung des jeweiligen Sektors analysiert, die identifizierten Energieeffizienzpotenziale aufgezeigt und Umsetzungsmöglichkeiten beschrieben.

Literatur

AGEB (2013) AG Energiebilanzen e.V. (Hg.): Energieflussbild 2012 für die Bundesrepublik Deutschland in Petajoule. 2013. Online verfügbar unter http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=energieflussbild-2012-pj_kurz_20130910.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

AGEB (2015a) AG Energiebilanzen e.V. (Hg.): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2014. Stand: August 2015. Berlin, Köln, 2015. Online verfügbar unter www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ausw_25082015_ov.xls, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

AGEB (2015b) AG Energiebilanzen e.V. (Hg.): Definitionen/Methodik. 2015. Online verfügbar unter http://www.ag-energiebilanzen.de/31-0-DefinitionenMethodik.html, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Amprion (2015) Amprion GmbH (Hg.): KWK-Aufschlag 2016. KWKG-Aufschläge vor dem Hintergrund der KWKG-Novelle 2016. Dortmund, 2015. Online verfügbar unter http://www.amprion.net/kwk-aufschlaege, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Baehr und Kabelac (2012) Baehr, H. D.; Kabelac, S.: Thermodynamik. Grundlagen und technische Anwendungen. 15. überarb. Aufl. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 2012. ISBN: 978-3-642-24160-4.

Bardt et al. (2014) Bardt, H.; Chrischilles, E.; Growitsch, C. et al.: Eigenerzeugung und Selbstverbrauch von Strom. Stand, Potentiale und Trends. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (Hg.). Köln, 2014. Online verfügbar unter https://www.bdew.de/internet.nsf/id/3D07D0E3866043D0C1257CB30034DC29/$file/EWI_IW_Gutachten_Eigenerzeugung_Selbstverbrauch_04042014.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

BMWi (2010a) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hg.): Energieeffizienz – Made in Germany. Energieeffizienz im Bereich Industrie, Gebäudeanwendungen und Verkehr. Berlin, 2010. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/broschuere-energieeffizienz-made-in-germany,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

BMWi (2010b) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hg.): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin, 2010. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiekonzept-2010,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

BMWi (2013) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hg.): Energie in Deutschland. Trends und Hintergründe zur Energieversorgung. Berlin, 2013. Online verfügbar unter http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Bilder/Service/Publikation/energie-in-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

BMWi (2014a) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hg.): Die Energie der Zukunft. Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende. Berlin, 2014. Online verfügbar unter http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/fortschrittsbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

BMWi (2014b) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hg.): EU-Energieeffizienz-Richtlinie. Berlin, 2014. Online verfügbar unter http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energieeffizienz/eu-energieeffizienz-richtlinie.html, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

BMWi (2015) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.): EEG-Umlage 2016: Fakten & Hintergründe. Berlin, 2015. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eeg-umlage-2016-fakten-hintergruende,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

BMWi und BMU (2012) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.): Energiewende auf gutem Weg. Ein Jahr nach den Energiewendebeschlüssen vom 6. Juni 2011. Berlin, 2012. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiewende-auf-gutem-weg-ein-jahr,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Bundesregierung (2002) Bundesregierung (Hg.): Nachhaltigkeitsstrategie. Die nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Berlin, 2002. Online verfügbar unter https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Nachhaltigkeitsstrategie/1-die-nationale-nachhaltigkeitsstrategie/nachhaltigkeitsstrategie/_node.html;jsessionid=AC3D56261F4097BE624EA9618FF04F10.s7t1, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Bundestag (2011) Bundestag: Dreizehntes Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes., vom Vom 31.07.2011. Bundestag. In: Bundesgesetzblatt 2011 (43). Online verfügbar unter http://fzu.rewi.hu-berlin.de/doc/rechtsentwicklung/bgbl111s1704.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Ciroth et al. (2011) Ciroth, A.; Finkbeiner, M.; Hildenbrand, J. et al.: Towards a Life Cycle Sustainability Assessment. Making informed choices on products. United Nations Environment Programme; Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Life Cycle Initiative (Hg.). Paris, 2011. Online verfügbar unter http://www.unep.org/pdf/UNEP_LifecycleInit_Dec_FINAL.pdf, zuletzt geprüft am 19.02.2016.

Couture et al. (2010) Couture, T. D.; Cory, K.; Kreycik, C. et al.: A Policymaker's Guide to Feed-in Tariff Policy Design. National Renewable Energy Laboratory (Hg.). Colorado, 2010. Online verfügbar unter http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/44849.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

DeCanio (1998) DeCanio, S. J.: The efficiency paradox: Bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments. In: Energy Policy, Jahrgang 26, Nr. 5, S. 441–454. Online verfügbar unter http://ac.els-cdn.com/S0301421597001523/1-s2.0-S0301421597001523-main.pdf?_tid=63132a38-dc6d-11e5-9b98-00000aab0f6c&acdnat=1456479987_239d5c6fab911568b4d3d4c22c6328a7, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

DIN EN ISO 50001 DIN EN ISO50001: Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Dezember 2011. Deutsches Institut für Normung e. V. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Online verfügbar unter http://fhgonline.fhg.de/bibliotheken/ipa/DIN-EN-ISO-50001.pdf, zuletzt geprüft am 22.04.2016.

EEP (2014) Institut für Energieeffizienz in der Produktion, Universität Stuttgart (Hg.): Energieeffizienz-Index. Erhebung 2. Halbjahr. 2014.

Erdmann und Zweifel (2008) Erdmann, G.; Zweifel, P.: Energieökonomik. Theorie und Anwendungen. Springer, Berlin, 2008. ISBN: 978–3540716983.

EU Kommission (2008) Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Hg.): Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über den Aktionsplan für Nachhaltgikeit in Produktion und Verbrauch und für eine nachhaltige Industriepolitik. Brüssel, 2008. Online verfügbar

unter http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008DC0397&from=EN, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

FIZ Karlsruhe (2000) Fachinformationszentrum Karlsruhe GmbH (Hg.): Energie im Wandel. Eggenstein-Leopoldshafen, 2000. Online verfügbar unter http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Basis_Energie/Basis_Energie_Nr._07/basis07internet_x.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Golove und Eto (1996) Golove, W. H.; Eto, J. H.: Market Barriers to Energy Efficiency: A Critical Reappraisal of the Rationale for Public Policies to Promote Energy Efficiency. University of California (Hg.). Berkeley, 1996. Online verfügbar unter http://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-38059.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Gruber (2013) Gruber, A.: Erfolgsfaktoren und notwendige Treiber für die Entwicklung des Energieeffizienzmarkts im Industriesektor. Berliner EnergietageForschungsgesellschaft für Energiewirtschaft GmbH: Energie- und Umweltmanagementberatung Pöschk. Berlin, 2013. Online verfügbar unter https://www.ffegmbh.de/download/veroeffentlichungen/357_energieeffizienz_energietage_berlin_2013/anna_gruber_energieeffizienzmarkt_industrie.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Haupt (2007) Haupt, S.: Die Kosten des Klimawandels. Ökonomische, ökologische und soziale Kosten der jetzigen und zukünftigen Klimaerwärmung. Grin Verlag, 2007. ISBN: 978–3638903615.

Howarth und Andersson (1993) Howarth, R. B.; Andersson, B.: Market barriers to energy efficiency. In: Energy Economics, Jahrgang 15, Nr. 4, S. 262–272. Online verfügbar unter http://ac.els-cdn.com/014098839390016K/1-s2.0-014098839390016K-main.pdf?_tid=f79de85a-d6fa-11e5-88d0-00000aacb35e&acdnat=1455881089_8ca04d91a3484e895df3d062b555a204, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

IEA (2012a) International Energy Agency (Hg.): World Energy Outlook 2012. Paris, 2012. Online verfügbar unter http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2012_free.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

IEA (2012b) International Energy Agency (Hg.): World Energy Outlook 2012. Zusammenfassung. Paris, 2012. Online verfügbar unter http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/german.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Jaffe und Stavins (1994) Jaffe, A. B.; Stavins, R. N.: The energy-efficiency gap. What does it mean? In: Energy Policy, Jahrgang 22, Nr. 10, S. 804–810. Online verfügbar unter http://scholar.harvard.edu/files/stavins/files/the_energy_efficiency_gap.pdf?m=1440012135, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

KfW (2014) KfW Bankengruppe (Hg.): Geschäftsbericht 2014. Frankfurt am Main, 2014. Online verfügbar unter https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Finanzpublikationen/PDF-Dokumente-Berichte-etc./1_Gesch%C3%A4ftsberichte/Gesch%C3%A4ftsbericht_2014_D.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Krause et al. (1981) Krause, F.; Bossel, H.; Müller-Reißmann, K. F.: Energie-Wende. Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran. Ein Alternativ-Bericht des Öko-Instituts/Freiburg. 3. Aufl. S. Fischer Verlag, Frankfurt/M., 1981. ISBN: 978–3100077059.

KSB (2015) KSB Aktiengesellschaft (Hg.): Wirkungsgradklasse. Frankenthal, 2015. Online verfügbar unter https://www.ksb.com/Kreiselpumpenlexikon_de/wirkungsgradklasse/187964, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

LFU (2015) Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hg.): KWKG - Kraftwärmekopplungsgesetz. Augsburg, 2015. Online verfügbar unter http://www.izu.bayern.de/recht/detail_rahmen.php?pid=110601010013, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Mittelmaier et al. (2011) Mittelmaier, M. F.; Bröer, J.; Kokkeel, R.: Sustainable supply chain management. Vergleich emissionsarmer Antriebstechniken für die urbane Versorgung. 1. Auflage. Grin Verlag, München, 2011. ISBN: 978-3-640-80747-5.