

Quantifizierung der langfristigen Entwicklung des Nutzungsgrades von Anlagen und Geräten im Wohnungssektor in Deutschland und Bestimmung zukünftiger Energieeinsparpotenziale im Hinblick auf die Klimaschutzziele der Bundesregierung

Aner Martinez Soto¹, Mark F. Jentsch²

¹ *Bauhaus-Universität Weimar, 99423 Weimar, E-Mail: aner.martinez.soto@uni-weimar.de*

² *Bauhaus-Universität Weimar, 99423 Weimar, E-Mail: mark.jentsch@uni-weimar.de*

Einleitung

Etwa ein Viertel des gesamten Endenergieverbrauchs (26 %) in Deutschland entfällt auf den Wohnungssektor, womit dieser Sektor einen erheblichen Anteil am möglichen Energieeinsparpotenzial birgt. Im Hinblick auf das Klimaschutzziel der Bundesregierung die CO₂-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 40 % zu verringern [1], stellt sich daher die Frage, welche Einsparpotenziale im Wohnungssektor tatsächlich vorhanden sind und wie diese quantifiziert werden können.

In dieser Arbeit wird der Einflussgrad der Parameter, die den Endenergieverbrauch bestimmen, mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse ermittelt. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen, dass unter den einflussreichsten Parametern bezogen auf den Endenergieverbrauch der Innentemperaturbedarf, die Länge der Heizperiode, die Außentemperatur (Gradtagzahl) und die Anzahl der Wohnungen sind. Dies sind Parameter, die nicht durch Verordnungen regulierbar sind. Einer der regulierbaren Parameter, der einen bedeutenden Einfluss auf den Endenergieverbrauch ausübt, ist der Nutzungsgrad der Anlagen/Geräte für Raumwärme, Warmwasser und Kochen (sowie zu einem geringen Teil der Wirkungsgrad der eingesetzten Beleuchtung).

Im Hinblick auf das oben genannte Klimaschutzziel werden in dieser Arbeit verschiedene Entwicklungsszenarien auf Basis des Nutzungsgrades der Anlagen entsprechend der Energiequellen analysiert. Hierbei wird aufgezeigt, dass das theoretische Energieeinsparpotenzial im deutschen Wohnungssektor durch die Veränderung des durchschnittlichen Nutzungsgrades bei nur ca. 11% liegt. Das bedeutet, dass eine deutliche Reduktion des Endenergiebedarfs im Wohnungssektor nur stattfinden kann, wenn andere oder zusätzliche Energieeinsparmaßnahmen durchgeführt werden. Basierend auf den Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse werden hierzu Empfehlungen gegeben.

Herangehensweise und Ergebnisse

Ermittlung der einflussreichsten Parameter auf den Endenergieverbrauch im Wohnungssektor

Zur Identifizierung der einflussreichsten Parameter auf den Endenergieverbrauch im deutschen Wohnungssektor wurde der Endenergieverbrauch im Wohnungssektor im Zeitraum 1990-2010 mit Hilfe der folgenden Modelle quantifiziert: MAED-2 [2], BREHOMES [3], ECCABS [4] und CDEM [5]. Eine Verwendung dieser Modelle ermöglicht eine Bewertung der Auswirkungen des Nut-

zerverhaltens (Innentemperaturbedarf, Heizungsregime) und der technologischen Entwicklungen (Verbesserung der Gebäudedämmung, Effizienz der Anlagen und Haushaltsgeräte) auf den gesamten Endenergieverbrauch.

Für jedes dieser Modelle wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse können die Abweichungen in den Ergebnissen eines Modells bei kleinen Änderungen der Eingangsparameter bestimmt werden [6]. In dieser Studie werden die Änderungen der Eingangsparameter für jedes Modell in Intervallschritten von 1% durchgeführt. Ein objektiver Vergleich des Einflusses der einzelnen Eingangsparameter wird mit Hilfe der sogenannten „normalisierten Sensitivitätskoeffizienten“ erreicht [7]. Hierbei ist allerdings anzumerken, dass für gleiche Eingangsparameter in Abhängigkeit vom Modell unterschiedliche Werte für die normalisierten Sensitivitätskoeffizienten erzielt wurden. Nichtsdestotrotz stimmt die Reihenfolge der Eingangsparameter, geordnet nach ihrem Einfluss auf das Modell, für alle Modelle überein. Somit ist für alle vier untersuchten Modelle der Parameter „Anzahl der Wohnungen“ der einflussreichste bezogen auf den Endenergieverbrauch im Wohnungssektor, gefolgt von den Eingangsparametern, die einen Einfluss auf den Endenergiebedarf in den Bereichen Raumwärme, Warmwasser, Kochen, Beleuchtung und Elektrogeräte ausüben.

In Tabelle 1 sind absteigend die zehn einflussreichsten Parameter für den Endenergieverbrauch sowie die normalisierten Sensitivitätskoeffizienten für jeden Eingangsparameter entsprechend den Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse für die einzelnen Modelle dargestellt. Hierbei ist anzumerken, dass die Größe der normalisierten Sensitivitätskoeffizienten im direkten Verhältnis zur prozentualen Veränderung der Ausgangsvariablen steht [5]. So bewirkt zum Beispiel eine Veränderung von 1% des einflussreichsten Parameters („Anzahl der Wohnungen“), je nach Modell, eine Abweichung des Endenergieverbrauchs um 2 bis 2,02%. Wie bereits erwähnt, können viele Parameter, die in der Tabelle 1 dargestellt sind, nicht durch Verordnungen reguliert werden. Der einflussreichste Parameter, mit welchem eine Reduktion des Endenergieverbrauchs durch eine Verbesserung der Technologie erreicht werden kann und der gleichzeitig durch Verordnungen regulierbar ist, ist der Nutzungsgrad von Heizungsanlagen. Daher werden im Folgenden die Nutzungsgrade von Anlagen und Geräten näher betrachtet.

Tabelle 1: Die einflussreichsten Eingangsparameter für die vier untersuchten Energiemodelle mit den dazugehörigen normalisierten Sensitivitätskoeffizienten

Eingangsparameter	Normalisierte Sensitivitätskoeffizienten
Anzahl der Wohnungen ¹ [-]	2 bis 2,02
Innentemperatur ² [°C]	1,6 bis 1,9
Nutzungsgrad der Heizungsanlagen [%]	-1,17 bis -1,72
Durchschnittliche Wohnfläche der Wohnungen [m ²]	0,31 bis 1,18
Spezifischer Wärmeverlust ³ [Wh/(m ² *K*a)]	0,25 bis 1,18
Luftwechselrate [h ⁻¹]	0,36 bis 0,83
Durchschnittliches Volumen der Wohnungen [m ³]	0,39 bis 0,84
Länge der Heizperiode ² [h]	0,56 bis 0,75
Außentemperatur ² [°C]	-0,58 bis -0,72
Fläche der Bauteile (Außenwände, Dach, Boden) [m ²]	0,15 bis 0,58

¹ Die Anzahl der Wohnungen wird in den Modellen BREHOMES und MAED-2 in Abhängigkeit der Bevölkerungsentwicklung und der Anzahl der Personen pro Wohnung oder bzw. pro Wohnfläche bestimmt.

² Diese Faktoren werden in MAED-2 zur Bestimmung der Gradtagzahl (Kd) verwendet. Der Sensitivitätskoeffizient für die Gradtagzahl bei MAED-2 beträgt 1,48.

³ Hier werden die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile (Außenwände, Dach, Boden, Fenster, Türen), Außentemperatur und die Fläche der Bauteile betrachtet.

Entwicklung des Nutzungsgrades und Nutzenergieverbrauchs

Zur Ermittlung des Energieeinsparpotentials bezüglich des Nutzungsgrades wurden Daten verschiedener Studien untersucht, um die langfristige Entwicklung des Nutzungsgrades von Anlagen und Geräten im Zeitraum von 1990 bis 2010 zu bestimmen.

Bei der Sichtung relevanter Datensätze wurde festgestellt, dass bisher noch keine repräsentative Studie erstellt worden ist, welche deutlich die langfristige Entwicklung des Nutzungsgrades von Heizungsanlagen aufzeigt. Die meisten Studien liefern nur gemittelte Daten, die im Kontext des jeweiligen Publikationsjahres der Daten zu sehen sind, aber keine lückenlosen Informationen über eine fortlaufende Entwicklung geben. Obwohl die Werte des Nutzungsgrades in den verschiedenen Studien nicht immer übereinstimmen, ist generell mit der Zeit eine deutliche Verbesserung des Nutzungsgrades der Geräte zu beobachten. Weiterhin ist eine ausreichende Datenbasis vorhanden, um repräsentative Trendlinien (Sättigungskurven), insbesondere im Bereich Raumwärme und Warmwasser, darstellen zu können. Unter Zuhilfenahme von Daten verschiedener Quellen [8-23] sowie von Sätti-

gungskurven, die grafisch das Leistungspotenzial einer Technologie in Abhängigkeit von der Zeit veranschaulichen, wurde die Entwicklung der Nutzungsgrade der Anlagen/Geräte entsprechend der Energiequellen zwischen 1990 und 2010 ermittelt. Abbildung 1 verdeutlicht dies am Beispiel der Entwicklung des Nutzungsgrades von Ölheizungsanlagen.

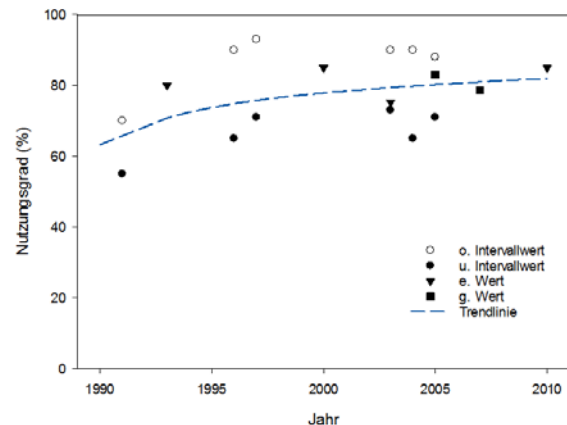


Abbildung 1: Entwicklung des Nutzungsgrades von Ölheizungsanlagen in Deutschland. Hierbei gilt folgendes: weißer Kreis = oberer Intervallwert von Studien mit Intervallbereich, schwarzer Kreis = unterer Intervallwert von Studien mit Intervallbereich, schwarzes Dreieck = Einzelwert von Studien ohne Intervallangaben, schwarzes Quadrat = Gesamtnutzungsgrad nach Nutzungsbereich unabhängig vom Energieträger, z.B. für Raumwärme allgemein. (Datenquellen: [8,9,12,13,15,16,17, 18,19,20,22])

In Abbildung 1 ist zu beachten, dass die Nutzungsgrade der Ölheizungsanlagen aus den Studien von Hauser und Hausladen [12], GRE [22], IWU [17], Wagner et al. [18], Joss [15] und Loga et al. [16] aus Mittelwerten der angegebenen Nutzungsgradbereiche entstanden sind. Zudem werden einzelne Werte der Studien von Hauser und Hausladen [13], FfE [9] und Probas (für die Jahre 2000 und 2010) [20] sowie der Gesamtnutzungsgrad für Raumwärme aus Prognos AG and Öko-Institut [8] und Tzscheuschler et al. [19] in Abbildung 1 mit berücksichtigt.

In der Abbildung 1 ist eine deutliche Tendenz zur Verbesserung der Gerätenutzungsgrade zu beobachten, die in zwei Phasen unterteilt ist. Die erste Phase stellt eine starke Verbesserung des Nutzungsgrades über den Zeitraum 1990-1997 dar; die zweite Phase (1998-2010) besteht aus einer langsamen jährlichen Verbesserung. Im Jahr 2010 erreichte der mittlere Nutzungsgrad von Ölheizungsanlagen entsprechend dieser Analyse einen Wert von 85%. Die Streuung der Mittelwerte aller Studien in Bezug auf den hieraus abgeleiteten Trend beträgt nicht mehr als 13%. Dieses zeigt, dass eine signifikante Ähnlichkeit der Werte vorhanden ist.

Das gleiche Verfahren wurde zur Bestimmung der Entwicklung der Nutzungsgrade für jede Art der Energienutzung im Wohnungssektor (Raumwärme, Warmwasser,

Kochen, Beleuchtung, Elektrogeräte) sowie Energiequelle (Heizöl, Gas, Strom, Fernwärme, Kohle und sonstigen inkl. erneuerbare Energien) verwendet.

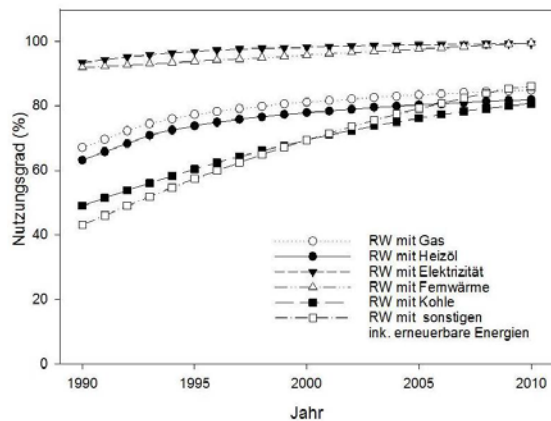


Abbildung 2: Entwicklung des Nutzungsgrads im Bereich Raumwärme (RW) mit verschiedenen Energiequellen. für Raumwärme allgemein.

Die Ergebnisse der Nutzungsgradentwicklung im Bereich Raumwärme in Abbildung 2 zeigen, dass am Anfang des betrachteten Zeitraums der Unterschied der Nutzungsgrade in Abhängigkeit der Energiequelle deutlicher größer ist (50 %-Punkte) als am Ende des Zeitraums (19 %-Punkte). Außerdem ist zu anzumerken, dass die Verbesserung des Nutzungsgrades am deutlichsten bei Anlagen, die mit Heizöl, Gas, Kohle oder sonstigen Energiequellen inkl. der erneuerbaren Energien betrieben werden, zu erkennen ist. Hierbei ist zu erwähnen, dass der Anteil der Energiequellen Gas und Heizöl am Endenergieverbrauch für die Raumheizung im betrachteten Zeitraum (1990-2010) relativ konstant geblieben ist (zwischen 76% und 83%), während die Nutzung von Kohle von 4,4 auf 0,7% gesunken und die Verwendung der erneuerbaren Energien von 3 auf 12 % gestiegen ist. Eine ähnliche Situation wie bei der Raumwärme ist, wie aus Abbildung 3 ersichtlich wird, bei der Entwicklung des Nutzungsgrads im Bereich Warmwasserbereitstellung zu verzeichnen.

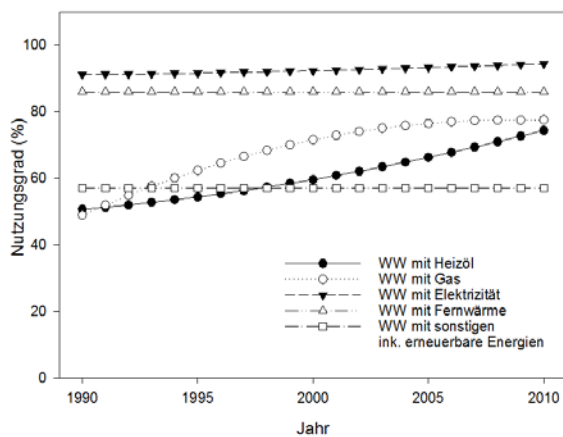


Abbildung 3: Entwicklung des Nutzungsgrads im Bereich Warmwasserbereitstellung (WW) mit verschiedenen Energiequellen.

Bei der Entwicklung des Nutzungsgrads im Bereich Kochen ist festzustellen, dass in den meisten Fällen elektrische Geräte (ca. 85%) verwendet wurden. Daher betrug der Wirkungsgrad nahezu 100%. Beim Kochen mit Gas (ca. 15%) liegt der Wirkungsgrad bei 65%. Im Bereich der Beleuchtung ist zu beobachten, dass der durchschnittliche Nutzungsgrad der Leuchten bis 2005 konstant ca. 7 % betrug. Am Ende des betrachteten Zeitraums ist dieser Wert aufgrund der zunehmenden Verbreitung von Kompaktleuchtstofflampen im Wohnungssektor bis auf 30% gestiegen.

Die Ermittlung der Nutzungsgrade nach Energienutzungsbereich und Energiequelle ermöglicht in erster Linie die Berechnung des gesamten Nutzenergieverbrauchs im deutschen Wohnungssektor. Hierzu werden Daten zum Anteil der Energiequellen an den verschiedenen Nutzenergien im Wohnungssektor entsprechend Öko-Institut und FhG-ISI [24] verwendet. Diese Studie verfügt jedoch nur über Daten zum Anteil der Energiequellen für den Zeitraum zwischen 1996 und 2007. Da diese Arbeit den Zeitraum von 1990 bis 2010 betrachtet, werden zur Ergänzung der Datengrundlage, die fehlenden Daten im Zeitraum 1990-1995 und 2008-2010 interpoliert. Die Ergebnisse zur langfristigen Entwicklung des Nutzenergieverbrauchs im deutschen Wohnungssektor in Abbildung 4 zeigen, dass die Differenz zwischen Nutzenergieverbrauch und Endenergieverbrauch von 38% auf 23% im betrachtenden Zeitraum zurückgegangen ist. Weiterhin wurde festgestellt, dass das Energieeinsparpotenzial in Abhängigkeit von der Energiequelle beträchtlich variieren kann (um derzeit mehr als 35%).

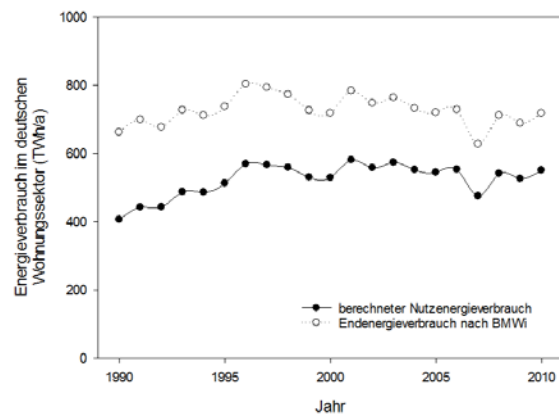


Abbildung 4: Vergleich zwischen der langfristigen Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach BMWi [25] und dem berechneten Nutzenergieverbrauch.

Bestimmung zukünftiger Energieeinsparpotenziale im Hinblick auf die Klimaschutzziele der Bundesregierung

Die Reduktion von Treibhausgasemissionen durch das sogenannte „Energiekonzept 2010“ ist ein zentrales Ziel der Klimapolitik der Bundesregierung. Hierbei sollen bis zum Jahr 2020 die Emissionen um mindestens 40 Prozent gegenüber 1990 gemindert werden [1].

Basierend auf den CO₂-Emissions-Daten aus der vom Öko-Institut und dem FhG-ISI [26] vorgelegten Studie und einer eigenen Berechnung mit Hilfe des CDEM Modells wurde ermittelt, dass die CO₂-Emissionen im Wohnungssektor im Jahr 1990 224 Mio. Tonnen betragen. Das heißt, dass unter der Voraussetzung, dass in allen Sektoren gleichmäßig eine Reduktion an CO₂-Emissionen um 40 Prozent gegenüber 1990 erfolgt, die CO₂-Emissionen im Wohnungssektor im Jahr 2020 134 Mio. Tonnen betragen sollten. Eine Minderung der CO₂-Emissionen kann hierbei durch die Substitution von fossilen Energieträgern und durch die Reduktion des Endenergiebedarfs erreicht werden.

Wenn man den hypothetischen Fall betrachtet, dass a) der Anteil an Energiequellen für alle Energienutzungen gleich bleibt, b) der zukünftige Endenergiebedarf nur vom Nutzungsgrad der Anlagen und Geräte abhängig ist und c) ein Nutzungsgrad der Anlagen und Geräte von 100% in Zukunft erreicht wird, würde theoretisch eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 28% gegenüber 1990 erzielt werden können.

Ein Nutzungsgrad von 100% ist jedoch im Prinzip nicht zu erreichen. Der erwartete Zielwert des Nutzungsgrades von Heizungsanlagen beispielsweise liegt bei 90%, der von Heizungsanlagen mit Trinkwassererwärmung sogar nur bei 85% [21] und der der Beleuchtung könnte voraussichtlich bis zu 60% betragen [23]. Unter diesen Bedingungen ist daher unter den oben genannten Voraussetzungen bis 2020 nur eine Reduktion der CO₂-Emissionen im Vergleich zu 1990 von bis zu maximal 11% zu erwarten.

Es ist weiterhin bekannt, dass der einflussreichste Parameter auf den Endenergieverbrauch im Wohnungssektor, i.e. die Anzahl der Wohnungen, nicht unverändert bleiben wird. Im letzten Jahrzehnt (2000-2010) wies die Anzahl der Wohnungen durchschnittlich eine jährliche Wachstumsrate von 0,7% auf [27], und eine Steigerung der Wachstumsrate für den Rest dieses Jahrzehntes (2015-2020) von mehr als 0,2 % ist zu erwarten [28,29]. Dies würde bei insgesamt gleichbleibendem Nutzungsgrad der Anlagen und Geräte bedeuten, dass der Endenergiebedarf aufgrund der Steigerung der Wohnungsanzahl auch unter Berücksichtigung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) [30] zwischen 5% und 14% ansteigen würde. Somit ist eine Reduktion des Endenergiebedarfs bzw. der CO₂-Emissionen im Wohnungssektor entsprechend den politischen Vorgaben allein durch die Steigerung des Nutzungsgrades nicht zu verwirklichen.

Aus diesem Grund müssen anderen Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen in Betracht gezogen werden. Das Ersetzen von fossilen Energiequellen durch erneuerbare Energien über die Vorgaben des EEWärmeG hinaus ist sicher eine wichtige Maßnahme. Wenn das angestrebte Ziel eines Anteils von erneuerbaren Energien

am Brutto-Endenergieverbrauch in Deutschland von 18% bis 2020 im Wohnungssektor erreicht würde [31], könnte so eine Reduktion der CO₂-Emissionen bis zu 5 % erzielt werden. Dies ist bei weitem nicht ausreichend, um im Wohnungssektor eine Reduktion von 40% bei den CO₂-Emissionen zu erreichen. Weitere durch gesetzliche Maßnahmen regelbare Einsparungen ließen sich demnach nur durch eine Verringerung des Wärmedurchgangskoeffizienten aller Bauteile (Außenwände, Dach, Boden, Fenster, Türen) erreichen. Würden beispielsweise die U-Werte aller Bauteile für alle vor 1970 gebauten Gebäude im Durchschnitt um 50% reduziert, hätte dies eine zusätzliche Reduktion des Endenergiebedarfs im Wohnungssektor um 40 % und der CO₂-Emissionen um 38% zur Folge. Die Kombination aller drei vorgestellten Maßnahmen: die Erhöhung des Nutzungsgrades von Anlagen und Geräten, eine teilweise Substitution der fossilen Energiequellen sowie eine Verringerung der Wärmedurchgangskoeffizienten von Bestandsgebäuden könnte demnach zur Erreichung der Ziele des „Energiekonzeptes 2010“ [1] beitragen. Das größte Potential liegt hierbei in der Verbesserung der U-Werte. Allerdings ist die hier vorgeschlagene Größenordnung als wenig realistisch einzuschätzen, so dass davon ausgegangen werden muss, dass die Emissionsziele im Wohnungssektor nicht erreicht werden können. Folglich müsste das Nichterreichen der Ziele im Wohnungssektor durch eine bessere Erfüllung in anderen Sektoren ausgeglichen werden.

Schlussfolgerung und Ausblick

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen, dass die einflussreichsten und gleichzeitig regulierbaren Parameter für den Endenergiebedarf im Wohnungssektor der Nutzungsgrad der Anlagen und Geräte und der Transmissionswärmeverlust sind.

Die in dieser Arbeit aufgezeigte Entwicklung des Nutzungsgrades der Anlagen und Geräte im deutschen Wohnungssektor zeigt, dass in den letzten zwei Jahrzehnten (1990-2010) eine deutliche Steigerung insbesondere in den Bereichen Raumwärme, Warmwasser und Beleuchtung zu beobachten war. Dies hatte eine Verringerung von 15%-Punkten in der Differenz zwischen Nutz- und Endenergieverbrauch im Zeitraum von 1990 bis 2010 zur Folge.

Im Hinblick auf die Klimaschutzziele der Bundesregierung ist nur durch das Zusammenspiel verschiedener Maßnahmen, das heißt der Erhöhung des Nutzungsgrades von Anlagen und Geräten, der Substitution von fossilen Energiequellen und der Reduzierung der Wärmedurchgangskoeffizienten von Bestandsgebäuden eine signifikante Reduktion der CO₂-Emissionen erreichbar. Es zeigt sich hierbei jedoch auch sehr deutlich, dass eine weitere Verbesserung des Anlagennutzungsgrades nur noch ein vergleichsweise geringes Potential besitzt und vor allem durch eine verbesserte Wärmedämmung von Bestandsgebäuden größere CO₂-Einsparungen erzielbar sind.

Literatur

- [1] BMUB: Die deutsche Klimaschutzpolitik, URL: <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimapolitik-der-bundesregierung/#c17576>
- [2] IAEA: Model for Analysis of Energy Demand (MAED-2) User's Manual, International Atomic Energy Agency, Wien, 2006
- [3] Shorrock LD, Dunster JE: The physically-based model BREHOMES and its use in deriving scenarios for the energy use and carbon dioxide emissions of the UK housing stock, *Energy Policy* 25 (1997), 1027-1037
- [4] Mata É, Kalagasidis AS, Johnsson F: A modelling strategy for energy, carbon, and cost assessments of building stocks, *Energy and Buildings* 56 (2013), 100-108
- [5] Firth SK, Lomas KJ, Wright AJ: Targeting household energy efficiency measures using sensitivity analysis, *Building Research & Information* 38 (2010), 25-41
- [6] Saltelli A, Chan K, Scott EM: Sensitivity Analysis, John Wiley and Sons publishers, New York, 2000
- [7] Hughes M, Palmer J, Cheng V, Shipworth D: Sensitivity and uncertainty analysis of England's housing energy model, *Building Research & Information* 41 (2013), 156-167
- [8] Prognose AG, Öko-Institut: Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, Prognos AG/ Öko-Institut, Basel / Berlin, 2009
- [9] Beer M, Corradini R, Fieger C, Gobmaier T, Köll L, Podhajsky R, Steck M, Zotz M: Endbericht Energiezukunft 2050, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München, 2009
- [10] Beer M, Corradini F, Gobmaier T, Köll L, Podhajsky R, Vogler G, Zotz M: CO₂-Verminderung in Deutschland, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., München, 2009
- [11] Jepsen D, Bost M, Meyer B, Hirschl B: Überarbeitung der Vergabegrundlage für das Umweltzeichen „Warmwasserspeicher“ (RAL-UZ 124), Institut für Ökologie und Politik GmbH - Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Hamburg / Berlin, 2011
- [12] Hauser G, Hausladen G: Energiekennzahl zur Beschreibung des Heizenergieverbrauchs von Gebäuden, Baucom, Böhl-Iggelheim, 1990
- [13] Hauser G, Hausladen G: Energiepaß Energetische Bewertung von Wohngebäuden mit Hilfe einer Energiekennzahl, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1993
- [14] Hauser G, Hausladen G, Otto F: Energieeinsparung im Gebäudebestand, Baucom, Böhl-Iggelheim, 1996
- [15] Joos L: Energieeinsparung in Gebäuden, Vulkan-Verlag GmbH, Essen, 2004
- [16] Loga T, Diefenbach N, Knissel J, Born R: Kurzverfahren Energieprofil, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, 2005
- [17] Loga T, Imkeller-Benjes U: Energiepaß Heizung/Warmwasser - Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, 1997
- [18] Wüstenrot Stiftung: Energieeffiziente Architektur, Krämer Verlag, Stuttgart, 2010
- [19] Tzscheuschler P, Nickel M, Wernicke I, Buttermann HG: Energieverbrauch in Deutschland Stand 2007: Daten, Fakten, Kommentare, BWK - Das Energie-Fachmagazin 58 (2009), 6-14
- [20] UBA: Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2013
- [21] Zürcher C, Frank T: Bauphysik Bau und Energie Leitfaden für Planung und Praxis, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 1997
- [22] GRE: Energieeinsparung im Gebäudebestand, BAUCOM, Böhl-Iggelheim, 1996
- [23] Messer W: Wie effizient ist LED-Beleuchtung?, URL: <http://fastvoice.net/2013/01/28/wie-effizient-ist-led-beleuchtung/>
- [24] UBA: Energieeffizienz in Zahlen, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2011
- [25] BMWi: Zahlen und Fakten Energiedaten - Nationale und internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin, 2013
- [26] UBA: Excel-Tool für das Projekt Energieeffizienz in Zahlen, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2011
- [27] DESTATIS: Gebäude und Wohnungen, Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden, Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden, Lange Reihen ab 1969 - 2013, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2010
- [28] Günther M, Hübl L: Wohnungsmangel in Deutschland? Regionalisierter Wohnungsbedarf bis zum Jahr 2025, Eduard Pestel Institut, Hannover, 2009
- [29] Bayern LB: Deutschland bis 2040 Langfristige Trends und ihre Bedeutung für den Immobilienmarkt, Bayerische Landesbank, München, 2009
- [30] Tuschinski M: EnEV '14+ EEWärmeG '11 Kurzinfor für die Praxis, Institut für Energie-Effiziente Architektur mit Internet-Medien, München, 2015
- [31] Richtlinie: 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, 2009