



Energiespareffekte und Kosten-Nutzen-Relationen
der energetischen Gebäudesanierung

Gutachten: Energetische Gebäudesanierung

Zusammenfassung

Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff

Braunschweig,
07.11.2020

Impressum

Titel des Gutachtens:

Energiespareffekte und Kosten-Nutzen-Relationen der energetischen Gebäudesanierung

Geschäftszeichen:

ZR5-1133-2020-008-15-PA18

Projektausschreibung:

Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag
Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Projektfinanzierung:

Deutscher Bundestag

Projektlaufzeit:

22.01.2020 – 30.09.2020

Verantwortliche Berichtverfasser:

Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff

Datenstand:

Braunschweig, 07.11.2020

Allgemeiner Hinweis zur Schriftfassung:

Im Rahmen der schriftlichen Ausführungen dieses Gutachtens wird zur Mehrzahlbildung von Personengruppen (bei Unkenntnis der Gruppenzusammensetzung) das generische Maskulinum verwendet. Zudem nennen sich die Autorin und der Autor in diesem Sinne vereinfachend „Gutachter“ (auch in Kenntnis der Geschlechter dieser Zweiergruppe).

Quelle Titelfoto:

Kati Jagnow

Verwendungshinweise aller anderen Grafiken und Tabellen:

Für alle Grafiken, die aus fremder Literatur direkt übernommen wurden, liegen Veröffentlichungsgenehmigungen vor, für welche sich die Gutachter bei den Fachkollegen ausdrücklich bedanken.

Zusammenfassung

Dem Gutachten wird eine zusammenfassende Darstellung wesentlicher Erkenntnisse vorangeschickt.

(1) Einstieg in das vorliegende Gutachten: Zentrale Fragestellung und Herangehensweise

Aus energie- und klimapolitischer Sicht kommt der Reduzierung des Energieverbrauchs im Gebäudebereich hohe Bedeutung zu. Insbesondere im Bestand von Wohn-, Büro- und Verwaltungsgebäuden werden hohe Einspareffekte gesehen. Um hier Investitionsmittel und Fördergelder effizient einzusetzen, bedarf es robuster und realistischer Daten bzgl. der erzielbaren Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenziale als Datengrundlage politischer Entscheidungen.

Das vorliegende Gutachten befasst sich vor diesem Hintergrund mit den gängigen Verbesserungsmaßnahmen an Gebäuden und stellt Einspareffekte (Endenergie, Treibhausgasemissionen, Primärenergie) sowie Kosten-Nutzen-Verhältnisse dar. Insbesondere die **Abweichungen zwischen errechneten und gemessenen Einspareffekten** sowie **Effekte der Qualitätssicherung** werden dabei näher beleuchtet. Es wird unterschieden zwischen rein anlagentechnischen Maßnahmen (Einbau von Wärmepumpen, Solarthermie, Photovoltaik usw.), rein baulichen Maßnahmen (Außenwanddämmung, Fenstertausch usw.) und Kombinationen aus beiden, einschließlich deren Wechselwirkungen.

Die Untersuchung verfolgt dabei für Einzel- und Paketmaßnahmen zunächst die **Mikroperspektive**, d. h. Lösungsoptionen auf Ebenen eines Gebäudes und der darin vorhandenen Technik. Das einzelne Gebäude – illustriert durch zwei Typgebäude (Ein- und Zweifamilienhaus EZFH und Mehrfamilienhaus MFH) – steht daher im Mittelpunkt. Weitgehend aus Praxis- und Feldmessungen ermittelte Kennwerte werden als Basis für real zu erwartende Energiebilanzen sowie Wirtschaftlichkeitsbewertungen der genannten Verbesserungsoptionen verwendet.

Als Fazit der Mikroanalyse ergibt sich u. a. eine Rangliste der Maßnahmen, wenn diese nach ihrem **äquivalenten CO₂-Preis** – dem Verhältnis von jährlichen Kapitalkosten zu eingesparten Emissionen bzw. nach den notwendigen Investitionen je jährlich eingesparten Emissionen – bewertet werden. Darüber hinaus lassen sich ggf. **notwendige Investitionskostenzuschüsse** zum Erreichen einer Grenzwirtschaftlichkeit bestimmen (Fördermittelaspekt). Auch potentiell **notwendige erhöhte Energieträgerpreise** (z. B. über eine zusätzliche Emissionspreiskomponente) bzw. generell andere Ansätze der Energieträgerbepreisung lassen sich hieraus ableiten.

Anschließend erfolgt in der **Makroperspektive** eine Betrachtung von Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen, in aggregierter Form, für Deutschland. Basis sind der deutsche Wohnbaubestand – mit seiner inhomogenen Struktur (Gebäudetypen, baulicher Zustand, anlagentechnische Ausstattung, Nutzung) sowie die Erkenntnisse aus der Mikroperspektive. Das Ziel ist die Einhaltung der vereinbarten Klimaschutzziele. Es wird in diesem Zusammenhang auch die Frage beantwortet, wieso verschiedene Studien zu teils sehr unterschiedlichen Aussagen bei ähnlicher Fragestellung kommen.

Übergeordnet werden im Rahmen des Gutachtens Aussagen getroffen, wie **Informationsgrundlagen für wirksame und effiziente Politikentscheidungen verbessert** werden können. Es werden **Handlungsoptionen** für (bundes-)politische Akteure aufgezeigt, die nach Ansicht der Gutachtet darauf abzielen, Energiespareffekte und Kosten-Nutzen-Relationen der energetischen Gebäudesanierung zu verbessern. Die für Bestandswohngebäude gewonnenen Erkenntnisse werden im Rahmen des Gutachtens qualitativ auf die Nichtwohnbauten sowie den Neubau übertragen.

Das Gutachten gliedert sich in einen **Hauptteil** (Kapitel 1) sowie **Anhänge** (Kapitel 2 bis 6) **mit Detaildarstellungen** zu den einzelnen Aspekten und Themengebieten. Es bezieht sich auf „Gebäude“, insbesondere die „bestehenden Wohngebäude“. Den Verfassern des vorliegenden Gutachtens ist bewusst, dass die Gebäudeentwicklung sehr eng an die Entwicklung der Energiewirtschaft und die anderen Verbrauchssektoren gekoppelt ist. Die relevanten Annahmen zu den gegebenen oder notwendigen Entwicklungen außerhalb des „Gebäudesektors“ werden entsprechend benannt.

(2) Der Wohngebäudebestand in Deutschland kurzgefasst in Zahlen: Typgebäude, typische Energiekennwerte und Emissionen

Das Gutachten verwendet die Erhebungen des statistischen Bundesamtes [1] als Datenbasis. In Deutschland gibt es demnach Stand Ende 2018 insgesamt 19,05 Mio. Wohngebäude, von denen 83 % Ein- und Zweifamilienhäuser sind, der Rest sind Mehrfamilienhäuser und in sehr geringer Zahl Wohnheime. Die Gebäude gliedern sich in 40,83 Mio. Wohneinheiten. Der Wohnungsbau umfasst 3,75 Mrd. Quadratmeter Wohnflächen. **Die pro Kopf verfügbare Wohnfläche steigt stetig an – seit 2010 jährlich um 0,3 m²/Person.** Sie lag Ende 2018 bei 45,9 m²/Person.

Im Bestand sind etwa 20,7 Millionen Wärmeerzeuger in Gebäuden installiert; diese Zahl hat sich in den letzten Jahren wenig geändert [2] [3] [4]. Der Markt ist dominiert von fossilen Energieträgern. Eine BDEW-Studie [5] kommt 2018 zu einem **mittleren Alter der Gebäudewärmeerzeuger von 17,0 Jahren.**

Neben den Wohnflächen und der Ausstattung mit Wärmeerzeugern lassen sich weitere Daten zu den Gebäuden erheben: Baualtersklassen, Belegungsdichten, Mengen und Qualitäten der Gebäudehülle, Vorhandensein verschiedener Zusatztechnologien (Lüftungsanlage, Solarthermie, Photovoltaik) u.v.m. Es entstehen **Typologien**, mit deren Hilfe der Gesamtenergieverbrauch, die Gesamtemissionen usw. des Sektors „Gebäude“ nachgebildet werden können. Dazu werden typische Vertreter von Gebäuden stellvertretend bilanziert.

Als Datengrundlage für die Wohnbaubewertung dieses Gutachtens dienen im Wesentlichen zwei Datenquellen: die Datenerhebungen von IWU [6] [7] und ARGE [8]. Die IWU-Typologie wird dabei genutzt, um **zwei Typgebäude** abzuleiten, siehe Tabelle 1. Weitere Eigenschaften werden im Punkt (9) der Zusammenfassung benannt.



		Ein- und Zweifamilienhaus EZFH	Mehrfamilienhaus MFH		
					
Stückzahl	[G]	15.837.211	3.216.005		
Grunddaten des Einzelobjektes					
Wohnfläche	[m ² /G]	141,6	470,0		
Personenbelegung	[P/G]	2,74	12,18		
pro-Kopf-Wohnfläche	[m ² /P]	51,6	38,6		
Gebäudehülle	[m ² /G]	370,7	829,3		
Endenergiebilanz					
Qualitätssicherung		mit	ohne	mit	ohne
Wärme	kWh/(m ² a)	163	189	134	156
davon Heizung ...	kWh/(m ² a)	137	160	102	122
... und Trinkwarmwasser	kWh/(m ² a)	26	29	32	34
Haushaltsstrom	kWh/(m ² a)	24	24	32	32

Tabelle 1 Kurzbeschreibung des Typ-EZFH und des Typ-MFH sowie Endenergiebedarf [eigene Darstellung] [eigene Bilder]

Werden alle Eigenschaften der beiden Gebäude auf ihre Durchschnittswerte festgelegt, entsteht die mittlere Energiebilanz für die Gebäude. **Unterstellt man 15 % der Gebäude mit und 85 % ohne Qualitätssicherung, ergibt sich für ein durchschnittliches EZFH ein wohnflächenbezogener Endenergiekennwert für Wärme von 183 kWh/(m²a). Das MFH weist 153 kWh/(m²a) auf, das Durchschnittsgebäude Deutschland 172 kWh/(m²a).** Dieser rechnerische Bedarf kann mit einem gemessenen Verbrauch verglichen werden.

Die Bedarfswerte decken sich gut mit realen Verbrauchsdaten aus kleineren verfügbaren Stichproben, z. B. ARGE [8] oder DENA [9] (brennwertbezogener Mittelwert aller Gebäude: EZFH ca. 173 kWh/(m²a), MFH ca. 158 kWh/(m²a)). **Die gute Übereinstimmung des berechneten Bedarfs und des gemessenen Verbrauchs war Ziel der Gutachter.** Sie tritt nicht zwangsläufig ein. Dies wird im Punkt (6) der Zusammenfassung weiter vertieft.

Der tatsächliche Gesamtverbrauch aller Gebäude ist nur näherungsweise gegeben. Eine **korrekte Mittelwertbildung aller ca. 19 Mio. Wohngebäude ist nicht möglich, weil die Verbrauchsdaten nicht flächendeckend erfasst werden**. Daher finden zwangsläufig Näherungsberechnungen statt. Maßgeblich ist die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen AGEB mit dieser Aufgabe betraut. Der Gesamtverbrauch der privaten Haushalte wird für das Jahr 2018 (ohne Witterungskorrektur, die zu einer Vergrößerung der Zahlen führen würde) mit etwa 650 TWh/a incl. etwa 125 TWh/a Haushaltsstrom beziffert, siehe Abbildung 1.

Es lässt sich feststellen, dass die AGEB-Werte für die Wohnbauten (beim Rückrechnen auf Einzelobjekte, also „Top-Down“) merklich geringer ausfallen als andere veröffentlichte Verbrauchskennwerte von Gebäuden. Eine Ursachenforschung kann im Rahmen des Gutachtens nicht erfolgen. Es bedarf nach Ansicht der Gutachter zunächst **einer breiteren Datenbasis** zur Beurteilung realer Verbrauchswerte für Wohn- und Nichtwohnbauten, mindestens unterteilt in die Anwendungssparten „Heizung“, „Warmwasser“, „Nutzerstrom“ sowie „Kälte/Raumluftechnik“. Das setzt voraus, dass eine nennenswerte Anzahl von Gebäuden entsprechende **Energiezähler** aufweist und mindestens eine **repräsentative Stichprobe** dauerhaft erfasst wird. Diese Forderung wird z. B. von der Stiftung Energieeffizienz 2018 [10] oder dem IWU unterstützt. Ob und wie die laut BMWi [11] dafür beauftragte Bundesstelle für Energieeffizienz diesen Wunsch erfüllen kann, können die Gutachter nicht beurteilen.

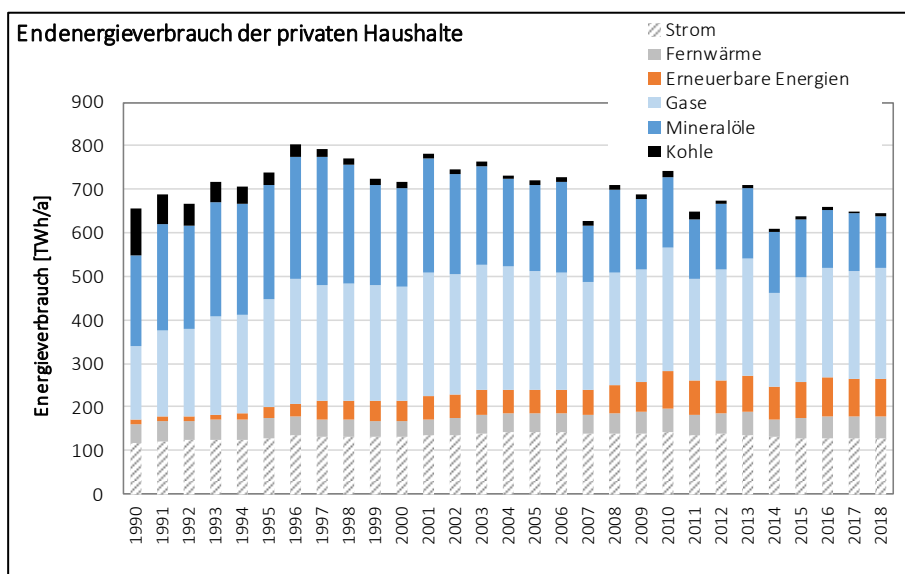


Abbildung 1 Endenergieverbrauch der Haushalte nach Energieträgern nach AGEB, eigene Darstellung nach [12]

Die Endenergie lässt sich in Energiekosten, Primärenergien oder Emissionen umrechnen. Dies gilt für die definierten Typgebäude ebenso wie für den deutschen Gesamtbestand. **Anhand der Verbrauchsmengen und der Herkunft der Energieträger veröffentlicht das UBA für 2019 [13] Gesamtemissionen von etwa 800 Millionen Tonnen CO₂-äquivalente Emissionen**. Seit 1990 sind in Deutschland energiebedingte CO₂-Emissionen um 35,7 % reduziert worden. Der Anteil der Gebäude an den Gesamtemissionen liegt nach Angaben des UBA [14] mit 122 Mio. Tonnen CO₂äqu/a bei 15,1 % und das der Haushalte im Gebäudebereich mit 88 Mio. Tonnen CO₂äqu/a bei 10,9 %. Hierin sind Emissionen für fernwärmeversorgte oder mit Stromheizungen versorgte Gebäude nicht enthalten, da nach der Sektorenaufteilung des Klimaschutzgesetzes Strom und Fernwärmeversorgung dem Sektor „Energiewirtschaft“ und nicht dem Sektor „Gebäude“ zugeordnet werden.

An dieser Stelle sei angemerkt: zum Ausrufen von Klimazielen für einzelne Sektoren und auch zur Überprüfung der Zielerreichung wäre es hilfreich, eindeutige Sektorengrenzen zu definieren. Wird nach dem „Quellprinzip“ bilanziert, dann gehören die Emissionen für Strom und Fernwärme zur „Energiewirtschaft“. Die Autoren des vorliegenden Gutachtens haben nach dem „Verursacherprinzip“ bilanziert und den Bilanzrahmen auf jegliche Energieform erstreckt, die ein Gebäude bezieht (Fernwärme, jeglicher Strom, auch Haushaltsstrom). Dies erschien – der Aufgabenstellung nach – zweckmäßig.

Weiteren Aspekten möglicher Diskrepanzen zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch widmet sich Abschnitt (6) der Zusammenfassung.

(3) Einschätzung der Sanierungsaktivitäten der vergangenen 10 Jahre im „Gebäudesektor“ und ein Appell zur Verbesserung der Datenlage sowie der Nutzeraufklärung

Die tatsächlich erreichten Einsparungen durch Gebäudesanierung der Vergangenheit lassen sich mit den heute eingesetzten Evaluationswerkzeugen auf Bedarfsbasis kaum beurteilen. **Eine dafür notwendige Datenbasis – im Sinne real erfasster Verbrauchsdaten vor und nach Sanierung – ist nicht gegeben.** Es können daher nur Näherungsabschätzungen erfolgen. Dies gilt auch für die Bauvorhaben, welche aus Bundesfördermitteln bezuschusst wurden (BAFA, KfW).

Das Monitoring der KfW-Förderprogramme wird seit etlichen Jahren vom Institut Wohnen und Umwelt IWU sowie dem Fraunhofer IFAM in Bremen durchgeführt. Die Berichte werden dabei jährlich fortgeschrieben (z. B. [15]). Es wird u. a. beschrieben, wie geförderte Dämmdicken im Verlauf der Zeit zunehmen, welche Hauptwärmerezeuger hauptsächlich eingesetzt werden und welche Zusatztechnologien (Solarthermie, Photovoltaik usw.) im Verlauf der Zeit und in den verschiedenen Sanierungsstandards Verwendung finden. Über die Fördersummen lassen sich aufgelöste Bauvolumina bestimmen und Beschäftigungseffekte berechnen. Alle diese Daten sind objektiv nachvollziehbar. Kritisch einzuschätzen sind die daraus bestimmten Endenergieeinsparungen, Primärenergieeinsparungen und Emissionsminderungen. **Es erfolgt bei der Datenerhebung keine Abfrage des Verbrauchs vor und nach der Sanierung.** Somit werden alle **Einsparungen** zwangsläufig **rechnerisch bestimmt**. Die errechneten Einsparungen werden somit nach kritischer Selbsteinschätzung der o.g. Verfasser tendenziell überschätzt [15].

Ein Gesamtmonitoring des „Marktanreizprogrammes“ (MAP) liegt beispielsweise mit dem Monitoringbericht von Zech et al. aus dem Jahr 2018 vor [16]. Letztlich ist die Problemlage identisch zu der Studie des IWU. Eine sehr gute Datenbasis ist gegeben hinsichtlich der Förderfälle sowie der theoretischen Effizienzen der geförderten Produkte. Eine Hochrechnung auf die realen Endenergieeinsparungen oder nutzbar gemachten regenerativen Energien kann aber nicht erfolgen, weil reale Messwerte fehlen. Daher werden im Bericht u. a. Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen theoretisch berechnet und damit auch theoretisch die nutzbar gemachte Umweltwärme ermittelt sowie Kollektorkreisenerträge der Solarthermie abgeschätzt.

Es liegt nicht an den Verfassern der zitierten Studien, dass die Einsparungen, Regenerativerträge und Effizienzen nur rechnerisch wiedergegeben werden, sondern an der Struktur der Förderung selbst. **Enthielte sie ein verpflichtendes Monitoring, wäre die Transparenz gegeben.**

Deutlich kritischer an der gegebenen Datenlage ist der „Zirkelbezug“, der sich daraus ergibt. Dies sei am „Solarertrag“ erläutert. Die üblichen „Bottom-Up“-Bilanzierer, z. B. Ersteller von Prognoseszenarien (ISE, IFEU usw.), bilanzieren einen Solarertrag für Deutschland aus der Summe aller installierten Kollektorflächen und einem angenommenen Ertrag pro Kollektorfläche. Das Ergebnis validieren sie zumeist an den AGEB-Verbrauchs-Bilanzen – mit dem Ziel möglichst nahe an den (als richtig eingestuften) Werten zu liegen.

AGEB und andere Verbrauchsdatenauswerter nutzen für ihre „Top-Down-Bilanzen“ mangels Messwerten jedoch ebenfalls abgeschätzte Erträge je Kollektorfläche, um in der jährlichen Bilanz für Deutschland u. a. den Gesamtsolarertrag darzustellen. Streng genommen entspricht diese Vorgehensweise auch nicht einem „Top-Down“-Vorgehen, denn das setzt voraus, der Gesamtsolarertrag für Deutschland wäre messtechnisch tatsächlich bekannt (analog dem Gesamtgas- oder -kohleverbrauch) und müsste nur auf die einzelnen Sektoren usw. verteilt werden.

Sowohl die Bottom-Up-Modelle, als auch die Top-Down-Bewertung kommen bei gleicher Annahme von Kollektorflächenbezogenen Erträgen zum selben Ergebnis. Ob dies der Wirklichkeit entspricht, kann durch gegenseitige Validierung weder bestätigt, noch widerlegt werden. Alle Unzulänglichkeiten, die durch Fehlannahmen in beiden Modellen vorhanden sind, können nur durch neue Messungen (neuer Dateninput von außen) gefunden werden. Dies setzt ein Monitoring voraus, siehe Punkt (2) der Zusammenfassung. Mindestens ausgewählte Stichprobenuntersuchungen zu bestimmten Themen wären daher angebracht, z. B. Detailanalysen von Verteilverlusten, Erzeugereffizienzen, Trinkwarmwasseranteilen, typische Energiekennwerte je nach Baualtersklasse und Sanierungsgrad. Hieran orientieren sich die Gutachter bei der Verwendung von Kenngrößen in diesem Gutachten, die überwiegend aus eigenen Feldstudien in den letzten zwanzig Jahren ermittelt wurden.

Eine **Verbesserung der Datenlage für den Sektor „Gebäude“** mit nur annähernd so guter Detaillierung wie für den Sektor „Energiewirtschaft“ **ist aus Sicht der Gutachter sehr erstrebenswert.** Es könnte somit eine valide messtechnische Trennung von Wohn- und Nichtwohnbau sowie Bestand und Neubau erfolgen. **Auch ergibt sich dadurch die Möglichkeit, den Informationsfluss zum Bürger zu verbessern.**

Für die privaten Endverbraucher eignen sich nach Ansicht der Gutachter permanente und unaufgefordert gelieferte Informationen zu den Themen „persönlicher CO₂-Fußabdruck“, „Erzeugereffizienzen“ und „Baustandards“. Der **eigene CO₂-Fußabdruck** kann jedem so geläufig werden, wie der PKW-Verbrauch oder das Kalorienzählen bei einer Diät und **im Grundwissen verankert** werden. Eine Verbesserung der Durchsetzung von energetischen Sanierungen dürfte somit gegeben sein, wenn Energieverbrauchern klar aufgezeigt wird, wie der eigene Verbrauch und die eigenen Emissionen sich zurzeit darstellen, welche Optionen für eine Verbesserung vorhanden sind und wer potentielle Ansprechpartner für eine Energieberatung sind.

Die Daten lassen sich aus einer **Minimalmesstechnik** generieren, auch die digitale Datenerfassung (SmartMeter) ist dabei relevant. Mögliche Informationspfade sind öffentliche Aushänge im Mietwohnbau (zukünftig modifizierter Energieausweis), Heizkosten- oder Energieabrechnungen, Informationsaufgaben der Schornsteinfeger o. ä.

(4) Sanierungsrate, -tiefe und -quote: Beeinflussbarkeit der Geschwindigkeit baulicher Sanierungen und Technologiewechsel durch Förderung und Forderung

Der Gebäudebestand entwickelt sich durch Neubau, Abriss und Sanierungstätigkeiten. Der Gesamtmodernisierungsfortschritt beim Wärmeschutz im (nicht abgerissenen) Altbau hängt dabei von der Sanierungsrate und -tiefe ab. Dabei beschreibt die „**Sanierungsrate**“ die **Umsetzungszahlen je Zeiteinheit** und die „**Sanierungstiefe**“ die **Qualitäten der einzelnen Sanierung**. Die „**Sanierungsquote**“ ist die **Kombination** beider Einflüsse. Sie lässt sich näherungsweise als Verminderung des Endenergieverbrauchs definieren.

Wie auch bei den Verbrauchsdaten ist die Datenlage mangels konsequenter Erfassung aller Gebäude oder zumindest repräsentativer Stichproben dünn. Die mit Abstand am häufigsten zitierte Primärdatenquelle ist eine Stichprobenauswertung von 7500 Gebäuden, durchgeführt vom Institut Wohnen und Umwelt und dem Bremer Energieinstitut 2010 [6] und aktualisiert 2018 [7]. Die Sanierungsrate wird in den letzten Jahren **mehrheitlich bei ca. 1 %/a vermutet**. Der Wert umfasst in den meisten Analysen gewichtet die Verbesserung der Gebäudehüllbauteile (Dach, Wand usw.). Unter Berücksichtigung aller Maßnahmen, auch der Anlagentechnik, liegt der Wert bei ca. 2 %/a [17]. Hinweis: die Maßnahmen an der Anlagentechnik sind schwieriger zu erfassen, wenn ein Energieträgerwechsel damit verbunden ist (beispielsweise von Gaskessel auf Holzkessel oder Wärmepumpe umgestellt wird, weil Veränderungen der Endenergie, Primärenergie und Emissionen nicht proportional verlaufen).

Aus dem im Punkt (2) der Zusammenfassung bereits angeregten **Langzeitmonitoring der Verbrauchsdaten – mindestens einer repräsentativen Stichprobe – von Gebäuden** ließe sich in sehr viel kürzeren Zeitintervallen (und nicht mit 8 Jahren Versatz) auch eine Aussage zu Sanierungsfortschritten ableiten. So könnte kurzfristig politisch gesteuert und es könnten Maßnahmen rechtzeitig ergriffen werden.

Zwischen der real beobachtbaren Sanierungsrate und den für die Klimazielerrreichung getroffenen Annahmen sind seit Jahren **deutliche Diskrepanzen** feststellbar. Häufig wird entsprechend kommuniziert, dass der Wert auf 2 %/a verdoppelt werden muss. Gemeint ist dabei regulär die Sanierungsrate der Gebäudehülle. Daraus leitet sich in der Literatur der Begriff „**Sanierungsstau**“ ab, der kontrovers diskutiert wird. Insbesondere ist für Kellerdecken und oberste Geschossdecken strenggenommen kein Sanierungsstau gegeben. Der einzige Anlass, diese eigentlich wartungsfreien Flächen zu verändern, ist die energetische Verbesserung. Ähnliches gilt für Klinkerfassaden. Aufgrund real deutlich längerer Lebensdauern vieler Bauteile als 50 Jahre können sich „von allein“ keine Sanierungsraten von 2 %/a (für diese Bauteile) ergeben. Es ist daher vor allem ein „**energetischer Sanierungsstau**“ festzustellen.

Die Sanierungstiefe beschreibt im Allgemeinen den Grad der energetischen Verbesserungen, welcher mit einer Sanierung erreicht wird – in einer Abstufung von „keine energetischen Verbesserungen“ bis hin zur Grenze des technisch Machbaren oder sogar Denkbaren. Rückblickend ist die Qualität von Sanierungen von den jeweils geltenden gesetzlichen Randdaten (Wärmeschutzverordnung, Energieeinsparverordnung) bzw. der Fördermittellandschaft (KfW, BAFA usw.) geprägt. Bezogen auf die Anlagentechnik kommen neben verbesserten Effizienzen derselben Technologie (besserer Kessel usw.) auch noch Technologiewechsel hinzu.

Die „Sanierungsquote“ fasst die Effekte der Sanierungsraten („wie häufig“) und Sanierungstiefen („wie gut“) zusammen. In der Konsequenz kann man am abnehmenden Endenergieverbrauch – bzw. besser an der zukünftig damit erreichten Emissionsminderung – alle Maßnahmen gemeinschaftlich beurteilen. Wenn ein **Gesamtziel in Form eines Verbrauchsrückgangs oder besser Emissionsrückgangs das Ziel** ist, also eine bestimmte „Sanierungsquote“ insgesamt festliegt, sind **zwei Hebel zu Zielerreichung gegeben: entweder es wird auf eine hohe Rate bei moderater Tiefe gesetzt oder auf eine geringe Rate bei dann höherer Tiefe**.

Nach Ansicht der Gutachter wird die „Sanierungstiefe“ der Bauteile am besten so gewählt, dass über sehr lange Zeiträume keine Nachsanierung mehr erforderlich ist. Um das zu forcieren, erscheint eine deutlich progressive (überproportionale) Förderung nur sehr guter Standards sinnvoll (die für 50 Jahre keinen „Anlass zur Reue“ geben).

Mit Fördermitteln oder durch gesetzliche Anforderungen lassen sich beide Hebel beeinflussen. Die höhere Sanierungsrate bedeutet vorgezogene Investitionen. Die höhere Sanierungstiefe bedeutet bessere Standards. Je nachdem, ob es sich um anlagentechnische oder bauliche Maßnahmen handelt, wirken nach Einschätzung der Gutachter Förderung und Forderung unterschiedlich, siehe Tabelle 2.

	Erhöhung der Sanierungsrate		Erhöhung der Sanierungstiefe	
	Förderung	Forderung	Förderung	Forderung
Baukörper (Dämmung, Fenstertausch)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anlagentechnik (Technologiewechsel)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tabelle 2 Mögliche Durchsetzbarkeit erhöhter Sanierungsraten und -tiefen [eigene Darstellung]

Die vorzeitige Umsetzung baulicher Maßnahmen erscheint schwieriger durchzusetzen; denkbar wären jedoch verpflichtende Maßnahmen (Forderung, GEG) nach einer angenommenen Nutzungsdauer, z. B. 35 Jahren für Fenster. Die Umsetzung bester Standards ließe sich dann besser fördern als fordern.

Bei der Anlagentechnik ist der vorzeitige Erzeugerwechsel eher durch Förderung zu erzielen – vor allem, da Erzeuger ohnehin eine begrenzte Lebensdauer aufweisen. Der Förderanreiz, dabei den Energieträgerwechsel zu vollziehen, war in der Vergangenheit nicht stark ausgeprägt, hier bietet sich nach Ansicht der Gutachter eher eine Verpflichtung an (Stichwort: Verbot einzelner Energieträger ab einem Datum X).

(5) Einfluss der Energieträgerbepreisung auf die Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen und auf Fördertatbestände sowie Erarbeitung einer Alternative

Die Preisbildung der Energieträger hat einen starken Einfluss auf das Sanierungsgeschehen. Die Preise der am häufigsten eingesetzten Energieträger (Gas, Heizöl) sind derzeit vergleichsweise niedrig. Der wirtschaftliche Anreiz für bauliche Sanierungen ist daher gering. Der Anreiz zum Energieträgerwechsel ist deshalb nur in Ausnahmefällen gegeben, da Holz und vor allem Wärmepumpenstrom regelmäßig sogar zu steigenden Energie- und damit Betriebskosten führen – was selbst mit investiven Fördermitteln nicht kompensiert werden kann. Das spricht dafür, eine grundlegend andere Energieträgerpreisbildung zu diskutieren. Das Problem wird im Rahmen des Gutachtens als Diskussionsvorschlag dadurch „gelöst“, dass eine optionale Energieträgerbewertung auf Basis der Emissionen erarbeitet und für zukünftige Maßnahmen in den wirtschaftlichen Abschätzungen angenommen wird, siehe Tabelle 3. Sie setzt nicht auf die Logik „künftiger Preis = heutiger Preis + Emissionspreis“, sondern geht davon aus, dass gilt: „künftiger Preis = Emissionspreis“.

System	heute übliches System Energiepreise, in [€/kWh]			modifiziertes System Energiepreise, in [€/kWh]		
	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Erdgas	0,06	0,10	0,18	0,09	0,12	0,16
Heizöl	0,06	0,12	0,24	0,12	0,17	0,22
Holz	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05	0,06
Fernwärme	0,09	0,15	0,20	0,10	0,13	0,14
Strom (Bezug, Normaltarif)	0,31	0,18	0,24	0,19	0,23	0,22
Strom (Bezug, Wärmepumpe)	0,22	0,18	0,18	0,19	0,23	0,22
Strom (Einspeisung)	0,09	0,07	0,05	0,07	0,07	0,07

Tabelle 3 Vergleich der heutigen und modifizierten Energieträgerbepreisung [eigene Darstellung]

Die für 2020 angenommenen Preise des heute üblichen Systems (links) entstammen dem Preisspiegeln von AGEb und CARMEN [18] [19]. Die Festlegung für den zurückvergüteten Strom ergibt sich im Standardfall auf Basis des aktuellen EEG; der Wärmepumpentarif ergibt sich aus der neuesten Veröffentlichung des Bundesverbandes Wärmepumpen [20].

Grundlage für die modifizierten Preise (rechts) ist ein einheitlicher Emissionspreis von 418 €/t für alle Energieträger außer Holz (dieses wird mit dem heute üblichen Preis angesetzt). Der einheitliche Preis ergibt sich aus der Summe aller Energieträgerkosten der privaten Haushalte in Wohngebäuden und der Summe aller damit verbundenen Emissionen nach Veröffentlichungen von AGEB und UBA [12] [13]. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die neue Einspeisevergütung für Photovoltaik nur noch in der Höhe des heutigen Gestehungspreises liegt. **Im Falle von Erdgas wäre ein Zuschlag von gut 40 % auf den heutigen Preis (von 0,06 €/kWh_{HS} auf 0,084 €/kWh_{HS}) notwendig, bei Strom ein Abschlag von 40 % bezogen auf den heutigen Preis (von 0,31 €/kWh_{el} auf 0,186 €/kWh_{el}); dies sind ähnliche Strompreise, wie sie heute in Skandinavien für private Endverbraucher üblich sind.**

Die tabellierten Preisveränderungen 2035 und 2050 ergeben sich für beide Varianten durch eine (weitere) rein emissionsbasierte Preiserhöhung. Dabei wird für das Jahr 2035 ein zusätzlicher Emissionspreis von 180 €/Tonne und für das Jahr 2050 von 640 €/Tonne (jeweils auf die Preise von 2020) gemäß den Vorschlägen des UBA [21] zugrunde gelegt.

Hinweis: Für Industrieanwendungen und Großverbraucher elektrischer Energie wurde dieses Modell im Rahmen des vorliegenden Gutachtens nicht untersucht. Die grundsätzliche Vorgehensweise ist jedoch übertragbar und führt abgeschätzt etwa zu einer Halbierung bis Viertelung der angegebenen Energiepreise.

Das modifizierte System bietet folgenden **Vorteil**: in Summe über alle Wohngebäude werden zunächst genauso hohe Energiekosten gezahlt wie heute, allerdings werden **emissionsarme Energieträger entlastet**, entsprechend **emissionslastige Energieträger belastet**. In erster Instanz werden die Gebäude mit hohen Emissionen zum Umsetzen von Maßnahmen angeregt, zuallererst baulich wenig sanierte und ölbeheizte Gebäude. Die **Notwendigkeit der Bezuschussung von Maßnahmen**, z. B. durch Förderprogramme, **sinkt**, wenn die dann erhöhten Energiepreise als Maßstab verwendet werden.

Vor allem Wärmepumpensysteme – die im heutigen Preissystem rechnerische Investitionskostenzuschüsse von teilweise deutlich über 100 % benötigen, liegen danach im „normalen“ Bereich anderer geförderter Maßnahmen (max. 30 % Zuschuss auf die Investitionskosten). Aber auch Dämmmaßnahmen werden wirtschaftlicher (aufgrund steigender Energiepreise für Erdgas und Heizöl) – keine der untersuchten Dämmmaßnahmen benötigt noch eine Förderung, selbst das Nachdämmen von Außenwänden und Dächern wird dadurch ebenfalls grenzwirtschaftlich.

Aus Sicht der Gutachter **wäre das neue Preissystem auch eine sinnvolle Grundlage zur Etablierung einer neuen Förderpolitik, die auf Emissionsminderungen basiert**. Es würden dann **nur noch Maßnahmen gefördert, die trotz einer großen Emissionsminderung unwirtschaftlich sind, nicht wegen zu hoher Energiepreise**. Das System der modifizierten Energiepreise wird im Rahmen des Gutachtens auch auf den Gesamtbestand in der Makroperspektive angewendet. Es kann grundsätzlich gezeigt werden, dass eine Preisgestaltung rein nach Aspekten der Emissionen zu zukünftig realistischen Gesamtkosten führt und dass sich auch Preissteigerungen an den Emissionen festmachen lassen, ohne dass „utopische“ Ergebnisse ermittelt werden.

Eine veränderte Preisbildung fossiler Energieträger und von Strom kann als wichtigste Vorbedingung für alle Handlungsoptionen zur Finanzierung der energetischen Sanierung identifiziert werden. Die Frage der langfristigen Finanzierung eines modifizierten Modells konnte im Rahmen des Gutachtens nicht endgültig gelöst werden. Hier besteht weiterer politischer Diskussionsbedarf, v. a. hinsichtlich der zukünftigen Ausgestaltung des EEG und weiterer Gesetze (KWKG, Mieterstromgesetz u. a.) und Verordnungen (Netzentgelte).

(6) Abweichungen zwischen berechnetem Energiebedarf und gemessenem Energieverbrauch, Anpassung der Berechnungsnormen und alternative Nachweisverfahren ohne Bilanzierung

Erhebungen der DENA [3], des IWU [22], aber auch eigene Untersuchungen [23] zeigen: Gebäude mit geringem Bedarf, d. h. Neubauten oder modernisierte Bestandsbauten, verbrauchen im Mittel häufig mehr als berechnet, der unsanierte Bestand jedoch weniger als berechnet. Auffällig ist die große Diskrepanz der Endenergien wenig sanierter Wohngebäude vor 1977: berechnet werden 250 kWh/(m²a), gemessen nur 180 bis 200 kWh/(m²a) oder weniger, siehe Abbildung 2. Damit geht das **Problem einher, dass für Sanierungen real gemessene Einsparungen geringer ausfallen, als berechnete. Die Einsparprognose kann sogar höher sein als der Energieverbrauch vor der Maßnahme.**

Dies tritt insbesondere dann auf, wenn heute eingesetzte Rechenprogramme – regulär nach den Verfahren, die auch im EnEV/GEG-Nachweis zum Einsatz kommen, d. h. die DIN V 4106/4701 oder DIN V 18599 – im „Nachweismodus“ verwendet werden (Nutzerverhalten standardisiert, Klimadaten standardisiert) sowie auf viele voreingestellte Effizienzmerkmale (typische Erzeugereffizienzen usw.) zurückgegriffen wird. Eine ähnliche Abweichung zwischen rechnerischen Bedarfs- und tatsächlichen Verbrauchswerten zeigt sich auch im Mobilitätsbereich.

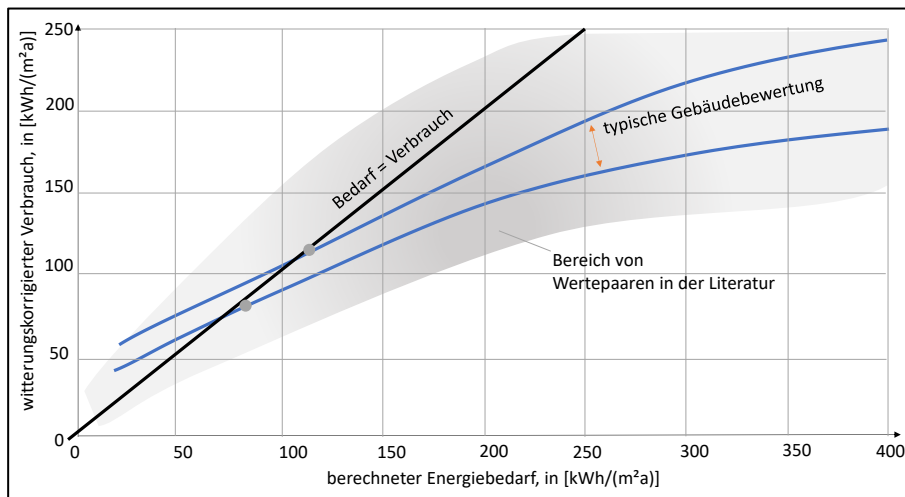


Abbildung 2 Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch, schematische Zusammenfassung aus [24] [22] [23]

Es können **zwei wesentliche Ursachen** für die Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch festgestellt werden:

- das **Nutzerverhalten wird unrealistisch/praxisfern eingeschätzt** (bei guten Baustandards wird es rechnerisch sparsamer angesetzt als es tatsächlich ist; im Altbau ist dies umgekehrt),
- die angenommenen **Effizienzen der Bauprodukte entsprechen nicht den realen Gegebenheiten** (Sanierungsmaßnahmen oder Neubautechnologien erreichen in der Realität die angenommenen Effizienzen nicht; Altbau-technologien werden schlechter abgebildet als sie sind).

Das Phänomen – insbesondere des nicht gleichbleibenden Nutzerverhaltens – wird in der Literatur oft mit „Rebound-Effekt“ (Mehrverbrauch guter Gebäude) und „Prebound-Effekt“ (Minderverbrauch schlechter Gebäude) bezeichnet. Ein nennenswerter Auslöser ist das geänderte Verhalten, vorrangig gesteuert durch Kostendruck. Solange das Gebäude schlecht ist, wird eher auf die niedrige Raumtemperatur und die sparsame Belüftung geachtet, weil die Heizkosten sonst empfindlich hoch ausfallen. Ist jedoch ein geringes Heizkostenniveau gegeben (Neubau oder Sanierung), sind höhere Komfortbedingungen eher bezahlbar und werden dann auch praktiziert.

In Teilen kann das veränderte Nutzerverhalten aber auch auf die veränderte Gebäudequalität zurückzuführen sein. Eine genaue Trennung zwischen Gebäude, Technik und Nutzer kann nicht erfolgen, da einige Einflüsse sich gegenseitig bedingen. In einem gut gedämmten Gebäude mit großen Glasflächen (baulicher Einfluss) und einer trägen Fußbodenheizung (anlagentechnischer Einfluss) ergibt sich beispielsweise ein höherer Luftwechsel (Nutzereinfluss). Ob der Luftwechsel nutzerseitig tatsächlich gewünscht war oder die Raumtemperatur aufgrund der Überwärmungseffekte nur so regulierbar ist, ist nicht zu trennen.

Die zweite Ursache sind vielfach zu optimistische Effizienzannahmen, vor allem für die Bauprodukte, die in der Sanierung und im Neubau zum Einsatz kommen. Sie erreichen im Feld selten Prüfstandseffizienzen, wie auch eigene Untersuchungen und Feldstudien zeigen [23] [25] [26] [27] [28]. **Auslöser sind einerseits fehlende Qualitätssicherungsmaßnahmen im Feld (mit denen höhere Effizienzen erzielbar wären als derzeit vielfach gemessen), andererseits in der Praxis gegebene Randdaten, die nicht denen idealisierter Norm- oder Prüfstandsbedingungen entsprechen (d. h. selbst unter besten Bedingungen ist das Realgebäude kein Prüfstand).**

Die Unterschiede zwischen Bedarf und Verbrauch können ausgeglichen werden, indem zunächst nach Norm ein im Mittel praxisferner Bedarf bilanziert wird und anschließend Korrekturfaktoren eingeführt werden (vgl. [22]). Damit würde zumindest dem Empfänger der Berechnungsergebnisse ein realistischeres Ergebnis präsentiert.

Alternativ verwenden die Berechnungsgrundlagen und -normen zukünftig sofort möglichst realistische Eingangsparameter für Nutzerverhalten und Effizienzmerkmale, so dass sie – zumindest im statistischen Mittel – tatsächlich gemessene, typische Verbrauchswerte abbilden. Das im Rahmen des vorliegenden Gutachtens eingesetzte Bilanzmodell verfolgt diese Zielrichtung.

Das Festlegen realistischer Randdaten ist jedoch eine Gratwanderung für die zukünftige Energiepolitik, wie am Beispiel der Arbeitszahlen einer Erdreichwärmepumpe erläutert werden soll. Werden die Werte in einer Berechnung zu optimistisch angesetzt, z. B. auf dem Niveau der Prüfstandswerte (z. B. Jahresarbeitszahl 4,5) kommt aus der Praxis die Rückmeldung: dies sei „irreführende Werbung“, solche Werte sind nicht erreichbar, egal welche Optimierungsmaßnahmen man ergreift. Wird dagegen ein typischer Durchschnittswert einer Feldmessung (z. B. 3,0 für den gesamten Querschnitt aller schlecht und gut laufenden Geräte) angesetzt, stimmt zwar im Mittel die Bilanz. Dem einzelnen Gebäudebesitzer wird somit aber suggeriert, es sei ein solcher Wert üblich – auch wenn viel mehr erreichbar wäre. **Es sind somit die „best practice“-Anteile der Feldprojekte von Interesse (z. B. 4,0 für sehr gut laufende Wärmepumpen), die tatsächlich, aber eben nur mit Qualitätssicherung, erreichbar sind.**

Gleiches gilt auch für alle anderen Effizienzannahmen sowie speziell auch für das Nutzerverhalten. Man könnte problemlos in einer Bedarfsberechnung 22°C als Innentemperatur für „gut sanierte Gebäude“ zugrunde legen, wenn sich dies als Mittelwert vieler Messprojekte zeigt. Zwar passt dann die Bilanz, aber es steht dann auch die Aussage im Raum, es sei normal, dass diese Temperatur eintritt und im Zuge von Sanierungen das Nutzerverhalten extensiver wird.

Die Anpassung der genannten Randdaten in den Normen wäre grundsätzlich machbar und nützlich für Nutzer und Gebäudebesitzer. Allerdings wäre eine solche Normanpassung für den derzeitigen Gesetzgeber eher hinderlich: der z. B. gegenüber der EU nachzuweisende Standard „nearly zero energy buildings“ von Neubauten verschlechtert sich dadurch. Auch aus Sicht von Herstellern ergäben sich negative Konsequenzen. Für die **gesamte Dämmstoffbranche** (Hersteller und alle nachgelagerten Instanzen der Planung und Ausführung) **ist es beispielsweise nicht erstrebenswert, wenn die berechnete Einsparung für eine bauliche Sanierungsmaßnahme sinkt** (weil das Nutzerverhalten mit Prebound- und Rebound-Effekt realistisch abgebildet wird). Für die **gesamte Heizungsbranche** (Hersteller und alle nachgelagerten Instanzen der Planung und Ausführung) **schrumpften ebenfalls die Verkaufsargumente, weil die Wirtschaftlichkeit sich verschlechtert, wenn Erzeuger mit realistischeren Praxisdaten bilanziert würde.**

In Hinblick auf die Nachweisführung lässt sich Folgendes aus Sicht der Gutachter festhalten: anstelle der genannten Anpassung der Normen und Berechnungsverfahren, die der EnEV bzw. dem künftigen GEG zugrunde liegen, durch einen Korrekturfaktor oder besser realistische Randdaten, ließe sich auch das **Nachweisverfahren selbst ändern**. Anstelle der heute üblichen Bilanzierung von End- und Primärenergie unter Normklima- und Normnutzungsdaten wäre auch ein **Verfahren mit Einzelanforderungen denkbar, ohne dass der Bedarf als solches die Anforderungsgröße ist. Es wären Mindesteffizienzen für die Gebäudehülle, Mindestarbeitszahlen für Wärmepumpen usw. sowie verpflichtende Anforderungen zur Nutzung regenerativer Energie (insbesondere Photovoltaik)** festzulegen. Auch in dieser Konstellation sehen die Gutachter „best practice“ Effizienzen als geeignete Zielgrößen an. Dies entspricht der Vorgehensweise der „Energetische Sanierungsmaßnahmen-Verordnung – EnSanMV“ von 2019 [29]. Die **Energiebilanz wäre nicht Teil des Nachweises** und könnte privatrechtlich unter realistischen Nutzungs- und Klimadaten erfolgen.

Ein Erfolgsnachweis durch Verbrauchsdatenmessung über einen Zeitraum von etwa 2 bis 3 Jahren (nach Neubau oder Sanierung) stellt sicher, dass die Maßnahme zum gewünschten Einsparziel führt. Wären die im konkreten Einzelfall erzielten Verbrauchswerte und Effizienzmerkmale bekannt und sind schlechter als die in den Normen angegebenen Werte, müsste gegenüber dem Endverbraucher kommuniziert werden, wieso es zu den Diskrepanzen kommt und wie Abhilfe geschaffen werden kann.

Der Erfolgsnachweis selbst könnte zukünftig durch Verbrauchsanalysen der zugeführten Endenergien und der damit verbundenen CO₂-Emissionen sowie der abgegebenen Wärmemengen geführt werden. **Ein Wärmemengenzähler könnte zukünftig als selbstverständlicher Bestandteil jedes Wärmeerzeugers von den Herstellern sofort vorgesehen werden.** Das Verfahren der „Energieanalyse aus dem Verbrauch“ (EAV) liefert auf dieser Basis Kennwerte zur Güte der Gebäudehülle (Dämmstandard incl. Qualitätssicherung der Wärmebrücken, Luftdichtheit), die Effizienz der Erzeuger, die Erträge aus regenerativen Energien sowie das Nutzerverhalten – jeweils im Jahresverlauf einer monatlichen Auflösung. Im Misserfolgsfall, d. h. sichtbarer Abweichungen zur Planung, sind selbstverständlich detailliertere Analysen denkbar.

Ein deutlicher Vorteil des skizzierten Verfahrens von Einzelanforderungen wäre der konsequente Verzicht auf komplizierte Berechnungen für die Nachweisführung. Das Ergebnis wird ehrlicher und spiegelt die realen Bedingungen wider. Weiterhin ist eine Kontrolle schnell und einfach (auch für den Nutzer nachvollziehbar) durchführbar. Als **Hinderungsgründe für diese Vorgehensweise und somit der transparenten Offenlegung aller Daten ist das Spannungsfeld Hersteller/Planung/Handwerk/Endkunde zu nennen**, vgl. Punkt (7) dieser Zusammenfassung.

Die nächste für das Jahr 2023 vorgesehene Novellierung des ab 1. November 2020 geltenden Gebäudeenergiegesetzes (GEG) kann dazu genutzt werden, das Energieeinsparrecht in der oben geschilderten Art und Weise zu vereinfachen (Entfall komplexer Bilanzierung für die Nachweisführung) sowie für eine bessere Erfüllung der Anforderungen (verpflichtende Qualitätssicherung mit Erfolgsnachweis) zu sorgen. **Die Chancen der Akzeptanz für ein solch neues Konzept der Nachweisführung haben sich mit Einführung der neuen steuerlichen Anreizgesetzgebung [29] und mit den neuen Förderbedingungen der Bundesförderung (BEG) [30] erhöht. Endenergie- und Wärmemengenzähler für jeden geförderten neuen Wärmeerzeuger sind Fördervoraussetzung.**

(7) Verbesserung des Erfahrungsrücklaufs in die Planung, Herstellung eines Zustandes klarer Verantwortlichkeiten, Partnerschaftliche Modelle

Für die Umsetzung von Maßnahmen zur energetischen Sanierung erscheinen den Gutachtern zukünftig Ansätze einer „**Planung auf Vorrat**“ sinnvoll. Dies ergibt sich aus der Sachlage, dass ein Großteil aller Maßnahmen sehr lange herausgezögert und an das Lebensende des Bauproduktes gekoppelt wird. Insbesondere für Wärmeerzeuger, Speicher und Pumpen heißt dies, dass vom Defekt bis zum notwendigen Ersatz meist keine Zeit mehr für Planung bleibt. Es liegt auf der Hand, dass diese Planung nicht Jahrzehnte im Voraus erfolgen kann, jedoch 10 Jahre vor Ende der planmäßigen Nutzungsdauer erscheint sie den Gutachtern als sinnvoll.

Eine mögliche Problemlösung wäre die Verpflichtung zur Erstellung eines individuellen Sanierungsfahrplanes (iSFP). Der iSFP ist seit 2017 ein Werkzeug für die Energieberatung von Wohngebäuden. Im Vordergrund steht die energetische Bewertung eines Gebäudes, entweder für die Schritt-für-Schritt-Sanierung oder für die Gesamtsanierung in einem Zug. **Zukünftig könnte der heute rein bedarfsorientierte iSFP zusammen mit Verfahren einer Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) genutzt werden.** Somit läge im Bedarfsfall zumindest das Konzept schon vor. Statt der allgemeinen Verpflichtung könnte es auch abgemindert wenigstens eine verpflichtende Energieberatung bei Eigentümerwechsel geben (BDH /DENA [31]). Im Nichtwohnbau könnten verpflichtende kommunale Energiekonzepte (BUND 2017 [32]) die Arbeitsfähigkeit im Bedarfsfall erhöhen. Für Neubauten mit BIM-basierter Planung ließe sich das Datenmodell weiter pflegen, bis der Sanierungsfall eintritt.

In jedem Fall wäre die politische Einflussnahme auf die Gesetzeslage dahingehend zu überdenken, die Menge an schnell verfügbaren Informationen, über die ein Gebäudebesitzer verfügt, wesentlich zu steigern.

Im Gegensatz zu allen anderen Industriezweigen **werden in der Bau- und Gebäudetechnik gewonnene Betriebs- und Praxiserfahrungen kaum wieder in die Planung und Ausführungspraxis zurückgespiegelt.** Der heutige serielle Planungs- und Ausführungsablauf gemäß den seit Jahrzehnten eingeführten HOAI-Phasen führt heute immer noch zu der strikten Trennung von Planung, Ausführung und Betrieb. So besteht heute noch in vielen Büros der Zustand, dass Planer teilweise nie mit der Praxis und dem Betrieb in Kontakt gekommen sind. Die strikte Trennung führt dazu, dass einerseits im Schadensfall Streit zwischen planenden und ausführenden Unternehmen vorprogrammiert ist, andererseits ein Rückfluss von Erkenntnissen, z. B. über den Verbrauch, nicht gegeben ist (Sobek in [33]). **Dieses System ohne nennenswerte Optimierungschancen ist durch künftige, neu und digital zu schaffende Datenstrukturen zu durchbrechen und tatsächlich auch im Bauwesen ein „Kreislauf der Betriebserfahrungen“ zu etablieren.**

Für die Planerschaft erscheint aus Sicht der Gutachter im ersten Schritt eine offene, digitale Datenbank mit „best case“ und „worst case“ Dokumentation (im Sinne einer Bauschadensdatenbank, in permanente Aktualisierung wie Baukostendatenbanken) von Projekten der energetischen Sanierung angebracht. Für verschiedene Gebäudetypen kann sie den tatsächlichen Verbrauch und bedarfsorientierte individuelle Sanierungsfahrpläne iSFP [34] gegenüberstellen. In der Praxis **immer wiederkehrende Fehler und damit verbundene Effizienzverluste ließen sich aufzeigen und künftig vermeiden.** Die Datenbasis kann auch als Grundlage zur Verbesserung der Praxistauglichkeit der Bilanzierungsnormen (vgl. Punkt (6) der Zusammenfassung) verwendet werden. Es wäre politisch eine Festlegung zu treffen, welche Institutionen (DIBt, Verbraucherzentrale, Hochschulverbund, DENA/ Landesenergieagenturen usw.) mit dieser Aufgabe betraut werden könnten und wie die Verpflichtung zur Datenlieferung aussehen könnte.

Beispielsweise können **alle Forschungsnehmer über die beforschten Gebäude und Anlagen Auskunft geben, aber auch unabhängige Stichproben aus den Projekten der zukünftigen Bundesförderung (BEG) generiert werden.**

Neben diesem niederschweligen Lernen aus den Fehlern anderer steht im zweiten Schritt auch das **Monitoring für jedes einzelne Bauprojekt als Werkzeug zur Verfügung.** Eine Qualitätssicherung in Planung, Ausführung und v. a. im späteren Betrieb ist anhand von Verbrauchsdaten einfach möglich, z. B. mit der „Energieanalyse aus dem Verbrauch“ – siehe Punkt (6) der Zusammenfassung. **Die Stadt Frankfurt praktiziert auf Basis der „Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen“ [35] ein Konzept von verpflichtender Verbrauchsmessung und anschließendem Monitoring zur Qualitätssicherung für den Nichtwohnbau bereits seit etlichen Jahren erfolgreich.**

Planer und Handwerker wehren sich momentan häufig gegen entsprechende Maßnahmen, da aus einer Qualitätskontrolle im Betrieb erweiterte Regressansprüche bei falscher bzw. schlechter Planung und Ausführung resultieren können. **Es ist daher ein Umdenken erforderlich, welches die Erfolgchancen in den Mittelpunkt rückt.** Ein Planer oder Handwerker kann durch das Feedback der Betriebsanalyse Rückschlüsse auf die Qualität seiner Arbeit ziehen und sich damit weiterentwickeln. Die Qualität im eigenen Unternehmen steigt.

Eine Begrenzung des Energieverbrauchs im Neubau und auch in der Bestandssanierung setzt neben der (gleichzeitigen oder nachträglichen) Qualitätssicherung der Gebäude- und Anlagentechnik auch Nutzerschulungen voraus. Sie betreffen nicht nur das Nutzerverhalten im Betrieb, sondern – um Rechtsstreitigkeiten vorab zu begegnen – auch die Aufklärung darüber, dass die optimalen Betriebsbedingungen erst nach Inbetriebnahme gefunden werden können; dass die notwendige Optimierungsphase keinen Baumangel darstellt, sondern üblich ist.

Die größten Schwierigkeiten und Hindernisse liegen nach Ansicht der Gutachter darin zu erreichen, dass sich **alle an der Modernisierung Beteiligten tatsächlich mit dem Ziel der „Energieeinsparung“ identifizieren: Architekten, Fachplaner und Energieberater, Energieversorgungsunternehmen, Komponentenhersteller sowie das ausführende Handwerk und die zukünftigen Qualitätssicherer.** Es wird ein **verantwortliches Netzwerk benötigt, das die prognostizierten einzusparenden Energiemengen tatsächlich garantiert.** Voraussetzung ist, dass sich alle Branchenakteure zukünftig einer offenen Diskussion und dem Monitoring öffnen und dabei dem Kunden gegenüber realitätsnah bilanzieren, d. h. ohne unrealistische „Bis-Zu-X-Einspar-Prozent-Versprechen“.

Eine intensive Beschäftigung mit der Gebäudequalität findet somit nicht mehr nur über den Nachweis rechnerischer Normkennwerte und Qualitätssiegel statt, wenn die Abnahme der Bauleistung erfolgt, sondern verschiebt sich in die Phase der Nutzung und des Betriebs. Das verschiebt Verantwortlichkeiten und zieht eine Anpassung der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) bzw. deren veränderte Anwendung nach sich.

Die einzelnen Planungsphasen der HOAI werden dabei mit einem festgelegten Prozentsatz des berechneten Honorars vergütet. Die Phasen 1 (Grundlagenermittlung, 2 %) und 9 (Objektbetreuung 1 %) sind nach Ansicht der Gutachter unterbewertet, um ein tatsächlich energieeffizientes Gebäude zu errichten oder es auf dieses Niveau zu sanieren. Die aktualisierte HOAI sieht bereits erfolgsabhängige Komponenten in der Einhaltung des Investitionskostenrahmens vor. Es kann als Grundlage für das Architekten- und Planer-Honorar eine Bonus-Malus-Regelung bei Unterschreitung/Überschreitung vereinbart werden; dies ist jedoch noch nicht gängige Praxis, eher der Ausnahmefall. Das Ziel zukünftiger Projekte zum Erreichen von Klimaneutralität wird **von Anfang an durch ein partnerschaftliches Herangehen an zukünftige Modernisierungs- und Neubauprozesse besser erreicht werden können. Zielführend wäre es, eine Vertragspartei (Planer, Ausführender usw.) zu finden, die eine Gesamtverantwortung übernimmt.**

Wird der Fokus noch etwas erweitert, heißt dies, dass ein Wandel von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft erforderlich ist, so dass ein gemeinschaftliches und solidarisches Dreiecksverhältnis auf Augenhöhe entsteht. In vielen **Entscheidungen zur Gesetzgebung, zu Förderprogrammen und der daraus evtl. folgenden Marktentwicklung waren in der Vergangenheit Industrie und Wirtschaft dominierend, die betroffene Gesellschaft (hier z. B. stellvertretend der Mieter) blieb weitgehend unbeteiligt.** Rückblickend verdichtet sich der Eindruck, dass nicht die dringend erforderlichen Maßnahmen und Investitionen zur Erreichung von Klimaschutzzielen im Fokus stehen, sondern die Aufrechterhaltung eines wirtschaftlichen Wachstums mit weitgehender Befriedigung persönlichen und unternehmensbezogenen Wert-(Vermögens-)Zuwachses (Gewinn) des eingesetzten Kapitals für „angeblich“ sinnvolle Investitionen (vgl. auch Wright [36], Göpel [37], Latif [38]). **Für die zukünftigen Aufgaben des Klimaschutzes und der Energieeinsparung ist dies ungeeignet, denn Fehlentwicklungen sind dadurch vorprogrammiert.**

(8) Zügige Umsetzung von „no-regret“-Maßnahmen, Abkehr von Prozentzielen und ein CO₂-Budget zur Fortschrittsbewertung

Die Entscheidungen zur nationalen Klimapolitik beruhen auf einer Reihe von – teils internationalen – Verpflichtungen und Vereinbarungen zu Minderungsquoten (Endenergie, Primärenergie) bezogen auf unterschiedliche zurückliegende Zeitpunkte (vorrangig 1990, neuerdings auch 2010) sowie Anteilsquoten bestimmter Energieträger (Regenerativanteil an der Wärme und am Strom) bezogen auf unterschiedliche zukünftige Zeitpunkte (2020, 2030, 2050). Vielfach werden Nachjustierungen einzelner Größen vorgenommen, wenn neue Klimaziele ausgerufen werden. In jedem Fall müssen die Prozentangaben immer wieder an den neuen Basiswert angepasst werden.

Diese Art der Zielvorgabe ist aus politischer Sicht nachvollziehbar, weil einfach zu kommunizieren und zu überprüfen (Kemfert et al. [39]). Allerdings geht es in der Realität nicht um **prozentuale Minderungen, sondern um eine absolute Menge an Emissionen, welche die Atmosphäre noch aufnehmen kann**, um die Pariser Ziele von 2015 noch einzuhalten.

Aus Sicht der Gutachter wäre es daher sinnvoll, alle Klimaschutzziele zu einer übergeordneten Ziel- und Kontrollgröße zusammenzufassen, **dem (absoluten) „noch verfügbaren Emissionsbudget“**. Mit dieser Größe operiert auch der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderung [40] und der Sachverständigenrat für Umweltfragen SRU [41]. Es ist mit ihm umzugehen wie mit einem „Kontomodell“.

Zu einer maximal tolerierbaren Erderwärmung – z. B. 2°C – gehört ein verfügbares Emissionsbudget. Es wird im Sinne eines „Anfangsguthabens“ auf das Konto gebucht. Am Ende jedes Jahres werden die **zurückliegenden registrierten Emissionen vom Guthaben „abgebucht“**. Es gibt **keine Zeitachse** im eigentlichen Sinne, sondern lediglich **das Verbot, das „Konto ins Minus zu führen“ (das Emissionsbudget komplett aufzubrechen)**. Es ist somit **unerheblich, welcher Sektor wie schnell einen Wandel vollzieht**. Ist das Konto jedoch bei null angekommen, ist das eingangs definierte Klimaziel nicht mehr erreichbar. Eine **neue Zieldefinition** – z. B. 2,5°C – **führt zu einer erneuten „Aufbuchung“ von Guthaben, also Emissionsbudget**. Anschließend beginnt der Kreislauf von neuem, **jedoch ist nun allgemein bekannt, dass das vorherige Ziel aufgegeben wurde bzw. nicht erreicht wurde**.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen [41] benennt mit Startjahr 2018 ein weltweites Restbudget von 800 Gigatonnen CO₂, um den Temperaturanstieg (mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 %) auf 1,75°C zu begrenzen. Legt man den deutschen Anteil an der Weltbevölkerung zugrunde, beträgt das ab 2020 verbleibende CO₂-Budget für Deutschland maximal 6,7 Gigatonnen CO₂. Der CO₂-Ausstoß Deutschlands liegt derzeit je nach Berechnungsmethodik zwischen 800 und 900 Mio. t CO₂/Jahr. Damit wäre das Konto in 7 bis 8 Jahren erschöpft. Danach ist nur noch das 2,0°C-Ziel realistisch. Das Kontomodell besagt, dass dann ab 2050 vollständige Klimaneutralität erreicht sein muss.

Das Ersetzen von Prozentzielen in der politischen Diskussion durch eine Verdeutlichung der Klimaziele über das Kontomodell eines noch verbleibenden Emissionsbudgets ist nach Ansicht der Gutachter von entscheidender Bedeutung für die Kommunikation zwischen Gesellschaft, Wirtschaft und Politik. Die Ausgestaltung der Klimaschutzmaßnahmen ist davon unberührt. Es wären weiterhin Unterziele (Ausbauquoten regenerativer Energien usw.) zu definieren. Auch kann das Gesamtbudget den Sektoren zugewiesen werden, beispielsweise – wie auch im Makroteil dieses Gutachten erfolgt – dem Sektor „Gebäude“ oder nur den „Wohngebäuden“. Jedoch erscheint eine übergeordnete Budgetdarstellung den Gutachtern greifbarer zur kurzfristigen Überprüfung des (politischen) Handelns. **Es wäre am Ende jedes Jahres direkt (im Sinne eines „Kontoauszuges“) erkennbar, ob das Budget eingehalten wurde.** Anhand der „jährlichen Abbuchungen“ kann auch die vorhersehbare Kontoüberziehung abgeschätzt werden – also auf welche Klimaerwärmung das (extrapolierte) Handeln zusteuert.

Für die Klimapolitik im allgemeinen und den Gebäudesektor im speziellen bedeutet dies: es ist eine Kombination von „Energiesparen“, „Effizienzverbesserung“ und „Einsatz regenerativer Energien“ umzusetzen. **Es sind dabei die Maßnahmen zuerst zu ergreifen, die mit dem geringsten Aufwand die notwendige CO₂-Minderung erreichen.**

Für größere Kompensationen zwischen Gebäude- und Anlagentechnik im neuen GEG ist die zur Verfügung stehende Zeit (besser das Restbudget an Emissionen) zu gering. Zu dieser Erkenntnis kommen bereits früher verschiedene Untersuchungen, zuletzt eine Studie des DIW [42] vom Juli 2020: **bis spätestens 2040 ist die Energiegewinnung vollständig auf erneuerbare Energien umzustellen, um das Emissionsbudget noch einzuhalten.** Dies sind die Rahmendaten, unter denen die Ziele des European Green Deal erreicht werden können.

Benötigt wird demnach **das beschleunigte Sanieren von Gebäudehülle und Anlagentechnik auf beste Standards, verbunden mit einer Qualitätssicherung und einem verbrauchsorientierten Erfolgsnachweis. Notwendig erscheint ein kurzfristiger Ausstieg aus allen fossilen Energieträgern, zuerst im Neubau, kurz darauf in der Sanierung.** Es mehrten sich daher auch Forderungen, im Gebäudebereich, wie bereits heute schon in einzelnen EU-Ländern konsequent realisiert, **Verbote seitens des Gesetzgebers für fossil mit Heizöl und Erdgas befeuerte Wärmeerzeuger durchzusetzen (z. B. Gerhardt et al. [43]), um die Klimaschutzziele überhaupt noch einigermaßen einhalten zu können.** Das Ausrufen von Verboten wird dabei so gestaltet und zeitlich gestaffelt, dass für Bauherren und Immobilienbesitzer eine Vorhersehbarkeit und Planbarkeit im Rahmen typischer Sanierungszyklen hergestellt wird.

Weitere Voraussetzung wäre eine **drastisch beschleunigte Umstellung auf erneuerbare Stromerzeugung aus Photovoltaik und Windkraft** (in der Mittel- und Grundlast), **weil dies die einzigen Technologien sind, die den entsprechenden Reifegrad für schnellstmöglichen und großflächigen Praxiseinsatz aufweisen.** Flexible Erdgas- und zukünftig Wasserstoff-Spitzenlastkraftwerke mit möglichst geringen Laufzeiten würden **in Zeiten der Flaute** Residuallasten decken. Erdgas wäre unter diesen Umständen **als Übergangstechnologie** anzusehen (vgl. Traber, Fell [44]). Wärmepumpentechnologien und Elektromobilität würden im Sinne der Sektorkopplung parallel verstärkt ausgebaut.

Die gemeinsame Stellungnahme von Leopoldina, acatech und Union der deutschen Akademien benennt darüber hinaus weitere „no-regret“-Maßnahmen [45]. Dazu gehört auch der Aufbau stabiler Energieimportwege für Wasserstoff und dessen Folgeprodukte (z. B. PtX). Diese künstlichen Brennstoffe sind jedoch vornehmlich zur Deckung der möglichst kurzfristigen Residuallasten der Stromerzeugung, im Flugverkehr, Schiffsverkehr, dem landwirtschaftlichen Verkehr oder der Industrie vorgesehen.

Über die gemeinsamen Ziele **sind die Sektoren „Gebäude“, „Verkehr“, „Industrie“, „Energiewirtschaft“, „Landwirtschaft“ und „Abfallwirtschaft/Sonstige“ bereits intersektoral verbunden.** Ob auch ein **Verbund über gemeinsame Steuerungsmechanismen hergestellt wird, ist eine Frage der politischen Ausgestaltung.** Der Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung kommt 2019 [46] zu dem Schluss, dass nur **ein gemeinsamer Europäischer Emissionshandel für alle Sektoren zielführend ist.** Die CO₂-Besteuerung oder separate ETS-Zertifikate jenseits der Energiewirtschaft sind nur Übergangslösungen. Diese Lösung wird auch in anderen Studien präferiert (AGORA 2019 [47]). Alternative oder ergänzende Lösungen sind Handlungsoptionen für „weiße Zertifikate“ (vgl. Bürger 2012 [48]), d. h. Nachweise für getätigte Einsparmaßnahmen. Alternativ – und als **von den Gutachtern präferierte und mit CO₂-Zertifikaten kompatible Lösung – gilt eine geregelte und langfristig bekannte (planbare) Mengengrenzung für das Inverkehrbringen von Kohlenstoff** (vgl. Eisenbeiß [49]).

Die **Überprüfung der Zielerreichung von entweder vorher festgelegten Einsparzielen und Regenerativanteilen oder des Emissionsbudgets erfordert in jedem Fall ein Monitoring.**

Im Weiteren erscheint es den Gutachtern auch angebracht, das Klimaschutzziel – also die Emissionsminderung – erkennbar in den Fokus der Gebäudeplanung zu setzen. Über die Frage, ob die Emissionsbewertung zusätzlich zur Primärenergie (u. a. BAK 2018 [50]), mittelfristig alleinig (u. a. DV 2019 [51], GDW 2019 [52]) oder sofort (co2online / Fraunhofer ISE / Ostfalia 2015 [53], Stiftung Energieeffizienz 2018 [10]) zum Einsatz kommen soll, herrscht keine Einigkeit. Nach Ansicht der Gutachter wäre ein **schneller Umstieg auf CO₂ als Bewertungsgröße sinnvoll, um im Gleichklang mit einer Informationskampagne zum „verfügbaren Emissionsbudget“ und dem „persönlichen CO₂-Fußabdruck“ jedes Bürgers argumentieren zu können.**

Diese Forderung widerspricht allerdings der „Langfristigen Renovierungsstrategie nach EPBD“, welche in dem Bericht des BMWi an die EU in 2020 abgegeben wurde [11]. **Die politische Einflussnahme könnte darin bestehen, das Nachweisverfahren der Planung (namentlich das GEG) in Richtung „Emissionsbewertung“ zu ändern.**

(9) Qualitative Einschätzung möglicher Verbesserungsmaßnahmen an Gebäudehülle, Haupt- und Zusatzerzeugern, der Peripherie und zugehöriger Qualitätssicherung

Im Unterschied zum Punkt (10) der Zusammenfassung werden nachfolgend tabellarisch alle untersuchten Maßnahmen unter Berücksichtigung einer zukünftig veränderten Energiepreisbildung qualitativ beschrieben. Die Erkenntnisnisse der Gutachter aus der Mikro- und Makroperspektive sind dabei unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten eingeflossen.

Tabelle 4 fasst die typischen **Ausgangszustände und Zielzustände für die Gebäudehülle** zusammen und gibt eine **Einschätzung zur Umsetzbarkeit der jeweiligen Maßnahme**. Die Erkenntnisse zu Dämmmaßnahmen und Fenstersanierung lassen sich gut übertragen auf Nichtwohnbauten mit ähnlichen Innentemperaturen wie der Wohnbau, in denen jedoch keine großen internen Lasten auftreten, z. B. Bildungsbauten, Beherbergungsstätten und Heime, Büros und büroähnliche Betriebe sowie Kultureinrichtungen und Krankenhäuser.

Istwert, Zielwert und Einschätzung der Maßnahme	
Außenwand	<p>Die Außenwände der Wohnbauten sind zu etwa 30 bis 35 % bereits gut gedämmt ($U = 0,30$ bis $0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), jedoch zu etwa 50 bis 55 % noch mittelmäßig oder nicht gedämmt ($U = 0,6$ bis $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Ein best-practice-Zielwert für die Außenwanddämmung von außen liegt bei $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, für die Innendämmung bei etwa $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.</p> <p>Die Außenwanddämmung auf hochwertiges Niveau (von außen) oder ein gutes Niveau (von innen bzw. bei Gebäuden mit erhaltenswerter Fassade) ist zuschussfrei wirtschaftlich, wenn ohnehin Maßnahmen an der Fassade notwendig sind und das Gebäude unsaniert ist. Auch eine Nachdämmung des Baustandards der 2. WSchV von 1984 ist mit geringen Investitionskostenzuschüssen von etwa 20 % sinnvoll.</p>
Fenster	<p>Etwa 45 bis 50 % aller Fenster im Wohnbau weisen eine energetisch schlechte Qualität ($U = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) auf. Etwa 10 % sind gut ($U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) und die restlichen von mittlerer Qualität ($U = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Ein best-practice-Zielwert wird aus heutiger Sicht der Gutachter mit $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt.</p> <p>Eine Fenstersanierung ist kostenintensiv, so dass sie selbst bei ohnehin notwendigen Ersatzmaßnahmen nicht wirtschaftlich ist, aber mit Zuschüssen werden kann. Einen vorzeitigen Fensteraustausch konnten die Gutachter nicht wirtschaftlich nachweisen, auch nicht im Zusammenhang von Maßnahmenpaketen. Die Gutachter können feststellen, dass der Fenstertausch vor allem dann sinnvoll ist, wenn das Bestandsfenster das Ende seiner Lebensdauer – also etwa 35 Jahre – erreicht hat.</p>
Oberste Geschossdecke und Dach	<p>Knapp 60 % aller Dächer und oberen Geschossdecken weisen bereits einen guten Standard ($U = 0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) auf. Die restlichen gut 40 % sind gering oder nicht gedämmt ($U = 0,45$ bis $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). ein best-practice-Zielwert von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kann fast in jedem Objekt erreicht werden, weil nur wenige Restriktionen gegeben sind.</p> <p>Die Dämmung der obersten Geschossdecke ist eine wirtschaftliche Maßnahme, die auch anlasslos unter Verwendung der Vollkosten keine Bezuschussung benötigt. Dies gilt auch, wenn bereits eine Dämmung vorhanden ist, für die Aufdopplung. Erst ab einem Ausgangszustand, welcher der Wärmeschutzverordnung 1995 entspricht, ist dies nicht mehr wirtschaftlich.</p> <p>Die Dachsanierung hingegen weist schlechtere Ergebnisse auf. Liegt die Dachsanierung sowieso an, ist die Maßnahme wirtschaftlich. Eine Aufdopplung der Dämmung ist hingegen grenzwirtschaftlich. Anlasslos sind keine Wirtschaftlichkeiten zu erreichen. Bei einer Dachsanierung als Einzelmaßnahme ist es in jedem Fall ratsam, bereits einen ausreichenden Dachüberstand herzustellen für eine Außenwanddämmung, selbst wenn diese erst später erfolgt.</p>
Kellerdecke und Bodenplatte	<p>Gut die Hälfte aller unteren Gebäudeabschlüsse sind ungedämmt ($U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Nur etwa 30 % sind gut gedämmt ($U = 0,38$ bis $0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), der Rest ist in mäßigem energetischen Zustand ($U = 0,68$ bis $0,69 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Ein best-practice-Zielwert liegt bei nur $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Es ist in vielen Gebäuden mit Restriktionen zu rechnen (fehlende Deckenhöhe, Notwendigkeit der Innendämmung).</p> <p>Die Dämmung der Kellerdecke ist eine wirtschaftliche Maßnahme, die auch anlasslos unter Verwendung der Vollkosten keine Bezuschussung benötigt. Eine Aufdopplung der Dämmung führt zu ca. 15 % Zuschuss, wenn eine „mittlere“ Deckenkonstruktion der 2. Wärmeschutzverordnung von 1984 zugrunde gelegt wird.</p> <p>Die Bodendämmung ist nicht wirtschaftlich. Es ergeben sich selbst bei ungedämmten Konstruktionen notwendige Investitionskostenzuschüsse von mindestens 15 %.</p>
bauliche Qualitätssicherung	<p>Die bauliche Qualitätssicherung erfolgt immer zeitgleich mit der Umsetzung der Maßnahmen im überwiegend normalen Sanierungszyklus (Dämmung, Fenstereinbau). Nur dann bietet sich problemlos die Möglichkeit, eine Luftdichtheit herzustellen oder Wärmebrücken zu minimieren. Der absolute und prozentuale Einfluss der Qualitätssicherung steigt an, je besser der erreichte Standard ist. Die im Rahmen des Gutachtens untersuchten Sanierungen auf „guten“ und „besten“ Standard erreichten $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ Emissionsminderung durch die Summe aller QS-Maßnahmen.</p> <p>Die punktuellen Nachweisverfahren der Gebäudedichtheitsmessung und die Thermographie können sinnvoll mit einer Energieanalyse aus dem Verbrauch ergänzt werden. Mit ihr lassen sich Auswirkungen fehlender Qualität (als Summeneinfluss „überhöhter Transmission und Lüftung“) sehr gut sichtbar machen.</p>

Tabelle 4 Maßnahmen an der Gebäudehülle im Überblick [eigene Darstellung]

Tabelle 5 fasst die **Maßnahmen an den Hauptwärmeerzeugern** zusammen. Aus Effizienzmessungen im Feld lassen sich Jahresnutzungsgrade oder Jahresarbeitszahlen ableiten. Die Autoren dieses Gutachtens sehen es als sinnvoll an, eine Unterscheidung in die Fälle **mit und ohne Qualitätssicherung** vorzunehmen.

Istwert, Zielwert und Einschätzung der Maßnahme	
Wärmepumpen	<p>Nur etwa 6 % der EZFH und 2 % der MFH sind heute mit einer Wärmepumpe ausgestattet. Jedoch ist der Wärmepumpenmarkt einer der derzeit am stärksten wachsenden Erzeugermärkte. Im Neubau weist bereits jede dritte Wohneinheit eine Wärmepumpe auf [54]. Eine Wärmepumpe arbeitet ineffizient im unsanierten Bestand. Es muss mindestens eine Teilsanierung des Gebäudes gegeben sein. Gebäude ab Wärmeschutzverordnung 1984 (und besser) erfüllen die Bedingung mit hoher Wahrscheinlichkeit.</p> <p>Für Wärmepumpen ist eine Qualitätssicherung besonders relevant. Bei Erdreichwärmepumpen ergeben sich gemessene Arbeitszahlen zwischen 3,3 und 4,4 mit QS bzw. 2,9 bis 3,8 ohne QS. Für Außenluftwärmepumpen sind 2,5 bis 3,6 mit QS zu erreichen, ohne QS nur 2,1 bis 3,0. Erstgenannter Wert gilt für Durchschnittsgebäude mit Heizkörpern, letzter für best-sanierte Gebäude mit Flächenheizung. Der Trinkwarmwasserbetrieb ist jeweils schlechter.</p> <p>Alle Studien zur Energiewende gehen von einer Vervielfachung des Wärmepumpenbestandes aus, wenn auch in unterschiedlicher Größenordnung. Die Gutachter können dem zustimmen und sehen Wärmepumpen als Standarderzeuger auch in der Sanierung an. Für MFH lassen sich Systeme „kalter Fernwärme“ konzipieren, bei dem der Gebäudeeigentümer oder ein Versorgungsunternehmen den Wärmequellenkreis im Erdreich betreibt.</p> <p>Die Untersuchungen des vorliegenden Gutachtens zeigen unter Verwendung heutiger Energiepreise keine Wirtschaftlichkeit für den Einsatz von Wärmepumpen, auch nicht unter Einbezug von Fördermitteln. Es ist eine veränderte Energieträgerbepreisung notwendig, wie im Abschnitt (5) der Zusammenfassung beschrieben. Auch in Kombination mit Photovoltaik werden Wärmepumpenlösungen wirtschaftlich, weil eine „Quersubventionierung“ stattfindet.</p>
Erdgas- und Heizkessel, Hybridheizung	<p>Etwa 75 bis 80 % aller Wohnbauten werden derzeit mit einem fossil betriebenen Kessel versorgt. Es ist von typischen Effizienzen (Brennwertbezug) in der Größenordnung 88 % bis 93 % für Brennwertkessel bzw. 80 % bis 85 % für Niedertemperaturkessel auszugehen – jeweils ohne bzw. mit Qualitätssicherung.</p> <p>Einen 1:1 Austausch von Heizkesseln haben die Gutachter nicht untersucht. Eine präferierte Lösung für die beiden Ziele – einerseits schnell einen emissionsärmeren Zustand zu erreichen, andererseits nicht bis zum nächsten Baukörperanierungszyklus zu warten – ist der übergangsweise Aufbau von Hybridheizungen (Bivalenz) aus Kesseln und Wärmepumpen. Die Wärmepumpe wird dabei nach der absehbar geringeren Heizlast gewählt, die sich nach der Modernisierung der Gebäudehülle ergibt. Die Wärmepumpe ist daher für eine bestimmte Zeit unterdimensioniert. Mit der nächsten Gebäudesanierung kann das Hybridsystem dann zu einem reinen Wärmepumpensystem umfunktioniert werden. Da eine Hybridlösung klar von der Logik „einfache Systeme sind einfacher zu beherrschen“ abweicht, ist eine Qualitätssicherung bei der Planung und Ausführung hier noch wichtiger als bei reinen Wärmepumpenlösungen.</p> <p>Die für die Wärmepumpen geschilderte Problematik der Unwirtschaftlichkeit aufgrund derzeit zu hoher Strompreise gilt ebenso.</p>
Wärmenetze und Kraft-Wärme-Kopplung	<p>Etwa 4 % der EZFH und knapp 20 % der MFH werden heute über Wärmenetze versorgt. Die Gutachter haben keinen Ausbau konventioneller (warmer und heißer) Nah- und Fernwärmesysteme untersucht. Da langfristig auch diese Netze überwiegend regenerativen Strom nutzen müssen, stellt sich die Frage, welche Energieträger mittel- und langfristig zum Einsatz kommen sollen. Bis auf industrielle Abwärme (Müll, Prozesswärme usw.) weisen alle anderen Optionen (Solarthermie, Wärmepumpe, KWK/Kessel mit PtX/Wasserstoff betrieben) bei einem zentralen Einsatz mit Netz die gleichen Restriktionen auf, die auch für die Direktverwendung am Gebäude gelten. Solarthermie und PV-Strom sind saisonalen Schwankungen unterworfen, künstliche Brennstoffe haben sehr stark verlustbehaftete Vorketten.</p> <p>Es bleibt daher die Frage: sind die zusätzlichen Netzverluste gerechtfertigt, um die sich ergebenden geringeren Investitionskosten von Großanlagen gegenüber vieler Kleinanlagen zu rechtfertigen. In Anbetracht sinkender Wärmeabnahmen, welche sich aus der notwendigen Gebäudemodernisierung ergeben, fallen Netzverluste dann deutlich mehr ins Gewicht als früher.</p> <p>Auch den Betrieb von KWK sehen die Gutachter langfristig nicht als weiteren zu fördernden Markt an. Eine Stromproduktion in Zeiten ohne PV- oder Windstrom wird auch künftig unvermeidbar sein, daher wird es reine Kraftwerke geben. Diese zentrale Stromproduktion ist aber auf ein Minimum zu begrenzen. In diesen Phasen wird langfristig eine mit hohen Umwandlungsverlusten verbundene Rückverstromung vorher hergestellter künstlicher Brennstoffe (wahrscheinlich Wasserstoff oder erneuerbares Methan) stattfinden. Da diese Phasen aber nicht mit dem Dauerbetrieb heutiger KWK-Anlagen vergleichbar sind, sondern eher temporär stattfinden, ist künftig nicht von permanent verfügbarer Wärme aus einer KWK auszugehen.</p> <p>Künftig können jedoch Netze der „kalten Fernwärme“ aus Erdreichkollektoren, Erdsonden oder sonstigen „Abwärmequellen“ der Versorgung gebäudeweiser Wärmepumpen dienen.</p>

Tabelle 5 Maßnahmen an den Haupterzeugern im Überblick [eigene Darstellung]

	Istwert, Zielwert und Einschätzung der Maßnahme
Holzessel	<p>Etwa 6 % der EZFH und 2 % der MFH sind heute mit einem Holzessel ausgestattet. Die typische Effizienz von Holzesseln liegt in der Größenordnung von 70 % (ohne QS) bis 75 % (mit QS).</p> <p>Da Holz ein endlicher Energieträger ist, der in seiner Verfügbarkeit begrenzt ist, können nicht alle Gebäude auf diese Art versorgt werden. Etwa 1/3 des für die Gebäudebeheizung verfügbaren Biomassebudgets ist heute schon ausgereizt. In der langfristigen Perspektive kann Holz als Brennstoff zur CO₂-Minderung beitragen, jedoch nicht in einem Massenmarkt.</p> <p>Eine Wirtschaftlichkeit stellt sich durch einen Wechsel von Erdgas oder Heizöl zu Holz nach Berechnungen der Gutachter nicht ein. Die notwendigen Investitionskostenzuschüsse liegen bei mindestens 70 % der Holzesselkosten. Es erscheint daher sinnvoller, das Unwirtschaftlichkeitsproblem durch eine höhere Bepreisung von Gas und Heizöl (Emissionspreise) zu lösen – siehe Wärmepumpen.</p> <p>Da bei einer Holzheizung hohe Temperaturen erreichbar sind, ist es angebracht, dass sie vor allem in Gebäuden zum Einsatz kommt, die auch langfristig keinen Niedertemperaturbetrieb erlauben, z. B. Denkmale (nach Ausführung aller möglichen baulichen Maßnahmen). Für den Betrieb von Nahwärmenetzen und die damit verbundenen Verluste an das Erdreich erscheint den Gutachtern Holz als zu wertvoll, weil begrenzt.</p>
QS der Haupterzeuger	<p>Die Qualitätssicherung der Erzeugung hängt stark von der Peripherie ab, die relevant für die optimalen Systemtemperaturen ist. Des Weiteren ist eine passende Dimensionierung (Planung) und die Fähigkeit der Leistungsregelung (modulierende Wärmeerzeuger) relevant (Produkteigenschaft). Beides kann nur im Rahmen einer Modernisierung optimiert werden, nicht nachträglich.</p> <p>Jedoch sind Anpassungen der Regelparameter und Hydraulik auch nach Inbetriebnahme sinnvoll. Alle Wärmeerzeuger reagieren auf die vorgelagerten Störgrößen (anderes Nutzerverhalten, Änderungen am Baukörper, Änderungen an der Peripherie), daher ist die QS eher als Daueraufgabe zu verstehen. Eine nachträgliche anlagentechnische Qualitätssicherung als Alleinmaßnahme ist sinnvoll, wenn ein Monitoring stattgefunden hat, mit dem einzelne Probleme lokalisiert und erkannt werden. Eine gute Basis ist eine (automatisierte) Energieanalyse aus dem Verbrauch, integriert z. B. in zukünftigen Regeleinrichtungen von Kesseln und Wärmepumpen sowie in Heizkreisregelungen [53] [27] [55].</p> <p>Der absolute und prozentuale Einfluss der Qualitätssicherung steigt an, je besser der erreichte bauliche Standard ist. Die im Rahmen des Gutachtens untersuchten Sanierungen auf „guten“ und „besten“ Standard erreichten 1/4 bis 1/3 Emissionsminderung durch die Summe aller QS-Maßnahmen.</p>

Tabelle 5 Maßnahmen an den Haupterzeugern im Überblick [eigene Darstellung] (Fortführung)

Auf den Nichtwohnbau lassen sich die Erkenntnisse wie folgt übertragen: für Nutzungen ohne nennenswerte Kühlung kommen Wärmepumpen bzw. übergangsweise wie im Wohnungsbau Kessel/Wärmepumpen-Hybridlösungen zum Einsatz, z. B. sind dies Bildungsbauten, Heime, Büros, Kultureinrichtungen, Sportstätten, Lager. Insbesondere für Nichtwohnbauten mit gleichzeitigem Wärme- und Kältebedarf über weite Teile des Jahres sind Wärmepumpen/Kältemaschinen-Systeme mit Doppelnutzung anzustreben, dies sind z. B. Krankenhäuser, Hotels, Küchen, Verkaufseinrichtungen.

Tabelle 6 stellt die Maßnahmen an **Zusatzerzeugern und wesentlichen Elementen der Peripherie** zusammen.

	Istwert, Zielwert und Einschätzung der Maßnahme
Lüftung mit WRG	<p>Nur etwa 1 bis 3 % der Wohngebäude weisen eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung auf. Die Untersuchungen im Rahmen des Gutachtens zeigen, dass ein sinnvoller Einsatzbereich der Neubau sein wird. Trotz unbestrittener Vorteile ist eine Wirtschaftlichkeit nur gegeben, wenn Fördermittel von fast 100 % der Investitionssumme angesetzt werden. Im durchschnittlichen Sanierungsfall eines bestehenden Wohnbaus ist die Nachrüstung einer Lüftungsanlage mit so hohen Kosten sowie baupraktischem Aufwand der Umsetzung verbunden, dass sich keine Wirtschaftlichkeit ergibt.</p>
Photovoltaik	<p>Etwa 6 % der MFH und 14 % der EZFH sind bereits mit Photovoltaik ausgestattet. Hinsichtlich der Zusatzerzeuger im bzw. am Gebäude spielt die Photovoltaik aus Sicht der Gutachter eine herausragende Rolle. Sie kann nicht nur nennenswert den Haushaltsstrom decken, sondern künftig auch Anteile für die Trinkwassererwärmung und Heizung beisteuern. Einfamilienhäuser schneiden wegen eines günstigeren Verhältnisses von Dachfläche zu Wohnfläche besser ab. Die dezentrale Stromproduktion kann vergleichsweise ausfallsicher erfolgen. Es ist ein typischer Jahresertrag von 200 kWh/(m²a) gegeben.</p> <p>Die Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit im Rahmen des vorliegenden Gutachtens zeigen, dass keine Investitionskostenzuschüsse notwendig werden, sofern eine Vergütung des eingespeisten Stroms erfolgt. Für den Mietwohnungsbau sind übergangsweise aus Sicht der heutigen Rechtslage Konzepte für den Vertrieb und/oder die Eigennutzung von Mieterstrom notwendig, z. B. in Form des Contracting [56].</p>

Tabelle 6 Maßnahmen an Zusatzerzeugern und Peripherie im Überblick [eigene Darstellung]

Istwert, Zielwert und Einschätzung der Maßnahme	
Solarthermie	<p>Die Durchdringung der Wohnbauten mit Solarthermie liegt bei etwa 9 % in MFH und 20 % in EZFH. Je nach erfolgter QS ist mit einem Ertrag von 320 bis 360 kWh/(m²a) zu rechnen.</p> <p>Im Gegensatz zu anderen Studien sehen die Gutachter die Relevanz der Solarthermie sehr eingeschränkt. Sie hat ggf. ihre Berechtigung im EZFH mit mehr als drei Bewohnern (also bei ausreichender Belegung, ohne Zirkulation). Das Maß an notwendiger Qualitätssicherung bis zu einem zufriedenstellenden Betrieb ist in MFH hoch. Zudem ist der ungünstige Umstand einer Trinkwarmwasserzirkulation kaum vermeidbar.</p> <p>Die Wirtschaftlichkeit ist nach den Auswertungen der Gutachter gegeben, wenn Investitionskostenzuschüsse von 55 bis 60 % angesetzt werden. Die größte Konkurrenz ergibt sich zur dezentralen Photovoltaik am Gebäude. Da mit größerer Sicherheit der vorher bestimmte Ertrag bei Photovoltaik aus eigener Monitoringerfahrung auch eintritt und die Anlagen auch ohne nennenswerte Qualitätssicherung ihre zugesicherten Eigenschaften aufweisen, wird die geringere Effizienz (Ertrag pro Fläche) gegenüber einer Solarthermie in Kauf genommen.</p>
Qualitätssicherung der Peripherie	<p>Zu einer qualitätsgesicherten anlagentechnischen Peripherie gehören minimierte unkontrollierte Wärmeeinträge von Rohrleitungen in den beheizten Bereich, der hydraulische Abgleich, optimale Raumregelung und Systemtemperaturen sowie passende Pumpen. Optimale Verhältnisse sind umso schwieriger zu erreichen, je besser der bauliche Wärmeschutz ist; die Problematik unkontrollierter Wärmeeinträge und lokaler Überwärmung, Nachteile träger Regelungen und Heizflächen (Fußboden- und Wandheizungen) wirkt sich in Gebäuden mit geringem Wärmebedarf entsprechend deutlich negativer aus.</p> <p>Ein Teil der Maßnahmen lässt sich leicht und zu jedem Zeitpunkt durchführen: die Optimierung der Systemtemperatur sowie der hydraulische Abgleich. Auch Speicher lassen sich nachdämmen. Der andere Teil – insbesondere schwer regelbare Heizflächen (Estrichfußbodenheizung, Stahlradiatoren) kann erst beim nächsten Sanierungszyklus angegangen werden. Die Möglichkeit der Nachdämmung von Rohrleitungen hängt vom Ort der Installation ab: frei zugänglich oder in der Konstruktion.</p> <p>Der absolute und prozentuale Einfluss der Qualitätssicherung steigt an, je besser der erreichte Standard ist. Die im Rahmen des Gutachtens untersuchten Sanierungen auf „guten“ und „besten“ Standard erreichten ¼ bis ⅓ Emissionsminderung durch die Summe aller QS-Maßnahmen.</p>

Tabelle 6 Maßnahmen an Zusatzzeugern und Peripherie im Überblick [eigene Darstellung] (Fortführung)

Für die Trinkwassererwärmung in Nichtwohnbauten gelten die Aussagen aus dem Wohnungsbau analog: jegliche unnötigen Leitungsnetze sind zu vermeiden; lediglich einzelne Nutzungen mit großen Trinkwarmwasserbedarfen in der Fläche werden zentralisiert ausgeführt: dies sind Netze in Krankenhäusern, Hotels, Heimen, Beherbergungseinrichtungen. Klassische dezentrale Systeme, die über die gesamte Fläche verteilt sind, i. d. R. als Elektroklein- speicher oder Elektrodurchlauferhitzer ausgeführt, finden sich in Bildungsbauten, Büros, Kultureinrichtungen.

Die Photovoltaik lässt sich in alle Nichtwohnbaunutzungen integrieren, weil überall Strom benötigt wird. Solarthermie kann ggf. gut eingebunden werden, wenn große Trinkwarmwassermengen benötigt werden, im besten Falle täglich und ohne Sommerpause: Bäder, Sportstätten (außerhalb von Schulen), ggf. Krankenhäuser. Aus Gründen der Lufthygiene (Schadstoffe, dichte Belegung mit Personen) oder weil ggf. ohnehin ein schnell reagierendes Heizsystem auf Basis von Luft erwogen wird, ist die Verbreitung von Lüftungsanlagen im Nichtwohnungsbau schon heute größer; die Verbreitung von Anlagen mit Wärmerückgewinnung wird noch weiter zunehmen, vor allem in Bildungsbauten, Sportstätten, Krankenhäusern.

Die in Tabelle 4 bis Tabelle 6 genannten Maßnahmen der Sanierung lassen sich inhaltlich auch auf den Neubau übertragen. Dies gilt vor allem für eine **verpflichtende Qualitätssicherung, beim Bau und nach Inbetriebnahme auf Basis von Verbrauchsdaten**. Diese wäre als **obligatorische Maßnahme in einer novellierten Version des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) festzuschreiben**.

Hinsichtlich der Ausstattung schließen sich die Gutachter der umfangreichen Studie von IWU/BET aus dem Jahr 2019 [57] an. Dem Bauherrn wird im Neubau nahegelegt, **sich an den aus technischer Sicht besten Lösungen zu orientieren – sowohl beim Wärmeschutz, als auch bei der Wärmeversorgung. Konkret sehen die Gutachter das Passivhausniveau** (vgl. BUND 2017 [32]) **sowie vorgeschriebene Nutzung von Photovoltaik** (vgl. u. a. Hamburger Klimaschutzgesetz [58]) **als realistisch an**. Sofern dies rechtlich durchsetzbar ist, erscheint es den Gutachtern als zielführend, Förderung und Forderung miteinander zu verknüpfen (vgl. auch DMB 19 [59] und BAK 2018 [50]).

(10) Quantitative Zusammenfassung der Ergebnisse der Mikroperspektive: Einspareffekte, Kosten-Nutzen-Verhältnisse, Fördertatbestände oder notwendige Anpassung der Energiepreise

Für die Typgebäude, die in Abschnitt (2) der Zusammenfassung vorgestellt wurden, untersucht das vorliegende Gutachten verschiedene Maßnahmen und Maßnahmenpakete. Die Ergebnisse werden **nachfolgend tabellarisch vorgestellt**. Es werden **grundsätzlich zwei Fälle unterschieden**: die **Maßnahme erfolgt, weil sie ohnehin geplant war** (im Sanierungszyklus) oder sie wird **anlasslos, d. h. vorgezogen durchgeführt**. Im ersten Fall sind die Mehrkosten relevant – über das ohnehin geplante Maß (Sowiesokosten) hinaus. Im zweiten Fall zählen die Vollkosten.

Zunächst erfolgt die rein ökologische Sicht in Form der Angabe einer „Emissionsminderung“ in [%], bezogen auf den Ausgangszustand. Für Maßnahmen, die auch die Strombilanz betreffen, erfolgt eine Gemeinschaftsbetrachtung „Wärme plus Strom“ (z. B. mit Photovoltaik), sonst nur „Wärme“. **Die Maßnahmen sind sortiert nach dem äquivalenten CO₂-Preis, also nach den Kosten je eingesparter Tonne CO₂**. Die Gutachter geben in der letzten Spalte eine Einschätzung ab, wie weiter verfahren werden kann – ob die Maßnahme sich aus wirtschaftlicher Sicht als umsetzungsgünstig erweist und entsprechend weiterverfolgt wird und mit welchem Aufwand.

Darüber hinaus liefert die ökonomische Sicht eine Gesamtkostendifferenz aus Kapital-, Wartungs- und Energiekosten der Maßnahme in [€/m²a)], bezogen auf die beheizte Wohnfläche und verglichen mit dem Ausgangszustand. **Ein positiver Wert unter „Jahreskosten, Fehlbetrag“ bedeutet eine Unwirtschaftlichkeit, ein negativer Wert stellt einen Gewinn dar.**

Im Verlustfall wird ein „notwendiger Investitionskostenzuschuss“ in [%] bezogen auf die Gesamtkosten einer Maßnahme angegeben – analog einer Zuschussung durch heutige KfW-Programme. **Der Wert ergibt sich so, dass eine Grenzwirtschaftlichkeit erreicht wird. Wird ein Wert über 100 % ermittelt, ist dies ein Indiz, dass nicht die Investitionskosten problematisch sind, sondern andere Bestandteile der Gesamtkostenrechnung (regulär steigende Energiekosten trotz Modernisierung)**. Allgemein steigt die Wirtschaftlichkeit von Modernisierungsmaßnahmen, wenn die Energiepreise hoch sind – es lohnt sich dann das Sparen. Energiepreise können auch steigen, wenn sie durch Emissionspreise belegt werden. **Berechnet wird die Verteuerung der Energieträger (z. B. des vor der Sanierung verwendeten Erdgases) durch einen „notwendigen zusätzlichen Emissionspreis“ in [€/t]), der gegeben sein müsste, damit genau eine Grenzwirtschaftlichkeit erreicht wird.**

	Kurzbeschreibung	Vollkosten/ Mehrkosten	Emissionsminderung, Wärme	Äquivalenter CO ₂ -Preis	Jahreskosten, Fehlbetrag	notwendiger Investitionskostenzuschuss	notwendiger zusätzlicher Emissionspreis	Fazit
			[%]	[€/t]	[€/m ² a)]	[%]	[€/t]	
erstmalige Dämmung bzw. schlechter Ausgangszustand								
OGD	schlecht → best	V	-20 ... 30	100 ... 120	-1,6 ... -2,5	keiner	keiner	+++
Dach	schlecht → best	M	-20 ... 30	200 ... 220	-1,4 ... -1,9	keiner	keiner	+++
Kellerdecke	schlecht → best	V	-10 ... -20	220 ... 240	-0,3 ... -0,4	keiner	keiner	+++
AW außen	schlecht → best	M	-30 ... 40	240 ... 260	-1,0 ... -1,1	keiner	keiner	+++
AW innen	schlecht → gut	V	-25 ... 35	310 ... 330	-0,1 ... 0,1	max. 2	max. 10	+
AW außen	schlecht → best	V	-30 ... 40	320 ... 340	0,0 ... 0,4	max. 7	max. 25	+
Bodenplatte	schlecht → best	V	-5 ... -15	430 ... 460	0,4 ... 0,7	max. 30	max. 140	o
Dach	schlecht → best	V	-20 ... -30	430 ... 460	0,9 ... 1,8	max. 30	max. 140	o
Fenster	schlecht → best	V	-10 ... -20	920 ... 1020	3,6 ... 3,7	max. 70	max. 700	-
zusätzliche Dämmung bzw. mittlerer Ausgangszustand								
OGD	mittel → best	V	- 5 ... -15	280 ... 300	-0,1 ... 0,0	keiner	keiner	+++
Kellerdecke	mittel → best	V	0 ... -10	350 ... 380	0,1 ... 0,2	max. 15	max. 70	+
AW außen	mittel → best	M	-20 ... -30	360 ... 450	1,1 ... 1,2	max. 20	max. 140	o
Dach	mittel → best	M	-5 ... -15	500 ... 530	0,5 ... 1,0	max. 20	max. 220	o
Fenster	mittel → best	M	0 ... -10	760 ... 850	1,0 ... 1,1	max. 20	max. 550	-
Dach	mittel → best	V	-5 ... -15	1200 ... 1300	2,4 ... 4,2	max. 75	max. 950	-
+++ (umsetzen), ++ (ggf. umsetzen), + (anreizen/fördern), o (ggf. anreizen fördern), - (nicht anreizen/fördern)								
OGD (obere Geschossdecke), AW (Außenwand)								

Tabelle 7 Quantitative Ergebnisdarstellung der baulichen Einzelmaßnahmen [eigene Darstellung]

Die Ergebnisse der Tabelle 7 lassen sich in **Handlungsoptionen zur realen Förderpolitik** übertragen. Um den Investoren tatsächlich einen Anreiz zur Sanierung zu bieten, erscheint für die baulichen Maßnahmen – vor allem an Bauteilen mit sehr langen Nutzungsdauern, die „von allein“ nicht angefasst werden würden – eine **Förderquote von 10 bis 20 %** als sinnvoll. Sie liegt etwas höher als rechnerisch notwendig und führt beim Investor dann zu realen Entlastungen, wenn ohnehin der Sanierungszyklus erreicht ist. Dieser Wert wird auch für Fenster angenommen, auch wenn die tatsächlich notwendige Förderung damit nicht erreicht wird. Lediglich für Bodenplatten erscheinen 40 % als realistisch.

Da die Effizienz der Erzeuger häufig von der Systemtemperatur abhängt, werden die Betrachtungen zum Erzeugertausch zunächst am Durchschnittsgebäude (alle Hüllbauteile sind „durchschnittlich“) getestet, jedoch alternativ auch immer ein saniertes Gebäude (alle Hüllbauteile sind „gut“ oder auf den Standard „best“ saniert) als Alternative betrachtet.

Tabelle 8 zeigt deutlich, dass **viele der strombasierten Versorgungsvarianten beim heutigen Strompreis zwar deutlich emissionsmindernd sind, jedoch nicht wirtschaftlich**. Auch Investitionskostenzuschüsse können vielfach das Problem nicht mindern, da nicht die jeweilige Investitionssumme problematisch ist, sondern da die Energiekosten im Zuge der Erzeugerwechsel ansteigen.

	alter Erzeuger	Vollkosten/ Mehrkosten	Emissionsmin- derung, Wärme	Äquivalenter CO ₂ -Preis	Jahreskosten, Fehlbetrag	notwendiger Investitionskosten- zuschuss	notwendiger zusätzlicher Emissionspreis	Fazit
			[%]	[€/t]	[€/(m ² a)]	[%]	[€/t]	
heutiges Durchschnittsgebäude Deutschland								
Holzessel	Öl-NT	M	ca. -95	100 ... 160	3,2 ... 6,6	80 ... 90	80 ... 140	++
Holzessel	Öl-BW	V	ca. -95	120 ... 190	4,4 ... 8,1	ca. 110	120 ... 200	++
AU-WP	Öl-NT	M	-45 ... -50	130 ... 200	5,1 ... 7,5	110 ... 140	240 ... 300	+
Fernwärme	Gas-NT	V	-5 ... -10	ca. 240	ca. 2,4	ca. 480	ca. 1150	-
AU-WP	Öl-BW	V	-40	240 ... 380	7,3 ... 10,8	160 ... 200	480 ... 610	+
E-WP	Öl-NT	M	ca. -55	330 ... 390	8,5 ... 11,8	100 ... 100	330 ... 390	+
AU-WP	Gas-NT	M	ca. -30	330 ... 490	5,1 ... 7,5	110 ... 140	590 ... 730	o
E-WP	Öl-BW	V	ca. -50	410 ... 530	9,4 ... 13,7	110 ... 140	470 ... 590	o
AU-WP	Fernwärme	V	ca. -20	ca. 570	ca. 4,0	ca. 110	ca. 620	o
E-WP	Gas-NT	M	ca. -40	640 ... 770	8,5 ... 11,8	100 ... 110	640 ... 770	o
E-WP	Fernwärme	V	ca. -40	ca. 730	ca. 6,2	ca. 80	ca. 560	o
AU-WP	Gas-BW	V	ca. -15	870 ... 1300	7,2 ... 10,8	160 ... 200	1700 ... 2100	-
E-WP	Gas-BW	V	ca. -30	920 ... 1200	9,4 ... 13,7	110 ... 120	1100 ... 1300	-
auf gutes Niveau saniertes Gebäude								
Holzessel	Öl-NT	M	ca. -95	120 ... 180	2,6 ... 4,5	70 ... 80	100 ... 160	++
Holzessel	Öl-BW	V	ca. -95	140 ... 250	3,4 ... 6,4	100 ... 110	150 ... 260	++
AU-WP	Öl-NT	M	ca. -50	150 ... 170	3,5 ... 3,6	70 ... 130	230 ... 250	+
AU-WP	Öl-BW	V	ca. -40	280 ... 440	6,8 ... 5,0	140 ... 180	500 ... 600	+
E-WP	Öl-NT	M	ca. -60	350 ... 370	5,8 ... 6,3	80 ... 100	340 ... 520	+
AU-WP	Gas-NT	M	ca. -30	370 ... 380	3,5 ... 3,6	70 ... 130	520 ... 610	+
E-WP	Öl-BW	V	-50 ... -55	450 ... 580	6,5 ... 8,6	100 ... 110	510 ... 600	o
AU-WP	Fernwärme	V	ca. -25	ca. 650	ca. 3,0	ca. 110	ca. 680	o
E-WP	Gas-NT	M	ca. -45	ca. 680	5,8 ... 6,3	80 ... 100	630 ... 670	o
E-WP	Fernwärme	V	ca. -40	ca. 790	ca. 4,5	ca. 80	ca. 610	o
AU-WP	Gas-BW	V	ca. -20	970 ... 1250	5,0 ... 6,8	140 ... 180	ca. 1700	-
E-WP	Gas-BW	V	ca. -35	1000 ... 1200	6,5 ... 8,6	100 ... 110	ca. 1200	-
Fernwärme	Gas-NT	V	ca. 10	k. A.	1,9	ca. 490	k. A.	--
+++ (umsetzen), ++ (ggf. umsetzen), + (anreizen/fördern), o (ggf. anreizen/fördern), - (nicht anreizen/fördern), -- (nicht umsetzen)								
WP (Wärmepumpe), E (Erdreich), AU (Außenluft), NT (Niedertemperaturkessel), BW (Brennwertkessel)								

Tabelle 8 Quantitative Ergebnisdarstellung der Einzelmaßnahmen an den Haupterzeugern [eigene Darstellung]

Das spricht dafür, dass **eine grundlegend andere Energieträgerbeziehung angebracht ist**, wie im Punkt (5) der Zusammenfassung herausgearbeitet wird. In der heute vorhandenen Preisstruktur müsste eine Photovoltaikanlage eingebunden werden, die zumindest teilweise die Stromkosten mindert. Alternativ treten Energieträgerverteilungen ein (Gas- und Ölpreise müssten mindestens verdoppelt, oft auch verdreifacht werden).

Tabelle 9 zeigt, dass keine Notwendigkeit besteht, die Photovoltaik separat zu bezuschussen. Sie rentiert sich durch die Einspeisevergütung. Für Solarthermie und Lüftungstechnik sind die berechneten Zuschüsse deutlich höher. Für die reale Umsetzung in ein Förderprogramm erscheint es auch hier sinnvoller, zunächst eine grundlegend andere Energieträgerbeziehung zu etablieren, wie im Punkt (5) der Zusammenfassung erläutert.

	Vollkosten/ Mehrkosten	Emissionsmin- derung, Wärme+Strom	Äquivalenter CO ₂ -Preis	Jahreskosten, Fehlbetrag	notwendiger Investitionskosten- zuschuss	notwendiger zusätzlicher Emissionspreis	Fazit
		[%]	[€/t]	[€/(m ² a)]	[%]	[€/t]	
Photovoltaik + elektr. TWW	V	-10 ... -15	560 ... 980	-2,0 ... -2,5	keiner	keiner	+++
Photovoltaik	V	-5 ... -10	550 ... 1300	-2,1 ... -2,6	keiner	keiner	+++
Solarthermie	M	-5 ... -10	900 ... 930	1,5 ... 1,8	55 ... 60	490 ... 570	-
Solarthermie	V	-5 ... -10	830 ... 1000	1,5 ... 1,7	55 ... 60	420 ... 640	-
Lüftung WRG	V	ca. -5	1900 ... 3000	c. 5,0	90 ... 100	1700 ... 2900	-
+++ (umsetzen), ++ (ggf. umsetzen), + (anreizen/fördern), o (ggf. anreizen fördern), - (nicht anreizen/fördern)							
WRG (Wärmerückgewinnung), TWW (Trinkwarmwasser)							

Tabelle 9 Quantitative Ergebnisdarstellung der Einzelmaßnahmen an den Zusatzerzeugern [eigene Darstellung]

Eine pauschale Bewertung, ob Maßnahmenreihenfolgen oder Pakete sinnvoller sind, lässt sich nicht abschließend treffen. Es ist eine Einzelfallentscheidung – vor allem abhängig davon, welche Maßnahmen zum Zeitpunkt der Überlegung ohnehin anstehen und welche ggf. dadurch im Paket vorgezogen werden. Die Bestandteile eines Gebäudes weisen unterschiedliche Sanierungszyklen auf, so dass es im Verlaufe eines Gebäudelebens nur wenige oder auch keine Zeitpunkte gibt, zu denen viele oder gar alle Einzelelemente gleichzeitig saniert werden müssen.

Stehen alle oder mehrere Maßnahmen gleichzeitig oder fast gleichzeitig an, ist es sinnvoll im Paket zu sanieren. Stehen Maßnahmen nicht gleichzeitig an, besteht Wahlfreiheit für das Bilden von Paketen. Je **ferner der eigentlich notwendige Investitionszeitpunkt liegt, desto unwirtschaftlicher ist eine Paketsanierung mit Vorzieheffekt**. Insbesondere Fenster- und Außenwand im Paket führen jeweils zu sehr großen Verschiebungen. Würde die Wand immer im Zusammenhang mit der Fenstersanierung ertüchtigt, führte dies jedes Mal zu einem Vorziehen von etwa 10 Jahren. Es ist damit nachvollziehbar, dass – obwohl eine Gleichzeitigkeit baupraktisch auf der Hand liegen würde – häufig in der Praxis die Fenster in einem anderen Turnus und unabhängig von der Wand verbessert werden.

Da die anlagentechnischen Maßnahmen allgemein kurzlebiger sind als bauliche Maßnahmen, stellt sich insgesamt eher die Option einer vorzeitigen Anlagentechniksanie rung im Zusammenhang mit einer baulichen Sanierung. Dies wird im Gutachten auch an den Typgebäuden herausgearbeitet: die **vorgezogene Verbesserung des Erzeugers ist deutlich günstiger** (im Sinne notwendiger Zuschüsse) **als der umgekehrte Fall**. Bezogen auf die untersuchten Varianten für Reihenfolgen und Pakete des EZFH und MFH ist festzustellen, dass das Vorziehen von anlagentechnischen Maßnahmen günstiger ist, wenn der Energieträger Heizöl gegeben ist. Dann lohnt sich sogar der **Aufbau übergangsweiser Hybridlösungen mit Kessel und Wärmepumpe**. Das ist bei Gaskesseln nicht der Fall. Sie können eher bis zum Lebensende betrieben werden.

Die Maßnahmenbewertung erfolgt unter festgelegten Randdaten zur Bilanzierung und Wirtschaftlichkeitsbewertung. **Werden diese modifiziert, ergeben sich andere Erkenntnisse. Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse könnten alle oder einzelne Varianten erneut unter anderen Randdaten durchgerechnet werden. Darauf wird im Rahmen des Gutachtens jedoch verzichtet. Das Gutachten behandelt sanierungsfördernde und -hemmende Randdaten qualitativ. Sie werden nachfolgend nur benannt:**

- **sanierungsfördernd, bessere Wirtschaftlichkeit:** hoch berechnete Endenergieeinsparung, hohe Energiepreissteigerung, geringe Investitionskosten (z. B. Weglassen der Kostengruppe 700), hoher Sowiesokostenanteil / geringe energiebedingte Mehrkosten*, Einbezug von Lernkurven für Bauprodukte, negativer Baupreisindex, geringer Finanzierungszins*, lange Nutzungsdauern der Bauprodukte*
- **sanierungshemmend, schlechtere Wirtschaftlichkeit:** gering berechnete Endenergieeinsparung*, niedrige Energiepreissteigerung*, hohe Investitionskosten (incl. Kostengruppe 700)*, Verwendung der Vollkosten*, keine Berücksichtigung von Lernkurven für die Bauprodukte*, positiver Baupreisindex, hoher Finanzierungszins, kürzere Nutzungsdauern der Bauprodukte.

Die mit Stern (*) gekennzeichneten Größen wurden im Rahmen dieser Studie verwendet. Die Einordnung zu einer der beiden Rubriken erfolgt nach Ansicht der Gutachter im Vergleich zu anderen Studien ähnlichen Auftrags.

(11) Motivation und Hemmnisse der einzelnen Akteure, Selbstnutzung und Vermieter-Mieter-Konstellationen sowie die Rolle von Betreibermodellen

Jegliche Überlegung zu einer vermehrten Marktdurchdringung von baulichen Sanierungen, Technologiewechseln, veränderter Energieträgerbepreisung usw. ruft auch politischen Klärungsbedarf zum Nachteilsausgleich hervor. Es liegen diverse Vorschläge **zur Entlastung einkommensschwacher Haushalte** vor (DMB 2019 [59], Neitzel et al. 2017 [60], Großklos et al. 2018 [61], IWU 2013 [62]): **begrenzte oder keine Umlage von Emissionspreisen der Energieträger, Warmmietenzuschüsse oder Warmmietdeckel, eine Klimakomponente im Wohngeld/ Klimawohngeld**. Aber auch Budgetansätze sind denkbar, um **energiesparendes Verhalten** (Wasser, Strom, kleinere Wohnung) zu belohnen.

Erfolgt der Umbau des Energiesystems mit abgestimmten politischen Maßnahmen zur Sektorkopplung, ergeben sich keine wesentlichen bzw. unüberwindbaren volkswirtschaftlichen Belastungen. Dies zeigt eine vom Öko-Institut für den Bundesverband der Verbraucherzentralen durchgeführte Studie, welche die Auswirkungen auf die Sozialkosten der verschiedenen Haushalte untersucht [63].

Für den Fall der **Selbstnutzung einer Immobilie durch einen Einzelnutzer** gelten die Erkenntnisse (Energieeinsparung, Gesamtkosten) zu Einzelmaßnahmen und Maßnahmenpaketen wie im Punkt (10) der Zusammenfassung beschrieben. Auch die mit einer Modernisierung einhergehende Wertsteigerung der Immobilie sowie die größere Unabhängigkeit von Energiepreissteigerungen sowie der Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz sind vielfach von Bedeutung. Alle als wirtschaftlich erkannten Maßnahmen führen direkt zu einer Gesamtkostenminderung (Summe aus Kapitalkosten, Wartungs- und Unterhaltskosten, Energiekosten).

Sofern keine Wirtschaftlichkeit der Maßnahme allein aus der Energiekostensparnis heraus bestimmt werden kann, führt der Einbezug eines „**Investitionskostenzuschusses**“ zu einer Grenzwirtschaftlichkeit. Es gilt dann: die jährlichen Kosten mit der Maßnahme (Kapital plus Energie) sind genauso groß wie die Energiekosten vorher.

Die Alternative eines „**zusätzlichen Emissionspreises**“ führt auch zu einer Grenzwirtschaftlichkeit. Allerdings steigen dabei die Gesamtausgaben. Es gilt: die jährlichen Kosten mit der Maßnahme (Kapital plus Energie) sind genauso groß wie die Energiekosten vorher – jedoch wären diese durch den zusätzlichen Emissionspreis bereits höher. Wird der „zusätzliche Emissionspreis“ als (förderpolitische) Maßnahme zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit gewählt, ergibt sich der staatliche Anteil indirekt, z. B. durch **anderweitige Entlastungsnotwendigkeiten, v. a. einkommensschwacher Verbraucher**. Dieser Ansatz führt also ebenfalls zu einer Subventionsnotwendigkeit, jedoch anderer Art.

Die o. g. Überlegungen gelten für **Wohneigentümergeinschaften ebenfalls**. Nutzer und Investor sind grundsätzlich identisch. Für die gemeinschaftliche Nutzung von Photovoltaikstrom sind ggf. komplexere technische Strukturen aufzubauen (z. B. eine zweite Zählerebene) oder alternative vertragliche Regelungen (z. B. ein Betreibermodell).

Für den Fall der **Vermietung einer Immobilie** sind die Erkenntnisse zu modifizieren. Alle als wirtschaftlich erkannten Maßnahmen führen zu einer Gesamtkostenminderung (Summe aus Kapitalkosten, Wartungs- und Unterhaltskosten, Energiekosten). Sie sind also zuschussfrei umsetzbar, das bedeutet: es ließe sich eine **Kaltmieterhöhung** finden, bei der weder der Vermieter noch der Mieter einen Verlust verzeichnen. Ob dies tatsächlich umsetzbar ist, ergibt sich aus der **Deckelung der Mietpreiserhöhung – einerseits durch die prozentuale Umlagefähigkeit, andererseits die örtlichen Vergleichsmieten**.

Die Investitionsaufwendungen der Sanierung werden auf die Mieter umgelegt. Zu der **Art und Höhe von Umlagen gibt es diverse Vorschläge** verschiedener Akteure (Weiß et al. [64], Pehnt et al. [34], IWU 2013 [62], DMB 19 [59], AGORA 20 [65] u. a.). Beispielsweise besteht die Option Investitionen nicht kostenabhängig mit festen Quoten, sondern einsparabhängig umzulegen, die Modernisierungsumlage auf das Doppelte der einsparbaren Energiekosten zu begrenzen, nur eine Umlage bis zur Warmmietenneutralität vorzunehmen oder weitgehend Warmmieten einzuführen. Auch örtliche Vergleichsmieten (der zweite limitierende Faktor für die Umlage) könnten den energetischen Standard berücksichtigen („ökologische Mietspiegel“). Auch das **pragmatische Drittelungsmodell** steht zur Diskussion (vgl. BUND 2017 [32]) – ein Drittel der Kosten einer energetischen Sanierung trägt der Vermieter (finanziert durch Kaltmieten und deren Erhöhung), ein Drittel trägt der Mieter (Resultat sind höhere Warmmieten), ein Drittel trägt der Bund (über Förderprogramme).

Sofern keine Wirtschaftlichkeit der Maßnahme allein aus der Energiekostensparnis heraus bestimmt werden konnte, führt der Einbezug eines „Investitionskostenzuschusses“ zu einer Grenzwirtschaftlichkeit. Der Zuschuss wird an den Vermieter gezahlt, der daraus einen Teil der Investitionskosten deckt und somit die notwendigen Kaltmieterhöhung etwas geringer ausfallen lassen kann. Ein **zusätzlicher Emissionspreis** belastet zunächst einmal nur die Mieter. Würde ein solches System etabliert, braucht es **anderweitige Entlastungen der Mieter** – dies gilt analog wie für die Selbstnutzer beschrieben. Kritisch sind Haushalte mit geringem Einkommen bzw. einer hohen Mietbelastung bereits vor der Modernisierung.

(12) Pfade in die Energiezukunft: breit gefächerte Meinungen unterschiedlicher Akteure

Als Teil des Gutachtens wurden verschiedene Studien der ca. letzten 10 Jahre ähnlichen Inhalts gesichtet. Die jeweils vorliegende Datenbasis zur Beschreibung des Gebäudebestandes sowie die Kostendaten wurden auf Praxisnähe, Aktualität und notwendige Detailtiefe hin untersucht. Die von anderen Autoren gewählte Vorgehensweise bei der Bearbeitung wurde analysiert und ggf. adaptiert, insbesondere die Energiebilanzierung mit Ergebnisabgleich zum realen Verbrauch sowie die Wirtschaftlichkeitsbewertung und ihren Umgang mit ohnehin notwendigen Sanierungstatbeständen. Die Bandbreiten (Meinungsfelder der Experten) für Zukunftsprognosen wurden erfasst, z. B. die künftige Marktdurchdringung einzelner Produkte, Markthemmnisse und -restriktionen, natürliche und künstlich hervorgerufene Sanierungsgeschwindigkeiten.

Im Quervergleich kann die Frage, wieso verschiedene Autoren bei derselben Aufgabenstellung zu vergleichsweise verschiedenen Erkenntnissen kommen, wie folgt beantwortet werden.

Primär relevant ist die **Art der Zielvorgabe**. Der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung [66] zielt auf eine **Emissionsminderung bis 2050 von 80 % bis 95 % ab, unabhängig davon, ob das Emissionsbudget damit eingehalten wird oder nicht**. Wird das Emissionsbudget des IPCC als Maß für die Begrenzung der Erderwärmung gewählt, spielt es dagegen keine Rolle, bis wann welche Emissionsminderung eintritt, solange das Budget insgesamt eingehalten wird, siehe auch Punkt (8) der Zusammenfassung. **Die Maßnahmen und Szenarien, die sich aus dem Budgetansatz ableiten, sind deutlich ambitionierter – was im Umkehrschluss bedeutet, dass mit den Zielen des Klimaschutzplans 2050 nicht unbedingt das 2°C-Ziel einzuhalten ist. Dies gilt vor allem, wenn lange gezögert wird und die Umsetzung erst kurz vor Ablauf der Frist erfolgt.**

Darüber hinaus sind die konkreten Vorgehensweisen und Annahmen der jeweiligen Makrostudie relevant. Grob zusammengefasst sind die Annahmen zur Energiebilanzierung (Ziel: Einsparung berechnen) und zu Energie- und Investitionskosten (Ziel: Wirtschaftlichkeit berechnen) relevant. **Vorab sei angemerkt: es bestehen extrem viele Freiheitsgrade und unbekannte Entwicklungen bei einer Modellierung der Zukunft aller (!) Gebäude in eine mindestens 30-jährige (!) Zukunft. Ein Blick zurück zeigt, dass das Problem vor 30 Jahren recht ähnlich lag.**

Bei den durch die Gutachter untersuchten Makrostudien zeigt sich, dass nur geringe Abweichungen bei der Beurteilung der Energiebilanz vorliegen. Auf Basis des Ergebnisvergleiches der Studien ist zudem zu vermuten, dass es **nicht zwangsweise notwendig ist, den Gebäudebestand mit einer großen Detailtiefe abzubilden**. Die **Simulationsverfahren** (auf Basis von Typologien mit vielen Untergruppen von Gebäudearten und Baujahren, jahresweise Prognosen, teilweise Stundensimulationen) **gelangen zu ähnlichen Erkenntnissen wie die Verfahren, die auf wenigen Typgebäuden basieren** und in 10-Jahresschritten arbeiten.

Anders sieht es bei den Annahmen zu Kosten aus. Es werden teils **sehr verschiedene Annahmen zur Zukunftsentwicklung der Energiepreise** getroffen: mit oder ohne Einbezug einer CO₂-Komponente (moderat wie von der Bundesregierung beschlossen bis ambitioniert nach Vorschlägen des UBA), mit oder ohne Umgestaltung des EEG/Entlastung der Strompreise, mit oder ohne allgemeine Energiepreissteigerungen. Auch für Energieträger, die heute nicht einmal auf dem Markt sind, z. B. Import-PtX aus Nordafrika werden zwangsläufig Preise angesetzt. Ähnliches gilt für die **Investitionskostenannahmen**, die teils ohne **Lernkurven** angesetzt werden, teils Lernkurven (also Preisdegressionen für im Markthochlauf befindliche, jüngere Produkte – insbesondere Wärmepumpen und Photovoltaik mit bis zu 50 %) berücksichtigen.

Die Gutachter gehen davon aus, dass die Annahmen zur künftigen Technikausbreitung (Art und Geschwindigkeit) sowie Baukörperanierung (Standards und Geschwindigkeit) auch auf den persönlichen Projekterfahrungen der jeweiligen Autoren der verschiedenen Studien sowie den institutionellen Denkweisen der ausführenden und auftraggebenden Institution basieren.

In der Mehrzahl der Studien ergibt sich eine große Bandbreite von Szenarien, neben einem „business-as-usual“, welches entweder die Vergangenheit einfach fortschreibt oder bereits beschlossene (in der Umsetzung sichere) Politikmaßnahmen berücksichtigt. Die Zukunftsszenarien lassen sich grob zu zwei grundsätzlichen Ansätzen bündeln (Hinweis: es sind Zwischenlösungen möglich):

- **„Elektropfade“**: Schwerpunkt Ausbau gebäudenaher Photovoltaik und Wärmepumpen, vorrangig Stromdirektnutzung, eher dezentrale Speicherung, künstliche Gas und Gaskraftwerke zur Strombereitstellung in Dunkelflauten/Spitzenzeiten
- **„Technologiemixpfade“**: Schwerpunkt Beibehalt üblicher Gasnetzstrukturen sowie Ausbau Fernwärme/KWK, vorrangig Nutzung künstlicher Gase (überwiegend Importe)

Wird der Fokus auf den Erhalt der stofflichen Energiewirtschaft auf Basis von PtX gesetzt (z. B. DENA-Leitstudie [67]) werden die Handlungsstränge vom Sektor „Gebäude“ in die „Energiewirtschaft“ verschoben. Für die Gebäude bleibt die grobe Versorgungsstruktur dann fast erhalten. Allerdings ist der notwendige Ausbau der regenerativen Energiewirtschaft dann deutlich höher, **weil die Erzeugung und Lieferung regenerativer Gase sehr viel verlustbehafteter ist als die regenerativen Stroms. Die Gutachter sehen wie auch Fraunhofer ISE und AGORA [68] [69] daher den „Elektropfad“ als zielführender an.**

Zusammenfassend lässt sich sagen: **der Ausbau von regenerativen Energiequellen ist in allen Studien und Gutachten notwendig. Die Frage ist nur, ob diese als Teil der „Energiewirtschaft“ geführt werden (überwiegend zentrale Aufbereitung der regenerativen Energien und dann Lieferung als PtX oder Fernwärme), oder als Teil des Sektors „Gebäude“ (überwiegend dezentrale Aufbereitung und Nutzung). Aufgrund der Verlustvermeidung und damit geringerer notwendiger Ausbaukapazitäten von Photovoltaik und Windkraft tendieren die Verfasser dieses Gutachtens zu der zweiten Lösung.**

Unter der Prämisse des Ausstiegs aus den fossilen Energieträgern sind die künftigen Lieferanten von Energie Sonne und Wind; zwei bekanntermaßen volatile Quellen. Da Angebot und Nachfrage von Energie gegenläufigen Jahreszyklen unterworfen sind, hängt die Frage der Höhe der Investitionskosten (Umwandlung, Speicherung) an den Lastspitzen der Sektoren. Anders als im Verkehr und der Industrie verläuft die Bedarfsnachfrage des Gebäudesektors maximal antizyklisch zum gegebenen Angebot. **So ist es der Gebäudesektor, der – eine Glättung der ausgeprägten Winternachfrage vorausgesetzt – die Erzeuger- und Speicherkapazitäten drastisch zu senken vermag.**

Ein Teil des gewaltigen Finanzierungsbedarfs würden die Endverbraucher durch ihre künftigen Energieverbrauchsleistungen liefern. **Anders als früher ergäben sich die Energiekosten jedoch zum größten Teil aus Kapitalkosten.** Am Anfang steht eine Investition, z. B. in eine PV-Anlage mit einer bestimmten Leistung, abgestimmt auf die jeweilige Anwendung, z. B. auf die Belieferung einer Elektrowärmepumpe mit elektrischer Energie. Würde das Energieangebot der PV-Anlage die rechnerisch geplanten Erträge überschreiten, z. B. in einem Jahr mit erhöhtem Strahlungsangebot bei sehr gutem Wetter, wäre dieses Zusatzenergieangebot quasi kostenlos. **Jede zusätzlich gelieferte kWh wäre dann ein Geschenk; die Grenzkosten der Technik wären Null. Anbieter von Komplettlösungen, wie Versorgungsunternehmen, Contractoren oder auch Energiegenossenschaften verkauften dann nicht mehr „verbrauchte Brennstoffmengen“, sondern eine Art „Flatrate für bereitgestellte und für eine bestimmte Nutzung vorge-sehene Leistung“.**

(13) Denkbare Politikmaßnahmen und Handlungsoptionen

Ein wirksamer Weg, um die gesteckten Klimaziele zu erfüllen, liegt darin, die materiellen Anforderungen an die Sanierung seitens der Gesetzgebung und der Förderung zu steigern. Bereits heute ist aber festzustellen: Dass jeweils das Gesamtpotenzial der umgesetzten Maßnahmen ausgeschöpft wird, darf bezweifelt werden. Das betrifft die tatsächlich erzielte Dämm-, Luftdichtheits-, Lüftungs-, Heizungs-, Beleuchtungsqualität usw. Ein erster Schritt wäre – neben der materiellen Erhöhung von Forderung und Förderung – **die Überprüfung des erreichten Erfolgs durch Monitoring und Qualitätssicherung**.

Es bietet sich deshalb an, die Umsetzung eines Monitorings zu fördern (z. B. für 2 bis 3 Jahre) und einen Teil der Fördermittel für die Verbesserung des Gebäudes bzw. der Anlagentechnik an dieses Monitoring zu knüpfen. Besser noch wäre eine erfolgsabhängige Vergütung; jedoch ist den Gutachtern die Schwierigkeit der Umsetzung solcher Maßnahmen bewusst. In einer novellierten Fassung des GEG 2023 könnte zumindest das Monitoring über eine Energieanalyse der Verbrauchsdaten (EAV) gefordert werden.

Das Monitoring könnte damit als Kontrollorgan für den Nachweis nach zukünftigem Gebäudeenergiegesetz GEG und für die Vergabe von Fördermitteln dienen. **Bisher beinhalten die Förderprogramme nur Bedarfsnachweise (z. B. individueller Sanierungsfahrplan iSFP). Bei Umstellung auf Verbrauchs- bzw. Erfolgsnachweise würde der Antragsteller nach Fertigstellung der Maßnahme (Neubau, Einzelmaßnahme oder Gesamtsanierung) die Energieeffizienz des Gebäudes über gemessene Verbrauchswerte belegen.** Damit können der Gesetzgeber oder der Fördermittelgeber nachträglich prüfen, auch wenn dies nur stichprobenweise erfolgen würde, ob die gesetzlichen Maßgaben bzw. Voraussetzungen für das Förderprogramm erfüllt wurden.

Vor einer weiteren Ausgestaltung bzw. Novellierung der künftigen Förderpolitik des BEG oder der EnSanMV, aber auch der Verordnungs- und Gesetzgebungspolitik (GEG, EEG, KWKG usw.) wäre allerdings zu entscheiden, in welche Richtung die Energiepreise sich entwickeln sollen – da Fördertatbestände direkt von den Energieträgerpreisen abhängen (bis auf reine Anreizförderung, die lediglich die Umsetzung beschleunigen sollen, aber nicht für die Wirtschaftlichkeit selbst erforderlich wären).

Ambitionierte, aber erreichbare Ziele sind nach Ansicht der Gutachter der Schwerpunkt von Forderungs- und Förderpolitik. Es würden **für Bestandsmodernisierungen nur „best practice-Technologien“ eingesetzt**. Diese Option ist **gut kombinierbar mit dem Verfahren des Einzelnachweises**, wie in Punkt (6) der Zusammenfassung erläutert. Denn die vielfachen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen der einzelnen Effizienzprodukte spielten dann zumindest im Nachweis keine Rolle. Das **Kompensationsprinzip zwischen den Maßnahmen wäre damit nur noch sehr stark eingeschränkt wirksam** (je nach Ausgestaltung der Anforderungen). Es gäbe nach Ansicht der Gutachter **zumindest keine ineffizienten Wärmeerzeuger mehr in hochwärmedämmten Baukörpern, aber auch keine hocheffizienten Erzeuger mehr in mäßig gedämmten Gebäuden**. Aus Gründen der schon **sehr weit fortgeschrittenen Ausschöpfung des Emissionsbudgets** erscheint den Gutachtern das **Kompensationsprinzip nicht mehr zeitgemäß**.

Weiterführende Ideen sind die Ausweitung verpflichtender Sanierungsmaßnahmen – über die Dämmung der obersten Geschossdecke oder den Kesseltausch nach 30 Jahren hinaus. Nach Ansicht der Gutachter **ließen sich alle Maßnahmen, die in der Mikroebene (Punkt (10) der Zusammenfassung) als „fördermittelfrei“ identifiziert wurden, verpflichtend einfordern**. Sanierungsmaßnahmen könnten zudem deutlich stärker als heute an den Eigentümerwechsel gekoppelt werden. Mit einem **konsequenten Monitoring** könnte anhand der Ergebnisse nicht nur der Erfolgsnachweis erbracht werden, sondern es wären auch Grundlagen für eine zusätzliche Besteuerung bei Mehrverbräuchen oder eine Belohnung für verminderte CO₂-Emissionen gegeben.

Zuletzt wäre eine politische Handlungsoption darin gegeben, auch **die Qualitätssicherung selbst verpflichtend als Teil der Planung vorzuschreiben (Aufnahme in das GEG)**. Dies betrifft das luftdichte und wärmebrückenarme Bauen auch im Bestand sowie den sommerlichen Wärmeschutz. Für den Gebäudebestand ergäbe sich darüber hinaus auch die **Verpflichtung zur nachträglichen Umsetzung eines hydraulischen Abgleichs bzw. einer Optimierung von Heizungsanlagen**.

Auch für die **Förderung von Maßnahmen** sehen die Gutachter eine Handlungsoption darin, einen **klaren Bezug zu den Klimazielen** herzustellen, d. h. die **Förderung von einer Einsparung an CO₂ abhängig zu machen**. Alternativ werden Einzelanforderungen etabliert, die eine konkrete Bilanzierung überflüssig machen. Dies ist bereits im Neubau für das KfW-geförderte „Effizienzhaus 55 nach Referenzwerten“ der Fall.

Für alle Maßnahmen wäre es nach Ansicht der Gutachter zielführend, die Höhe von Bundesfördermitteln nach dem äquivalenten CO₂-Preis auszurufen (also die Kapitalkosten im Verhältnis zur erzielten Emissionsminderung). Das Vorgehen ist in diesem Gutachten beschrieben, Ergebnisse sind für alle Einzelmaßnahmen verfügbar.

Letztlich ist eine politische Handlungsoption darin gegeben, die **Qualitätssicherung noch stärker in die Förderlandschaft einzubeziehen**. Dies betrifft nicht nur die konkrete Planung und Umsetzung (Gebäudedichtheitsmessung, Wärmebrückenoptimierung, hydraulischer Abgleich usw.), sondern auch die vorbereitenden Maßnahmen, z. B. der Einbau von Zählern (vgl. auch das entsprechende Förderprogramm von Bremer Energiekonsens und proKlima [70]).

Das Monitoring kann selbstverständlich auch als Daueraufgabe angesehen werden und in bundesweite Strukturen überführt werden. Die Gutachter regen eine **politische Diskussion an, ob und wie eine solche übergeordnete Monitoringinstanz gewünscht ist und welcher Institution diese Aufgabe übertragen werden könnte**. Die Ergebnisse wären allemal die optimale Voraussetzung für die in Punkt (3) der Zusammenfassung angesprochene „erweiterte Datengrundlage“.

Monitoringergebnisse spiegeln auch das Nutzerverhalten wieder. Das Monitoring enthält daher optimalerweise eine qualifizierte Nutzeraufklärung und -schulung. Da davon ausgegangen werden kann, dass den Nutzern teilweise ein tieferes Systemverständnis fehlt, wie „Gebäude und Anlagentechnik im Zusammenspiel“ funktionieren, welche Handlungen welche Folgen haben und wie sie das System optimal bzw. weniger ineffizient nutzen. Im Vergleich zum PKW – mit einer Darstellung des aktuellen Verbrauchs – kann auch digitale Ausstattung (SmartMeter, Apps usw.) genutzt werden, um das Verhalten zeitnah zurückzuspiegeln und gegebenenfalls selbständig Hinweise zu Verbesserungen liefern.

Die Gutachter sehen die in diesem Gutachten mehrfach angesprochene **„Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV)“ als geeignetes Werkzeug für das Monitoring an**. Das Verfahren bietet auf Basis einer überschaubaren Ausstattung mit Messtechnik und mit geringem personellen Aufwand eine Reihe von Erkenntnissen und Ansatzpunkte zur Qualitätssicherung. Die Verwendung der EAV mit Abschluss der energetischen Sanierung und/oder Inbetriebnahme als laufende Qualitätskontrolle kann allen Beteiligten helfen, unerkannte Fehler schnell zu entdecken und die Anlagentechnik und das Nutzerverhalten zu optimieren. Die Handlungsoption wird bekräftigt durch die Überlegungen der Stiftung Energieeffizienz 2018 [10].

(14) Blick der Gutachter in die Zukunft: Zusammenfassung der Makroperspektive in Form zweier Szenarien – ein anspruchsvolles Hauptszenario und eine zielführende Beschleunigung

Die aus der Betrachtung der Einzelgebäude gewonnenen Erkenntnisse werden auf den Gesamtbestand übertragen. Dies erfordert Annahmen, in welcher Geschwindigkeit und mit welcher Tiefe sich die baulichen Sanierungsmaßnahmen sowie die Anlagentechniken künftig im Markt ausbreiten. Für die Makroperspektive wählen die Gutachter dabei den auch in anderen Veröffentlichungen üblichen Blick bis in das Jahr 2050. Neubau und Abriss werden in diesem Zukunftsblick mit berücksichtigt.

Die eigenen Überlegungen für das „Hauptszenario“ gehen strikt davon aus, dass **alle energetischen Verbesserungen getätigt werden, wenn der betroffene Bestandteil der Gebäudehülle oder der Anlagentechnik ohnehin den individuellen Sanierungszyklus erreicht hat**. Es wird angenommen, dass aus Kostengründen keine Sanierungen vorgezogen werden und sich daher keine größeren Sanierungsraten ergeben, als es dem Sanierungszyklus entspricht. Dieser wird – getreu den üblichen Gepflogenheiten der Gebäudebesitzer und der Investoren – vergleichsweise lang gewählt. Die Maßnahmen selbst werden im Falle der Umsetzung nach Annahme der Gutachter dann „best practice“ ausgeführt, um entsprechend keine wirtschaftlichen Chancen zu vertun. Die zeitliche Sanierungsrate ist somit zwar vergleichsweise gering, weil die gewählten Nutzungsdauern lang sind. Jedoch ist die gewählte Sanierungstiefe groß, weil überwiegend „best practice“-Maßnahmen umgesetzt werden. Insgesamt ergibt sich eine Sanierungsquote für die Gebäudehülle von 1,9 %/a.

Maßnahmen, die einen großen Eingriff in die Substanz bedeuten (bis hin zur zeitweisen Unbewohnbarkeit beim nachträglichen Einbau von Flächenheizungen), werden – ebenfalls getreu der üblichen Baupraxis – mit sehr geringen Umsetzungswahrscheinlichkeiten angenommen. Gegenteilige Maßnahmen (d. h. geringer Eingriff), zudem mit guter Wirtschaftlichkeitsprognose, werden dagegen mit sehr hohen Umsetzungswahrscheinlichkeiten angenommen (z. B. die **Nachrüstung von Photovoltaik**). Hinsichtlich der Wärmeerzeugung wird ein **Umbau auf Wärmepumpen anvisiert, der jedoch realistische Markthochlaufzeiten berücksichtigt**.

Es wird davon ausgegangen, dass die Ölkessel (Brennwert und Niedertemperatur) schnell aus dem Markt gedrängt werden, weil nicht mehr nachinvestiert wird (außer als Hybridsystem). Alle Hybridsysteme sind als „Wärmepumpensysteme“ geführt, da diese den ausschlaggebenden Deckungsanteil im Einzelgebäude aufweisen.

Bauteil	Standard	Anteil der Ausbreitung in EZFH, in [-]			Anteil der Ausbreitung in MFH, in [-]		
		2020	2035	2050	2020	2035	2050
Außenwand	best	0,00	0,22	0,51	0,00	0,23	0,55
	gut	0,39	0,54	0,40	0,40	0,56	0,40
	mittel + schlecht	0,62	0,24	0,09	0,60	0,21	0,05
oberer Gebäudeabschluss	best	0,00	0,25	0,51	0,00	0,25	0,53
	gut	0,59	0,66	0,46	0,58	0,65	0,44
	mittel + schlecht	0,41	0,09	0,03	0,42	0,09	0,03
unterer Gebäudeabschluss	best	0,00	0,14	0,26	0,00	0,16	0,32
	gut	0,31	0,45	0,49	0,29	0,45	0,48
	mittel + schlecht	0,70	0,41	0,25	0,70	0,39	0,20
Fenster	best	0,00	0,33	0,78	0,00	0,34	0,81
	gut	0,10	0,26	0,22	0,10	0,26	0,19
	mittel + schlecht	0,90	0,42	0,00	0,90	0,40	0,00
Haupterzeuger							
Stromdirektheizung		0,033	0,018	0,011	0,034	0,018	0,010
Heizölkessel		0,288	0,101	0,037	0,174	0,058	0,020
Erdgaskessel		0,516	0,363	0,161	0,562	0,391	0,162
Fernwärme		0,040	0,022	0,013	0,192	0,195	0,170
Wärmepumpe		0,061	0,388	0,645	0,018	0,299	0,590
Holzessel		0,061	0,107	0,132	0,021	0,039	0,049
Zusatzerzeuger							
Photovoltaik		0,14	0,40	0,65	0,06	0,36	0,65
Solarthermie		0,20	0,19	0,13	0,09	0,06	0,02
Lüftung mit Wärmerückgewinnung		0,03	0,11	0,17	0,01	0,10	0,18

Tabelle 10 Prognose des Sanierungszustandes der Gebäudehülle und der Technologieausbreitung der Erzeuger [eigene Darstellung]

Die in Tabelle 10 von den Gutachtern **angenommene Marktdurchdringung mit „guten“ und „besten“ Standards für die Gebäudehülle ist nur erreichbar, wenn entsprechend „best practice“-Sanierungen deutlich zahlreicher stattfinden als heute. Die Erreichung der gewählten Standards wäre zu fordern (GEG usw.) und/oder zu fördern (BEG). Ähnliches gilt für den Umbau der Erzeugungsanlagen in Richtung Wärmepumpen und Photovoltaik, welche neben einer Forderung und Förderung auch Entscheidungen zu einer modifizierten Energieträgerbepreisung erfordern, siehe Punkt (5) der Zusammenfassung.**

Es ergeben sich zahlenmäßig die in Tabelle 9 zusammengestellten Größen, jeweils als Eckwerte für die Jahre 2020, 2035 und 2050.

Bilanzgröße		2020	2035	2050
Endenergie Wärme und Strom	[TWh/a]	749	442	267
Energiekosten Wärme und Strom	[Mrd. €/a]	79,0	54,2	44,8
Emissionen Wärme und Strom	[Mt/a]	198	88	16
Emissionsminderung durch gebäudenah erzeugten u. genutzten Strom	[%]	0,5	7	16

Tabelle 11 Ergebnisdarstellung wichtiger Bilanzgrößen für das „Hauptszenario“ [eigene Darstellung]

Etwa ein Drittel der insgesamt erzielbaren Emissionsminderung ergibt sich aus Maßnahmen am Gebäude, die anderen zwei Drittel aus dem Umbau der Energiewirtschaft. Die Gesamteinflüsse einer durchgeführten Qualitätssicherung für Baukörper, Peripherie und Erzeuger im Vergleich zum Zustand ohne Qualitätssicherung steigen an, je besser die Gebäude werden. Während die Endenergie heute um etwa 12 bis 13 % vermindert werden kann, steigt der Einfluss bei dem Standard des Jahres 2050 auf ca. 24 bis 35 %.

Die eigene Prognose liegt im Feld der Szenarien anderer Makrostudien. **Es ist jedoch einschränkend anzumerken: die Prognose der Gutachter setzt eine konsequente und planmäßige Umsetzung der Maßnahmen „ab sofort“ voraus. Insofern ist sie vergleichbar mit anderen Studien zur Energiewende.**

Der Vergleich von Prognosen aus ähnlichen Studien vor ca. 15 [71] bis 25 Jahren [72] mit der tatsächlichen Entwicklung zeigt, dass nur in einem engen Zeitfenster von fünf bis max. zehn Jahren Voraussagen einigermaßen genau in die Praxis umgesetzt werden können. Nicht eingeplante plötzliche Ereignisse führen teilweise zu „180°-Wenden“ in politischen und wirtschaftlichen Entscheidungen. Somit sind unerwartete „Disruptionen“ oder „Schwarze Schwäne“ – wie die Finanzkrise 2008/2009, Fukushima 2011, die Flüchtlingskrise 2015, die Klimakrise mit merklich hohen Sommertemperaturen 2018/19 und seit Anfang 2020 die Corona-Krise nicht planbar.

Für das „Hauptszenario“ erfolgt auch eine Kostenschätzung, allerdings nur für die bereits 2020 vorhandenen Wohngebäude (ohne Neubau). Insgesamt werden nach Berechnung der Gutachter in den betrachteten kommenden 30 Jahren 1.604 Mrd. € als Vollkosten investiert, die zu einer energetischen Verbesserung beitragen. Die energiebedingten Mehrkosten sind gut halb so hoch wie die Vollkosten.

Aus den Energiekosten des Bestandes, den energiebedingten Mehrkosten (die zu einer energetischen Verbesserung führen) und den zugehörigen Mehraufwendungen an Wartung (z. B. für die Photovoltaik) ergeben sich Gesamtkosten. Es zeigt sich, dass eine Kostenkonstanz zumindest in den nächsten 15 Jahren realisierbar ist. Erst in der Zeit nach 2035 steigen die Gesamtkosten leicht an.

Insgesamt lässt sich für das „Hauptszenario“ dieses Gutachtens eine Prognose für das Emissionsbudget treffen, siehe Abbildung 3. Es kann näherungsweise extrapoliert werden, dass der Endwert der Kurve sich bei 3000 Mt CO₂-Äquivalent einstellt und dieser Zeitpunkt im Jahrzehnt 2050 - 2060 liegt. Erst dann ist der Wohnbaugesamtbestand klimaneutral. Für die Temperaturerhöhung der Atmosphäre ist nicht der Zeitpunkt der Zielerreichung relevant, sondern die bis dahin emittierte Menge. Das für den Wohngebäudesektor verbleibende (anteilige) Restbudget zum Einhalten des 2°C Ziels liegt jedoch nur bei näherungsweise 1800 Mt für den Zeitraum nach 2020. Die im „Hauptszenario“ berechneten 3000 Mt überschreiten den Zielwert somit deutlich. Die getroffenen Entwicklungsmaßnahmen – so ambitioniert sie sind – reichen nicht, um das Emissionsbudget einzuhalten. Aufgrund dieser Erkenntnis haben die Gutachter darauf verzichtet, ein „business-as-usual“-Szenario zu erstellen, welches eine ungleich größere Zielverfehlung zeigen würde.

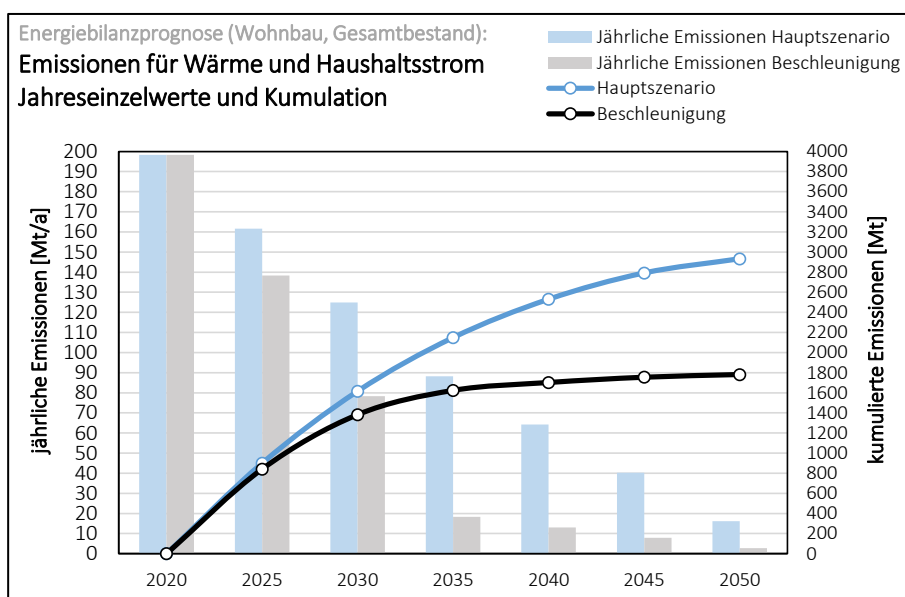


Abbildung 3 Emissionsbudget für den Gesamtwohnbau – Hauptszenario und beschleunigte Umsetzung [eigene Darstellung]

Aus diesem Grund wird in einer Variante „Beschleunigung“ aufgezeigt, wie ein möglicher Pfad zur Budgeteinhaltung aussehen könnte. Die Variante beruht ebenfalls auf der Betrachtung des Wohnbaugesamtbestandes, einschließlich aller Neubauten und Abrissaktivitäten. Diese Überlegungen decken sich prinzipiell mit denen anderer aktueller Studien, z. B. der des Wuppertalinstitutes 2020 für Fridays for Future [73], der aktuellen Studie „Klimaneutrales Deutschland“ von AGORA und Stiftung Klimaneutralität [74] sowie der Studie „European Green Deal“ des DIW [42] von 2020.

Ab 2020 werden demnach alle Neubauten im **baulichen „best“-Standard** errichtet, was nahezu dem Passivhaus entspricht. Während bis 2035 im „Hauptszenario“ etwa $\frac{1}{3}$ aller Sanierungen den baulichen Zustand „best“ erreichen, steigt dieser Anteil nun auf ca. 80 %. Auch die Ausstattung mit Hauptwärmeerzeugern setzt auf die **Vermeidung von fossilen Energieträgern**. Es sind ab 2020 keine Gas- und Ölkessel im „Eins-zu-Eins-Tausch“ vorgesehen, weder im Neubau, noch in der Modernisierung. Sie werden nur noch als Teil von Hybridanlagen neu eingebaut. Jeder Neubau erhält eine **Photovoltaikanlage**. Darüber hinaus wird der Wohnbaubestand verstärkt ausgestattet. Während im Hauptszenario im Jahr 2035 etwa 38 % aller Wohnbauten eine PV-Anlage aufweisen, sind es in der Variante „Beschleunigung“ bereits 48 %. Darüber hinaus werden **zwei Suffizienzmaßnahmen** berücksichtigt: ein gebremster Wohnflächenzuwachs und ein sparsameres Nutzerverhalten für den Trinkwarmwasser- und Stromverbrauch (bis 2050 Minderung 20 %).

Der Umbau der Energiewirtschaft erfolgt schneller, als für das „Hauptszenario“ beschrieben. **Insbesondere für Strom und Erdgas ist eine schnelle Emissionsminderung relevant**. Der Emissionsfaktor für Erdgas halbiert sich im „Hauptszenario“ zwischen 2020 und 2050. In der Variante „Beschleunigung“ tritt eine Viertelung ein. Für den Strom ist die Umbaugeschwindigkeit noch prägnanter. Im „Hauptszenario“ sinkt der Emissionsfaktor von 2020 bis 2050 von 444 auf 50 g/kWh, in der Variante „Beschleunigung“ liegt der Endwert bei 1 g/kWh.

In der Summe der Maßnahmen kann auch mit der Variante „Beschleunigung“ ab etwa 2060 von einer näherungsweise Klimaneutralität ausgegangen werden, wobei bis dahin etwa 1800 Mt an Emissionen durch den Wohnbau-sektor ausgestoßen wurden. Somit kann **nachgewiesen werden, dass das Emissionsbudget zum Erreichen des 2°C-Ziels einzuhalten ist**.

Die investiven Anstrengungen an „allen Fronten“ zu fordern und/oder fördern leitet sich als politische Handlungsoption ab.

Verzeichnisse und Übersichten

Glossar

Auf ein ausführliches Glossar der Begriffe wird in dieser Studie verzichtet. Die Stattdessen wird auf nachfolgende Literaturquellen verwiesen, die eine große Menge an Stichworten erläutern:

- WBGU, „Energiewende zur Nachhaltigkeit“, 2003, [75]; (ca. 100 Begriffe rund um Energiebilanzierung, Treibhausgase, Energieträger und -stoffe)
- Länderarbeitskreis Energiebilanzen, „Glossar zu den Energiebilanzen der Länder“, 2007, [76]; (ca. 80 Begriffe rund um Energieträger, Wärme- und Stromerzeuger)
- Agentur für erneuerbare Energien, „Potentialatlas 2020“, 2010, [77] (ca. 50 Begriffe rund um erneuerbare Energien)
- Klimareporting, „Grundlagen für ein einheitliches Emissions- und Klimastrategieberichtswesen“, 2014, [78]; (ca. 50 Begriffe rund um Bilanzierung und Kennwertbildung)

Darüber hinaus liefert selbstverständlich auch das Internet jegliche Information. Es wird auf die Internetseite „Baunetzwissen“ verwiesen, die aktuell über 4700 Glossareinträge aufweist (<https://www.baunetzwissen.de/>).

Verzeichnisse wichtiger Formelzeichen und Abkürzungen

Diese finden Sie im Hauptbericht.

Literaturverzeichnis

Das vollständige Verzeichnis finden Sie im Hauptbericht. Nachfolgend sind nur die Quellen der Zusammenfassung aufgeführt.

- [1] Statistisches Bundesamt, „Wohnen in Deutschland (Datenbank 31231-0001),“ 2018. [Online]. Available: <https://www-genesis.destatis.de>. [Zugriff am 11 Mai 2020].
- [2] BDH, „10-Jahres-Verlauf Absatz Wärmeerzeuger Deutschland,“ 2020. [Online]. Available: <http://www.bdh-koeln.de>. [Zugriff am 25 April 2020].
- [3] Deutsche Energie-Agentur, „dena-Gebäudereport kompakt 2019 - Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand,“ dena, Berlin, 2019.
- [4] BMWI, „Zweiter Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz,“ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, 2015.
- [5] L. Beier (Red.) und C. Bantle, „Wie heizt Deutschland 2019? BDEW-Studie zum Heizungsmarkt,“ BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., Berlin, 2019.
- [6] N. Diefenbach und e. al, „Datenbasis Gebäudebestand - Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand,“ IWU und Bremer Energieinstitut, Darmstadt, Bremen, 2010.
- [7] H. Cischinsky und N. Diefenbach, „Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016,“ Institut Wohnen und Umwelt für BBSR, Darmstadt, 2018.
- [8] D. Walberg, A. Holz und weitere, „Wohnungsbau in Deutschland - 2011 - Modernisierung oder Bestandsersatz,“ Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., Kiel, 2011.
- [9] U. Bigalke, A. Armbruster und weitere, „Der dena-Gebäudereport 2016. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand,“ Deutsche Energie-Agentur, Berlin, 2016.
- [10] J. Orthjohann, D. Schreckenberger und A. Poggenpohl, „ReConGeb-Start I Vorstudie,“ Stiftung Energieeffizienz, Köln, 2018.
- [11] BMWI, „Langfristige Renovierungsstrategie für Deutschland - Nach Art. 2a der Richtlinie 2018/844/EU zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy performance of buildings directive, EPBD 2018),“ BMWI, Berlin, 2020.
- [12] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., „Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland,“ AGEB für BMWI, Münster, Bergheim, 2020.

- [13] P. Gniffke (Red.), „Nationale Trendtabellen für die Treibhausgas-Emissionen nach Sektoren des Klimaschutzgesetzes,“ Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2020.
- [14] R. Harthan, J. Reppening und weitere, „Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 (Kurzbericht),“ UBA, Dessau, 2020.
- [15] N. Diefenbach, B. Stein und weitere, „Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2017,“ IWU und Fraunhofer IFAM für KfW, Darmstadt, Bremen, 2018.
- [16] D. Zech, S. Ullrich und weitere, „Evaluation des Marktanzreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt im Förderzeitraum 2015 bis 2018,“ BMWi, Berlin, 2019.
- [17] M. Friedrich, H. Erhorn und weitere, „CO2 Gebäudereport 2007,“ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin, 2007.
- [18] BMWi, „Energiedaten: Gesamtausgabe,“ BMWi, Berlin, 2019.
- [19] Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V., „Der Holzpellet-Preis-Index, Jahresmittelwerte,“ 2020. [Online]. [Zugriff am 27 Mai 2020].
- [20] BWP Bundesverband Wärmepumpe e.V., „Energiepreise (Wärmepumpentarif),“ 2019. [Online]. Available: <https://www.waermepumpe.de/politik/energiepreise/>. [Zugriff am 19 Juli 2020].
- [21] A. Matthey und B. Bünger, „Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten,“ UBA, Berlin, 2019.
- [22] T. Loga, B. Stein und weitere, „Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen,“ Institut Wohnen und Umwelt für BBSR, Darmstadt, 2019.
- [23] K. Jagnow und D. Wolff, „Optimus - Umweltkommunikation in der mittelständischen Wirtschaft am Beispiel der Optimierung von Heizungssystemen durch Information und Qualifikation zur nachhaltigen Nutzung von Energieeinsparpotenzialen - Technische Optimierung und Energieeinsparung,“ Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Wolfenbüttel, 2006.
- [24] U. Bigalke, H. Marcinek und weitere, „Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizienter Wohngebäude,“ dena, Institut Wohnen und Umwelt, Berlin, Darmstadt, 2016.
- [25] K. Jagnow, D. Wolff und P. Teuber, „Effizienz von Wärmeerzeugern,“ *TGA Fachplaner*, Nr. 10, 2004.
- [26] K. Jagnow, D. Wolff und weitere, „Umsetzungsprojekt – Integrale Planung und Steuerung der nachhaltigen Modernisierung des Gebäudebestandes und der Energieversorgung der,“ Ostfalia Hochschule, Wolfenbüttel, 2014.
- [27] D. Wolff und A. Unverzagt, „Klimaschutzkampagne "Sanierungswirkung",“ Ostfalia Hochschule für BMU, Wolfenbüttel, 2015.
- [28] K. Jagnow und D. Wolff, „Integration von Heizkesseln in Wärmeverbundsysteme mit großen Solaranlagen,“ Wolfenbüttel, 2012.
- [29] BMF, *Verordnung zur Bestimmung von Mindestanforderungen für energetische Maßnahmen bei zu eigenen Wohnzwecken genutzten Gebäuden nach §35c des Einkommensteuergesetzes - (Energetische Sanierungsmaßnahmen-Verordnung - ESanMV)*, Berlin: Deutscher Bundestag - Drucksache 19/15312, 2019.
- [30] BMWi, *Förderrichtlinie zur Bundesförderung für effiziente Gebäude - Wohngebäude (BEG WG)*, Berlin: BMWi, 2020.
- [31] I. Zenke, M. Altröck und weitere, „Das Klimapakete in der Gesetzgebung,“ BBH für Deutsche Energieagentur, Berlin, 2019.
- [32] G. Purper, W. Neumann und weitere, „Konzept für eine zukunftsfähige Energieversorgung,“ BUND, Berlin, 2017.
- [33] W. Sobek, „Interview mit dem Architekten,“ *VDI Nachrichten*, Nr. 3, 2020.
- [34] M. Pehnt, A. von Oehsen und weitere, „Weiterentwicklung des bestehenden Instrumentariums für den Klimaschutz im Gebäudebereich,“ ifeu, ecofys, IWU, Universität Bielefeld für BMWi, Heidelberg, Darmstadt, Köln, Bielefeld, 2015.
- [35] M. Linder, „Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2016,“ Magistrat der Stadt Frankfurt, Frankfurt Main, 2016.
- [36] E. O. Wright, *Reale Utopien - Wege aus dem Kapitalismus*, Berlin: Suhrkamp, 2017.

- [37] M. Göpel, *Unsere Welt neu denken - eine Einladung*, Berlin: Ullstein, 2020.
- [38] M. Latif, *Heisszeit*, Freiburg: Herder, 2020.
- [39] C. Kemfert, P.-Y. Oei und weitere, „Die Beendigung der energetischen Nutzung von Kohle in Deutschland,“ DIW, Berlin, 2018.
- [40] J. Schellnhuber, D. Messner und weitere, „Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz,“ Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung für BMBF und BMU, Berlin, 2009.
- [41] C. Hornberg, M. Niekisch und weitere, „Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa - Umweltgutachten 2020,“ Sachverständigenrat für Umweltfragen, Berlin, 2020.
- [42] K. Hainsch, L. Göke und weitere, „European Green Deal: Mit ambitionierten Klimaschutzzielen und erneuerbaren Energien aus der Wirtschaftskrise,“ *DIW-Wochenbericht 28-2020*, Nr. Juli, 2020.
- [43] N. Gerhardt, F. Sandau und weitere, „Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr,“ Fraunhofer IWES, Fraunhofer IBP, ifeu, Stiftung Umweltenergierecht, Kassel, Heidelberg, Würzburg, 2015.
- [44] T. Traber und H.-J. Fell, „Erdgas leistet keinen Beitrag zum Klimaschutz,“ Energy Watch Group, Berlin, 2019.
- [45] Leopoldina, acatech, Union der deutschen Akademien, „Energiewende 2030: Europas Weg zur Klimaneutralität,“ Leopoldina, acatech, Union der deutschen Akademien, Berlin, 2020.
- [46] L. Feld, C. M. Schmidt und weitere, „Aufbruch zu einer neuen Klimapolitik,“ Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, Wiesbaden, 2019.
- [47] M. Deutsch, M. Buck und weitere, „Die Kosten von unterlassenem Klimaschutz für den Bundeshaushalt,“ AGORA, Berlin, 2019.
- [48] V. Bürger, C. Rohde und weitere, „Energieeinsparquote für Deutschland? Bewertung des Instruments der Energieeinsparquote (Weiße Zertifikate) auf seine Eignung als Klimaschutzinstrument für Deutschland,“ Ökoinstitut und Fraunhofer ISI für KfW und WWF, Freiburg, Karlsruhe, 2012.
- [49] G. Eisenbeiß, „Klimaschutz durch Kohlenstoffbeschränkung,“ *ZAllgMed*, pp. 230-232, Heft 83 2007.
- [50] BAK, „Energiewende mit Architekten - Strategie der BAK für einen klimaneutralen Gebäudebestand,“ Bundesarchitektenkammer, Berlin, 2018.
- [51] DV AG Energie, „Kursbuch Klimaschutz im Gebäudebereich,“ Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung, Berlin, 2019.
- [52] GDW, „Was genau wird gebraucht, damit es beim Klimaschutz im Gebäudesektor vorangeht?,“ Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen, Berlin, 2019.
- [53] K. Jahnke, T. Loitz und weitere, „Wirksam Sanieren: Chancen für den Klimaschutz - Feldtest zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden,“ co2online, SEnerCon, Fraunhofer ISE, Ostfalia für BMU, Berlin, Freiburg, Wolfenbüttel, 2015.
- [54] BDEW, „Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland,“ BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Berlin, 2020.
- [55] D. Wolff, „Was tut sich bei der Energiewende und beim Klimaschutz?,“ DV Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung, Berlin, 2019.
- [56] Haustec, „Solarimo: Kostenlose PV-Anlagen für die Wohnungswirtschaft,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.haustec.de/heizung/waermeerzeugung/solarimo-kostenlose-pv-anlagen-fuer-die-wohnungswirtschaft>. [Zugriff am 11 März 2020].
- [57] N. Diefenbach, M. Großklos und weitere, „Analyse der Energieversorgungsstruktur für den für den Wohngebäudesektor zur Erreichung der Klimaschutzziele 2050,“ IWU, Hochschule Darmstadt, Büro für Energiewirtschaft und Technische Planung für BMWi, Darmstadt, Aachen, 2019.
- [58] Senat der Freien und Hansestadt Hamburg, *Gesetz zum Neuerlass des Hamburgischen Klimaschutzgesetzes sowie zur Anpassung weiterer Vorschriften*, Hamburg: HmbGVBl. Nr. 10, 2020.
- [59] DMB, „Klimaschutz und energetische Gebäudesanierung - Positionspapier,“ Deutscher Mieterbund, Berlin, 2019.
- [60] M. Neitzel, S. Klöppel und weitere, „Machbarkeits- und Umsetzungsstudie für eine Klimakomponente im Wohngeld,“ InWIS und Institut der deutschen Wirtschaft für BMU und BBSR, Bochum, Köln, 2017.

- [61] M. Großklos, M.-C. Krapp und weitere, „Ansätze zur Reduktion der Nebenkosten im sozialen Wohnungsbau am Beispiel des Vorhabens „PassivhausSozialPlus“ in Darmstadt,“ IWU für Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Darmstadt, 2018.
- [62] N. Diefenbach, C. von Malottki und weitere, „Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudebereich – Zielerreichungsszenario,“ IWU für Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin, 2013.
- [63] V. Bürger, S. Braungardt und weitere, „Auswirkungen der Sektorkopplung im Wärmebereich auf die Energiekosten von privaten Verbraucherinnen und Verbrauchern,“ Öko-Institut für Verbraucherzentrale Bundesverband, Freiburg, 2019.
- [64] J. Weiß, A. Bierwirth und weitere, „Entscheidungskontexte bei der energetischen Sanierung,“ IÖW und Wuppertal Institut für BMBF, Berlin, Wuppertal, 2018.
- [65] G. Thomaßen, L. Reuter und weitere, „Wie passen Mieterschutz und Klimaschutz unter einen Hut?,“ AGORA und Universität Kassel für BMBF, Berlin, Kassel, 2020.
- [66] BMU, „Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung,“ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin, 2016.
- [67] T. Bründlinger, J. Elizalde-König und weitere, „dena-Leitstudie Integrierte Energiewende,“ dena, ewi Energy Research & Scenarios, Berlin, Köln, 2018.
- [68] P. Sterchele, J. Brandes und weitere, „Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem - Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen,“ Fraunhofer ISE, Freiburg, 2020.
- [69] F. Hein, F. Peter und P. Graichen, „Auswirkungen der Corona-Krise auf die Klimabilanz Deutschlands,“ AGORA Energiewende, Berlin, 2020.
- [70] H. Becker, S. Leffers und weitere, „Förderung integrierter Energie-/Wärmezähler,“ *TGA Fachplaner*, Nr. 03, 2019.
- [71] DPG Deutsche Physikalische Gesellschaft, „Klimaschutz und Energieversorgung in Deutschland 1990 - 2020,“ DPG, Bad Honnef, 2005.
- [72] P. Markewitz und G. Stein (Hrsg.), „Das IKARUS-Projekt: Energietechnische Perspektiven für Deutschland,“ Forschungszentrum Jülich für BMWA, Jülich, 2003.
- [73] G. Kobiela, S. Samadi und weitere, „CO₂-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze,“ Wuppertalinstitut für Fridays for Future, Wuppertal, 2020.
- [74] H. Dambeck, F. Ess und weitere, „Klimaneutrales Deutschland,“ Prognos, Ökoinstitut, Wuppertalinstitut für AGORA und Stiftung Klimaneutralität, Berlin, Wuppertal, 2020.
- [75] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, *Energiewende zur Nachhaltigkeit*, Berlin: Springer, 2003.
- [76] Länderarbeitskreis Energiebilanzen, „Glossar zu den Energiebilanzen der Länder,“ Länderarbeitskreis Energiebilanzen, unbekannter_Ort, 2007.
- [77] J. Schmidt und J. Mühlhoff, „Erneuerbare Energien - Potenzialatlas 2020,“ Agentur für erneuerbare Energien, Berlin, 2010.
- [78] A. Dreifke-Pieper, M. Kopp und P. Simpson, „Vom Klimareporting zur Emissionsstrategie - Grundlagen für ein einheitliches Emissions- und Klimastrategieberichtswesen,“ Klimareporting für WWF und CDP, Berlin, 2014.