

IBP-Bericht WB 170/2013

Energetische Gebäudesanierung in Deutschland
Studie Teil I:
Entwicklung und energetische Bewertung al-
ternativer Sanierungsfahrpläne

Durchgeführt im Auftrag
des Instituts für Wärme und Öltechnik e.V.

Anna Hoier
Hans Erhorn

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Institutsleitung
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht WB 170/2013

Energetische Gebäudesanierung in Deutschland

Studie Teil I:

Entwicklung und energetische Bewertung alternativer Sanierungsfahrpläne

Durchgeführt im Auftrag des
Instituts für Wärme- und Öltechnik e.V. (IWO)

Der Bericht umfasst

115 Seiten Text

53 Tabellen

10 Bilder

3 Anhänge

Anna Hoier

Hans Erhorn

Stuttgart, 10. Juli 2013

**Auszugsweise Veröffentlichung nur mit
schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik gestattet.**

Inhalt

1.	Zusammenfassung	5
2.	Einleitung	13
3.	Zielsetzung und Vorgehen	14
3.1.	Zielsetzung	14
3.2.	Grundsätze und Hypothesen	15
3.3.	Vorgehen	16
4.	Modellbildung	17
4.1.	Ausgangssituation	18
4.2.	Durchführung der energetischen Berechnungen	20
4.3.	Wohnflächenentwicklung	21
4.3.1.	Vorhersage von Wohnflächen- und Bevölkerungsentwicklung	21
4.3.2.	Leerstand	24
4.3.3.	Rückbau- und Neubauquote	25
4.4.	Gebäudetypologie - Darstellung des Wohngebäudebestands	28
4.4.1.	Vereinfachung durch mittlere Typgebäude	29
4.4.2.	Zuordnung zu Baualtersklassen	30
4.5.	Sanierungszyklen und -raten	32
4.6.	Betrachtung der Hülle	33
4.6.1.	Opake Hülle	33
4.6.2.	Fenster	35
4.6.3.	Denkmalschutz und erhaltenswerte Fassaden	36
4.7.	Betrachtung der Anlagentechnik	37
4.7.1.	Heizkessel – Typischer Wärmeerzeuger im Wohngebäudebestand	38
4.7.2.	Solarthermie	44
4.7.3.	Photovoltaik	47
4.8.	Kennwerte von Neubauten	47
4.8.1.	Bauteile der Hüllfläche	48
4.8.2.	Anlagentechnik	50
4.9.	Entwicklung technologischer Randbedingungen	53
4.9.1.	Varianten	54
4.9.2.	Systemwechsel bei der Wärme-Erzeugung	54
4.9.3.	Primärenergiefaktoren	56
4.10.	Zeitschritte	60

5.	Sanierungsfahrpläne (Szenarien)	60
5.1.	Stellschrauben	60
5.2.	Zielsetzung	61
5.3.	Status-Quo mit Leitlinien der Bundesregierung (Basis-Szenario 0)	62
5.4.	Technologiegebundener Fahrplan (Szenario 1)	64
5.5.	Technologieoffener Fahrplan (Szenario 2)	67
6.	Prognosen der Entwicklung bis 2050	70
6.1.	Ergebnisse - Definitionen und Hinweise	70
6.2.	Ergebnisdarstellung	72
6.3.	Prognose für das Basis-Szenario 0 (Leitlinien Bundesregierung)	74
6.3.1.	Sanierungsraten	74
6.3.2.	Entwicklung der Wärmeerzeugung	75
6.3.3.	Entwicklung des Energiebedarfs	77
6.3.4.	Diskussion	79
6.4.	Prognose für Szenario 1 (technologiegebunden)	79
6.4.1.	Sanierungsraten	79
6.4.2.	Entwicklung der Wärmeerzeugung	80
6.4.3.	Entwicklung des Energiebedarfs	82
6.4.4.	Diskussion	84
6.5.	Prognose für Szenario 2 (technologieoffen)	85
6.5.1.	Sanierungsraten	85
6.5.2.	Entwicklung der Wärmeerzeugung	86
6.5.3.	Entwicklung des Energiebedarfs	88
6.5.4.	Diskussion	90
6.6.	Vergleich der Szenarien und resultierende Empfehlungen	90
7.	Umsetzung der Fahrplan-Szenarien an Beispielgebäuden	95
7.1.	Repräsentative Beispiel-Typgebäude	96
7.2.	Umsetzung der Szenarien an den Beispielgebäuden	98
7.2.1.	Basis-Szenario 0 (Leitlinien Bundesregierung)	99
7.2.2.	Szenario 1 (technologiegebunden)	101
7.2.3.	Szenario 2 (technologieoffen)	102
7.3.	Vergleich und Diskussion	103
8.	Weiterführende Gedanken, Fragen und Empfehlungen	106
8.1.	Weitere Untersuchungsfelder	106
8.2.	Individuelle Fahrpläne	106
8.3.	Betrachtungszeitraum	107
8.4.	Fokus Primärenergie	107

8.5.	Wirtschaftlichkeitsgebot	108
8.6.	Gewährleistung und Kontrolle	108
9.	Fazit und Ausblick	109
10.	Literaturverzeichnis	111
	Anhang A Tabellarische Steckbriefe der Sanierungsfahrpläne / Szenarien	116
	Anhang B Ergebnis-Übersicht der Sanierungsfahrpläne	120
	B1: Energetische Kennwerte	121
	B2: Anzahl der zu sanierenden Gebäude nach Gebäudetyp EFH/MFH	130
	B3: Umsetzung an den Beispielgebäuden	143
	Anhang C Detail-Ergebnisse aus dem Hochrechnungs-Modell zur Weiterverwendung in Teil II der Studie	155

Danksagung

Bei allen am Projekt Beteiligten möchten wir uns herzlich für die sehr konstruktive und kooperative Zusammenarbeit bedanken.

Hierbei sind insbesondere Herr Dr. Moritz Bellingen als Vertreter unseres Auftraggebers, dem Institut für Wärme und Öltechnik e. V., hervorzuheben, sowie die Projektbearbeiter der Studie Teil II, Herr Dr. Andreas Pfnür und Herr Nikolas Müller aus dem Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften (Fachgebiet Immobilienwirtschaft und Baubetriebswirtschaft) der Technischen Universität Darmstadt.

1. Zusammenfassung

Im Energiekonzept der Bundesregierung werden anspruchsvolle Ziele zur (Primär-)Energieeinsparung im Wohngebäudesektor bis 2050 formuliert. Ein konkreter Sanierungsfahrplan, der aufzeigt, wie der Beitrag hierzu im Gebäudebestand geleistet werden kann, fehlt bisher. Im Rahmen der vorliegenden Studie soll ein geeigneter, wirtschaftlicher und zielführender Fahrplan aufgezeigt werden. Hierfür werden drei unterschiedliche Fahrpläne entwickelt und verglichen. Im Basis-Szenario wird die Fortschreibung aktueller Trends sowie die Umsetzung bisher angekündigter Verordnungen angenommen. Daraufhin wird die so erreichbare Energieeinsparung bis 2050 abgeschätzt. Für die beiden anderen Fahrpläne dient das 80 %ige primärenergetische-Einsparziel als zu erfüllende Bedingung. Hierfür ist insgesamt eine deutliche Verschärfung von Bemühungen und Anforderungen notwendig. Im Zuge dessen wird zudem von einer stärkeren technologischen Entwicklung ausgegangen, als bei Trendfortschreibung zu erwarten ist. Die beiden Fahrpläne unterscheiden sich in Art und Weise der Vorgaben. Im „technologiegebundenen“ Fahrplan wird genau vorgegeben welche Technologien einzusetzen sind und bis zu welchem Zeitpunkt veraltete Systeme ausgetauscht werden müssen. Demgegenüber steht im technologieoffenen Fahrplan die Vorgabe von zu erreichenden Zielen (z.T. zu verschiedenen Zeitpunkten) ohne dass vorgeschrieben wird, wie dies umzusetzen ist. Alle drei Szenarien basieren auf dem Grundsatz regelmäßiger Sanierungszyklen. Der Zusammenhang zwischen Lebensdauer und Sanierungszeitpunkt wird somit realitätsnah umgesetzt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden zudem grundsätzlich gleiche Maßnahmenpakete in den Szenarien angesetzt.

Bei Bearbeitung der Studie wird das Energiekonzept der Bundesregierung mit allen Vorgaben, Annahmen und Zielsetzungen zu Grunde gelegt. Dies betrifft neben der Entwicklung von Primärenergiefaktoren und dem vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien auch die Ziele, Fernwärme und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) auszubauen. Eine Diskussion der Sinnhaftigkeit dieser Vorgaben ist nicht Gegenstand der Untersuchung.

Die Prognose der Entwicklung des Energiebedarfs bis 2050 erfolgt durch Hochrechnung anhand eines entwickelten, vereinfachten Rechenmodells. Mit diesem wird der gesamte Wohngebäudebestand in Jahresschritten betrachtet. Es wird angenommen, dass sich das Einsparziel des Energiekonzepts auf den Absolutwert des Energiebedarfs des Gebäudebestands bezieht. Folglich spielt auch dessen Veränderung durch Neubau und Rückbau eine maßgebliche Rolle. Anhand statistischer Daten der letzten Jahre sowie prognostizierter Entwicklungen von Bevölkerung, Wohnfläche und Neubaurate wird die Entwicklung der gesamten Wohnfläche bis 2050 abgeschätzt. Bezüglich des Rückbaus werden bis 2020 auch Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen den Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt. Für den Zeitraum nach 2020 ist diese genauere Betrachtung nicht mehr möglich. Bei Betrachtung des Gebäudebestands ist auch

die Entwicklung der energetischen Qualität von Neubauten von Bedeutung. Diese wird durch Kombination von sichtbaren Tendenzen und existierenden Vorschriften und Vorhersagen abgeschätzt und anhand von energetischen Kennwerten definiert. Durch die Forderung von Niedrigstenergiehäusern ab 2021 werden Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung vermutlich an Bedeutung zunehmen, v.a. im Neubau.

Die Gesamtheit der Wohngebäude in Deutschland wird mit Hilfe einer stark vereinfachten Gebäudetypologie abgebildet. Die Gebäudegruppen aus existierenden Typologien nach Typen und Baualtersklassen werden zu zwei mittleren Typgebäuden zusammengefasst. Ein- und Zweifamilienhäuser sowie Reihenhäuser werden durch den EFH-Typ abgebildet und Mehrfamilienhäuser aller Größen durch den Typ MFH. Zu deren Definition werden die geometrischen Kennwerte der Typgebäude anteilig gewichtet und gemittelt. Bei den entstehenden mittleren Typgebäuden handelt es sich daher um fiktive Gebäude, was z. B. durch die nicht ganzzahligen Wohneinheiten deutlich wird. Zur anschaulichen, beispielhaften Betrachtung an realistisch abbildbaren Gebäuden werden weitere Vereinfachungen durchgeführt. Die Einordnung nach Baualtersklassen wird beibehalten. Die entsprechenden Anteile für die mittleren Typgebäude werden anhand der ursprünglichen Typologie bestimmt. Neben diesen Daten fließen zur Definition des Ausgangszustands weitere energetisch relevante Informationen aus anderen Quellen mit ein. Aufgrund der verfügbaren Daten wird der Ist-Zustand des Jahres 2009 als Ausgangspunkt gewählt, d.h. die Hochrechnung betrachtet den Zeitraum 2010 bis 2050. Neben den Informationen bezüglich der Ist-Zustände aus der Typologie werden auch nachträglich durchgeführte Dämmmaßnahmen an der opaken Gebäudehülle (Dach, Außenwand und Kellerdecke) berücksichtigt. Ferner fließen Daten über die Baualtersklassen der Fenster und somit deren energetische Qualität im Wohngebäudebestand 2009 mit ein sowie über die Zusammensetzung und Nutzung von Wärmeerzeugung und Warmwasserbereitung.

Aufgrund der diversen Datenlage und wegen der unterschiedlichen Lebensdauern und somit Sanierungszyklen, werden die energetisch relevanten Komponentenbereiche vereinfacht zu den drei Haupt-Bereichen ‚opake Hülle‘, ‚Fenster‘ und ‚Anlagentechnik‘ zusammengefasst. Eine weitere Vereinfachung erfolgt durch die alleinige und unabhängige Betrachtung dieser drei Bereiche, wobei stets mehrere Aspekte zusammengefasst werden. In der ‚Opaken (Gebäude-)Hülle‘ werden Außenwände bzw. Fassaden sowie unterer und oberer Gebäudeabschluss zusammengefasst und durch einen mittleren Transmissionswärmeverlust-Kennwert abgebildet. Hierbei wird auch der Einfluss von Wärmebrücken mit berücksichtigt. Die Kategorie ‚Fenster‘ umfasst Verglasung und Rahmen als Einheit. Die Einflüsse des Fensteraustausches auf die Gebäudedichtheit werden parallel mit berücksichtigt. Unter dem Begriff ‚Anlagentechnik‘ wird die Wärmeerzeugung durch den Hauptwärme-Erzeuger abgebildet und mit Aspekten der Verteilung (Rohrleitungen und Pumpen) und der Übergabe (Thermostate) verknüpft. Auch das Thema der aktiven Nutzung erneuerbarer Energien, das vereinfacht ausschließlich über thermische Solaranlagen

umgesetzt wird, fällt in diese Kategorie. Mit rund 85 % stellt der mit Öl oder Gas befeuerte Heizkessel im Gebäudebestand den maßgeblichen Wärmeerzeuger dar, der daher im Vordergrund der Betrachtungen steht. Es wird angenommen, dass dessen Austausch überwiegend systemneutral erfolgt. Zur Abbildung technologischer Entwicklungen wird ferner eine Umrüstungsrate angenommen, in Abhängigkeit der Szenarien.

Die Sanierungsfahrpläne werden durch Sanierungszyklen der drei betrachteten Komponentenbereiche sowie durch Umfang und Qualität der Maßnahmenpakete definiert. Basierend auf der Annahme gleichmäßiger Sanierungszyklen werden diese stets für den gesamten betrachteten Zeitraum als konstant angesetzt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Szenarien werden grundsätzlich gleichartige Maßnahmenpakete angesetzt. Die vermutlich stetig stattfindende Innovationsentwicklung wird vereinfacht über konstante Qualitätskennwerte für jeweils 10 Jahre abgebildet. Die folgende Tabelle fasst die Definition der Szenarien zusammen, vereinfacht und stichpunktartig.

Tabelle 1:
Kurz-Definition der Szenarien anhand der Sanierungszyklen sowie von Umfang und Qualität der Sanierungsmaßnahmen.

Kurz-Definition der Szenarien	Basis-Szenario 0 (Trendfortführung mit Leitlinien Bundesregierung)	Szenario 1 (Technologiegebundener Fahrplan)	Szenario 2 (Technologieoffener Fahrplan)
Sanierungszyklen (mit Besonderheiten)			
Opake Hülle	55 Jahre Energetisch: Dach: 100 % Außenwand: ca. 55 % Kellerdecke: ca. 33 %	50 Jahre + älter als 50 (Gleiches Niveau für alle Bauarten)	50 Jahre + älter als 50 (Niveau teilw. abhängig von Bauart, z. B. reduzierte Anforderungen für Klinker-Wände)
Fenster	36 Jahre	36 Jahre + Ersatz aller 1-/2-(SV) Scheibenglasungen bis 2035 durch 3-SV	36 Jahre
Kessel / Anlagentechnik	30 Jahre Solaranlage anteilig	30 Jahre + Ersatz aller Kessel ohne Brennwerttechnik bis 2025 und ab 2015 nur verb. BW-Kessel Solaranlage für Warmwasser und Heizungs-Unterstützung bei Kesseltausch	30 Jahre Solaranlage für Warmwasser: - vorzusehen bei Kesseltausch - zu installieren bis 2050 (z. B. bei Dachsanierung oder Kesseltausch)
Qualität der Maßnahmen			
Opake Hülle Bezug: Anforderungen an sanierte Bauteile nach EnEV2009	bis 2014: EnEV-Niveau 2015-2020: EnEV - 15 % 2021-2030: EnEV - 30 % 2031-2050: EnEV - 40 %	bis 2014: EnEV-Niveau ab 2015: EnEV - 50 %	bis 2014: EnEV-Niveau 2015-2020: EnEV - 30 % 2021-2030: EnEV - 40 % 2031-2050: EnEV - 50 %
Fenster EnEV-Bezug etwa wie Hülle => U-Werte	bis 2020: $U_w=1,3W/m^2K$ 2021-2030: $U_w=1,0W/m^2K$ 2031-2050: $U_w=0,9W/m^2K$	bis 2014: $U_w=1,3W/m^2K$ 2015-2020: $U_w=1,0W/m^2K$ 2021-2030: $U_w=0,9W/m^2K$ 2031-2050: $U_w=0,8W/m^2K$	bis 2014: $U_w=1,3W/m^2K$ 2015-2020: $U_w=1,1W/m^2K$ 2021-2030: $U_w=0,9W/m^2K$ 2031-2050: $U_w=0,8W/m^2K$
Kessel / Anlagentechnik	Bei Kesseltausch: bis 2020: Brennwertkessel + 20/40 % Solaranlage ab 2021: verb. Brennwertkessel + 10/20 % Solaranlage Zusätzlich: - Dämmung Verteilleitung - hydraulischer Abgleich	Bei Kesseltausch: bis 2014: Brennwertkessel ab 2015: verb. Brennwertkessel Zusätzlich: - Dämmung Verteilleitung - hydraulischer Abgleich - Altbau: neue Thermostate - MFH: Frischwasserstationen - Installation Solaranlage	Bei Kesseltausch: bis 2020: Brennwertkessel ab 2021: verb. Brennwertkessel Zusätzlich: - Dämmung Verteilleitung - hydraulischer Abgleich - neue Pumpen+Thermostate - MFH: Frischwasserstationen EFH: Reduktion Zirkulation - Gewährleistung Anschlussfähigkeit Solaranlage

Mit Hilfe des entwickelten Rechenmodells wird für alle drei Szenarien die Entwicklung des Energiebedarfs von 2010 bis 2050 prognostiziert. Für Szenario 1 und 2 wird entsprechend der geforderten Zielerreichung eine Einsparung des Primärenergiebedarfs (gegenüber 2008) um 80 % erreicht, bezogen auf den Absolutwert des Gebäudebestands. Im Basis-Szenario kann dagegen nur eine Reduktion um 64 % erreicht werden. Aufgrund der im Zeitverlauf zu beobachtenden Verlangsamung des möglichen Einsparpotentials, bei gleichbleibenden Anstrengungen, können diese 64 % jedoch nicht als 75 %-ige (64 von 80) Zielerreichung interpretiert werden. Stattdessen kann die erreichbare Einsparung gegenüber dem 80 %-Ziel lediglich als 60-65 %-ige Zielerreichung angesehen werden. Dies lässt sich durch Weiterführung der sich abzeichnenden Entwicklung bis zur Reduktion um 80 % abschätzen, die im Basis-Szenario erst gegen 2075 erreicht werden würde.

Entwicklung Primärenergiebedarf

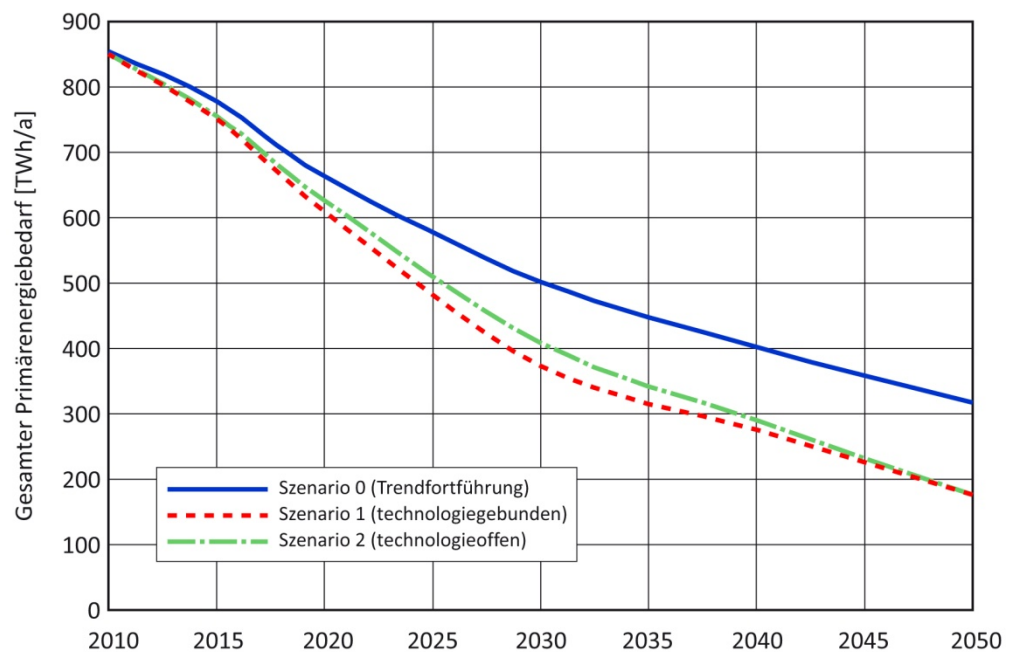


Bild 1:
Graphische Darstellung der Entwicklung des gesamten jährlichen Primärenergiebedarfs für den jeweiligen Wohngebäudebestand.

Der Vergleich der Prognosen für den technologiegebundenen und technologieoffenen Fahrplan lässt mehrere Schlussfolgerungen zu. Zunächst wird deutlich dass zur Erreichung des 80 %-Ziels (primärenergetische Reduktion) insgesamt ein wesentlich größerer energetischer Sanierungsaufwand zu betreiben ist, als sich bei Fortführung der auf Freiwilligkeit beruhenden aktuellen Vorgaben abzeichnet. Die nachträgliche Dämmung aller bisher ungedämmten Bauteile ist erforderlich. Hierbei ist grundsätzlich ein hohes Niveau notwendig. Die sprunghafte Einführung eines Top-Niveaus mit zwingenden Zeitvorgaben, wie in Szenario 1 umgesetzt, erweist sich jedoch als ungeeignet und nicht notwendig.

Stattdessen wird die Umsetzung eines hohen und stetig ansteigenden Qualitäts-Anstiegs empfohlen, analog zu Szenario 2. Dies entspricht der fortschreitenden technischen, baupraktischen und marktwirtschaftlichen Entwicklung und kann diese zugleich fördern und fordern. Außerdem ist es so möglich, besonderen Bauarten und Randbedingungen gerecht zu werden. Zudem wird davon ausgegangen, dass durch technologieoffene Vorgaben Verständnis und Akzeptanz der Bevölkerung für den Einsatz intelligenter Regelungssysteme und für richtiges Nutzerverhalten gesteigert werden kann. Insgesamt resultieren die in Bild 1 dargestellten Primärenergieverläufe aus den Hochrechnungen für die drei Szenarien. Im Bezugsjahr 2008 beträgt der Primärenergiebedarf für den gesamten Wohngebäudebestand rund 870 TWh/a. Im Basis-Szenario 0 kann dieser bis 2050 auf 318 TWh/a reduziert werden, in den Szenarien 1 und 2 auf 177 TWh/a.

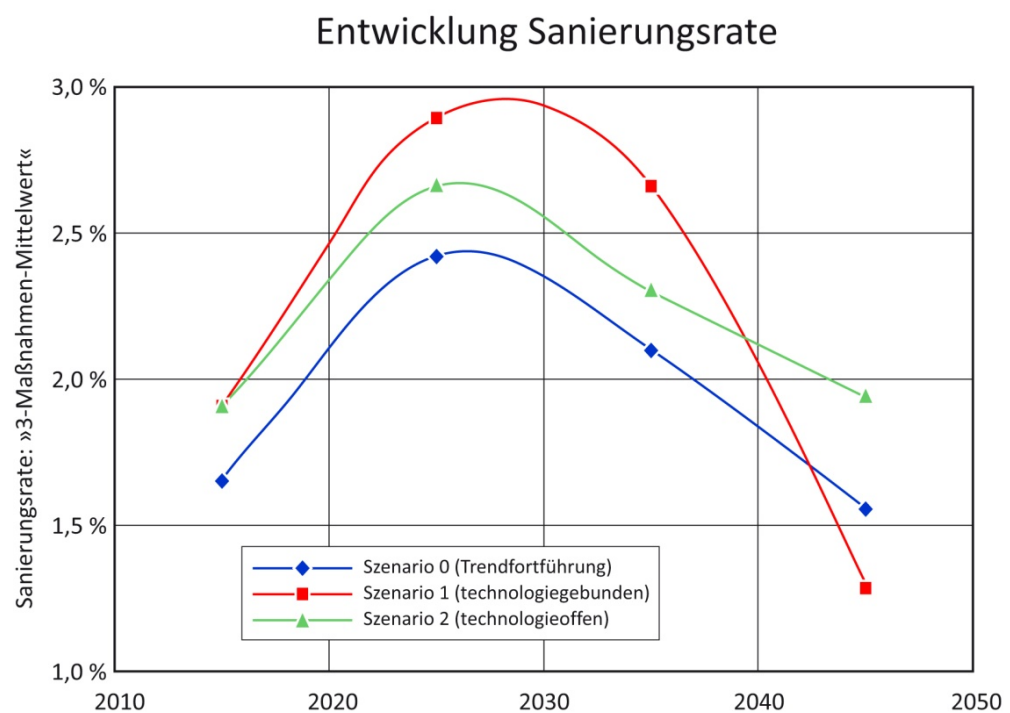


Bild 2:
Darstellung der 10-Jahres-Werte des vereinfachten „3-Maßnahmen-Mittelwerts“ der Sanierungsrate mit Verlaufstendenz.

Bild 2 veranschaulicht Umfang und Entwicklung der notwendigen Sanierungsmaßnahmen für die drei Szenarien. Vereinfacht sind die konstanten Kennzahlen der 10-Jahres-Spannen für den Mittelwert aus den Sanierungsraten der drei Maßnahmenbereiche „opake Hülle“, „Fenster“ und „Anlagentechnik“ als Punktwerte dargestellt. Zur Veranschaulichung der Tendenzen werden diese mit Verlaufslinien verbunden. In allen drei Szenarien sind zwischen 2020 und 2030 die meisten Maßnahmen notwendig. Im technologiegebundenen Fahrplan ist dieser Spitzenwert jedoch am größten und bis 2040 bleibt hier ein sehr hohes Niveau erhalten, bevor dieses im letzten betrachteten Jahrzehnt rapide

abnimmt. Hieraus entsteht eine enorme Diskontinuität im jährlichen Umsetzungsbedarf, die sich voraussichtlich in starken baupraktischen und wirtschaftlichen Engpässen auswirken wird. Zudem können die zukünftig auf allen Ebenen zu erwartenden, fortgeschrittenen Entwicklungen so kaum eine Wirkung entfalten, da der extreme Maßnahmenrückgang dem entgegenwirkt. Im Gegensatz hierzu weist der Kurvenverlauf von Szenario 2 deutlich geringere Unterschiede zwischen dem Maximal- und Minimalwert auf und bewegt sich wesentlich näher am beiden Kurven gemeinsamen Gesamtmittelwert von 2,2 %.

Im technologieoffenen Fahrplan wird grundsätzlich von einer rein qualitativen Zielvorgabe ausgegangen. Dies ermöglicht eine sinnvolle, individuell angepasste Planung und Umsetzung der notwendigen Sanierungsmaßnahmen, unter Berücksichtigung der vorherrschenden Randbedingungen. Zudem kann auf diesem Weg problemlos und angemessen auf technologische (oder andersartige) Entwicklungen reagiert werden. Dies gewährleistet einerseits die notwendige Planungssicherheit und Wirtschaftlichkeit sowie andererseits den Anreiz zur Entwicklung verbesserter und neuer Lösungen, Systeme und Materialien. Demgegenüber stehen deutliche Einschränkungen durch konkrete Zeit- und Technologie-Vorgaben, die zudem zu individuell unsinnigen Abläufen führen können. In Folge entstehen weniger wirtschaftliche oder unwirtschaftliche Lösungen. Dies kann an der thermischen Solaranlage aufgezeigt werden.

Es zeigt sich, dass es in beiden Szenarien notwendig ist, den Einsatz erneuerbarer Energien deutlich zu steigern. Im technologieoffenen Fahrplan wären hierfür grundsätzlich unterschiedliche Möglichkeiten denkbar. Zur besseren Vergleichbarkeit der Szenarien werden jedoch gleichartige Maßnahmen gewählt. Die Flexibilität der Technologieoffenheit kann somit nicht vollständig dargestellt werden, sie wird jedoch über Funktion bzw. Größe der Solaranlage und über den Installationszeitpunkt sichtbar. Zur Wahl des Installationszeitpunkts können im technologieoffenen Fahrplan alle relevanten Randbedingungen zu Grunde gelegt werden, was zu sinnvollen und wirtschaftlichen Lösungen führt. Neben den im Modell abbildbaren Zusammenhängen zwischen Kesseltausch und Dachsanierung können in der Realität auch individuelle Argumente, wie z. B. finanzielle Situation, berücksichtigt werden. Dies steht im Gegensatz zur verpflichtenden Kombination der Installation einer Solaranlage bei Kesseltausch nach Szenario 1. Der sich hierbei ergebende Unterschied der Szenarien im zeitlichen Verlauf der Installation an Solaranlagen wird in Bild 3 deutlich. Nicht dargestellt werden kann der Unterschied in der Größe der Anlage. Im technologieoffenen Fahrplan kann anstelle einer Solaranlage für Warmwassererzeugung und Heizungsunterstützung eine kleinere installiert werden, die nur der Warmwasserbereitung dient. Der in diesem Falle fehlende Beitrag der Heizungsunterstützung kann durch günstige Alternativmaßnahmen ausgeglichen werden, z. B. durch Einsparmaßnahmen infolge Zirkulationsverzicht.

Entwicklung Solaranlagen

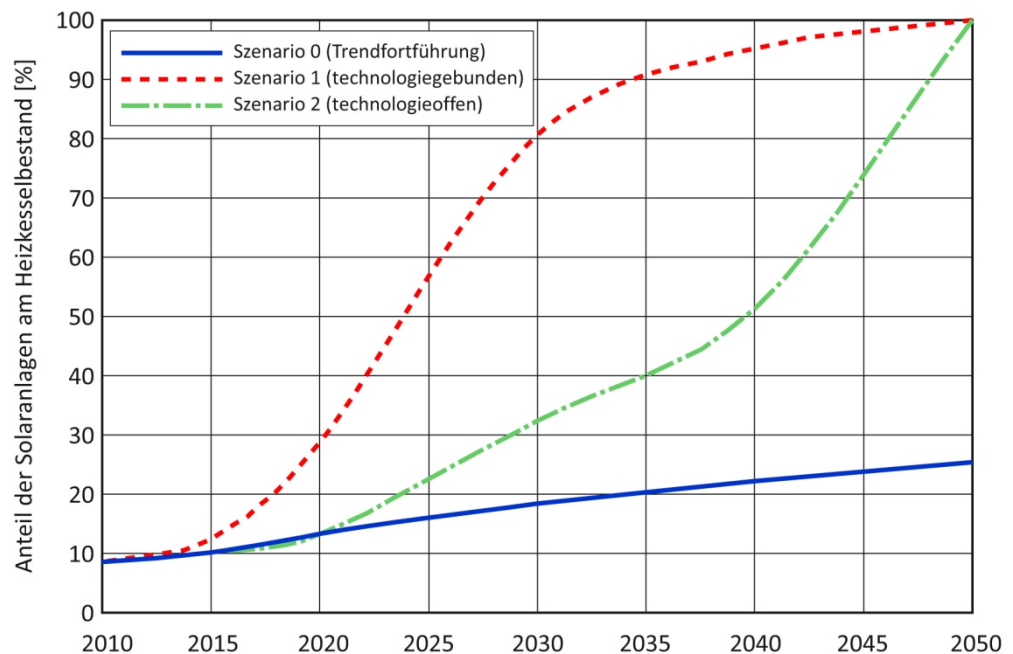


Bild 3:
Graphische Darstellung der Entwicklung der Anteile an Gebäuden mit Solaranlage bezogen auf solche mit fossilem Heizkessel.

Die Ergebnisse von Teilstudie 1 zeigen, dass das anspruchsvolle Ziel der Bundesregierung einer 80 %igen Primärenergieeinsparung im Wohngebäudebereich möglich ist. Hierfür sind jedoch deutlich höhere Anstrengungen bei der Gebäudesanierung notwendig, als durch den bisher eingeschlagenen Weg zu erwarten. Um dies zu erreichen, wird die Umsetzung eines technologieoffenen Regulierungsansatzes mit qualitativ formulierten Zielvorgaben und Zeithorizonten, ohne technologisch verpflichtende Vorgaben empfohlen. Die vorrangige Ausrichtung der Zielvorgaben am Primärenergiebedarf wird befürwortet. Wenn entwicklungsmäßig geboten, sollten jedoch zusätzliche Kennwerte berücksichtigt werden, z. B. Endenergie, CO₂-Emissionen, Verfügbarkeit der Rohstoffe und Energiespeichereffekte.

2. Einleitung

Klimawandel, Energiewende, Gebäudesanierung – diese Schlagwörter sind in Medien und Öffentlichkeit höchst präsent. Die Aufmerksamkeit für dieses Themengebiet ist enorm gestiegen, ebenso die Erkenntnis, dass dringend Handlungsbedarf besteht. Ein bedeutendes Dokument in diesem Zusammenhang ist das im Herbst 2010 veröffentlichte Energiekonzept der Bundesregierung. Hier werden mögliche und notwendige Handlungsfelder erschlossen und „Leitlinien für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ aufgezeigt. Insbesondere angestrebte Ziele werden formuliert. Ein maßgebliches Handlungsfeld ist die Wärmeherzeugung im Wohnungsbau, verantwortlich für etwa 40 % des aktuellen Gesamtenergieverbrauchs. Im Energiekonzept werden für diesen Bereich hochgesteckte Einsparziele formuliert. Bezüglich des hierfür einzuschlagenden Wegs wird auf die Notwendigkeit eines langfristigen Sanierungsfahrplans verwiesen, der zugleich versprochen wird [1].

Bis heute, mehr als zwei Jahre später, wurde kein Sanierungsfahrplan von offizieller Stelle veröffentlicht. Folglich bleibt offen, wie und zudem ob das Ziel erreichbar ist, was zugleich die Frage aufwirft, worauf die Zielformulierung basiert. Eine weitere Frage, die in der öffentlichen Diskussion häufig im Vordergrund steht, ist die Höhe der insgesamt und für den Einzelnen entstehenden Kosten.

Die offenen Fragen eröffnen jedoch die Möglichkeit einer breiten Diskussion und erlauben es, Ideen, Ansätze und Strategien zu entwickeln. Dies wurde bereits von einigen Institutionen wahrgenommen, mit unterschiedlichen Vorgehensweisen, Kernthemen, Ergebnissen und Empfehlungen, z. B. (beauftragt) vom Naturschutzbund Deutschland (NABU) [2], [3] oder durch den Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen [4].

In der vorliegenden Studie werden Sanierungsfahrpläne mit unterschiedlichen Ansätzen miteinander verglichen. Im Vordergrund steht die Ermittlung der bis 2050 erreichbaren Energieeinsparungen und deren zeitlicher Verlauf, wobei stets der gesamte Wohngebäudebestand betrachtet wird. Dies steht im Gegensatz zur häufig üblichen Betrachtung von Einzelgebäuden. Dies erfolgt jedoch beispielhaft zusätzlich, v.a. zur anschaulichen Darstellung der entwickelten Szenarien. Zudem können die so ermittelten Daten für weitere Hochrechnungen auf Einzelgebäudebasis verwendet werden.

Diese technisch orientierten Untersuchungen stellen den ersten Teil der zweiteiligen Studie „Energetische Gebäudesanierung in Deutschland“ dar, können jedoch auch unabhängig betrachtet werden. Die ermittelten Ergebnisse dienen als Grundlage für den zweiten Teil der Studie [5]. In diesem steht die sektorale, soziale und regionale Kostenallokation der hier entwickelten Sanierungsfahrpläne im Fokus der Betrachtungen. Konkret werden dafür die Kosten der alternativen Sanierungsfahrpläne prognostiziert und die finanziellen Belastungen für Eigentümer und Mieter bis 2050 analysiert. Darüber hinaus werden die sozialen

Auswirkungen anhand der finanziellen Leistungsfähigkeit von Haushalten sowie die regionalen Unterschiede bei der Umsetzung alternativer Sanierungsfahrpläne herausgearbeitet. Damit wird mit beiden Berichtsteilen ein umfassendes Gerüst für klimapolitische Implikationen geschaffen.

3. Zielsetzung und Vorgehen

3.1. Zielsetzung

Das Energiekonzept der Bundesregierung [1] enthält hochgesteckte Ziele zur Reduktion des Primärenergiebedarfs durch Energieeinsparung und zum verstärkten Einsatz regenerativer Energien. Betrachtet werden verschiedene Sektoren, wie z. B. Verkehr, Industrie und Wohnen. Für den Wohngebäudebereich ist „bis 2050 eine Minderung des Primärenergiebedarfs in der Größenordnung von 80 % angestrebt“. Dies soll mit energetischer Gebäudesanierung und durch energieeffizientes Bauen erreicht werden.

Die zweiteilige Studie ‚Energetische Gebäudesanierung in Deutschland‘ beauftragt vom Institut für Öltechnik (IWO) setzt sich zum Ziel, mögliche Wege und entstehende Kosten zu ermitteln, die im Wohngebäudebereich durch die Umsetzung des Energiekonzepts der Bundesregierung entstehen. Darauf aufbauend soll ferner eine Aussage getroffen werden, welche Art der politischen Regulierung hierfür geeignet ist, wenn die finanzielle Belastung der Nutzer (Mietler, Eigentümer) als Entscheidungs-Kriterium zugrunde gelegt wird [7].

Ziel des vorliegenden Studienteils 1 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik ist, die energetischen und technischen Fragestellungen zu bearbeiten um eine analytische Basis für das oben genannte Endziel zu generieren. Hierbei entstehen die im Folgenden beschriebenen schrittweise zu bearbeitenden Teilziele, die aufgrund der Komplexität des Themas eng miteinander verwoben sind und sich teilweise gegenseitig beeinflussen.

Das erste Teilziel ist die Entwicklung eines vereinfachten Rechenmodells auf Basis eines mikroskopischen Datenmodells des gesamten Wohngebäudebestands, das es erlaubt, verschiedene Szenarien im zeitlichen Verlauf bis 2050 abzubilden und energetisch zu bewerten. Im zweiten Schritt gilt es, unterschiedliche energetische Sanierungsfahrpläne zu entwerfen, mit welchen sich die Zielsetzung des Energiekonzepts erfüllen lässt, und diese zu vergleichen. Insbesondere ein prinzipiell technologieoffener Ansatz soll der Wirkung von technologischen Vorgaben gegenüber gestellt werden. Anhand des Vergleichs und infolge weiterführender Interpretationen der Ergebnisse ist schließlich eine Bewertung der Fahrpläne bzw. der Regulierungsansätze möglich.

3.2. Grundsätze und Hypothesen

Seit Veröffentlichung des Energiekonzepts der Bundesregierung [1] vor etwa 2½ Jahren sind die gesetzten Ziele sowie die möglichen Wege und die notwendigen Maßnahmen Inhalt zahlreicher Diskussionen. Gründe hierfür sind u.a. in Art und Weise sowie in der Größe der Zieldefinition zu sehen. Die Zielformulierung ist zum einen vage formuliert („in der Größenordnung von“ [1]) und für die Reduktion der Primärenergie im Wohngebäudebestand sind keine Bezugsgrößen angegeben, weder ein Ausgangsjahr noch eine energetische Kenngröße, wie z. B. spezifisch (pro Quadratmeter) oder gesamt, Verbrauch oder Bedarf. Andererseits ist durch das Zieljahr 2050 ein so weit in der Zukunft liegender Zeitpunkt gewählt, dass es kaum möglich ist, Entwicklungen abzuschätzen. In jedem Fall ist der genannte Zielwert von 80 % ein sehr ambitioniertes Ziel.

In Folge der o.g. Aspekte ist es im Rahmen des Projekts notwendig, die Grundsätze des Energiekonzepts in konkrete Definitionen umzuformulieren. Diese werden im Einverständnis aller Projektpartner, auf Basis einer von ‚IWO‘ beauftragten und durch ‚TNS Emnid (Medien und Sozialforschung GmbH)‘ durchgeführten Politiker-Befragung [6], wie folgt definiert.

- Bezugsjahr: 2008
(Analog zu dem im Energiekonzept angegebenen Bezugsjahr für die gesamte angestrebte Primärenergieeinsparung)
- Energetische Kenngröße: Absolutwert Primärenergiebedarf [TWh/a]
(Vereinfachte Berechnung, angepasst an den Verbrauch des Jahres 2008, Primärenergiebedarf des gesamten Wohngebäudebestands für Heizung, Warmwasser und Belüftung, Ansatz einer zeitlichen Entwicklung der Primärenergiefaktoren)
- Zielwert: Reduktion um (rund) 80 %

Wie in [7] beschrieben, erkennt das Institut für wirtschaftliche Ölheizung (IWO) „die formulierte Zielsetzung an und sieht drei Aspekte als relevant an, um die Zielvorgaben zu verwirklichen.“ Auch wenn diese im Folgenden genannten Punkte bereits teilweise empirisch fundiert sind, soll die Studie (weitere) empirische Quantifizierungen liefern.

- Primärenergie als Richtgröße der Wärmemarktregulierung
- Technologieoffenheit zur Maximierung der Energieeffizienz
- Sozialverträgliche Modernisierungsmaßnahmen

Im Rahmen dieser Aspekte und aufgrund bisheriger Erkenntnisse formuliert ‚IWO‘ zudem vier überwiegend hypothetische Aussagen, deren Bestätigung durch die Studie angestrebt wird. Diese sind im Folgenden stichpunktartig dargestellt. Der Grundsatz der Ergebnisoffenheit wird jedoch ausdrücklich betont.

- Aussage I: Benennung der Kosten zur Erfüllung des Energiekonzepts
- Aussage II: Volkswirtschaftliche Überlegenheit der technologieoffenen Umsetzung gegenüber technologiebezogener Vorgaben
- Aussage III: Sozialpolitische Auswirkungen der Regulierungsansätze sowie Notwendigkeit sozialpolitischer Erwägungen bei Ausgestaltung
- Aussage IV: Deutliche regionale Unterschiede der finanziellen Auswirkungen

Bei Bearbeitung der Studie wird das Energiekonzept der Bundesregierung mit allen Vorgaben, Annahmen und Zielsetzungen zu Grunde gelegt. Dies betrifft neben der Entwicklung von Primärenergiefaktoren und dem vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien auch die Ziele, Fernwärme und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) auszubauen und wirkt sich auf die getroffenen Annahmen aus. Es sei angemerkt, dass diese Aspekte noch im wissenschaftlichen Diskurs stehen [8]. Sollten sich Randbedingungen oder Vorgaben des Energiekonzepts ändern, sind die Ergebnisse der Studie entsprechend anzupassen.

3.3. Vorgehen

Sowohl im Rahmen der gesamten Studie als auch im vorliegenden Studienteil erfolgt ein schrittweises Vorgehen. Insgesamt lassen sich vier inhaltliche Module feststellen, die aufeinander aufbauen. Trotzdem ist grundsätzlich auch eine entkoppelte Betrachtung der Teilaspekte möglich, da die vorangehenden Punkte zwar Rand- bzw. Anfangsbedingungen liefern, jedoch keine weiteren Abhängigkeiten bestehen.

- a) Entwicklung eines Vorhersage-Modells zur vereinfachten Abbildung und Hochrechnung des Energiebedarfs des deutschen Wohngebäudebestands (auf Gebäudetypologie-Basis) und Definition repräsentativer Beispielgebäude
- b) Erstellung und Vergleich eines Basis-Szenarios (Status Quo mit Leitlinien der Bundesregierung) und alternativer Sanierungsfahrpläne (technologieoffen und technologiegebunden) für den gesamten Gebäudebestand und anhand repräsentativer Beispielgebäude
- c) Prognose der Kosten für die Umsetzung der alternativen Sanierungsfahrpläne
- d) Analyse der finanziellen Belastungen für Eigentümer und Mieter bis 2050

Der vorliegende Teil 1 der Gesamt-Studie wird vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) bearbeitet. Er umfasst Module a) und b), die energetische Betrachtung des Gebäudebestands und dessen Entwicklung bis 2050 für unterschiedliche entwickelte Sanierungsfahrpläne.

Um die Auswirkung verschiedener energetischer Fahrpläne auf die zukünftige Entwicklung im Wohngebäudebereich abschätzen zu können, ist in einem ersten Schritt die Entwicklung eines vereinfachten Rechenmodells notwendig. Hierbei liegt die Herausforderung vor allem darin, eine ausgewogene Balance

zwischen geeigneter Vereinfachung und notwendiger Genauigkeit zu finden, um später Unterschiede feststellen und bewerten zu können. Dies trifft sowohl auf die Erfassung des Ist-Zustands zu, der die Basis des Modells bildet, als auch auf die Umsetzung der zeitlichen Entwicklung. Gleichzeitig gilt es, die vorhandenen Daten und Informationen angemessen zu nutzen, ohne maßgebliche Inhalte zu verlieren oder Teilaspekte über zu bewerten.

Das Modell soll auf Basis von Typgebäuden gebildet werden. Bestehende Gebäudetypologien werden vereinfacht, mit Entwicklungsprognosen kombiniert und zur Nutzung für ausgewählte Rechenverfahren entsprechend aufbereitet und ggf. angepasst. Hierbei fließen anerkannte Regeln der Technik und Kennwerte für Bestandsbauten ebenso ein wie Entwicklungsprognosen für Bevölkerung und Bautätigkeit. In Abschnitt 4 wird dieser Arbeitsschritt im Detail beschrieben.

Im zweiten Schritt werden die zu analysierenden und vergleichenden energetische Sanierungsfahrpläne entworfen. Diese unterscheiden sich in Qualität und/oder Umsetzungsrate bzw. Sanierungszyklus. Neben einem Szenario, das die Weiterführung aktueller Trends und politischer Leitlinien darstellt, werden zwei weitere Fahrpläne generiert, die sich in der Art der technologischen Vorgaben unterscheiden, jedoch beide die Zielerfüllung des Energiekonzepts gewährleisten. Hierbei soll ein prinzipiell technologieoffener Ansatz mit einem technologiegebundenen verglichen werden. Diese beiden grundsätzlich unterschiedlichen Vorgehensweisen zeigen sich bisher in bestehenden Regulierungsansätzen für den deutschen Wärmemarkt und sind daher in diesem Zusammenhang von besonderem Interesse. (vgl. Kapitel 5)

Für die so entstehenden Szenarien, durch Umsetzung der definierten Fahrpläne im generierten Rechenmodell, werden energetische Hochrechnungen bis 2050 durchgeführt. Dies geschieht sowohl für den Gesamtbestand an Wohnbauten als auch beispielhaft an repräsentativen Beispielgebäuden, wie in den Abschnitten 6 und 7 beschrieben.

Die vergleichende Gegenüberstellung der Ergebnisse erlaubt schließlich eine Bewertung der Fahrpläne bzw. der diesen zu Grunde liegenden Regulierungsansätze. Abschließend werden weiterführende Gedanken und Fragestellungen aufgeführt, die zur Bewertung und erfolgreichen Umsetzung der Fahrpläne von Bedeutung sind.

4. Modellbildung

Die Ziele des Energiekonzepts im Wohngebäudebereich, die dieser Studie zu Grunde liegen, sind derart formuliert, dass davon ausgegangen werden kann, dass sich die angegebenen Zielwerte stets auf den gesamten Gebäudebestand beziehen. D. h., die Gesamtheit aller im Jahr 2050 bewohnten bzw. existierenden Wohngebäude soll 80 % weniger Primärenergie zur Wärmeversorgung benötigen als der Gesamtbestand des Jahres 2008. Hieraus resultiert die Not-

wendigkeit der Bildung eines Rechenmodells, das die zeitliche Betrachtung des gesamten Wohngebäudebestands ermöglicht.

Es wird ein vereinfachtes Rechenmodell erstellt, das die drei für energetische Fragen maßgeblichen Komponentenbereiche ‚opake Gebäudehülle‘, ‚Fenster‘ und ‚Anlagentechnik‘ entkoppelt betrachtet, mit unabhängigen Ausgangszuständen und separater Definition der zeitlichen Verläufe. Folglich wird auch die energetische Sanierung für jede Komponente eigenständig definiert und gesteuert, über Qualität und Zyklus. Die Umsetzung eines Fahrplans bzw. des hieraus resultierenden Szenarios erfolgt schließlich durch die Überlagerung der zeitlichen Verläufe der einzelnen Komponenten. Der gesamte Wohngebäudebestand wird hierbei vereinfacht über zwei „mittlere“ Typgebäude abgebildet, generiert durch die anteilige Mittelung der Kennwerte. Unterschieden werden die maßgeblichen Typen „EFH“ (Ein- und Zweifamilienhäuser) und „MFH“ (kleine und große Mehrfamilienhäuser), repräsentativ für den Gebäudebestand.

An dieser Stelle sei auch darauf hingewiesen, dass in der gesamten Studie nur reine Wohngebäude berücksichtigt werden. Wohnungen, die sich in Gebäuden mit Mischnutzung befinden, werden im Rahmen der vereinfachten Gesamtbeurteilung vernachlässigt, da sie nur etwa 2 % der gesamten Wohnfläche in Deutschland ausmachen.

4.1. Ausgangssituation

Das grundsätzliche Projektziel ist die Abschätzung einer zukünftigen Entwicklung. Demzufolge soll der Ist-Zustand als Ausgangssituation für das Rechenmodell gewählt werden. Da zur Darstellung des energetischen (Ist-)Zustands des Wohngebäudebestands jedoch zahlreiche Informationen erforderlich sind, muss ein zurückliegendes Jahr herangezogen werden, aus welchem diese Daten bekannt sind. Das „jüngste“ dieser Jahre mit den notwendigen Informationen ist 2009 und wird als Basisjahr zur Modellbildung gewählt. Davon unabhängig bleibt das (im Rahmen des Projekts) definierte Bezugsjahr 2008. Soweit verfügbar, entstammen diesem die notwendigen energetischen Vergleichswerte. Soweit notwendig, erfolgt eine entsprechende Rückrechnung von 2009.

Grundlage der Modellbildung und somit der Hochrechnung ist der typologisierte IST-Zustand des Wohngebäudebestands von 2009 nach Daten der Typologien von IKARUS [9] und IWU [10]. Hier werden alle Wohngebäude nach Gebäudetyp (Ein-/Zweifamilienhaus, Reihenhaus, großes und kleines Mehrfamilienhaus sowie Hochhaus) und Baualterklasse (10 Klassen, A - J) in ca. 40 Gruppen eingeteilt. Jeder dieser Gruppen werden anhand eines repräsentativen Typgebäudes gebäudespezifische Kennwerte zugeordnet.

Zur Vereinfachung der Darstellung des Gesamtbestands werden diese Gruppen stark reduziert, indem aus den spezifischen Informationen anhand ihrer Häufigkeit zwei mittlere fiktive Wohngebäude generiert werden. Für das „mittlere Einfamilienhaus“ (EFH), werden die Untergruppen Ein- und Zweifamilien- sowie

Reihenhäuser zusammengefasst. Analog wird das „mittlere Mehrfamilienhaus“ (MFH) aus den Gruppen kleine und große Mehrfamilien- sowie Hochhäuser erstellt. Durch den Ansatz der statistischen Mittelwerte (anteilig gewichtet) aller relevanten gebäudespezifischen Werte, wie z. B. Fensterflächen oder Anzahl der Wohneinheiten, entstehen fiktive Gebäude, beispielsweise mit 1,24 Wohneinheiten. Diese Betrachtung eignet sich daher nur für die Gesamtheit der Wohnungen. Zur beispielhaften Einzelhaus-Betrachtung sind entsprechende Anpassungen notwendig.

Die energetische Qualität der Gebäude wird in der typologisierten Betrachtung durch die Zugehörigkeit zu einer Baualtersklasse definiert. Jeder Baualtersklasse sind für die baulichen Bestandteile der Gebäudehülle energetische Kennwerte zugeordnet. U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizienten in W/m^2K) für die opaken Bauteile Dach bzw. Geschossdecke, Außenwand und Kellerdecke bzw. Bodenplatte sowie zusätzliche Kennwerte, wie z. B. g-Wert (Gesamtenergiedurchlassgrad) für transparente Bauteile. Die Einteilung nach Baualtersklassen wird in der vereinfachten Typologie beibehalten.

Die o. g. Gebäudetypologien charakterisieren die Gebäude in ihrem ursprünglichen Zustand. Im Ist-Zustand wurden jedoch häufig bereits einzelne Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Daher ist eine weitere Verifizierung notwendig, um der Abbildung des Wohngebäudebestands im Basisjahr 2009 gerecht zu werden. Hierfür wird die „Datenbasis Gebäudebestand – [eine] Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestands“ des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) aus Darmstadt von 2010 genutzt [11]. Neben Daten aus dem Endbericht wird die Auswertung einer angepassten Detailabfrage aus dieser Datenbank verwendet, die es ermöglicht, für die beiden generierten Gebäudegruppen (EFH und MFH) Informationen über gebäudetechnische, energetische Merkmale (u. a. Bauart und Wärmeschutz) und über Kennwerte der Anlagentechnik (z. B. Heiz- und Warmwassererzeugung) zu erhalten, sowohl insgesamt als auch in Abhängigkeit von zwei zusätzlich definierten übergeordneten Baualtersgruppen „Altbau“ und „Jung-Bestand“ (bis und nach Baujahr 1978) [12]. Weitere Abhängigkeiten, wie beispielsweise zwischen den Baualtersklassen von Gebäude, Fenstern und Technik, können aus den Daten nicht ermittelt werden.

Neben der opaken Gebäudehülle sind vor allem Fenster und Anlagentechnik (Wärmeerzeugung, Verteilung und Übergabe) für den Energiebedarf eines Gebäudes maßgebend. Analog zu den oben beschriebenen Abhängigkeiten zwischen Baualtersklasse und U-Wert der Hülle, ist auch die energetische Qualität von Fenstern und Technik von der Baualtersklasse abhängig. Daher erfolgt auch hier eine entsprechende Einteilung, wiederum mit dem Ziel Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen betrachten zu können. Auch die Abhängigkeit von Austauschzyklus und Lebensalter ist für alle drei Komponenten gleichermaßen gegeben, wobei sich die Zyklen deutlich unterscheiden und grundsätzlich voneinander unabhängig sind. Aus diesen Tatsachen ergibt sich die entkoppelte

Definition und Betrachtung der drei genannten Komponentenbereiche, die für die Energieeffizienz eines Gebäudes maßgeblich sind.

Innerhalb der einzelnen Altersklassen wird stets eine gleichmäßige Verteilung über die Jahre angenommen. Dies gilt für alle betrachteten Aspekte und schließt u.a. Gebäude, technische Systeme und bereits durchgeführte Sanierungen mit ein. Diese Unterteilung ist notwendig, da die Sanierungsrate über Zyklen umgesetzt wird, was eine jährliche Betrachtung erfordert und somit die Festlegung auf ein bestimmtes Baujahr anstelle einer Baualtersklasse.

4.2. Durchführung der energetischen Berechnungen

Die energetischen Berechnungen zur Ermittlung des Wärmeenergiebedarfs (Heizung und Warmwasser) des Gesamtbestands erfolgen anhand des Heizperiodenverfahrens nach DIN V 4108, Teil 6: „Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs“ [13] und DIN V 4701: „Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen“, Teil 10: „Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung“ [14], unter Verwendung der pauschalen Ansätze für bestehende Wohngebäude zur vereinfachten Ermittlung der energetischen Qualität der Anlagentechnik nach der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand (vom 30. Juli 2009)“ [15] des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Sofern notwendig, wird an entsprechenden Stellen durch Inhalte der (Vor-)Norm DIN V 18599: „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“ [16] ergänzt. Soweit nicht anders angegeben, werden Randbedingungen und Standardwerte aus diesen Normen und Richtlinien angesetzt.

Für die ausgewählten Beispielgebäude werden die energetischen Berechnungen nach DIN V 18599 durchgeführt, analog zu den aktuell geltenden Vorgaben nach der Energieeinsparverordnung EnEV 2009 [17], Anlage 1, Nummer 2 „Berechnungsverfahren für Wohngebäude“. Die o.g. Normen, die für die Hochrechnung am Gesamtbestand angesetzt werden, sind dort als Alternative zugelassen.

Aufgrund der vorhandenen Datenlage wird das zurückliegende Jahr 2009 als Basisjahr für alle Werte und Hochrechnungen gewählt. Infolgedessen werden auch die aus heutiger Sicht zurückliegenden Jahre (2010-2012) als zukünftige und daher innerhalb der Hochrechnung abzuschätzende Zeiträume angesehen.

Es wird angenommen, dass die Sanierungsschritte in Abhängigkeit der üblichen Lebens- bzw. Sanierungszyklen der Bestandteile erfolgen. Die Bauteile der opaken Gebäudehülle, Dach/oberste Geschossdecke, Außenwand/Fassade (ohne Fenster) und Kellerdecke/Bodenplatte, werden vereinfacht zusammengefasst. Unter der Annahme, dass diese Bauteile zeitgleich saniert werden, wird sodann ein gemeinsamer mittlerer Sanierungszyklus angesetzt. Diese Vereinfachung

schließt auch die innenliegenden Geschossdecken mit ein, obwohl diese i.d.R. keinen Sanierungsbedarf aufweisen. Aufgrund der Forderungen der Energieeinsparverordnung ist jedoch auch für diese Bauteile die Durchführung energetischer Maßnahmen notwendig.

Die Hochrechnung zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung erfolgt in Jahresschritten. Die drei Komponentenbereiche opake Hülle, Fenster und Anlagentechnik werden hierbei separat und entkoppelt betrachtet, da Sanierungszyklen und Ausgangssituation voneinander abweichen und keine Informationen über deren Zusammenhänge vorhanden sind. Abschätzungen über mögliche Abhängigkeiten wären mit starken Unsicherheiten behaftet, da hier in der Praxis zahlreiche Komponenten eine Rolle spielen. Die erhaltenen Zwischenergebnisse werden in einer Gesamtrechnung zusammengefasst, die ebenfalls in Jahresschritten erfolgt.

4.3. Wohnflächenentwicklung

4.3.1. Vorhersage von Wohnflächen- und Bevölkerungsentwicklung

Im Februar 2000 setzte der Bundestag die Enquete-Kommission 'Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung' ein. Zur Abschätzung der zukünftigen energiewirtschaftlichen Entwicklung (womit ein Fach-Konsortium beauftragt wurde), erstellte die Kommission sozioökonomische Rahmendaten bis 2050. Diese beinhalten u.a. Angaben zur Bevölkerung- und Wohnflächenentwicklung, dargestellt in Kennzahlen für die Jahre 2000, 2005, 2010, 2020, 2030 und 2050. [18], [19].

Eine weitere Studie zur Entwicklung der Wohnfläche in Deutschland wurde 2005 vom Beratungsunternehmen „Empirica“ im Auftrag der LBS Berlin erstellt. Prognostiziert wird der Zeitraum bis 2030 mit Angabe von Kennwerten im 5-Jahres-Rhythmus [20].

Die Kennwerte der beiden genannten Studien sind in Bild 4 dargestellt. Zudem zeigt die Grafik die Entwicklung der Wohnfläche in Wohngebäuden der letzten Jahre, nach Angaben des statistischen Bundesamts DESTATIS [21]. Ebenfalls vom statistischen Bundesamt, im Rahmen der „12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung“ von 2009 [22] ermittelt, ist die zudem in Bild 4 enthaltene Bevölkerungsentwicklung. Dargestellt ist der Mittelwert der beiden prognostizierten unteren und oberen Grenzwerte. In der Grafik werden somit auch die zwischen den beiden Größen Bevölkerung und Wohnfläche bestehenden Zusammenhänge veranschaulicht. Diese lassen sich durch den charakteristischen Wert 'Wohnfläche pro Person' darstellen, der seit Jahren ansteigt und sich voraussichtlich weiter vergrößern wird. 1995 betrug die Wohnfläche pro Einwohner knapp 37 m²/EW, seit 2003 ist sie größer als 40 m²/EW und wird vermutlich bereits in einigen Jahren die 45 m²/EW überschreiten. In den o.g. Quellen werden bis 2050 Werte von 58,6 m²/EW (Enquete-Kommission) bzw. 55,8 m²/EW (Empirica) genannt. Ein Vergleich der bis heute prognostizierten mit den einge-

tretenen Werten lässt für 2050 jedoch eher eine spezifische Wohnfläche von etwa 50 m²/EW vermuten.

Vorhersage Wohnfläche/Bevölkerung bis 2050

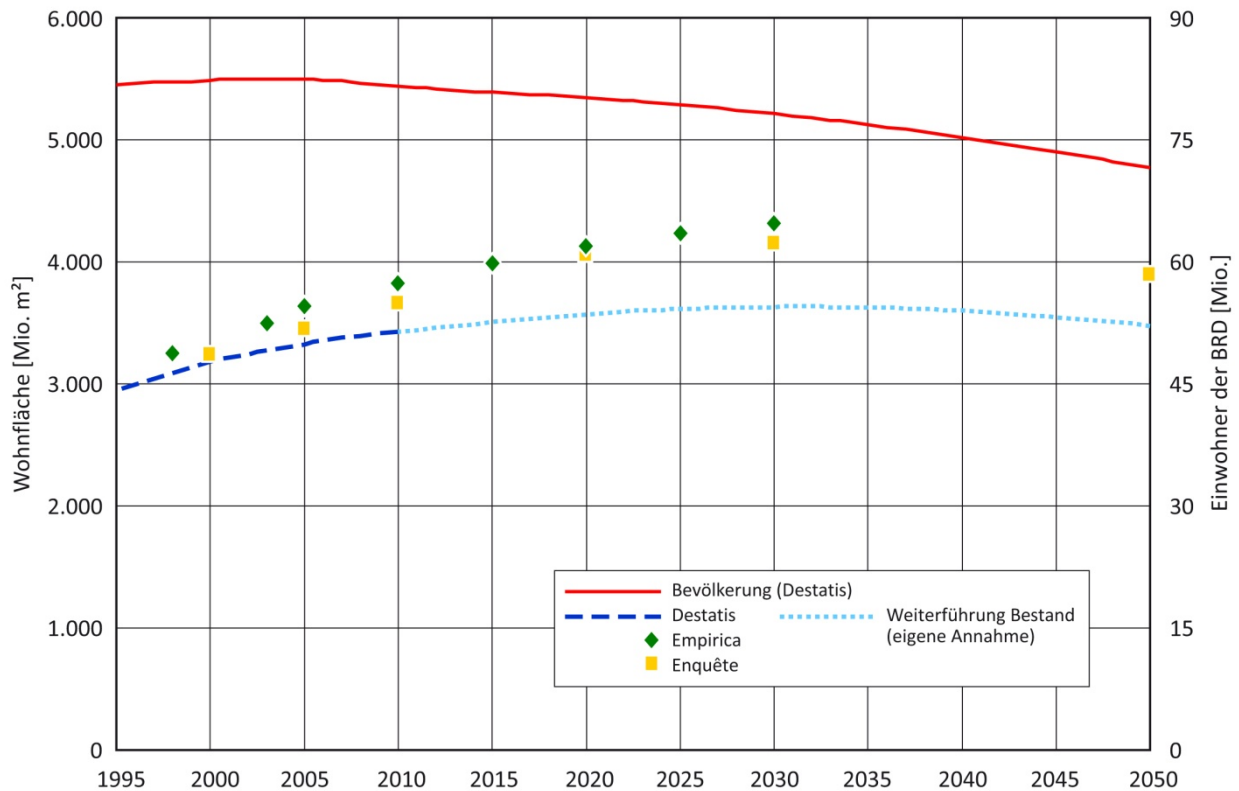


Bild 4:

Darstellung der bisherigen und vorhergesagten Entwicklung der Wohnfläche in reinen Wohngebäuden sowie der Bevölkerung in Deutschland von 1995 bis 2050. Die verschiedenen Quellen sind über unterschiedliche Farben und Symbole dargestellt. (Bezugsskala: linksseitig Wohnfläche (in Wohngebäuden) in Mio. m², rechtsseitig Bevölkerung in Mio.).

Auch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) hat sich in seiner „Wohnungsmarktprognose 2025“ [23] ausführlich der komplexen Fragestellung einer Prognose gewidmet. Sowohl aus dem Umfang des Gesamtwerkes als auch aufgrund der Wahl zweier sehr unterschiedlicher Szenarien, die sich im Grunde gegenläufig verhalten, geht die Schwierigkeit einer zuverlässigen langfristigen Vorhersage deutlich hervor, besonders bis ins Jahr 2050. In der vorliegenden Studie werden nur Werte verwendet, die der sog. „unteren Variante“ entstammen, in welcher die zurückliegenden Entwicklungen und daraus resultierenden Tendenzen fortgeführt werden. Nicht berücksichtigt werden die ebenfalls dargestellten regionalen und wohnart- bzw. eigentümerspezifischen Unterschiede. Bis zum Jahr 2025 wird eine Erhöhung der Wohnflächennachfrage um rund 6 % gegenüber 2010 prognostiziert, trotz rückläufiger Bevölkerungszahlen und Haushalte, aufgrund der steigenden Pro-Kopf-Wohnfläche. Bis 2020 wird ein mittlerer Wohnflächenanstieg von 0,4 % pro Jahr

vorhergesagt. Der Neubaubedarf wird tendenziell rückläufig eingeschätzt, wobei vereinfacht von drei konstanten fünfjährigen Perioden ausgegangen wird. (vgl. Bild 5)

Auf Basis der Kennwerte des statistischen Bundesamts für die Jahre 1995-2010 wird, mit Hilfe der oben beschriebenen Studien und der vorhergesagten Zunahme der Wohnfläche pro Person, die Entwicklung des Wohnflächenbestands bis 2050 abgeschätzt. Die so ermittelte Prognose zur Wohnflächenentwicklung wird auf die Gesamtwohnfläche in Wohngebäuden nach der IWU-Typologie angewendet, welche die Basis zur Hochrechnung bildet.

Bild 4 zeigt, dass die tatsächliche Wohnflächenentwicklung im zurückliegenden Zeitraum bis 2010 eine deutlich flachere Steigung aufweist, als der Verlauf der prognostizierten Werte. Die Zuwachsrate nimmt stetig ab, liegt ab 2002 unter 1 % und erreicht 2009 0,5 %. Aus den vorhergesagten Kennwerten der Prognoseschriften ergeben sich hingegen bis 2010 Zuwachsraten von über 1 %, die bis 2020 gering abnehmen, bevor von 2021 bis 2030 ein deutlicher Rückgang auf 0,3 % eintritt. 2030 endet die Prognose von Empirica. Die Vorhersage der Enquete-Kommission erfährt 2030 ihren Höhepunkt, bevor ab 2031 eine rückläufige Rate zu erkennen ist.

Infolge der oben beschriebenen Verläufe werden im Rahmen der durchgeführten Studie folgende abschnittsweise definierten Annahmen für die Wohnflächenentwicklung in den Jahren 2010 - 2050 getroffen:

2009:

Zuwachsrate: 0,5 %

2010 – 2020:

Rückläufige Zuwachsrate, mit zunehmender Reduktion:

2010 Reduktion um 0,01 %, dann stetig zunehmend um 10 %, d.h.:

2010: Reduktion (Red.) um 0,01 %

=> Zuwachsrate (ZWR) = 0,5 % - 0,01 % = 0,49 %

2011: Red. um 1,1 * 0,01 % = 0,011 %

=> ZWR = 0,49 % - 0,011 % = 0,479 %

2012: Red. um 1,1 * 0,011 % = 0,0121 %

=> ZWR = 0,479 % - 0,0121 % = 0,4669 %

usw. bis

2020: Reduktion: rund 0,026 % und Zuwachsrate: rund 0,315 %

2021 – 2050:

Rückläufige Zuwachsrate, mit konstanter Reduktion:

Reduktion der Zuwachsrate: jährlich um 0,026 % (= „Endwert“ Red. 2020)

=> ab 2033: negative Zuwachsrate = rückläufigen Gesamtwohnfläche

Diese zur Weiterführung der erkennbaren Trends und unter Berücksichtigung der Prognosen entwickelten Ansätze werden schließlich für den aktuellen Bestandwert angewendet. Hieraus entsteht die in Bild 4 dargestellte Kurve, die unmittelbar an die Vorjahreswerte nach Angaben des statistischen Bundesamts anschließt.

Im Vergleich aller in Bild 4 dargestellten Werte wird einerseits die Trendfortführung in der umgesetzten Prognose deutlich, die sich durch die Weiterführung der Steigung der Bestandskurve zeigt, die in diesem Zeitraum (bis 2010) bereits flacher verläuft, als die vorhergesagte Entwicklung. Im weiteren Verlauf der Prognose-Kurve zeigt sich andererseits ein grundsätzlich gleichartiger Verlauf, entsprechend des von der Enquete-Kommission vorhergesagten, mit Maximum um 2030. Der Rückgang der gesamten Wohnfläche passt zudem auch zu der bereits ab 2003 rückläufigen Bevölkerungsanzahl. Die Verschiebung der Maximalwerte von Wohnfläche und Bevölkerung resultiert aus (der Annahme) einer weiterhin ansteigenden spezifischen Wohnfläche je Einwohner. Inklusive der im Rahmen der Studie nicht betrachteten aktuell 2 % an Wohnfläche in Nichtwohngebäuden, stieg dieser Wert von knapp 37 m² Wohnfläche je Person im Jahr 1995 bis 2010 bereits auf 43 m² WF/EW und wird mit den dargestellten Prognose-Ansätzen bis 2050 auf rund 50 m² WF/EW weiter zunehmen.

Für das Hochrechnungs-Modell werden die entwickelten und in Bild 4 veranschaulichten Rechenregeln zur Prognose der zukünftigen Wohnflächenentwicklung auf die Gesamtwohnfläche der Gebäudetypologie 2009 angewendet. Diese beträgt 3 415 Mio. m². Mit einer Zuwachsrate von 0,49 % (nach den obigen Regeln) ergibt sich für 2010 eine Gesamtwohnfläche von 3 432 Mio. m², und so fort, mit einem Maximum von 3 637 Mio. m² im Jahr 2032 und dem Endwert von 3 480 Mio. m² in 2050. D.h. 2050 entspricht die gesamte Wohnfläche etwa der aktuellen. Für das Bezugsjahr 2008 wird der Wert durch Rückrechnung zu 3 399 Mio. m² ermittelt. Verglichen mit diesem ergibt sich bis 2050 eine geringe Zunahme um 2,4 %, ca. 80 Mio. m².

Die so erhaltenen jährlichen Werte für die Gesamtwohnfläche beinhalten Leerstand, Rückbau und Neubau, über deren Anteile jedoch keine Aussage gemacht wird. Die hierfür umgesetzten Ansätze werden im Folgenden erläutert.

4.3.2. Leerstand

Für den Gesamtenergiebedarf aller Wohngebäude spielt auch der Leerstand eine Rolle. In der vereinfachten Hochrechnung wird dieser jedoch vernachlässigt, da davon ausgegangen wird, dass der Einfluss prozentual stets in der gleichen Größenordnung wirkt und folglich für den prozentualen Vergleich der unterschiedlichen Jahre keine Rolle spielt.

4.3.3. Rückbau- und Neubauquote

Bild 5 zeigt in einer gemeinsamen graphischen Darstellung sowohl verfügbare Daten zu bisherigen Neubau- und Rückbauquoten von 2000 bis 2010 als auch darauf basierende und weiter fortgeführte Annahmen und Ansätze zur Vorhersage und Berücksichtigung dieser Aspekte im Rahmen der projektspezifischen Hochrechnung. Beide Anteile werden in den folgenden Abschnitten näher beschrieben und erläutert.

Zu- und Abgänge (ab 2010 Weiterführung)

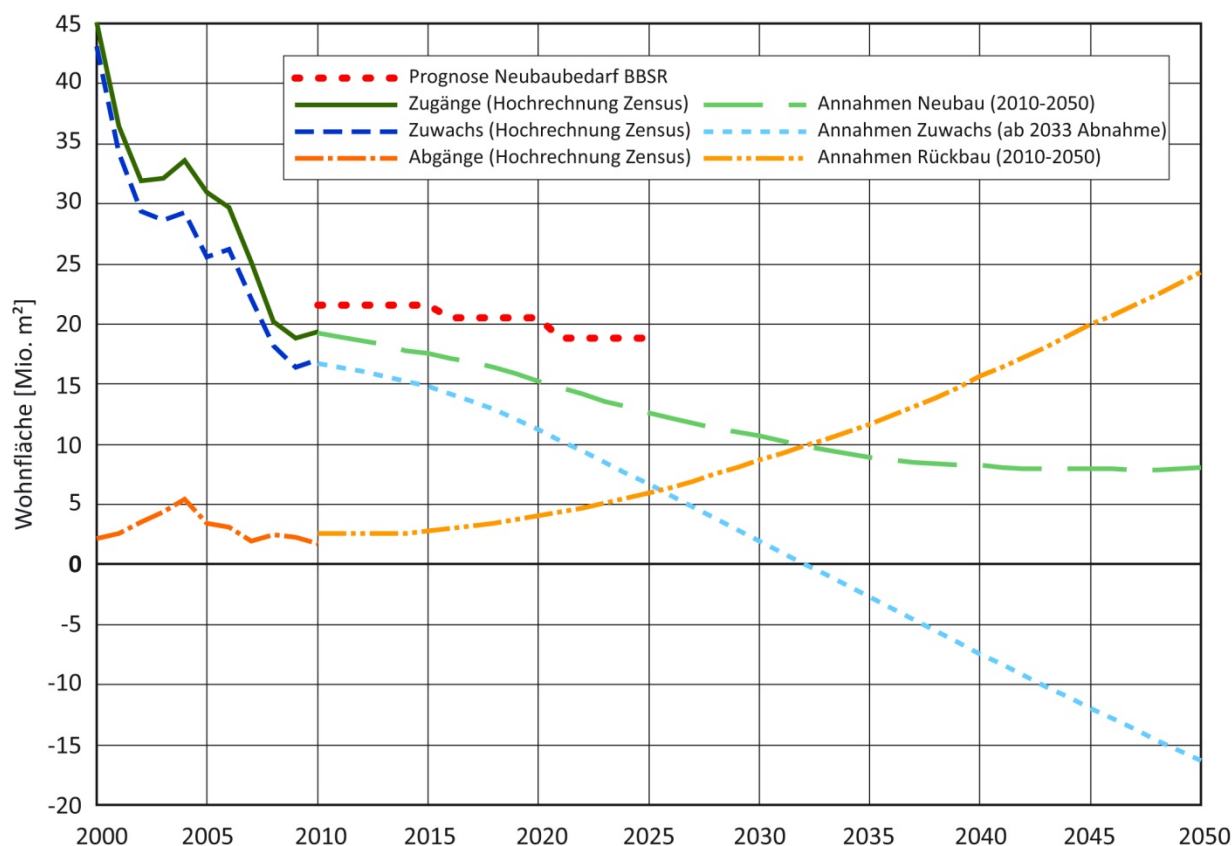


Bild 5:
Graphische Darstellung der bisherigen (2000-2010) Zuwachs-, Rückbau- und Neubau-Wohnflächen und anhand von Abschätzungen und Annahmen getroffenen Vorhersagen (2010-2050).

In Bild 5 sind u.a. Angaben des statistischen Bundesamts über die rückgebaute Wohnfläche dargestellt [25], bezeichnet mit „Abgänge“. Diese können vermutlich nur als Hinweise auf die Größenordnung interpretiert werden, da bei genauerer Betrachtung der Eindruck entsteht, dass die Werte zu niedrig seien. Zum einen werden regional teilweise höhere Werte angegeben (z. B. Wohnungsbedarfsprognose Hessen [26]). Andererseits weist die deutliche Diskrepanz zwischen den tatsächlichen Zugängen nach Bautätigkeitsstatistik und den errechneten Zugängen durch Differenz aus Bestand und Abgang auf fehlerhafte Zah-

len hin. Erklären ließe sich dies dadurch, dass üblicherweise nur wenige Rückbauvorgänge dokumentiert und somit in die Statistik aufgenommen werden [26].

Die treppenartige Kurve der Prognose des Neubaubedarfs durch das BBSR bei fortlaufender Trendentwicklung kann ebenfalls nur als grobe Orientierung dienen, da der Mittelwert eines angegebenen Korridors angesetzt wird. Zudem ist die Vorhersage in Wohneinheiten formuliert, so dass weitere Unsicherheiten durch die Rückrechnung auf Quadratmeter-Wohnfläche bestehen. Eindeutig sichtbar und im Bericht des BBSR betont ist die rückläufige Tendenz der Neubaurate [23].

Auf Basis dieser Informationen werden die folgenden Ansätze und Annahmen für Rückbau und Neubau getroffen, abschnittsweise definiert für die Zeitspannen „bis 2020“ und „ab 2021“. In der ersten, der zeitnahen und kürzeren Spanne werden auch Wechselwirkungen zwischen anstehendem Rückbau und der Vermeidung vorheriger Maßnahmen formuliert. Da in der zweiten Spanne deutlich größere Unsicherheiten vorliegen, ist dies hier weder möglich noch sinnvoll. Insgesamt ist mit einem deutlichen Anstieg der Rückbaurate und einem merklichen Rückgang der Neubautätigkeit zu rechnen.

Bis 2020:

Bis zum Jahr 2014 wird eine konstante jährliche Rückbaumenge angenommen, entsprechend dem Mittelwert der statistisch erfassten Abgänge von 1995 bis 2010 von 2,55 Mio. m² Wohnfläche. Für die mittleren Typgebäude „EFH“ und „MFH“ ergeben sich hieraus 1,51 Mio. m² bzw. 1,04 Mio. m², infolge der für das gesamte Projekt gewählten stetigen Aufteilung der Wohnflächenanteile von 59 % und 41 %. Der konstante Ansatz der Rückbaufläche begründet sich zum einen aus der horizontal verlaufenden Näherung an die Kurve aus Bild 5. Zum anderen führt diese Annahme aufgrund des insgesamt sehr geringen Wohnflächenanstiegs zu einer leicht rückläufigen Bautätigkeit. Dies entspricht der Tendenz der Prognose. Durch die Wahl des Mittelwerts erfolgt ferner eine konservative Einschätzung auf der sicheren Seite, bei Berücksichtigung der vermutlich zu geringen statistischen Zahlen der Rückbaurate.

Ab 2015 wird eine jährliche Zunahme der Rückbaurate um 8 % angenommen, um den vorhergesagten Tendenzen zu folgen. Dies reduziert die Abnahme der Neubautätigkeit und vermeidet somit einen zu starken Rücklauf.

Im gesamten Zeitraum wird davon ausgegangen, dass nur unsanierte Altbauten (erbaut bis 1978) rückgebaut werden, stets anteilig in Abhängigkeit ihrer Anteile am Gebäudebestand 2009.

Ab 2021:

Unter der Annahme, dass zu jeder Zeit eine gewisse Neubaurate existieren wird, die stets mehr als 0,2 % des aktuellen Bestands beträgt und nicht weni-

ger als 1/3 der Rückbaumenge, werden für die Rückbaurrate ab 2021 folgende abschnittsweise definierten Annahmen getroffen. Der so generierte Verlauf des Rückbaus wird ebenso wie die hieraus resultierenden Neubau und Zuwachskurven in Bild 5 graphisch dargestellt.

- 2021 – 2030: linearer Anstieg der Rückbaurrate um jährlich 8 %
- 2031 – 2040: linearer Anstieg der Rückbaurrate um jährlich 6 %
- 2041 – 2045: linearer Anstieg der Rückbaurrate um jährlich 5 %
- 2046 – 2050: linearer Anstieg der Rückbaurrate um jährlich 4 %

Die im Modell als „Rückbau“ und „Neubau“ angesetzten Wohnflächen werden in diesem zukünftigen Zeitraum mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem großen Teil als Kernsanierung ausgeführt werden. Eine Abschätzung über für diese Fälle dann geltenden Normen und Standards zu treffen ist zum momentanen Zeitpunkt sehr schwierig. Anforderungen nahe des Neubaulniveaus sind jedoch wahrscheinlich, so dass diese Art der umfassenden Sanierung im Rahmen des Modells nicht explizit berücksichtigt wird. Stattdessen wird angenommen, dass diesbezüglich eine angemessene Berücksichtigung im Rahmen der Rückbau- und Neubauquote erfolgt.

Zusätzlich werden folgende Annahmen getroffen, durch welche die rückgebauten Gebäude genauer klassifiziert werden.

Bis 2020:

- Rückgebaut werden nur Altbauten (erbaut bis 1978), deren Hülle bis 2009 nicht saniert wurde (Anteil der Baualtersklassen abhängig von der Menge am Gesamtbestand 2009).
- Vor Rückbau werden an diesen Gebäuden keine energetischen Sanierungen der opaken Hülle durchgeführt und keine Kessel werden ausgetauscht oder ersetzt.
- Da die vorhandenen Angaben über Alter bzw. Qualität der bestehenden Fenster unabhängig vom Baujahr der Gebäude sind, kann keine Aussage über die Fenster in den rückgebauten Gebäuden gemacht werden. Vereinfacht wird daher angenommen, dass diese Fenster die gleichen mittleren Kennwerte aufweisen wie der im gleichen Jahr verbleibende Gesamtbestand an Fenstern.
- Wohngebäude, deren Wärmeversorgung durch Wärmepumpen, Brennwertkessel oder neuere Niedertemperaturkessel (ab Baujahr 1998) erfolgt, werden nicht rückgebaut.

Ab 2021:

Nach wie vor werden überwiegend unsanierte Gebäude rückgebaut werden, insbesondere Altbauten. Angenommen wird hier ein Anteil von 90 % Altbau an den unsanierten Gebäuden. Für diese wird weiterhin davon ausgegangen, dass deren Anteile an den unterschiedlichen Baualtersklassen gleichartig verteilt

sind, wie dies im Bestand der Fall ist. In Abhängigkeit dieser und der im Folgenden erläuterten weiteren getroffenen Annahmen für jüngere Bestandsbauten und bereits sanierte Gebäude (vor 2009), ergeben sich für Altbauten Anteile von 61 % (EFH) bzw. 55 % (MFH) an der jährlich rückgebauten Gebäudefläche.

Auch wenn jüngere Häuser vermutlich nicht vor 2030 rückgebaut werden und trotz der zu erwartenden Staffelung nach Baualter, werden die Anteile am jährlichen Rückbau für den gesamten Zeitraum 2021-2050 vereinfacht als konstant angenommen. Auf das Endergebnis der Hochrechnung für 2050 hat diese Vereinfachung keinen Einfluss und auf die vorherigen Jahre nur einen geringen, der im Rahmen der Unsicherheiten keine entscheidende Rolle spielt. Für beide Gebäudekategorien EFH und MFH werden folgende Prozentsätze am jährlichen Rückbauvolumen festgelegt:

Baualtersklasse G (1979-1983):	4 %
Baualtersklasse H (1984-1994):	2 %
Baualtersklasse I (1995-2001):	1 %
Baualtersklasse J (2002-2009):	kein Rückbau

Ferner wird davon ausgegangen, dass auch Gebäude rückgebaut werden, die bereits vor 2009 (teil-)saniert wurden. Es wird angenommen, dass bis 2050 insgesamt 20 % dieser Häuser rückgebaut werden. Hieraus resultiert ein Anteil am jährlichen Rückbau von 32 % für EFH und 38 % für MFH.

4.4. Gebäudetypologie - Darstellung des Wohngebäudebestands

Zur Darstellung größerer Gebäudebestände eignet sich die Nutzung von Gebäudetypologien. Im Wohngebäudebereich werden solche Ansätze seit vielen Jahren auf regionaler und nationaler Ebene entwickelt, aktualisiert und verbessert. Meist wird mit geometrischen Typgebäuden und Baualtersklassen gearbeitet. In der bereits mehrfach überarbeiteten, aktuellen Deutschen Gebäudetypologie des IWU von 2011 [10] wird eine Aufteilung in 10 Baualtersklassen und 4 bzw. 5 Grundtypen der Bauweise mit zusätzlichen Sonderfällen gewählt. Insgesamt entstehen so fast 40 Gebäudetypen (nicht jeder Typ ist in jeder Klasse vertreten). Um die im Rahmen der vorliegenden Studie bestehende Komplexität der Abschätzung einer 40-jährigen Zeitspanne aufgrund der zahlreichen Wirkungsfaktoren durch die Anzahl der Typgebäude nicht weiter zu erhöhen, wird eine starke Vereinfachung gewählt. Dies geschieht durch die Zusammenfassung aller Typen zu zwei repräsentativen (fiktiven) mittleren Typgebäuden.

Die energetischen Kennzahlen (v.a. U-Werte) der Typgebäude, charakterisiert durch die Altersklassen werden nicht zusammengefasst. Stattdessen bleibt die Einteilung der Baualtersklassen nach Definition der Gebäudetypologie erhalten. Somit ist es möglich diese weiterhin separat zu betrachten.

4.4.1. Vereinfachung durch mittlere Typgebäude

Anhand der existierenden o.g. Gebäudetypologien und statistischer Daten von 2009 werden die folgenden mittleren Typgebäude durch Mittelwertbildung mit prozentualer Gewichtung bestimmt. Hierbei entstehen fiktive Gebäude, da durch die rechnerische Mittelung der charakteristischen Werte teilweise Kennzahlen entstehen, die in keinem realen Haus existieren können. D.h. die so entstehenden Gebäude sind nicht reell abbildbar, z. B. aufgrund von nicht ganzzahligen Wohneinheiten. Die energetischen Berechnungen nach den in 4.2 genannten Normen können für diese fiktiven Gebäude jedoch problemlos durchgeführt werden. Da der gesamte Bestand so anhand eines bzw. zweier einzelner Gebäude dargestellt werden kann, eignet sich diese Vorgehensweise zur vereinfachten Betrachtung. Die Hochrechnung erfolgt durch Multiplikation mit der Gesamtanzahl, z. B. der Wohneinheiten oder der Gebäude.

Die folgende Tabelle zeigt die Kennwerte der entstehenden repräsentativen Typgebäude der beiden gewählten Gebäudetypen EFH (Ein- und Zweifamilienhäuser) und MFH (kleine und große Mehrfamilienhäuser). Diese Gebäude geben die maßgeblich unterschiedlichen Wohngebäudegruppen wieder und stehen nun stellvertretend für den gesamten Wohngebäudebestand.

Tabelle 2:
Geometrische Kennwerte und Anzahl der mittleren Typgebäude sowie einzelner Wohneinheiten in diesen.

Mittlere Typgebäude	Wohneinheiten (WE)	Wohnfläche [m ²]	Bruttovolumen V [m ³]	Hüllfläche A [m ²]	Kompaktheit A/V [1/m]	Gesamtanzahl (2009)	Anteil
EFH	1,24	135	515	352	0,68	14,99 Mio.	83 %
1 WE (EFH)		109	415,3	283,9	0,68	18,59 Mio.	47 %
MFH	6,83	457	1.627	771	0,47	3,05 Mio.	17 %
1 WE (MFH)		67	238,2	112,9	0,47	20,84 Mio.	53 %

Sofern für einzelne Betrachtungen (z. B. wirtschaftliche Beurteilung) der Ansatz von realistischen Einheiten notwendig ist, kann eine entsprechende Anpassung erfolgen. So kann die Gesamtheit der Gruppe EFH entweder mit 15 Mio. fiktiven mittleren Gebäuden mit je 1,24 Wohneinheiten dargestellt werden, oder mit 11,4 Mio. Einfamilienhäusern und 3,6 Mio. Zweifamilienhäusern (2 WE). Zur Darstellung der MFH kann vereinfacht mit 7 statt 6,83 Wohneinheiten gerechnet werden, was insgesamt zu einem geringen Fehler von weniger als 3 % führt. Da dieser, durch eine Erhöhung der Gesamtfläche, noch dazu auf der „sicheren Seite“ liegt, kann er als vernachlässigbar angesehen werden.

Auch die Zusammensetzung der wärmeübertragenden Hüllfläche (Größe und Anteile der einzelnen Bauteilflächen) wird durch flächenanteilig gewichtete Mittelung bestimmt. Für unbekannte Merkmale werden anhand anerkannter Re-

geln der Technik und der genannten Normen Standardwerte angenommen. So wird beispielsweise von einer standardmäßigen Verschattung des Gebäudes ausgegangen und die Orientierung aller transparenten Flächen wird als Ost/West angesetzt. Ebenso wird der Standard-Rahmenanteil von 30 % für alle Fenster angenommen. Tabelle 3 zeigt die so ermittelten Bauteilflächen. Für beide Gebäudetypen ergibt sich ein Fensterflächenanteil (an der Fassade) von rund 19 % (EFH:19,0 %; MFH:19,4 %).

Tabelle 3:
Bauteilflächen der mittleren Typgebäude.

Bauteilflächen	EFH		MFH	
	Fläche	Anteil	Fläche	Anteil
Wand	128 m ²	36 %	375 m ²	48 %
Fenster	30 m ²	9 %	90 m ²	12 %
Dach	88 m ²	25 %	37 m ²	5 %
Oberste Geschossdecke	18 m ²	5 %	118 m ²	15 %
Kellerdecke/Bodenplatte	88 m ²	25 %	151 m ²	20 %
Gesamte Hüllfläche	352 m ²		771 m ²	

4.4.2. Zuordnung zu Baualtersklassen

Durch Zuordnung der entwickelten mittleren Typgebäude zu den definierten Baualtersklassen entsteht eine vereinfachte Typologie bzw. eine deutlich vereinfachte Darstellung des gesamten Wohngebäudebestands. Anhand der Baualtersklassen können die energetisch relevanten Kennwerte (U-Werte) der Hülle bestimmt und zugeordnet werden. Gegenüber der bestehenden Typologie, die lediglich eine Einordnung nach Ur-Zustand der Gebäude vornimmt, ist im Rahmen des Projekts die Darstellung des Ist-Zustands im Basis-Jahr 2009 notwendig. D.h. auch bereits durchgeführte Sanierungen sind zu berücksichtigen. Dies betrifft sowohl die nachträgliche Dämmung an opaken Bauteilen, als auch Austausch-Maßnahmen von Fenstern und anlagentechnischen Komponenten. Die genaue Berücksichtigung dieser Aspekte wird in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

Insgesamt ergibt sich die in folgenden Tabellen gezeigte Einteilung der mittleren Gebäudetypen EFH und MFH nach Baualtersklasse, zur Darstellung des Wohngebäudebestands 2009. Aufgezeigt werden auch die für die energetische Berechnung nach DIN 4108-6 [13] relevanten Kennwerte. Tabelle 4 und Tabelle 5 stellen also die Ausgangssituation für alle im Rahmen der Studie durchgeführten Betrachtungen und Hochrechnungen dar.

Tabelle 4:
Vereinfachte Darstellung des Bestands an Ein- und Zweifamilienhäusern (Typ EFH) im Ist-Zustand 2009 mit energetischen Kennwerten der Hülle.

Vereinfachte EFH-Typologie nach Baualtersklasse Ist-Zustand 2009		Wohnfläche		U _m -Wert opak ¹⁾	Wärmebrücken-zuschlag	Luftwechselrate
		[Mio. m ²]	[%]	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[1/h]
ALTBAU	A (bis 1860)	51,0	2,5 %	1,99	0,10	1,0
	B (1861-1918)	140,5	6,9 %	1,28	0,10	1,0
	C (1919-1948)	187,3	9,3 %	1,25	0,10	1,0
	D (1949-1957)	130,5	6,5 %	1,19	0,10	1,0
	E (1958-1968)	210,7	10,4 %	1,00	0,10	1,0
	F (1969-1978)	206,4	10,2 %	0,67	0,10	1,0
JUNG-BESTAND	G (1979-1983)	158,0	7,8 %	0,59	0,07	0,8
	H (1984-1994)	214,0	10,6 %	0,43	0,07	0,8
	I (1995-2001)	214,0	10,6 %	0,34	0,05	0,7
	J (2002-2009)	150,7	7,5 %	0,25	0,05	0,7
Sanierter Altbau		358,5	17,7 %	0,28	0,05	0,7
Gesamt		2021,7	100,0 %			

¹⁾ Anteilig gemittelter U-Wert der opaken Bauteile des Typgebäude-Bestands

Tabelle 5:
Vereinfachte Darstellung des Bestands an Mehrfamilienhäusern (Typ MFH) im Ist-Zustand 2009 mit energetischen Kennwerten der Hülle.

Vereinfachte MFH-Typologie nach Baualtersklasse Ist-Zustand 2009		Wohnfläche		U _m -Wert opak ¹⁾	Wärmebrücken-zuschlag	Luftwechselrate
		[Mio. m ²]	[%]	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[1/h]
ALTBAU	A (bis 1860)	13,0	0,9 %	1,93	0,10	1,0
	B (1861-1918)	122,0	8,8 %	1,49	0,10	1,0
	C (1919-1948)	97,7	7,0 %	1,33	0,10	1,0
	D (1949-1957)	104,8	7,5 %	1,34	0,10	1,0
	E (1958-1968)	181,8	13,0 %	1,12	0,10	1,0
	F (1969-1978)	152,7	11,0 %	0,84	0,10	1,0
JUNG-BESTAND	G (1979-1983)	108,0	7,8 %	0,62	0,07	0,8
	H (1984-1994)	160,0	11,5 %	0,49	0,07	0,8
	I (1995-2001)	119,0	8,5 %	0,34	0,05	0,7
	J (2002-2009)	41,3	3,0 %	0,23	0,05	0,7
Sanierter Altbau		293,1	21,0 %	0,30	0,05	0,7
Gesamt		1393,3	100,0 %			

¹⁾ Anteilig gemittelter U-Wert der opaken Bauteile des Typgebäude-Bestands

4.5. Sanierungszyklen und -raten

Lebensdauer

Sanierungszyklen sind üblicherweise abhängig von der Lebensdauer von Objekten. Abweichungen ergeben sich durch häufig existenten Minderaufwand bei Zyklusverkürzung, aufgrund unterschiedlicher persönlicher Einschätzungen und Vorlieben, aber auch in Abhängigkeit von sonstigen Einflüssen, wie z. B. finanzieller oder politischer Unsicherheiten. Dies kann zu Zyklusverlängerungen führen, welche die schadensfreie Lebensdauer möglicherweise deutlich überschreiten und somit häufig zu Mängeln führen. Verlängern sich die Zyklen großflächig, z. B. aufgrund von politischen Randbedingungen wird von einem Sanierungsstau gesprochen, der sich bei veränderten Bedingungen auflösen kann.

Die Lebensdauer von Bauteilen und technischen Gebäudeanlagen ist abhängig von Bauweise, örtlichen Randbedingungen und Nutzerverhalten und variiert folglich deutlich. Im entwickelten Rechenmodell werden vereinfacht nur drei unterschiedliche Sanierungszyklen betrachtet, je ein Zyklus pro Komponentenbereich, in welchen einzelne Bauteile und Komponenten zusammengefasst sind. Obwohl in der Praxis häufig Zusammenhänge zwischen einzelnen Sanierungsmaßnahmen bestehen, erfolgt vereinfacht eine entkoppelte Betrachtung.

Neben der Lebensdauer von Bauteilen und Anlagenkomponenten spielt zur Abbildung realistischer Sanierungszyklen auch die sich in der Praxis abzeichnende Beliebtheit von „funktionserhaltenden“ Reparaturen zur Verlängerung der Lebensdauer eine maßgebliche Rolle. Bei der Festlegung der angesetzten Sanierungszyklen stehen daher neben Richtwerten zu technischer und wirtschaftlicher Lebensdauer v.a. Umfrage- und Erfahrungswerte sowie statistische Angaben über tatsächlich umgesetzte Instandhaltungs- und Austauschzyklen aus bisherigen Sanierungen im Vordergrund. [27], [28], [30], [31]. Dies führt zum Ansatz der folgenden Sanierungszyklen.

Sanierungszyklen:

Opake Hülle (Dach/Geschossdecke, Außenwand, Kellerdecke/Bodenplatte):	50/55 Jahre
Fenster (inkl. Rahmen bei erstmaligem Einsatz von Dreifachverglasung):	36 Jahre
Anlagentechnik (Wärmeerzeuger und therm. Solaranlage, inkl. Speicherung, Verteilung und Übergabe):	30 Jahre

Abbau von Sanierungsstau

Im Rahmen der Vereinfachungen zur Erstellung des Rechenmodells, wird der Abbau eines entstandenen Sanierungsstau stets gleichmäßig über einen bestimmten Zeitraum angenommen. Dies kann grundsätzlich dazu führen, dass Spitzenzeiten nicht dargestellt werden, dass die Entstehung eines Staus gar nicht erst abgebildet wird oder dass die Stauauflösung über einen unrealistisch

langen oder kurzen Zeitraum erfolgt. Dies ist im Rahmen der bestehenden Unsicherheiten für so weite Zukunftsvorhersagen und der infolgedessen gewählten Darstellung in 10-Jahres-Zeiträumen ohne gravierenden Einfluss. Insbesondere bezüglich des Endjahres 2050 ist diese Problematik nicht von Bedeutung.

4.6. Betrachtung der Hülle

Die Gebäudehülle bzw. die sog. wärmeübertragende Umfassungsfläche bildet die Bilanzgrenze zur Berechnung des Heizwärmebedarfs. Die energetisch relevanten Kennwerte der Gebäudehülle sind daher maßgebliche Einflussgrößen. Dies beinhaltet u.a. Aufbau (U-Werte), Orientierung und Größe der Flächen sowie Wärmebrücken und Luftdichtheit. Im Zuge der Typologisierung wurden für diese Kennwerte typische Größen bestimmt, je Baualtersklasse und für die ausgewählten Typgebäude.

Im Rahmen der Hochrechnung werden einerseits auch bezüglich der Hüllfläche Vereinfachungen umgesetzt, andererseits müssen weitere Besonderheiten berücksichtigt werden, die die energetische Sanierung hemmen, wie z. B. unter Denkmalschutz stehende Gebäude oder besondere Bauarten wie (zweischaliges) Sichtmauerwerk (Klinker). Der Einfluss dieser Merkmale wird besonders deutlich, wenn sich das energetische Niveau insgesamt verbessert und wirkt sich daher besonders am Ende des Hochrechnungszeitraums merklich aus.

4.6.1. Opake Hülle

Die gesamte opake wärmeübertragende Hüllfläche wird gemeinsam betrachtet, d.h. unterer (Kellerdecke/Bodenplatte), oberer (Dach/Oberste Geschossdecke) und seitlicher (Außenwand/Fassade) Gebäudeabschluss werden zusammengefasst. Für alle Bestandteile bzw. die gesamte opake Hülle wird vereinfacht ein gemeinsamer Sanierungszyklus angesetzt. Dieser schließt auch solche Bauteile mit ein, die aufgrund ihrer Lage im Inneren des Gebäudes eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer aufweisen, wie z. B. Geschossdecken, da hier aufgrund bereits existierender Vorschriften Dämmmaßnahmen notwendig sind.

Berücksichtigung der besonderen Bauart Klinker

Knapp 30 % der Wohngebäude in Deutschland weisen eine Klinkerfassade auf, rund 30 % der Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH) und 25 % der Mehrfamilienhäuser (MFH). [11] Dies betrifft vor allem Gebäude im Norden der Republik. Da verklinkerte Außenwände etwa eine doppelt so lange Lebensdauer aufweisen, wie einschalige Wand-Bauteile und das im Wohnbau zur Dämmung übliche Wärmedämmverbundsystem (WDVS) nicht oder nur mit Einschränkungen angewendet werden kann, wird der bestehende Klinker-Anteil gesondert betrachtet. Dies betrifft jedoch lediglich die Wandbauteile, für oberen und unteren Gebäudeabschluss werden keine Besonderheiten betrachtet. In Abhängigkeit der Szenarien kann sich dies bspw. durch einen verdoppelten Sanierungszyklus (die Klinker-Wand bleibt zunächst unsaniert bestehen), reduzierte energetische Qualität oder durch deutliche Mehrkosten widerspiegeln.

Bisherige Sanierungen (bis 2009)

In den bestehenden Typologien des Wohngebäudebestands in Deutschland (nach Typgebäude und Baualtersklasse) wird nicht nach energetischem Zustand unterschieden und über bisher durchgeführte Sanierungen sind keine Angaben enthalten. Nur der Ur-Zustand des Gebäudes wird beschrieben. Zur rechnerischen Bewertung des Ist-Zustands und des prozentualen Einsparpotentials spielen bisherige Sanierungsmaßnahmen jedoch eine maßgebliche Rolle.

Das Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) stellt fest, „dass es die vorhandenen Statistiken und Studien nicht erlaubten, ein ausreichend detailliertes Bild über die Lage im deutschen Wohngebäudebestand hinsichtlich der für den Energieverbrauch relevanten Merkmale zu zeichnen“ und führt infolgedessen eine entsprechende Datenerhebung durch, um „bestehende Informationslücken [...] zu schließen“ [11]. Der Forschungsbericht „Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand“ [11] fasst die Ergebnisse zusammen. Zudem gibt es die Möglichkeit, die erstellte Datenbasis zur gezielten Datenabfrage zu nutzen [12]. Im Rahmen des Projekts werden dieser Quelle Informationen über nachträglich durchgeführte Dämmmaßnahmen entnommen. Zur Verfügung stehen mittlere Dämmschichtdicken und Flächenanteile, wie in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6:
Ergebnisse des IWU-Endberichts [11] über nachträgliche Dämmmaßnahmen an Bauteilen der opaken wärmeübertragenden Gebäudehülle.

Nachträgliche Dämmung der opaken Hülle	EFH		MFH	
	Flächenanteil	Mittlere Dämmschichtdicke	Flächenanteil	Mittlere Dämmschichtdicke
Wand	14,8 %	9,1 cm	22,8 %	9,9 cm
Dach / OGD	35,7 %	12,8 cm	41,1 %	12,6 cm
Kellerdecke	7,2 %	7,5 cm	9,7 %	7,3 cm

Bei Annahme einer Wärmeleitfähigkeit von $0,04 \text{ W/(mK)}$ für bis 2009 nachträglich angebrachte Dämmstoffe und durch Gewichtung mit den entsprechenden Temperaturkorrektur-Faktoren F_x (zur Berücksichtigung der nicht an die Außenluft grenzenden Bauteile) sowie den jeweiligen Hüllflächenanteilen (vgl. Tabelle 3) lassen sich vereinfacht Gesamtsanierungsrate und erreichte energetische Qualität ermitteln. Für das mittlere EFH ergibt sich ein Gesamtsanierungsanteil von 17,8 % mit zusätzlichem Wärmedurchlasswiderstand R von $2,65 \text{ (m}^2\text{K)/W}$, für das mittlere MFH analog 21,1 % mit $R = 2,57 \text{ (m}^2\text{K)/W}$.

Da diese Sanierungen überwiegend ($> 80 \%$) an Altbauten umgesetzt wurden, wird zur weiteren Vereinfachung angenommen, dass bisher nur Altbauten saniert wurden, und zwar anteilig nach ihrer Häufigkeit am Gesamtbestand.

4.6.2. Fenster

Wie bereits beschrieben sind die Angaben zu den Baualtersklassen der Fenster entkoppelt von den Baujahren der Gebäude, in welchen sie sich befinden. Dies macht es unmöglich Abhängigkeiten zu betrachten. Da Lebensdauer und folglich Sanierungszyklen von transparenten und opaken Bauteile deutlich voneinander abweichen, scheint eine eigenständige Betrachtung ohnehin angebracht. Ferner spielen diese Abhängigkeiten vor allem bei der Betrachtung eines einzelnen Gebäudes eine Rolle, wohingegen sie für die Abschätzung der Entwicklung des Gesamtenergiebedarfs aller Wohngebäude von geringer Bedeutung sind.

Nach [11] stehen zur Einschätzung der energetischen Qualität der Fenster zwei grundsätzlich verschiedene Merkmale zur Verfügung, die dort wiederum unabhängig voneinander angegeben sind. Es handelt sich hierbei zum einen um die Anzahl der Scheiben (1-, 2- oder 3-Scheiben-Verglasung) und zum anderen um das Baujahr der Fenster. Analog zur Einteilung der Gebäude erfolgt auch hier eine prozentuale Aufteilung des Gesamtbestands in sechs Altersklassen. Erst durch eine eindeutige Zuordnung beider Charakteristiken ist die Zuweisung energetischer Kennzahlen möglich. Dies erfolgt mit Hilfe der Annahme, dass alle eingesetzten Ein-Scheiben-Verglasungen (1-SV) der ältesten Baualtersklasse „bis 1984“ und alle Drei-Scheiben-Verglasungen der jüngsten „ab 2005“ zugeordnet werden.

In Konsequenz aus dem für das Gesamtmodell gewählten Ansatz regelmäßiger Sanierungszyklen ergibt sich durch Rückrechnung die Annahme, dass die ältesten Gläser aus dem Jahr 1975 sein müssten. Gemeinsam mit der o.g. Zuordnung aller 1-SV in die älteste Baualtersklasse wird im Modell somit gleichzeitig gewährleistet, dass bei dem ermittelten Zyklus von 36 Jahren alle 1-SV bis 2020 ersetzt sein werden.

Tabelle 7:
Darstellung der Zusammenhänge zwischen Verglasung und Altersklasse der Fenster für die beiden Typgebäude (SV: Scheiben-Verglasung).

Fenstertypen	EFH			MFH		
	1-SV	2-SV	3-SV	1-SV	2-SV	3-SV
bis 1984	3,2 %	26,1 %		2,8 %	20,4 %	
1985 - 1989		11,7 %			11,6 %	
1990 - 1994		15,7 %			18,1 %	
1995 - 1999		18,3 %			24,2 %	
2000 - 2004		15,3 %			16,9 %	
ab 2005		6,4 %	3,4 %		4,0 %	2,0 %
Gesamt	3,2 %	93,4 %	3,4 %	2,8 %	95,2 %	2,0 %

4.6.3. Denkmalschutz und erhaltenswerte Fassaden

Im Rahmen der Datenerhebung zur energetischen Qualität im deutschen Wohngebäudebestand [11] wird auch der Denkmalschutz erfasst. Insgesamt stehen 3,5 % der deutschen Wohngebäude ganz oder teilweise unter Denkmalschutz. Wird nur Altbau mit Baujahr bis 1978 betrachtet, so sind es 5 %. Zusätzlich weisen etwa 7 % der Altbauten eine erhaltenswerte Fassade auf. Für diese Gebäude bestehen folglich bezüglich der Außenwand ähnliche Restriktionen.

In der Regel ist in diesen Fällen trotzdem die Durchführung von Dämmmaßnahmen möglich, mit entsprechenden Einschränkungen bzw. Mehraufwand. Es kann beispielsweise von innen oder an einzelnen „unkritischen“ Bauteilen gedämmt werden, wie z. B. Kellerdecke oder Dach. Innendämmungen sind meist aufwendig und insgesamt weniger wirkungsvoll, v.a. aufgrund von Wärmebrücken. Auch ein Fenstertausch ist in diesen Häusern üblicherweise möglich, wobei aufgrund ihres Gewichts meist keine Drei-Scheiben-Verglasungen eingesetzt werden können, v.a. wenn gleichzeitig Anforderungen an Design, Art und Optik der Rahmen bestehen.

Zur vereinfachten Berücksichtigung dieser einschränkenden Besonderheiten wird einerseits für die entsprechenden opaken Bauteile deren ursprüngliche Charakteristik vollständig beibehalten, d.h. hier erfolgt keine energetische Verbesserung. Andererseits erfolgt für die Fenster keinerlei gesonderte Betrachtung, d.h. hier werden für alle Gebäude die gleichen Verbesserungen umgesetzt bzw. alle Fenster aufgrund der gleichen Regeln ausgetauscht. Dies erfüllt nicht nur die angestrebte Umsetzung eines reduzierten Verbesserungspotentials, sondern ermöglicht zugleich einen angemessenen Umgang mit der umgesetzten Entkopplung von Fenster und Hülle.

Der aus obiger Beschreibung resultierende gesondert zu betrachtende Prozentsatz am Wohngebäudebestand beträgt also, bei stark vereinfachter Betrachtung 7,8 % der Altbauten. Die 40 % Fassadenanteil an der opaken Hüllfläche werden vereinfacht auf das ganze Gebäude umgeschlagen, woraus sich 2,8 % „erhaltenswerte Altbauten“ ergeben. Gemeinsam mit den denkmalgeschützten 5 % werden diese insg. 7,8 % der opaken Hülle von Altbauten im Zuge der Hochrechnung zu jeder Zeit als „vollständig unsaniert“ betrachtet. Sie werden, wie folgt, auf die einzelnen Baualtersklassen verteilt, wobei sich die Prozentangaben auf die Gesamtheit der Altbauten beziehen, wenn nicht anders angegeben:

- Alle Gebäude der Baualtersklasse A (bis 1860):
 $2,5 \% \text{ EFH} + 0,9 \% \text{ MFH} = 1,5 \% + 0,4 \% = 1,9 \%$
- Die Hälfte der MFH der Baualtersklasse B (1861-1918):
 $4,4 \% \text{ MFH} = 1,8 \%$
- Alle übrigen Altbauten (bis 1978) gleichmäßig anteilig, insgesamt zu 4,1 %
 $(4,1 \% = 7,8 \% - 1,9 \% - 1,8 \%)$

4.7. Betrachtung der Anlagentechnik

Der Wärmebedarf setzt sich zusammen aus Heizwärme- und Warmwasserbedarf und ist neben dem Nutzenergiebedarf sowohl von der Art der Erzeugung als auch von Speicherung, Verteilung, Regelungsart und Übergabe abhängig. Hier finden sich im Wohnungsbau zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten, die starke Unterschiede aufweisen. Folglich sind auch die Wege der Einflussnahme und somit der Energieeinsparung sehr vielseitig, so dass Festlegungen und Annahmen getroffen werden müssen, um ein vereinfachtes Modell zu generieren. Diese werden im Folgenden erläutert:

Da die (ursprüngliche) energetische Qualität der wärmetechnisch relevanten Komponenten (z. B. Übergabe, Verteilung, etc.) ebenso vom Baualter abhängig ist, wie die der Hülle und da zudem Zusammenhänge zwischen Energiebedarf und Anlageneffizienz bestehen, ist es sinnvoll, auch hier eine altersabhängige Betrachtung durchzuführen. Anstelle der zahlreichen Gebäude-Baualterklassen wird aus Gründen der Vereinfachung eine Dreiteilung des gesamten zukünftigen Wohngebäudebestands durchgeführt. Hierfür werden die mittleren Typgebäude in folgende drei übergeordnete Altersklassen eingeteilt:

- Altbau (bis Baujahr 1978)
- Jung-Bestand (Baujahr 1979 – 2009 „Basisjahr“)
- Neubau (ab Baujahr 2010)

Diese Einteilung bietet sich an, da innerhalb dieser Klassen ähnliche Randbedingungen bezüglich der Anlagentechnik vorliegen. Neben der rechnerisch bedingten Motivation für diese Einteilung wird so zudem eine genauere Betrachtung und Interpretation der Ergebnisse für diese markanten Gruppen möglich.

Für die beiden Bestands-Klassen (Altbau und Jung-Bestand) wird der Ausgangszustand anhand einer entsprechend angepassten Datenabfrage aus der IWU-Datenbasis [12] ermittelt. Diese beinhaltet Angaben zur Wärme- und Warmwassererzeugung, -speicherung und -verteilung. Zum Teil sind für eine eindeutige Zuordnung Annahmen notwendig, die im Folgenden aufgelistet sind:

- In allen mit Fernwärme versorgten Gebäuden wird auch der Warmwasserbedarf direkt (ohne Speicher) mit Fernwärme gedeckt.
- Die Hälfte der Gebäude, in welchen das Warmwasser kombiniert mit einem Heizkessel erzeugt wird, weist einen separaten WW-Speicher auf.
- Wärmeerzeuger, deren Gesamtanteil weniger als 0,5 % der Wohnfläche versorgen werden nicht berücksichtigt (z. B. Holz-Kessel oder Kohle-Öfen im Altbau)
- Bestehende Solaranlagen befinden sich nur auf Gebäuden, die einen neueren Kessel aufweisen (ab Baujahr 1995).

Bezüglich der Zirkulation des Warmwasserkreises gibt es keine statistischen Angaben oder Auswertungen. Aufgrund von Erfahrungen wird näherungsweise

davon ausgegangen, dass in allen Mehrfamilienhäusern und in allen Altbauten sowie in etwa 50-60 % der jüngeren Einfamilienhäusern (BJ 1979-2009) eine Zirkulation mit Standardlaufzeit besteht, in 25-35 % mit reduzierten Laufzeiten und in den restlichen 10 %-20 % keine oder eine optimal geregelte Zirkulation mit sehr geringen Laufzeiten. Vereinfacht werden diese Abschätzungen für den jüngeren Bestand des EFH-Typus als 80 % „mit Zirkulation“ umgesetzt. Diese Angaben beziehen sich auf den Anteil der Gebäude mit zentraler Warmwasserversorgung.

4.7.1. Heizkessel – Typischer Wärmeerzeuger im Wohngebäudebestand

Wie Bild 6 und Bild 7 zeigen, sind mit Öl bzw. Gas betriebene Heizkessel zweifelsohne die typischen Wärmeerzeuger im Wohngebäudebestand. Insgesamt machen sie einen Anteil von etwa 85 % aus. Die Daten stammen aus der angepassten Abfrage der Datenbasis Gebäudebestand des IWU [11]. Diese ergibt für den Typ EFH 88 % ($\pm 2,6$ %) und für MFH 81 % ($\pm 1,0$ %). Für die eingesetzten Energieträger Gas und Öl können der Datenauswertung folgende Werte entnommen werden: EFH: Gas: 51 % ± 2 %, Öl: 36 % $\pm 1,5$ % und MFH: Gas: 60 % ± 1 %, Öl: 22 % $\pm 0,5$ %. Die statistischen Standardfehler der übrigen Systeme bzw. Energieträger liegen unter 0,5 %.

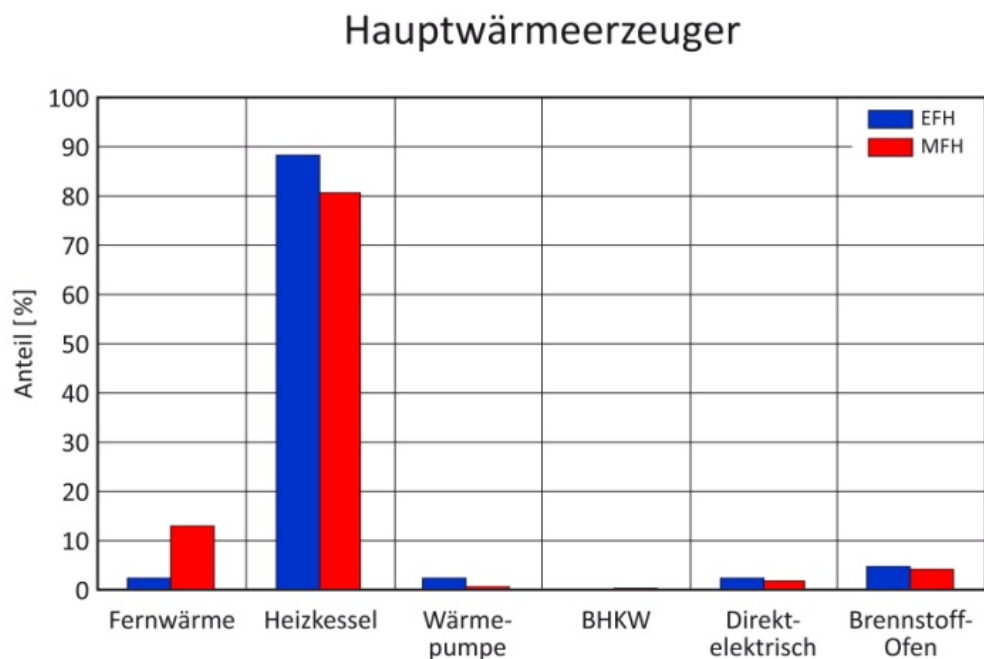


Bild 6:
Darstellung der Verteilung von Haupt-Wärmeerzeugern für die Typgebäude EFH und MFH, nach Abfrage der Datenbasis Gebäudebestand des IWU [11].

Energieträger

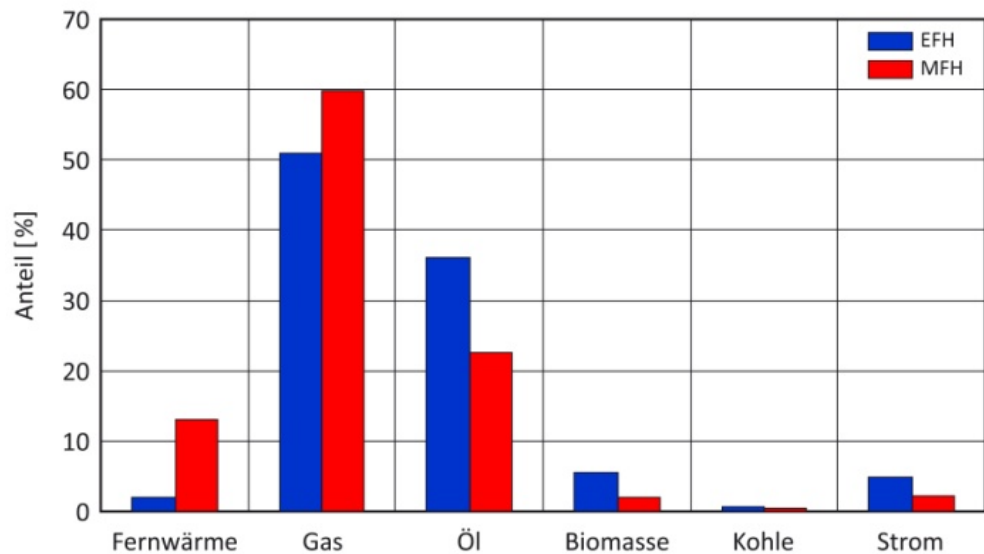


Bild 7:
Darstellung der Verteilung der zur Wärmeerzeugung genutzten Energieträger für die Typgebäude EFH und MFH, nach Abfrage der Datenbasis Gebäudebestand des IWU [11].

Vereinfacht wird im Ansatz zur Modellierung der technischen Sanierungsvorgänge daher nur der Kessel-Austausch genauer betrachtet. Er wird durch die technischen Austauschbedingungen im Zuge der Szenarien-Definition bestimmt. Der Ersatz von Gas- und Ölkesseln durch andere Heizsysteme (Nah-/Fernwärme inkl. Mini-BHKW, Wärmepumpen und Holzpellet-Kessel) wird anteilig berücksichtigt, ebenfalls in Abhängigkeit der Szenarien. Für die übrigen Heiz-Systeme wird überwiegend angenommen, dass diese beibehalten werden. Nur für Einzelraumssysteme wird angenommen, dass diese bis 2050 nicht mehr als Haupt-Wärmeerzeuger vorzufinden sein werden. Dies betrifft elektrische Nachtspeicherheizungen und Holz-/Kohle-/Gasöfen und wird in allen Varianten gleichartig umgesetzt, d.h. Zeitspanne und Ersatzsystem sind identisch.

- Folgende Heizsysteme werden innerhalb der angegebenen Zeiten ersetzt:
 - o Kohle/Gas-Öfen bis 2020 durch Brennwärtekessel
 - o Holz-Öfen bis 2050 durch Fern-/Nahwärme
 - o elektr. Nachtspeicher-Hzg. bis 2035 durch Wärmepumpen

Ferner werden folgende Annahmen zur „energetischen Sanierung“ der Heizkessel bzw. der Anlagentechnik getroffen:

- Für sämtliche Maßnahmen (auch zurückliegende) wird innerhalb der jeweiligen Zeiträume stets ein kontinuierlicher Ablauf angesetzt.
- In Szenarien, in welchen die Anforderungen zur Zielerreichung verschärft werden, sind mit der Zeit steigende Ersatzraten von Heizkesseln zu erwarten

(„Trendverschärfung“). Bei Trendfortschreibung wird dagegen von einer dauerhaft konstanten Austauschrate ausgegangen, entsprechend aktueller Zahlen (EHF: 20 %, MFH: 15 %)

- Es wird angenommen, dass die zur Wärmeerzeugung genutzte Menge an Holz nach einem zunächst stattfindenden Anstieg bis 2050 wieder abnehmen wird (u.a. aufgrund der insgesamt beschränkten Verfügbarkeit).
- Infolge der angestrebten Förderung von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen und Wärmenetzen ist mit steigender Verfügbarkeit von Fernwärme zu rechnen, die sich auch im Bestand bemerkbar machen wird. Außerdem wird ein zunehmender Einsatz von Mini- und Mikro-BHKWs erwartet, welcher im Modell vereinfacht der Nah- und Fernwärme zugeschlagen wird.

Bei der Wahl der getroffenen Annahmen und Ansätze werden auch Prognosen der technischen Entwicklung im Wärme(erzeuger)markt berücksichtigt sowie Fortschreibungen bisheriger Entwicklungen. Die direkte Übernahme einer bestehenden Vorhersage ist nicht möglich, da keine geeignete existiert, die einerseits alle im Wohnbau relevanten Erzeuger betrachtet und andererseits die notwendige Spanne bis 2050 abdeckt. [25], [32] - [37]. Insgesamt werden vereinfacht konstante Werte in 10-Jahres-Schritten angesetzt. Die genauen Werte der angesetzten System-Ersatzraten sowie weitere Erläuterungen folgen in Abschnitt 4.9.2.

Darüber hinaus werden die folgenden Annahmen und Festlegungen für die Betrachtung der Anlagentechnik getroffen. Überwiegend mit dem Ziel der Vereinfachung, teilweise zur eindeutigen Definition.

- Zu jedem Zeitpunkt wird die „aktuelle“ (Basisjahr 2009) prozentuale Verteilung als konstant angenommen für:
(in Tabelle 8 beispielhaft dargestellt für den Typ EFH)
 - o Art der Warmwasser(WW)-erzeugung
 - o Existenz und Art des WW-Speichers
 - o Existenz und Art des Heizungs-Puffer-Speichers
- Momentan weist der 'verbesserte Brennwertkessel' die höchste Effizienz auf. Im Zuge der Annahme weiterer technologischer Entwicklungen wird für diesen Kesseltyp ab 2031 eine Effizienzsteigerung um 3 % angesetzt.
- Aufgrund der Anforderungen der Energieeinsparverordnung wird bei Kesseltausch bzw. Ersatz stets davon ausgegangen, dass gleichzeitig die Verteilleitungen gedämmt werden (unter der Annahme, dass diese zugänglich sind).
- Der Ansatz eines 30-Jahres-Zyklus erfordert eine Sonderregelung für Kessel mit Baujahr vor 1980, da diese sonst nicht erfasst werden. Es wird angenommen, dass diese bis 2020 gleichmäßig ausgetauscht werden.
- Bezüglich des Gebäuderückbaus wird davon ausgegangen, dass bis 2020 keine Gebäude rückgebaut werden, deren Wärmeversorgung mit Wärmepumpe, Brennwert- oder neuerem Niedertemperatur-Kessel (ab Baujahr

1998) erfolgt. Zudem wird in Gebäuden, die bis 2020 rückgebaut werden, ein vorheriger Austausch des Wärmeerzeugers ausgeschlossen.

- Ab 2021 wird in der Technik-Fortschreibung kein Rückbau mehr berücksichtigt, d.h. die prozentuale Verteilung der Wärmeerzeuger ist im verbleibenden Bestand gleichartig wie im rückgebauten.

Tabelle 8:

Darstellung der technischen Komponenten des EFH für das Basisjahr 2009, deren prozentuale Verteilung in der zeitlichen Fortschreibung als konstant angesetzt wird.

Konstante Randbedingungen der Wärmeerzeugung im EFH-Bestand		ALTBAU	JUNG-BESTAND
Art der Warmwasser-Erzeugung			
a) kombiniert mit Heizung		73,1 %	88,5 %
b) separat / dezentral			
Strom	Durchlauferhitzer	13,5 %	4,6 %
Strom	Speicher/Boiler	6,6 %	2,4 %
Gas	Durchlauferhitzer	2,7 %	0,4 %
Gas	Speicher/Boiler	3,7 %	3,6 %
Strom	Luft-WP (zentral)	0,4 %	0,4 %
		26,9 %	11,5 %
Puffer-Speicher zentral (außerhalb therm. Hülle)			
Strom	Luft-WP	0,4 %	0,4 %
Holz-	Kessel	0,0 %	4,1 %
Strom	Wärmepumpe	1,0 %	5,1 %
Solar	Thermisch	7,1 %	15,1 %
		8,5 %	24,7 %
TWW-Speicher zentral (außerhalb therm. Hülle)			
Strom	Luft-WP	0,4 %	0,4 %
Holz-	Kessel	0,0 %	4,1 %
Strom	Wärmepumpe	1,0 %	5,1 %
Solar	Thermisch	7,1 %	15,1 %
kombiniert mit Heizung		36,6 %	44,3 %
		45,1 %	69,0 %

Zur Berechnung des Endenergiebedarfs mit dem Rechenverfahren nach DIN V 4701-10 [9] werden vereinfacht Pauschalwerte angesetzt, die zur „vereinfachten Ermittlung der energetischen Qualität der Anlagentechnik“ für die Bewertung von Bestandsgebäuden vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zur Verfügung gestellt wurden, in der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ vom 30. Juli 2009 [15]. Die relevanten Kennwerte sind in dieser

Richtlinie u.a. in Abhängigkeit von Erzeuger- bzw. Kesseltyp und Baualtersklasse sowie Art der Speicherung und Verteilung angegeben. Infolgedessen ist es notwendig, die aus verschiedenen Quellen verfügbaren Daten und Informationen über den Ist-Zustand der Anlagentechnik im Wohngebäudebestand entsprechend anzupassen, da die angegebenen Einteilungskriterien nicht mit denen aus der Richtlinie übereinstimmen. Es werden die im folgenden beschriebenen Quellen und Annahmen verwendet, die insgesamt zu einer genaueren Einteilung führen, als es durch jede einzelne Quelle möglich wäre und als zur Anwendung der Richtlinie erforderlich, da hier meist nur 3 Altersklassen eine Rolle spielen. Durch die so erreichte Detailschärfe, v.a. der zeitlichen Verteilung, können aus der Hochrechnung des Energiebedarfs bis 2050 weitere Informationen gewonnen werden, wie z. B. über Austausch-Spitzen bestimmter Kesseltypen oder bezüglich der Austauschrate.

Der Bundesverband des Schornstiefegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV) – erstellt jedes Jahr eine deutschlandweite Übersicht aus den Ergebnissen der jährlich durchgeführten Erhebungen der Bezirksschornstiefeger [37]. Diese Analyse gibt die Anzahl der geprüften Geräte nach Baualtersklasse in Abhängigkeit der Kesselleistung an, jedoch unabhängig vom Gebäudetyp. Die so ermittelte prozentuale Einteilung in Baualtersklassen wird angesetzt.

Aus der projektspezifischen Abfrage der IWU-Datenbasis [11] sind für die Gebäudeklassen Altbau und Jung-Bestand der beiden Typen EFH und MFH, Art und Baualtersklasse des Hauptwärmeerzeugers, Energieträger, Kesseltyp und Warmwasserbereitung verfügbar. Wie bereits erläutert, gibt es keine Informationen über Zusammenhänge oder Abhängigkeiten dieser Daten.

Folgende Annahmen werden getroffen um eine Zuordnung nach Wohngebäudetyp und Altersklasse (Altbau, Jung-Bestand) zu den in der ministerialen Bekanntmachung gegebenen alters- und typabhängigen Kennwerten zu ermöglichen:

- Alle Kessel mit einer Leistung von bis zu 25 kW befinden sich in EFH, alle Kessel mit einer Leistung von mehr als 50 kW befinden sich in MFH, die Altersklassen der übrigen Kessel (Leistung 25-50 kW) werden abhängig vom verbleibenden Anteil gleichmäßig beiden Gruppen zugeschlagen.
- Innerhalb der angegebenen Altersklassen wird stets von einer gleichmäßigen Verteilung auf alle Jahre ausgegangen.
- Alle Konstanttemperatur-Kessel befinden sich in Altbauten.
- Die (sehr kleine) Kessel-Altersklasse der IWU-Abfrage „ab 2005“ wird zweigeteilt, um der Altersstruktur der Richtlinie zu entsprechen, wobei angenommen wird, dass die spätere Klasse „ab 2007“ nur verbesserte Brennwert-Kessel beinhaltet und zwar alle vorhandenen.

Die folgenden Tabellen zeigen die sich hieraus ergebenden prozentualen Verteilungen der Kesseltypen und deren Baualtersklassen für die Gebäude-

Untergruppen EFH-Altbau und MFH-Altbau. Um den Ansatz des 30-Jahres-Zyklus zu gewährleisten werden auch die vor 1980 erbauten Kessel bereits zusammengefasst, wie zuvor erläutert.

Tabelle 9:
Verteilung der Kesseltypen und ihrer Baualtersklasse für die Gebäudeuntergruppe EFH-Altbau.

EFH-Altbau	Anteil Kessel-Typ	Anteil Baujahr am Kessel-Typ	Baujahr Kessel von - bis	
Konstanttemperatur-Kessel	21,06 %	22,6 %	vor 1980	
		12,6 %	1980	1984
		43,5 %	1985	1989
		21,3 %	1990	1997
Niedertemperatur-Kessel	56,87 %	7,3 %	1985	1989
		69,1 %	1990	1997
		23,6 %	1998	2009
Brennwert-Kessel	22,07 %	17,2 %	1990	1997
		82,8 %	1998	2009
Brennwert-Kessel verbessert	0 %	0 %	2007	2009

Tabelle 10:
Verteilung der Kesseltypen und ihrer Baualtersklasse für die Gebäudeuntergruppe MFH-Altbau.

MFH-Altbau	Anteil Kessel-Typ	Anteil Baujahr am Kessel-Typ	Baujahr Kessel von - bis	
Konstanttemperatur-Kessel	20,28 %	42,4 %	vor 1980	
		30,4 %	1980	1984
		27,2 %	1985	1989
		0 %	1990	1997
Niedertemperatur-Kessel	60,46 %	14,5 %	1985	1989
		66,9 %	1990	1997
		18,6 %	1998	2009
Brennwert-Kessel	19,26 %	23,3 %	1990	1997
		76,7 %	1998	2009
Brennwert-Kessel verbessert	0 %	0 %	2007	2009

4.7.2. Solarthermie

Thermische Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung spielen im Wohnungsbau eine bedeutende Rolle, mit zunehmender Relevanz. Dies liegt u.a. an den Anforderungen des Erneuerbaren Energien-Wärme-Gesetzes (EEWärmeG) [41] für den Neubau. Hier wird der Einsatz eines Mindestanteils an erneuerbaren Energien in neu gebauten Wohngebäuden gefordert, z. B. mit einer Solaranlage. Alternativ können Ersatzmaßnahmen durchgeführt werden, wie z. B. erhöhte energetische Qualität der Hülle. Die Umsetzung einer solchen Verpflichtung bei der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden ist Ländersache und wird in Politik und Öffentlichkeit stark diskutiert. In Baden-Württemberg erfolgte dies bereits 2007 mit dem Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG) [42], das am 1. Januar 2008 in Kraft trat und bei Kesseltausch die Installation einer thermischen Solaranlage zur Warmwasserbereitung fordert (oder die Umsetzung von Alternativmaßnahmen).

Im Zusammenhang mit der angestrebten Primärenergieeinsparung ist die Kombination des im Wohngebäudebestand dominierenden Heizkessels mit einer thermischen Solaranlage zur Warmwasserbereitung eine effektive Maßnahme, besonders da der Energiebedarf für Warmwasser von anderen energetischen Sanierungsmaßnahmen nahezu unberührt bleibt. Infolgedessen und aufgrund der oben erwähnten Diskussion spielt die Solarthermie in der vorliegenden Studie eine maßgebliche Rolle. Im Zuge der untersuchten Varianten sollen diesbezüglich unterschiedliche Szenarien aufgezeigt und untersucht werden, mit und ohne verpflichtende Vorgaben.

Solarthermische Heizungsunterstützung spielt im bestehenden Wohnungsbau eine untergeordnete Rolle [11]. Aus Gründen der Vereinfachung wird sie daher bei der Definition des Ausgangszustands 2009 näherungsweise vollständig vernachlässigt. Ferner wird sie nur in Szenarien berücksichtigt, in welchen sie explizit im Rahmen der Fahrplandefinition gefordert ist.

Die (nachträgliche) Installation einer Solaranlage auf ein Gebäude erfolgt häufig zeitgleich mit Austausch des Heizsystems (Kessel). Aus unterschiedlichen Gründen kann es notwendig oder sinnvoll sein, die Solaranlage zu einem anderen Zeitpunkt zu installieren, z. B. bei Dachsanierung. Dies ist i.d.R. problemlos möglich, sofern der Kessel grundsätzlich die Option zur Nachrüstung bietet. D.h. in diesem Zusammenhang sind ggf. entsprechende Vorausplanungen notwendig.

Trendfortschreibung

Die Installation von Solaranlagen bei Trendfortschreibung (ohne gesetzliche Verpflichtungen) wird aufgrund der oben beschriebenen Zusammenhänge zwischen Kesseltausch und Installationszeitpunkt durch prozentuale Anteile am Kesselaustauschvolumen umgesetzt. Die Prozentsätze werden in Anlehnung an

verfügbare Zahlen der bisherigen Marktentwicklung und infolge zu vermutender Entwicklungen angenommen.

Von 2000 bis 2007 nahmen Verkaufszahlen und Installationsflächen thermischer Solaranlagen insgesamt stetig zu, mit kleineren Schwankungen. 2008 erfolgte ein Sprung und es wurde etwa doppelt so viel Solarfläche neu installiert wie im Vorjahr. 2009 bis 2011 pendelten sich Verkaufszahlen und Installationsfläche auf einem Niveau ein, so dass auch in den nächsten Jahren mit relativ konstanten Zahlen gerechnet wird [43], [44]. In der weiteren Zukunft kann bei Annahme weiterhin steigender Attraktivität anderer ökologischer Wärmesysteme von einem Rückgang ausgegangen werden. Im Rahmen der Studie wird daher insgesamt von einem rückläufigen Anteil an neu installierten Anlagen bei Wärmeerzeugerwechsel ausgegangen.

Vereinfacht werden für die Zeitspannen 2010-2020 und 2021-2050 jeweils konstante Prozentsätze an Solaranlagen bei Kesseltausch angesetzt. Ebenfalls aus Gründen der Vereinfachung wird zudem angenommen, dass auf bestehenden Mehrfamilienhäusern (Typ MFH) keine Solaranlagen neu installiert werden. Denn Zahlen aus den letzten Jahren weisen hier vernachlässigbar geringe Anteile auf.

Unter Berücksichtigung der o.g. Punkte werden für den Gebäudetyp EFH (Ein- und Zweifamilienhäuser) folgende Anteile an neu installierten Solaranlagen bei Kesseltausch angesetzt. Tabelle 11 zeigt die hieraus bei Trendfortschreibung resultierenden Installationszahlen.

Neuinstallation von Solaranlagen zur Warmwassererzeugung bei Kesseltausch:

EFH-Altbau (bis 78):	bis 2020:	20 % der ersetzten Heizkessel
	ab 2021:	10 % der ersetzten Heizkessel
EFH-Jung-Bestand	bis 2020:	40 % der ersetzten Heizkessel
	ab 2021:	20 % der ersetzten Heizkessel

Sanierungszyklus

Ebenso wie alle übrigen Bauteile, weisen auch Solaranlagen nur eine gewisse Lebensdauer auf und müssen saniert werden, um dauerhaft funktionsfähig zu bleiben. Der Austausch der Anlagen im entsprechenden Sanierungszyklus wird daher im Gesamtmodell zur Hochrechnung ebenfalls berücksichtigt.

Im Rahmen der gewählten Dreiteilung der für die energetische Sanierung maßgeblichen Gebäudekomponentenbereiche (Opake Hülle, Fenster und Anlagentechnik) werden Solaranlagen der Anlagentechnik zugeschlagen. Vereinfacht wird also davon ausgegangen, dass sich die Sanierungszyklen der Anlagentechnik zur Wärmeerzeugung und die der Solaranlage (inklusive aller zugehörigen technischen Komponenten) vollständig überlagern. Solaranlagen werden also bei Kesseltausch ebenfalls ersetzt.

Weitere Aspekte zur Hochrechnung

Zur Vorhersage des Energiebedarfs des gesamten Wohngebäudebestands in verschiedenen Szenarien sind weitere Aspekte zu berücksichtigen, die die Installationszahlen von Solaranlagen beeinflussen. Dies betrifft insbesondere Annahmen zur Definition des Alters bestehender Anlagen sowie Ansätze zu Rückbauquoten.

Bei Rückbau des Gebäudes wird auch die Solaranlage rückgebaut. Zudem entstehen Rückbau-Fälle von Solaranlagen, wenn die solare Warmwassererzeugung infolge eines Wärmeerzeugerwechsels nicht mehr sinnvoll ist und folglich nicht ausgetauscht sondern abgebaut wird. Für beide Gebäudetypgruppen (EFH und MFH) wird angenommen, dass insgesamt 5 % von bestehenden Solaranlagen nicht ersetzt werden, da sie entweder mit dem Gebäude rückgebaut oder rückgebaut werden.

Die übrigen 95 % der im Startjahr existierenden Solaranlagen werden innerhalb des Betrachtungszeitraums bei Kesseltausch saniert. Bei Ansatz eines Sanierungszyklus von 30 Jahren (wie oben beschrieben analog zum Technik-Zyklus) erfolgt der Ersatz aller Anlagen vor 2040. Infolge der zunehmenden Installationszahlen in den letzten Jahren wird davon ausgegangen, dass ein Großteil der bestehenden Anlagen nach 2000 und nur wenige vor 1990 in Betrieb genommen wurden. Angenommen wird, dass dies auf 10 % aller Anlagen zutrifft, die somit 2010-2020 ausgetauscht werden. Im Sanierungszeitraum 2021-2030 wird ein zu ersetzender Anteil von 35 % angesetzt und für 2031-2040 die übrigen 50 %.

Aus den oben beschriebenen Annahmen und Ansätzen können die im Falle einer Trendfortschreibung jährlich neu zu installierenden und zu ersetzenden Solaranlagen ermittelt werden. Die folgende Tabelle stellt die für Ein- und Zweifamilienhäuser resultierenden Zahlen dar. Diese Gebäudegruppe spielt hier die maßgebliche Rolle. Der Einsatz von Solaranlagen im Mehrfamilienhausbereich ist dagegen sehr gering und wird näherungsweise vernachlässigt.

Tabelle 11:

Mittlere jährliche Anzahl an installierten thermischen Solaranlagen zur Warmwassererzeugung bei Kesseltausch im EFH-Typ, bei Trendfortschreibung (Gesamt-Werte auf 1000er gerundet, sonst 100er).

Installation Solaranlagen	2010-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2010-2050	Gesamt Σ
Neuinstallation						
Bestand	59.800	66.700	39.500	22.600	47.400	1.945.200
Neubau ¹⁾	0	0	0	0	0	0
Gesamt - NEU	60.000	67.000	39.000	23.000	47.000	1.945.000
Ersatz						
Bestand	13.600	52.500	75.000	58.800	49.100	2.012.400
Neubau ¹⁾	0	0	0	20.200	4.900	202.100
Gesamt - Ersatz	14.000	52.000	75.000	79.000	54.000	2.215.000
Neuinstallation und Ersatz						
Bestand	73.500	119.100	114.500	81.400	96.500	3.957.600
Neubau ¹⁾	0	0	0	20.200	4.900	202.100
Gesamt	73.000	119.000	114.000	102.000	101.000	4.160.000

¹⁾ Neubau bezeichnet ab 2010 erbaute Gebäude

4.7.3. Photovoltaik

Die Photovoltaik (PV) ist eine wichtige Technologie zur Stromerzeugung aus Solarenergie mit zunehmender Relevanz, auch im Gebäudebereich. Im Rahmen der Wärmeerzeugung ist sie jedoch aufgrund der geringen Anrechenbarkeit nach EnEV (Energieeinsparverordnung) von marginaler Bedeutung. Daher werden in der vorliegenden Studie keine Photovoltaik-Anlagen berücksichtigt. Sollten sich die Bewertungs-Randbedingungen diesbezüglich ändern, müsste der Einfluss entsprechend berücksichtigt werden.

4.8. Kennwerte von Neubauten

Wie bereits erläutert, wird angenommen, dass zu jeder Zeit neuen Wohngebäude gebaut werden. Dies gilt auch für den Zeitraum ab 2037, in welchem insgesamt mit einer rückläufigen Wohnflächenentwicklung gerechnet wird. Die jährliche Neubaurate ergibt sich stets aus der Summe aus Zuwachs und Rückbau. Um eine Abschätzung über den Gesamtenergiebedarf für alle Wohngebäude treffen zu können, sind folglich auch die energetischen Kennwerte von Neubauten von großer Bedeutung. Da diese Gebäude aufgrund ihrer energieeffizienten Bauweise sehr geringe Energiebedarfswerte aufweisen, die den Energiebedarf von Altbauten um ein Vielfaches unterschreiten, beeinflussen sie die Gesamtbilanz trotz ihres insgesamt geringen Anteils merklich.

Anhand von existierenden Angaben über technische und bauteilspezifische Kennwerte aktueller Bauausführungen und momentan gültiger Normen und Vorschriften sowie aufgrund von Vorhersagen über deren Entwicklungen, werden die im Folgenden erläuterten Kennwerte für Neubauten angenommen. Im Rahmen der Studie werden alle Gebäude als „Neubau“ bezeichnet, die ab 2010 erbaut werden.

4.8.1. Bauteile der Hüllfläche

In den letzten 5 Jahren stieg der Anteil der von der KfW-Bank geförderten Neubauten merklich an, von ca. 25 % auf über 50 %. Förderfähig sind Gebäude, die deutlich über dem nach EnEV erforderlichen Dämmniveau liegen. Erforderlich ist eine Unterschreitung des Niveaus von mindestens 15 %. Innerhalb dieser Mindestanforderung wird alljährlich eine große Bandbreite gefördert. Der am häufigsten vertretene Typ, mit rund 70 %, war bisher das sog. „KfW-Effizienzhaus 70 EnEV2009“, welches die Anforderungen der EnEV2009 um 30 % unterschreitet [45]-[48].

Infolge dieser Entwicklung wird für das Rechenmodell vereinfacht angenommen, dass von 2010 bis 2020 50 % der neu gebauten Wohnfläche die Anforderungen nach EnEV 2009 für das Dämmniveau (genau) erfüllen und die restlichen 50 % diese um 30 % unterschreiten. D.h. die anzusetzenden Bauteilkennwerte der Gebäudehülle betragen 85 % der nach EnEV 2009 erforderlichen.

Eine Verschärfung der Anforderungen der aktuell gültigen EnEV 2009 durch eine EnEV-Novelle ist notwendig, zur Umsetzung der europäischen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [49]. Angestrebt war diese zunächst für 2012. Nun wird 2014 mit Inkrafttreten der Novelle gerechnet. Die Größenordnung der Verschärfungen wurde lange diskutiert. Zu Beginn der Arbeiten an der vorliegenden Studie kam grundsätzlich eine Spanne von 7-30 % in Frage. Nun zeichnet sich eine Umsetzung in zwei Einzelschritten ab, ab 2014 und ab 2016. Der zulässige Jahres-Primärenergiebedarf soll jeweils um 12,5 % reduziert werden und die Anforderungen an die Gebäudehülle um je 10 %. Im Rahmen der vereinfachten Betrachtungen im Rechenmodell (wo zudem das Niveau der baulichen Umsetzung von Bedeutung ist und nicht das der Anforderungen) werden für den gesamten Zeitraum ab 2014 konstante Werte angenommen. Ermittelt werden diese, indem einerseits eine Reduktion der EnEV2009-Kennwerte um 15 % angesetzt wird. Andererseits wird weiterhin davon ausgegangen, dass 50 % der Wohngebäude diesen Wert um 30 % unterschreiten werden. Bezogen auf aktuellen Anforderungswerte nach EnEV 2009 entspricht dies einer Reduktion um 40 %. D.h. von 2014 bis 2020 werden für je eine Hälfte der neu errichteten Gebäude energetische Bauteilkennwerte gewählt, die die EnEV 2009-Anforderungen um 15 % bzw. um 40 % unterschreiten.

Ebenfalls nach der EU-Gebäuderichtlinie für Gesamtenergieeffizienz (Energy Performance of Buildings Directive - EPBD) [49] sind ab 2021 alle neuen Gebäude als Niedrigstenergie- bzw. Fast-Nullenergiegebäude auszuführen. Dies sind Bauten mit einer sehr hohen Energieeffizienz, deren nahezu bei Null liegender Energiebedarf zu einem wesentlichen Anteil aus erneuerbaren Energien gedeckt werden soll. Die genaue Definition unterliegt ebenso wie die Umsetzung den Mitgliedsstaaten. In Deutschland existiert zum momentanen Zeitpunkt noch keine bindende Definition. Es ist jedoch zu erwarten, dass die baulichen Anforderungen etwa dem Niveau von Passivhäusern entsprechen werden. Neben diesen sehr niedrigen U-Werten der Außenbauteile wird auch die Umsetzung einer wärmebrücken(zuschlags)freien Bauweise und einer deutlich erhöhten Luftdichtheit angenommen. Aufgrund des ebenfalls zu erwartenden ansteigenden Einsatzes von Lüftungsanlagen kann zudem von einer merklich reduzierten Luftwechselrate ausgegangen werden.

Die folgende Tabelle fasst die aus o.g. Annahmen und Ansätzen resultierenden Kennwerte für Neubauten zusammen, die im Rechenmodell verwendet werden. Vereinfacht werden konstante Werte für die Zeiträume 2010 – 2020 und 2021 – 2050 angesetzt. Bis 2020 werden Mittelwerte aus den Zeiträumen vor und ab 2014 ermittelt. Diese werden durch anteilige Gewichtung in Abhängigkeit der Bautätigkeit bestimmt. Die zur Mittelwert-Bildung verwendeten Werte sind ebenfalls in Tabelle 12 dargestellt, mit Bezug zum energetischen Niveau der Hülle nach EnEV 2009.

Tabelle 12:
Darstellung der angesetzten Bauteilkennwerte für Neubauten innerhalb der angegebenen Zeitspannen.

Bauteilkennwerte und andere Charakteristika von Neubauten	EnEV 2009	EnEV 2009 -30 %	EnEV 2009 -15 %	EnEV 2009 -40 %	konst. Ansatz für u.g. Zeitspannen	
	2010 - 2013		2014 - 2020		2010 – 2020 ¹⁾	2021 - 2050
	U-Wert [W/m²K] bzw. g-Wert [-] der Bauteile sowie ΔU_{WB} [W/m²K] und n [-]					
Außenwand	0,28	0,20	0,24	0,17	0,219	0,11
Dach / O. Geschossdecke	0,20	0,14	0,17	0,12	0,155	0,09
Kellerdecke / Bodenplatte	0,35	0,25	0,30	0,21	0,273	0,14
Fenster (U)	1,3	0,9	1,1	0,8	1,01	0,8
Fenster (g)	0,65	0,52	0,65	0,52	0,585	0,535
Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB}	0,05	0,05	0,05	0,05	0,050	0
Luftwechselrate n [1/h]	0,6	0,6	0,6	0,55	0,585	0,45
Umsetzungsjahre	4 (36 %)		7 (64 %)			
Anteil am Neubau 2010-2020	20 %	20 %	30 %	30 %		

¹⁾ Anteilige Mittelwerte aus den Werten der Spalten 2-5, gewichtet mit den Neubau-Anteilen der letzten Zeile

4.8.2. Anlagentechnik

Wärmeerzeugung

Zur Abschätzung von Art und Weise der Wärmeerzeugung in ab 2010 errichteten Neubauten werden Kennwerte des Jahres 2010 zu Grunde gelegt, sowie verschiedene Prognosen der Entwicklung bis 2020. Diese existieren jedoch nicht für alle Wärmeerzeuger und sind zudem mit Vorsicht zu betrachten, da häufig Studien der entsprechenden Verbände vorliegen, die möglicherweise durch bestimmte Interessen beeinflusst sind.

Biomasse-Anlagen werden i.d.R. gemeinsam betrachtet, d.h. es wird nicht nach Energieerzeuger unterschieden. Da der Holzanteil an der eingesetzten Biomasse aktuell ca. 80 % beträgt, wird im Rahmen der Studie vereinfacht angenommen, dass es sich ausschließlich um Holz handelt, wenn von Biomasse gesprochen wird. Hiervon unabhängig wird ferner davon ausgegangen, dass der Anteil an erneuerbaren Energien in der allen Bereichen ansteigen wird (sofern möglich), da dies explizit im Energiekonzept der Bundesregierung gefordert wird. Dies wird in Abschnitt 0 erläutert.

Zur Erfassung und Darstellung der Situation von Wärmeerzeugern im Wohnungsneubau für das Jahr 2010 sollen die Daten aus zwei separaten Statistiken zusammengeführt werden, die zum einen verschiedene Aspekte der Wärmeerzeugung betrachten und zum anderen unterschiedliche Bereiche. Die „Marktentwicklung Wärmeerzeuger“ des Bundesindustrieverbands Deutschland für Haus-, Energie- und Umwelttechnik (BDH) [34] listet die insgesamt verkauften Wärmeerzeuger des Jahres auf, wobei keine Angaben dazu gemacht werden, ob diese in Bestands- oder Neubauten eingesetzt werden. Die Werte aus der Bautätigkeitsstatistik des Statistischen Bundesamts (DESTATIS) [25] geben dagegen die überwiegend verwendeten Energieträger im Neubau an, wobei die Art der Erzeuger unbekannt bleiben. Mit der Annahme, dass die Energieträger Öl und Gas nur in (Brennwert-)Kesseln eingesetzt werden (resultierend aus der Interpretation der statistischen Werte des BDH) lassen sich die Anteile der jeweiligen Wärmeerzeuger in den neu gebauten Typgebäudegruppen für das Jahr 2010 aus den genannten Statistiken erschließen (vgl. Spalten 2 und 3 von Tabelle 13).

Bis 2020 gibt es prognostizierte Werte für die Entwicklung des Wärmepumpenanteils auf 40-50 % [35], der Solarthermie auf 3 % [36] und der Biomasse auf 13 % [36]. Die Fortführung folgender Trends wird angenommen: Leichter Anstieg des Fernwärmeanteils und deutliche Reduktion des ohnehin geringen Anteils an direkt mit Strom erzeugter Wärme auf null.

Anhand der Kombination der bekannten Zahlen für 2010 und der o.g. Tendenzen werden Annahmen zur Entwicklung der Wärmeerzeugung im Neubau getroffen. Zur Vereinfachung werden wiederum konstante Werte für die Zeiträume bis und nach 2020 angesetzt. Tabelle 13 zeigt die resultierenden Werte.

Ebenfalls dargestellt ist der Zustand 2010, der als Ausgangspunkt diente und zum Vergleich herangezogen werden kann. Nach der Tabelle folgen Erläuterungen zu den getroffenen Annahmen.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Abschätzung für die bis weit in die Zukunft reichende Zeitspanne 2021-2050 in diesem technischen Zusammenhang mit großen Unsicherheiten belastet ist. Denn rückblickend lassen sich für vergangene Zeitspannen dieser Größenordnung immer wieder zunächst unvorstellbare technische Entwicklungen entdecken.

Tabelle 13:
Darstellung der Anteile an Wärmeerzeugern im Neubau des Jahres 2010, sowie die teilweise daraus resultierenden Ansätze für die Folgejahre.

Wärmeerzeuger-Anteile im Neubau	Neubau 2010 (stat. Erhebung)		Mittlerer Anteil Neubau 2010 – 2020 (result. Annahmen)		Mittlerer Anteil Neubau 2021 – 2050 (Annahmen)	
	EFH	MFH	EFH	MFH	EFH	MFH
Öl – BW-Kessel	3,3 %	2,4 %	3 %	2 %	2 %	1 %
Gas – BW-Kessel	52,1 %	61,4 %	45 %	50 %	35 %	35 %
Strom (direkt)	1,3 %	0,6 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Nah-/Fernwärme / BHKW ¹⁾	4,4 %	14,5 %	10 %	25 %	20 %	48 %
Wärmepumpe	30,3 %	13,5 %	34 %	15 %	35 %	12 %
Solarenergie	0,9 %	0,5 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Biomasse (=Holz)	7,8 %	7,1 %	8 %	8 %	8 %	4 %
Thermische Solaranlage für Warmwasser			36 %	21 %	26 %	0 %

¹⁾ Vereinfacht werden Mini-/Mikro-BHKW mit KWK der Erzeugerart Nah-/Fernwärme zugeschlagen. Bis 2020 wird mit einem deutlichen Anstieg der Fernwärme gerechnet, ab 2021 mit vermehrtem Einsatz von KWK-Kleinanlagen

Der Anteil an thermischen Solaranlagen wird in Anlehnung an die Wärmeerzeugungsanteile und aufgrund der Anforderungen nach dem Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) abgeschätzt. Hierbei wird auch auf die getroffenen Annahmen für die energetische Qualität der Hülle zurückgegriffen. Denn nach dem EEWärmeG kann eine verbesserte Qualität der Hülle als Ersatzmaßnahme für den Einsatz erneuerbarer Energien dienen. Es werden folgende Annahmen getroffen:

- Die 50 % der Gebäude, die das EnEV-Niveau unterschreiten erfüllen das EEWärmeG durch die verbesserte Hülle (Ersatzmaßnahme).
- In den 50 % der Gebäude, die nach EnEV-Niveau erstellt werden, wird die Wärme mit Fernwärme, Biomasse oder Heizkesseln erzeugt, wobei nur im „Kessel-Anteil“ zusätzlich eine thermische Solaranlage erforderlich ist.

- Die Biomassekessel erfüllen die EEWärmeG-Anforderungen ohne Zusatzmaßnahmen und sind analog zur Gesamtwohnfläche gleichmäßig auf beide Gebäudegruppen verteilt (EFH/MFH).
- Fernwärmeanschlüsse erfüllen die EEWärmeG-Anforderungen ohne Zusatzmaßnahmen und befinden sich nur in nach EnEV-Niveau erbauten Gebäuden.
- Zur Vereinfachung wird die Betrachtung von solarer Heizungsunterstützung vollständig vernachlässigt (da diese nicht im EEWärmeG gefordert wird), sofern das entwickelte Szenario hierauf nicht explizit einwirkt.

Der Anteil an thermischen Solaranlagen zur Warmwassererzeugung, in der notwendigen Mindestgröße nach EnEV, beträgt folglich 50 % (Hülle EnEV-Niveau) minus Fernwärme-Anteil minus die Hälfte des Biomasse(Holz)-Anteils, jedoch maximal die Größe der jeweiligen Heizkesselanteile. Die entsprechenden Werte sind in der letzten Zeile von Tabelle 13 dargestellt.

Für die übrigen technischen Kennwerte werden mit dem Ziel der Vereinfachung und auf Basis bisher getroffener Annahmen sowie infolge der deutlichen Unterschiede zwischen Altbau und Jung-Bestand (vgl. Tabelle 8) folgende Ansätze für Neubauten gewählt. Die Referenz-Ausführung nach EnEV 2009 dient hierbei als Grundlage:

- Die Warmwassererzeugung erfolgt stets (zu 100 %) kombiniert mit der Heizung.
- Ein zentraler Pufferspeicher für die Heizung (außerhalb der thermischen Hülle) existiert in allen Gebäuden, deren Heizwärme mit Wärmepumpe, Solarenergie oder Biomasse erzeugt wird sowie für alle Gebäude mit thermischer Solaranlage.
- Ein zentraler Warmwasserspeicher (außerhalb der thermischen Hülle) existiert in allen Gebäuden mit Pufferspeicher sowie in der Hälfte der mit Heizkessel ausgestatteten Gebäude.

Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Neben den oben genannten Komponenten der Gebäudehülle beeinflussen Wärmerückgewinnungssysteme in Lüftungsanlagen den Wärmebedarf maßgebend. Der Anteil an (Wohnungs-)Lüftungsanlagen hat im Neubau bereits merklich zugenommen und wird voraussichtlich weiter steigen. Insbesondere bei höchsten Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden, die infolge der europäischen Gebäuderichtlinie zu erwarten sind, wird die Lüftungsanlage vermutlich an Bedeutung gewinnen. Im Zuge der ab 2021 geforderten Niedrigstenergiegebäude im Wohnungsneubau scheint eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ($WRG \geq 80 \%$) obligatorisch.

Der aktuelle Anteil an Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung im Neubau (sowie deren Wärmerückgewinnungsraten) kann nur abgeschätzt werden, da

keine statistischen Angaben existieren. Nur im Rahmen der KfW-Förderung gibt es Zahlen zu Umsetzung und Qualität, jedoch ausschließlich für Gebäude im Förderprogramm [45]-[48]. Diese Informationen dienen als Basis zur Abschätzung, die im Folgenden beschrieben wird. Im Gegensatz zu den Ansätzen für Hülle und Wärmeerzeugung, unabhängig vom Gebäudetyp, muss hier zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern unterschieden werden. Für Mehrfamilienhäuser wird von sehr geringen Quoten ausgegangen.

Von 2010 bis 2020 wird eine lineare Verdreifachung der Einsatz-Quote von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung angenommen, EFH von 25 % auf 75 %, MFH von 5 % auf 15 %. Vereinfacht wird für diese 11-Jahres-Spanne der rechnerische Mittelwert angesetzt, trotz leicht rückläufiger Neubaurate. Infolge der Forderung von Niedrigstenergiehäusern ist mit dem Jahr 2021 ein deutlicher Sprung zu erwarten. Im EFH-Bereich ist infolge des bisher erfolgten Anstiegs bereits ab 2021 mit einer 100 %-Rate zu rechnen. Für den MFH-Typ wird dagegen bis 2030 von einer Art Übergangszeit ausgegangen, so dass die 100 %-Rate erst ab 2031 angesetzt wird. Die technische Weiterentwicklung wird über einen ansteigenden Wärmerückgewinnungsgrad umgesetzt, vereinfacht wiederum als mittlerer konstanter Wert: bis 2020: 70 %, 2021-2030: 80 % und schließlich 85 %. (vgl. Tabelle 14)

Tabelle 14:
Darstellung der prozentualen Anteile an Neubauten mit Wohnungs Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung	2010 (Abschätzung)	Anstieg (linear) bis 2020	2010 - 2020 Mittelwert ¹⁾	2021 - 2030	2031 - 2050
<i>Wärmerückgewinnungsgrad</i>	60 %	80 %	70 %	80 %	85 %
EFH - Neubauanteil mit Lüftung	25 %	75 %	50 %	100 %	100 %
MFH - Neubauanteil mit Lüftung	5 %	15 %	10 %	80 %	100 %

¹⁾ Trotz leicht rückläufiger Neubauquote wird vereinfacht der rechnerische Mittelwert angesetzt

4.9. Entwicklung technologischer Randbedingungen

Bis 2050 ist von technischen und technologischen Entwicklungen auszugehen, deren Umfang und Intensität nur schwer einzuschätzen sind. Möglicherweise werden Techniken entwickelt, die heute kaum vorstellbar sind. Zudem können sich Verbreitung und Akzeptanz von Technologien gravierend ändern, auch in Abhängigkeit unkalkulierbarer Einflüsse. Beispielhaft seien hier die Auswirkungen der Nuklearkatastrophe in Fukushima genannt. Diese Aspekte und Unsicherheiten können und sollen im Rahmen der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt werden. Auf ihre grundsätzliche Existenz soll jedoch hingewiesen werden.

Die Entwicklung technologischer Randbedingungen soll jedoch auch nicht grundsätzlich vernachlässigt werden. Veränderungen im Rahmen der Wärmeerzeugung stehen hierbei im Vordergrund. Es geht jedoch nicht darum Vorhersagen bezüglich neuartiger Systeme zu treffen. Stattdessen sollen Entwicklungen infolge aktueller Tendenzen, Prognosen und Zielsetzungen berücksichtigt werden, die die Zusammensetzung der Wärmeerzeugung betreffen, sowohl innerhalb des Wohngebäudebestands als auch insgesamt in Deutschland. Denn die deutschlandweite Entwicklung von Wärme- und Stromerzeugung wirkt sich auf die Primärenergiefaktoren aus, die wiederum zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden herangezogen werden.

4.9.1. Varianten

Wie bereits erwähnt, wird grundsätzlich von einer Entwicklung in der Zusammensetzung der Wärmeerzeugung ausgegangen. Zudem wird angenommen, dass diese von den grundsätzlichen politischen und gesetzlichen Anforderungen abhängig sind. Diese stehen wiederum in direktem Zusammenhang mit den angestrebten bzw. erreichbaren Zielen, insbesondere im Sinne der Formulierung über die Primärenergie. Infolge dieser Zusammenhänge und Annahmen werden innerhalb des Projekts zwei Varianten definiert.

Variante 1 dient zur Darstellung der Trendfortschreibung. In Variante 2 wird davon ausgegangen, dass sich die Tendenzen aus Variante 1 stärker bemerkbar machen. Dies ist z. B. infolge verschärfter gesetzlicher Anforderungen denkbar.

In den folgenden Abschnitten werden für beide Varianten die Annahmen zur Darstellung der Entwicklungen der Primärenergiefaktoren und bezüglich der Zusammensetzung der Wärmeerzeugung im Wohngebäude-Gesamtbestand dargestellt.

4.9.2. Systemwechsel bei der Wärme-Erzeugung

Es wird angenommen, dass sich Entwicklungen auf dem Wärmeerzeugermarkt im Gebäudebestand in veränderten Heizsystemwechselraten auswirken werden. Einerseits kann sich die gesamte Rate erhöhen. Andererseits können Veränderungen in Art bzw. Zusammensetzung der Ersatzraten auftreten.

Für die beiden o.g. Varianten „1: Trendfortschreibung“ und „2: Trendverschärfung“ werden die in folgenden Tabellen dargestellten Annahmen getroffen. Diese basieren auf verfügbaren Informationen aus branchenspezifischen Erhebungen und Vorhersagen [35]-[37] sowie aus Ergebnissen einer Marktanalyse mit Entwicklungsabschätzung, die im Rahmen einer Studie der Industrie-Initiative für effizienten Klimaschutz in Deutschland erstellt wurde [38]. Die direkte Übernahme einer bestehenden Vorhersage ist nicht möglich, da keine geeignete existiert, die einerseits alle im Wohnbau relevanten Erzeuger betrachtet und andererseits die notwendige Spanne bis 2050 abdeckt. Vereinfacht werden konstante Werte in 10-Jahres-Schritten angesetzt.

Im Falle einer Trendfortschreibung wird von einer konstanten Ersatzrate ausgegangen, bei Trendverschärfung von einer ansteigenden (in 10-Jahres-Schritten um je 5 %). Für die Anteile der Ersatzsysteme werden in beiden Fällen Veränderungen im Lauf der Zeit angenommen. Unter Berücksichtigung der Vorgaben des Energiekonzepts wird angesetzt, dass Kraft-Wärme-Kopplungs(KWK)-Anlagen zunehmen, Wärmepumpen etwa gleich bleiben und Holzessel abnehmen. Für Ein- und Mehrfamilienhäuser werden infolge unterschiedlicher Randbedingungen und bisheriger Trends verschiedene Annahmen getroffen.

Tabelle 15:
Ersatzraten für Heizsystemwechsel in der Trendfortschreibungs-Variante 1 für den EFH-Typ (Annahmen).

Ersatz von Öl-/Gas-Kesseln in EFH	2010-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Nah-/Fernwärme (inkl. BHKW/KWK) ¹⁾	3 %	4 %	7 %	10 %
Wärmepumpen	8 %	8 %	7 %	7 %
Holzpellet-Kessel	9 %	8 %	6 %	3 %
=>reiner Kesseltausch (ohne Energieträgerwechsel)	80 %	80 %	80 %	80 %

¹⁾ Der zu erwartende zunehmende Einsatz von Mini- und Mikro-BHKWs wird vereinfacht über Nah-/ Fernwärme mit steigendem KWK-Anteil berücksichtigt.

Tabelle 16:
Ersatzraten für Heizsystemwechsel in der Trendfortschreibungs-Variante 1 für den MFH-Typ (Annahmen).

Ersatz von Öl-/Gas-Kesseln in MFH	2010-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Nah-/Fernwärme (inkl. BHKW/KWK) ¹⁾	7 %	9 %	11 %	13 %
Wärmepumpen	2 %	2 %	2 %	2 %
Holzpellet-Kessel	6 %	4 %	2 %	0 %
=>reiner Kesseltausch (ohne Energieträgerwechsel)	85 %	85 %	85 %	85 %

¹⁾ Der zu erwartende zunehmende Einsatz von Mini- und Mikro-BHKWs wird vereinfacht über Nah-/ Fernwärme mit steigendem KWK-Anteil berücksichtigt.

Tabelle 17:
Ersatzraten für Heizsystemwechsel in der Trendverschärfungs-Variante 2 für den EFH-Typ (Annahmen).

Ersatz von Öl-/Gas-Kesseln in EFH	2010-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Nah-/Fernwärme (inkl. BHKW/KWK) ¹⁾	3 %	6 %	13 %	20 %
Wärmepumpen	8 %	10 %	10 %	10 %
Holzpellet-Kessel	9 %	9 %	7 %	5 %
=>reiner Kesseltausch (ohne Energieträgerwechsel)	80 %	75 %	70 %	65 %

¹⁾ Der zu erwartende zunehmende Einsatz von Mini- und Mikro-BHKWs wird vereinfacht über Nah-/ Fernwärme mit steigendem KWK-Anteil berücksichtigt.

Tabelle 18:
Ersatzraten für Heizsystemwechsel in der Trendverschärfungs-Variante 2 für den MFH-Typ (Annahmen).

Ersatz von Öl-/Gas-Kesseln in MFH	2010-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Nah-/Fernwärme (inkl. BHKW/KWK) ¹⁾	7 %	13 %	18 %	25 %
Wärmepumpen	2 %	3 %	3 %	3 %
Holzpellet-Kessel	6 %	4 %	4 %	2 %
=>reiner Kesseltausch (ohne Energieträgerwechsel)	85 %	80 %	75 %	70 %

¹⁾ Der zu erwartende zunehmende Einsatz von Mini- und Mikro-BHKWs wird vereinfacht über Nah-/ Fernwärme mit steigendem KWK-Anteil berücksichtigt.

4.9.3. Primärenergiefaktoren

Ebenso wie die Anforderungen der EnEV ist auch das im Energiekonzept formulierte Ziel zur Energieeinsparung im Wohngebäudebereich über die Primärenergie definiert. Der Einsatz regenerativer Energien wird primärenergetisch besonders positiv bewertet. Dies führt in der Praxis nicht zwangsläufig zum effizienten Umgang mit dieser Energieart. Inwieweit dieser Kennwert daher langfristig als alleinige Größe zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden geeignet ist, bedarf eines weitergehenden gesellschaftlichen Diskurses, der im Rahmen dieser Studie nicht geleistet werden kann [39].

Das Energiekonzept der Bundesregierung [1] stützt sich auch auf den Ausbau erneuerbarer Energien und beinhaltet u.a. Anforderungen an den hier zu erreichenden Anteil bei der Stromerzeugung. Da Strom den mit Abstand höchsten Primärenergiefaktor der in Wohngebäuden eingesetzten Energieträger aufweist, wirken sich diese Änderungen deutlich auf den Gesamtprimärenergiebedarf aus. Die laut Energiekonzept in den folgenden 40 Jahren angestrebten An-

teile an erneuerbarem Strom sowie der hieraus resultierende Primärenergiefaktor für den gesamtdeutschen Strom-Mix wird in den oberen drei Zeilen von Tabelle 19 (und Tabelle 20) dargestellt.

Ob dieser angestrebte Anteil an erneuerbaren Energien am deutschen Strom-Mix tatsächlich erreicht werden wird, bleibt vorerst hypothetisch. Im Zuge der Darstellung einer möglichen Umsetzung des Energiekonzepts wird jedoch auch diese Zielsetzung als erfüllbar vorausgesetzt. Dennoch sei darauf hingewiesen, dass dies insbesondere in strahlungsarmen und kalten Winterperioden kritisch werden könnte, wenn bedingt durch den steigenden Anteil elektrischer Wärmepumpen an der Wärmeerzeugung eine extreme Strombedarf-Spitze zu erwarten ist, bei gleichzeitig fehlendem Ertrag der umfänglich installierten Photovoltaikanlagen. Die zusätzliche Stromerzeugung mit Wind und Kraft-Wärme-Kopplung ist in diesem Zusammenhang ebenso relevant, wie die Umsetzung eines weitflächigen „Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetzes [...] mit intelligenter Steuerung [...] zum Ausgleich von Energiebedarf und -angebot (Smart Grid)“ [40].

Für die Energieträger Gas und Öl ist zukünftig mit Beimischungen von biogenen Anteilen zu rechnen, wenn auch in geringem Maße. Nach momentanen Einschätzungen bzgl. der Verwendung von entsprechenden Brennstoff-Gemischen für den Betrieb heutiger Heizsysteme wird davon ausgegangen, dass eine 10 %-ige Beimischung problemlos möglich ist; analog zur momentanen Nutzung des Kraftstoffs E10 im Fahrzeugbereich. Eine weitere Steigerung des Anteils ist grundsätzlich denkbar, könnte jedoch Nachrüstungen erforderlich machen. Zudem scheinen mehr als 20 % Biogas- bzw. -öl-Anteil aus heutiger Sicht mit den aktuellen Systemen nicht mehr nutzbar zu sein. Neben den technischen sind auch wirtschaftliche und gesellschaftliche Aspekte von Bedeutung. Ohne entsprechende politische bzw. gesetzliche Vorgaben scheint es in diesem Zusammenhang unrealistisch, dass der biogene Anteil 10 % überschreiten wird. Für die Abbildung der Trendfortschreibung (Variante 1) wird daher bis 2050 von einem 10 %-Anteil ausgegangen (langsam ansteigend ab 2021). In Variante 2 wird ein Erreichen des maximal möglichen Werts von 20 % bis 2050 angesetzt, wiederum ab 2021. Die hierdurch erreichten Primärenergiefaktoren für beide Varianten sind in Tabelle 19 und Tabelle 20 aufgezeigt.

Analog wird auch von einer Entwicklung des Primärenergiefaktors für Fernwärme ausgegangen. Dieser ist abhängig von der Art der Erzeugung. Den Wohnungssektor betreffend müssen hier einige Annahmen getroffen werden, da das Energiekonzept der Regierung keine konkreten Zielwerte enthält und da keine deutschlandweit gültigen Mittelwerte für die in Wohngebäuden genutzte Fernwärme zur Verfügung stehen. Das grundsätzliche Ziel zum weiteren Ausbau und zur Förderung der Energieerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist im Energiekonzept klar formuliert, steht jedoch noch im wissenschaftlichen Diskurs [8]. Ferner gibt es Informationen zur aktuellen Zusammensetzung der gesamten Fernwärmeerzeugung (für Industrie- und Wohnbauten), mit einem KWK-Anteil von rund 70 %. Vereinfacht wird diese Zusammensetzung di-

rekt für den Wohnungsbau im Basisjahr 2008 übernommen. Wiederum in Abhängigkeit der beiden Varianten technologischer Entwicklung (Trendfortschreibung und Trendverschärfung) werden Annahmen zu Höhe und Verlauf des Anstiegs des KWK-Anteils an der Nah- und Fernwärme getroffen. Hierbei werden auch die im folgenden beschriebenen Einflüsse infolge der zu erwartenden steigenden Bedeutung von Mini- und Mikro-BHKWs berücksichtigt. Tabelle 19 und Tabelle 20 zeigen die hieraus insgesamt resultierenden Verläufe der Kennwerte.

Die Betonung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) im Energiekonzept der Bundesregierung und die stetigen Entwicklungen in Produktion und Vermarktung von Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken (BHKWs) sowie deren aktuell beginnende Förderung lassen zukünftig eine steigende Bedeutung dieser Wärme- (und Strom-) Erzeuger erwarten. Erfahrungsgemäß setzen sich solche Entwicklungen zunächst im Neubau durch bevor der Einsatz in der Sanierung stattfindet. Im Rechenmodell werden diese Mini-Kraftwerke vereinfacht gemeinsam mit dem KWK-Anteil der Nah-/Fernwärme betrachtet. Der genaue (zeitliche) Einfluss ist kaum vorherzusagen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der KWK-Anteil der Fernwärme 90 % nicht übersteigen würde. Es wird angenommen, dass der KWK-Einfluss der Mini-Kraftwerke bei gemeinsamer Betrachtung mit Nah-/Fernwärme den Anstieg des KWK-Anteils bis 2050 um weitere 5 % ermöglichen wird. Dies führt zu entsprechenden Auswirkungen auf den Primärenergiefaktor.

Die folgenden Tabellen fassen die beschriebenen Entwicklungen und die hieraus resultierenden Primärenergiefaktoren der in der häuslichen Wärmeerzeugung maßgebenden Energieträger zusammen. Vereinfacht werden alle Faktoren innerhalb einer Zeitspanne als konstant angesetzt, entsprechend einer sprunghaften Änderung im angegebenen Jahr. Für Holz, das im Wohnungsbau ebenfalls von Bedeutung ist, wird zu jeder Zeit ein Primärenergiefaktor von 0,2 angesetzt, wenngleich dies derzeit aus Gründen der Verfügbarkeit politisch diskutiert wird. Insgesamt wird stets nur der nicht erneuerbare Anteil betrachtet.

Tabelle 19:
Darstellung der zeitlichen Veränderung der Zusammensetzung des deutschlandweiten Strom-, Gas-/Öl- und Fernwärme(inkl. BHKW)-Mixes sowie der hieraus resultierenden Primärenergiefaktoren für Variante 1 (Trendfortschreibung).

Trendfortschreibung	2008	2015	2020	2030	2040	2050
Strom						
Anteil Erneuerbarer Energien	ca.10 %	ca.20 %	35 %	50 %	65 %	80 %
Primärenergiefaktor	2,6	2,4	1,9	1,4	1,0	0,6
Gas/Öl ¹⁾						
Anteil Biogas/-öl ²⁾	0 %			2 %	5 %	10 %
Primärenergiefaktor	1,1			1,09	1,07	1,04
Nah-/Fernwärme und Mini-BHKWs						
Kraft-Wärme-Kopplung ³⁾	70 %	71 %	72 %	75 %	78 %	82 %
Heizwerke	30 %	29 %	28 %	25 %	22 %	18 %
Mittlerer Primärenergiefaktor	0,7	0,69	0,69	0,65	0,62	0,58

1) Gas und Öl werden in der Betrachtung vereinfacht gleich gesetzt.

2) Für Biogas und Bioöl wird ein Primärenergiefaktor von 0,5 angesetzt.

3) Berücksichtigt werden hier auch Mini- und Mikro-BHKWs mit deren vermehrtem Einsatz zukünftig zu rechnen ist.

Tabelle 20:
Darstellung der zeitlichen Veränderung der Zusammensetzung des deutschlandweiten Strom-, Gas-/Öl- und Fernwärme(inkl. BHKW)-Mixes sowie der hieraus resultierenden Primärenergiefaktoren für Variante 2 (Trendverschärfung).

Technologie-Anforderung	2008	2015	2020	2030	2040	2050
Strom						
Anteil Erneuerbarer Energien	ca.10 %	ca.20 %	35 %	50 %	65 %	80 %
Primärenergiefaktor	2,6	2,4	1,9	1,4	1,0	0,6
Gas/Öl ¹⁾						
Anteil Biogas/-öl ²⁾	0 %			10 %	15 %	20 %
Primärenergiefaktor	1,1			1,04	1,01	0,98
Nah-/Fernwärme und Mini-BHKWs						
Kraft-Wärme-Kopplung ³⁾	70 %	80 %		85 %	90 %	95 %
Heizwerke	30 %	20 %		15 %	10 %	5 %
Mittlerer Primärenergiefaktor	0,7	0,6		0,55	0,5	0,45

1) Gas und Öl werden in der Betrachtung vereinfacht gleich gesetzt.

2) Für Biogas und Bioöl wird ein Primärenergiefaktor von 0,5 angesetzt.

3) Berücksichtigt werden hier auch Mini- und Mikro-BHKWs mit deren vermehrtem Einsatz zukünftig zu rechnen ist.

4.10. Zeitschritte

Insgesamt wird im Rahmen der Modellrechnung der Zeitraum von 2010 bis 2050 betrachtet. Mit 41 Jahren ist dies ein langer Prognose-Zeitraum, so dass allgemein nur von einer Abschätzung gesprochen werden kann, insbesondere für die Jahre, die in ferner Zukunft liegen.

Um dies in der Berechnung zu berücksichtigen und in der Ergebnis-Darstellung zu verdeutlichen, werden die Zeitschritte innerhalb der Zeitspannen wie folgt betrachtet.

2010 – 2020: Innerhalb dieses 11-Jahres-Blocks erfolgt eine jährliche Betrachtung mit entsprechenden mittleren Kennwerten. Soweit im Rahmen der Vereinfachungen sinnvoll und möglich, werden Abhängigkeiten und Wechselwirkungen berücksichtigt, z. B. bzgl. des Gebäuderückbaus.

2021 – 2050: Die Berechnung erfolgt nach wie vor in Jahresschritten, wobei keinerlei Abhängigkeiten berücksichtigt werden. Die Ergebnisse werden in 10-Jahresschritten angegeben.

2010 – 2050: Die Gesamtdarstellung erfolgt grundsätzlich in 10-Jahresschritten, mit einem zusätzlichen „Zwischenwert“ für das Jahr 2015 zur Darstellung des genauer betrachteten Zeitraums bis 2020.

5. Sanierungsfahrpläne (Szenarien)

5.1. Stellschrauben

Im Zuge der in Kapitel 4 beschriebenen Modell-Erstellung ergeben sich zwei grundsätzliche Stellschrauben zur Definition verschiedener Sanierungsszenarien bzw. -fahrpläne: Sanierungszyklen und Qualität der Maßnahmen (inkl. Umfang).

Sanierungszyklen

Im erstellten Rechenmodell werden vereinfacht drei maßgebliche Komponentenbereiche zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden unabhängig voneinander betrachtet. Diese sind ‚opake Gebäudehülle‘, ‚Fenster‘ und ‚Anlagentechnik‘. Für diese drei Bereiche können im Rahmen der Prognose unterschiedliche Sanierungszyklen gewählt werden. Sind diese kleiner als der gesamte betrachtete Zeitraum (41 Jahre) führt dies zu Mehrfachanwendungen. Gleichzeitig wird in diesen Fällen garantiert, dass jedes Bestandsgebäude (mind.) einmal „angefasst“ wird, was bei längeren Zyklen (ab 42 Jahren) nicht der Fall ist.

Qualität der Sanierungsmaßnahmen (inkl. bedingter Zusatzmaßnahmen)

Neben der durch den Zyklus bestimmten Häufigkeit der Durchführung von Maßnahmen sind deren Qualität und Umfang ausschlaggebend zur Beurteilung der Wirkung auf den Gesamtbestand. Hierbei sollen nicht nur die einzelnen Bauteile bzw. Technikkomponenten betrachtet werden, deren Qualität z. B. durch den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) bestimmt wird, sondern auch die Gesamtausführung, die sich beispielsweise in der Luftdichtheit wieder spiegelt. Zudem kann der Umfang durch (bedingte) Zusatzmaßnahmen definiert werden, die zusätzlich mit auszuführen sind, sobald die Bedingung in Kraft tritt.

5.2. Zielsetzung

Im Rahmen der Studie sollen verschiedene Sanierungs-Szenarien entwickelt, bewertet und miteinander verglichen werden. Insbesondere die unterschiedliche Definition von Sanierungsfahrplänen bezüglich technologiegebundener bzw. dem gegenüberstehend technologieoffener Vorgaben soll hierbei untersucht werden. Zur besseren Vergleichbarkeit sollen zwei Szenarien untersucht werden, die bis 2050 zur gleichen Gesamtprimärenergieeinsparung führen. Entsprechend der Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung soll diese rund 80 % betragen.

Zudem soll untersucht werden, ob die bisher von der Regierung unternommenen Anstrengungen und geplanten Vorgaben und Vorgehensweisen diese Zielsetzung erreichen können. Daher soll eine weitere Variante betrachtet werden, welche bisherige Trends und die aktuell sichtbaren Leitlinien der Bundesregierung kombiniert. Dies kann als Basis-Szenario bzw. Vergleichsvariante angesehen werden und wird als Szenario 0 bezeichnet.

Grundsätzlich wird angenommen, dass der realistische Beginn eines Sanierungsfahrplans mit abweichenden Anforderungen gegenüber der bereits angekündigten nicht vor 2014 möglich ist. D.h. bis 2014 folgen alle Szenarien der beschriebenen Trendfortschreibung. Infolge der vereinfachten Umsetzung mit konstanten Sanierungszyklen für den gesamten Betrachtungszeitraum, trifft dies jedoch nur auf Qualität und Umfang zu. D.h. die Sanierungsmaßnahmen weisen bis 2014 in allen Szenarien die gleiche Qualität auf, mit den entsprechenden Zusatzmaßnahmen.

Die drei Szenarien (0, 1 und 2) werden im Folgenden erläutert und definiert. In Anhang A werden die Definitionen in jeweils einseitigen tabellarischen Steckbriefen zusammengefasst.

5.3. Status-Quo mit Leitlinien der Bundesregierung (Basis-Szenario 0)

Das Basis-Szenario 0 soll zur Darstellung der Fortschreibung aktueller Trends und Entwicklungen dienen, bei Umsetzung angekündigter gesetzlicher Vorgaben. Hierfür werden bisherige Entwicklungen, die Inhalte des Energiekonzepts und aktuelle politische Diskussionen interpretiert und in Zahlen und Kennwerte umformuliert. Hieraus ergibt sich das im Folgenden beschriebene Szenario, für welches mit dem entwickelten Rechenmodell die energetische Entwicklung bezüglich des gesamten Wohngebäudebestands prognostiziert wird. Die Ergebnisse sind in Kapitel 6 dargestellt.

Sanierungszyklen

Infolge der Informationen über bisherige Sanierungszyklen und -maßnahmen sowie über die Lebensdauer von Bauteilen und Anlagentechnik an Wohngebäuden, werden die folgenden Sanierungszyklen zur Umsetzung einer Trendfortschreibung festgelegt, mit den beschriebenen Besonderheiten:

Opake Hülle	55 Jahre Für Klinkerfassaden (knapp 30 %) wird eine Lebensdauer von mind. 100 Jahren angesetzt, was dazu führt, dass diese im betrachteten Zeitraum nicht saniert werden. Bisherige Sanierungen zeigen, dass Außenwände und Kellerdecken deutlich seltener energetisch saniert wurden als Dächer. Dies wird über energetische Sanierungsquoten umgesetzt, die die bisherigen Raten um etwa 10 % überschreiten: Dach: 100 %, Außenwand: EFH: 50 % / MFH: 60 %, Kellerdecke: EFH: 30 % / MFH: 36 %,
Fenster	36 Jahre (überwiegend reiner Scheibenaustausch bei gleicher Verglasungsart, sonst auch Rahmenersatz)
Anlagentechnik	30 Jahre (Hauptkomponenten: Heizkessel und Solaranlage)

Qualität der Sanierungsmaßnahmen (inkl. bedingter Zusatzmaßnahmen)

Wie bereits erläutert, existieren kaum Informationen über den energetischen Zustand des Gebäudebestands und unzureichende Hinweise über detaillierte Sanierungstätigkeiten mit Qualitätsangaben. Infolgedessen kann auch die Trendfortschreibung hier nur grob abgeschätzt werden. Als Hilfestellung dienen die Anforderungswerte nach EnEV 2009 für die Sanierung von Einzel-Bauteilen. In Anlehnung an die zu erwartenden Verschärfungen der EnEV wird das erreichte Sanierungsniveau schrittweise konstant abgeschätzt. Die angenommenen Werte sind in den rechten Spalten (4-6) von Tabelle 21 dargestellt, mit Bezug zum aktuellen Anforderungswert nach EnEV. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass es nicht darum geht, die Entwicklung der Vorschriften abzuschätzen.

zen, sondern die mittlere Sanierungsqualität der im gesamten Zeitraum umgesetzten Maßnahmen.

Der linke Teil von Tabelle 21 (Spalten 2-3) zeigt die insgesamt im Rechenmodell angesetzten mittleren Kennwerte der Hüllflächen, nach der Sanierung. Diese sind teilweise größer als die Werte der rechten Spalten, wenn die energetische Sanierung nur anteilig durchgeführt wird.

Für die Fenster wird angenommen, dass bis 2020 Zwei-Scheiben-Verglasungen (2-SV) eingesetzt werden, wohingegen ab 2021 3-SV zum Einsatz kommen. Ab 2031 mit energetisch verbessertem Rahmen. Im Zuge zu erwartender technischer Weiterentwicklungen wird zudem davon ausgegangen, dass sich der g-Wert der im Mittel am Markt verwendeten Gläser verbessern wird, bis 2050 schrittweise (10-Jahres-Schritte) bis zu 0,55, gegenüber dem heutigen Standardwert von 0,52.

Tabelle 21:
Übersicht über die mittleren Kennwerte der Gebäudehülle nach Durchführung der Sanierungsmaßnahmen für die einzelnen Zeitspannen für Szenario 0 (Status-Quo mit Leitlinien).

Energetische Qualität nach Sanierung	Mittlere Kennwerte der Gebäude ¹⁾ (EFH/MFH) nach Sanierung		Ansätze für die sanierten Bauteile			
			EnEV2009	EnEV-15 %	EnEV-30 %	EnEV-40 %
	2010 - 2020	2021 - 2050	2010-2014	2015-2020	2021-2030	2031-2050
U-Wert [W/m ² K] bzw. g-Wert [-] der Bauteile sowie ΔU_{WB} [W/m ² K] und n [-]						
Außenwand	0,528/0,634	0,485/0,548	0,28	0,24	0,20	0,16
Dach/OGD	0,183/0,182	0,125	0,20	0,17	0,14	0,12
Kellerdecke/BP	0,911/1,092	0,856/0,985	0,35	0,30	0,25	0,2
Fenster (U)	1,3	0,932	1,3		1,0	0,9
Fenster (g)	0,65	0,54	0,65		0,53	0,545
Wärmebrücken-zuschlag ΔU_{WB}	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
Luftwechselrate n	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6

¹⁾ Aufgrund der reduzierten energetischen Anteile an den Sanierungsraten sind die Mittelwerte teilweise größer als die der sanierten Bauteile. Unterschiedliche Werte der Typen EFH und MFH sind durch Schrägstrich gekennzeichnet.

Wie in 4.7 beschrieben, ist der Heizkessel der maßgebliche Wärmeerzeuger im Wohngebäudebestand. Die Sanierung der Anlagentechnik entspricht daher, im Rahmen der vereinfachten Betrachtung, dem Ersatz des bestehenden veralteten Heizkessels. Der Austausch des Kessels durch einen neueren effizienteren Kessel (mit gleichem Energieträger) steht hierbei im Vordergrund. Doch auch der Ersatz durch ein alternatives Heizsystem spielt eine Rolle und wird berücksichtigt. Der Ansatz erfolgt nach den Annahmen der Entwicklung der technologi-

schen Randbedingungen nach Variante 1 (Trendfortschreibung). Dies führt zu konstanten Ersatz-Raten von 20 % bzw. 15 % für den EFH- bzw. MFH-Typ (vgl. Tabelle 15 und Tabelle 16).

Bei Kessel-Austausch wird davon ausgegangen, dass zu jeder Zeit ein Brennwert-Kessel zum Einsatz kommt, nach 2020 nur noch verbesserte Brennwertkessel. Als bedingte Zusatzmaßnahmen, d.h. bei Kesseltausch stets notwendig, werden zudem angesetzt:

- Dämmung der Verteilleitungen im Keller
- Hydraulischer Abgleich

5.4. Technologiegebundener Fahrplan (Szenario 1)

Neben dem zuvor beschriebenen Basis-Szenario zur Darstellung der Trendfortschreibung, werden zwei weitere Szenarien betrachtet. Mit dem Ziel, die im Energiekonzept formulierte Primärenergiereduktion von 80 % bis 2050 zu erreichen. Sie folgen zwei unterschiedlichen, gegensätzlich formulierten Fahrplänen. „Technologiegebundene“ Vorgaben werden einer „technologieoffenen“ Formulierung gegenüber gestellt. Technologiebindung bezeichnet in diesem Zusammenhang einerseits die Verpflichtung zum Einsatz bestimmter Technologien innerhalb bestimmter Zeiträume. Andererseits wird zudem die Gewährleistung ihrer Existenz zu bestimmten Zeitpunkten gefordert. Außerdem spielen verpflichtende bedingte Zusatzmaßnahmen eine Rolle.

Konkret wird der technologiegebundene Fahrplan wie folgt definiert, wiederum über die Vorgabe von Sanierungsqualität und -zyklus, wobei für beide Komponenten bedingte Verpflichtungen bestehen. Diese Bedingungen können einen Austausch vor Erreichen der Lebensdauer erfordern, entsprechend einem verkürzten Zyklus, teilweise deutlich früher. Ist dies infolge einer Zusatzanforderung notwendig, wird angenommen, dass diese „Zwangmaßnahmen“ zur Anpassung an den technischen Standard gleichmäßig innerhalb von 5 Jahren vor Stichtag erfolgen.

Sanierungszyklen

Bei Gewährleistung der Zielerreichung und unter Nutzung bedingter Technologievorgaben werden folgende Sanierungszyklen formuliert. Zudem werden einige Zusatzanforderungen gestellt, die dazu führen, dass diese Zyklen teilweise deutlich unterschritten werden müssen.

Opake Hülle	50 Jahre + alle Gebäude(teile) älter als 50 Die geforderte energetische Qualität der Hüllfläche nach Sanierung ist für alle Bauteile und alle Bauarten einzuhalten, unabhängig von etwaigen Besonderheiten (z. B. zweischaliges Klinker-Mauerwerk).
-------------	--

Fenster	36 Jahre <u>Zusatz-Anforderung:</u> Bis 2035 müssen alle Fenster in Wohngebäuden mit 3-SV ausgestattet sein („Zwangstausch“ 2031-2035)
Anlagentechnik	30 Jahre (Hauptkomponenten: Heizkessel, Solaranlage) <u>Zusatz-Anforderungen:</u> Bis 2025 müssen alle Heizkessel in Wohngebäuden Brennwerttechnik aufweisen („Zwangstausch“ 2021-2025) Bei Kesseltausch muss eine thermischen Solaranlage für Warmwasser und Heizungsunterstützung installiert werden.

Qualität der Sanierungsmaßnahmen

Ab 2015 werden im technologiegebundenen Fahrplan höchste Anforderungen an das energetische Niveau der Hülle gestellt. Dies dient zur Sicherstellung der Zielerfüllung. Der Ansatz resultiert u.a. aus der verbreiteten Meinung, dass das 80 %-Ziel nur so erreicht werden kann. Die Vorgaben entsprechen etwa den zu erwartenden Anforderungen an Niedrigstenergiegebäude bzw. dem sog. Passivhausniveau, das im öffentlichen Meinungsbild eine bedeutende Rolle zu spielen scheint. Die resultierenden Kennwerte sind in Tabelle 22 dargestellt, die analog zu Tabelle 21 aufgebaut ist: rechts, die bei Sanierungsmaßnahmen einzuhaltenden Bauteilkennwerte und links, die hieraus bestimmten mittleren Kennwerte. Wie oben beschrieben entsprechen die Anforderungen bis 2014 denen des Basis-Szenarios.

Das insgesamt hohe energetische Niveau der ausgetauschten Fenster entsteht aufgrund der Zusatzanforderung, dass bis 2035 alle 1- und 2-Scheiben-Verglasungen durch 3-Scheiben-Verglasungen ersetzt sein müssen. Infolgedessen scheint es unumgänglich, dass ab 2015 nur noch 3-SV zum Einsatz kommen. Weiterhin wird gefordert, dass ab 2031 nur mehr hochqualitative Rahmen (sog. Passivhausrahmen) eingebaut werden dürfen, die zum Fenster-U-Wert von 0,8 W/m²K führen. Die Annahme des Anstiegs des g-Werts der im Mittel verwendeten Verglasungen gilt auch in diesem Szenario (von 2020 bis 2050 in 10-Jahres-Schritten auf 0,55, gegenüber dem heutigen im Mittel vorzufindenden g-Wert von 0,52).

Tabelle 22:
Übersicht über die mittleren Kennwerte der Gebäudehülle nach Durchführung der Sanierungsmaßnahmen für die einzelnen Zeitspannen für Szenario 1 (technologiegebunden).

Energetische Qualität nach Sanierung	Mittlere Kennwerte der Gebäude ¹⁾ (EFH/MFH) nach Sanierung		Ansätze für die sanierten Bauteile			
			EnEV2009	EnEV-50 %		
	2010 - 2020	2021 - 2050	2010-2014	2015-2020	2021-2030	2031-2050
U-Wert [W/m ² K] bzw. g-Wert [-] der Bauteile sowie ΔU_{WB} [W/m ² K] und n [-]						
Außenwand	0,197/0,199	0,13	0,28	0,13		
Dach/OGD	0,145/0,146	0,10	0,20	0,10		
Kellerdecke/BP	0,240/0,243	0,15	0,35	0,15		
Fenster (U)	1,137	0,832	1,3	1,0	0,9	0,8
Fenster (g)	0,579	0,54	0,65	0,52	0,53	0,545
Wärmebrücken-zuschlag ΔU_{WB}	0,050	0,035	0,05	0,05	0,05	0,03
Luftwechselrate n	0,600	0,566	0,6	0,6	0,6	0,55

¹⁾ Die Mittelwerte sind abhängig von der Menge der im jeweiligen Zeitraum sanierten Gebäude. Hier gibt es geringe Unterschiede bezüglich des Gebäudetyps EFH oder MFH, so dass für den Zeitraum 2010-2020 beide Werte dargestellt sind, getrennt durch einen Schrägstrich.

Wie in 4.7 beschrieben ist der Heizkessel der maßgebliche Wärmeerzeuger im Wohngebäudebestand. Die Sanierung der Anlagentechnik entspricht daher, im Rahmen der vereinfachten Betrachtung, dem Ersatz des bestehenden (veralteten) Heizkessels. Der Austausch des Kessels durch einen neueren effizienteren Kessel (mit gleichem Energieträger) steht nach wie vor im Vordergrund. Es wird jedoch angenommen, dass der Ersatz durch alternative Heizsysteme an Bedeutung gewinnt. Entsprechend der zu erwartenden technologischen Verschiebungen nach Variante 2 (Trendverschärfung). Die ansteigenden Ersatz-Raten (EFH: 20 % auf 35 %, MFH: 15 % auf 30 %) und deren Zusammensetzung sind in Tabelle 17 und in Tabelle 18 dargestellt.

Bei Kessel-Austausch wird davon ausgegangen, dass zu jeder Zeit ein Brennwert-Kessel zum Einsatz kommt, nach 2020 nur noch verbesserte Brennwertkessel. Als bedingte Zusatzmaßnahmen, d.h. bei Kesseltausch stets notwendig, werden zudem gefordert:

- Dämmung der Verteilleitungen im Keller
- Neue Pumpen (bedarfsausgelegt, geregelt)
- Hydraulischer Abgleich
- Thermostat-Austausch (1K) in Altbauten (bis BJ 1978)
- MFH: Einsatz von Frischwasserstationen bei zentraler Warmwasserversorgung
- Thermische Solaranlage für Warmwasser und Heizungsunterstützung (Neuinstallation oder Nachrüstung; doppelte Größe nach EEWärmeG)

5.5. Technologieoffener Fahrplan (Szenario 2)

Dem technologiegebundenen Fahrplan nach 5.4 soll der im folgenden beschriebene technologieoffene Fahrplan gegenübergestellt werden. Beide sollen die im Energiekonzept formulierte Reduktion des Primärenergiebedarfs im Wohngebäudebestand um 80 % erreichen. Technologieoffene Anforderungen sind üblicherweise Vorgaben eines bestimmten Ziels ohne Festlegungen des hierfür einzuschlagenden Wegs. D.h. Art und Weise (sowie Zeitpunkt) der gewählten Maßnahmen bleiben offen. Im Rahmen der Energieeinsparung durch Sanierungsmaßnahmen sind in diesem Zusammenhang zwei grundsätzliche Formulierungen denkbar. Einerseits in Form von zu erreichenden energetischen Bedarfs- bzw. Verbrauchswerten. Andererseits durch Vorgabe prozentualer Reduktionsgrößen gegenüber einem Bezugswert. In beiden Fällen, zu erreichen bis zu bestimmten Zeitpunkten.

Eine solche, völlig offene Formulierung ist im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch nicht möglich. Denn zur Betrachtung des Gesamtbestands aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht sind konkrete Maßnahmenpakete notwendig. Nur so können die formulierten Fahrpläne im Rechenmodell abgebildet werden, so dass Bewertung und Vergleich möglich sind. Infolge des vereinfachten Modells ist es notwendig, eine Formulierung in Abhängigkeit von Sanierungszyklen und Qualitätsstufen für die drei Teilbereiche Opake Hülle, Fenster und Technik zu generieren. Zur besseren Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Szenarien ist es zudem vorteilhaft, wenn grundsätzlich gleichartige bzw. ähnliche Maßnahmenpakete umgesetzt werden, die sich nur in einzelnen Aspekten unterscheiden (z. B. Umfang, Qualität oder Ausführungszeitpunkt).

Aufgrund der soeben beschriebenen Problematik wird zur Umsetzung des technologieoffenen Fahrplans der im Folgenden beschriebene konkrete Ansatz anhand von Sanierungszyklen und Qualitäten definiert. Die Sanierungszyklen werden wiederum in Abhängigkeit der Lebensdauer gewählt. Dieser Grundsatz der Kombination von ohnehin notwendigen Maßnahmen (sog. Sowieso-Maßnahmen) mit energetischen Sanierungen, entspricht dem Prinzip der Technologieoffenheit. Eine Besonderheit ist das Abwägen bzw. die doppelte Abhängigkeit des Installationszeitpunkts der Solaranlage von Kesseltausch und Dachsanierung. Die Notwendigkeit einer Solaranlage bei fossilen Heizkesseln, jedoch nur zur Warmwassererwärmung, ergibt sich durch das primärenergetische Gesamtziel. Die Installation bei Kesseltausch ist jedoch nur sinnvoll, wenn die Dachsanierung bereits stattgefunden hat, da hier sonst zusätzliche Arbeiten notwendig werden. Ist dies nicht der Fall wird die technologieoffene Gestaltung des Fahrplans dazu führen, dass die Installation der Solaranlage erst bei der Sanierung des Daches erfolgen wird. Bei Annahme der Existenz eines sinnvollen individuellen Gesamtsanierungsplans, ebenfalls infolge der Technologieoffenheit, kann gleichzeitig davon ausgegangen werden, dass die solarthermische Nachrüstung bei Kesseltausch bereits berücksichtigt und vorbereitet wird.

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der beiden Szenarien 1 und 2 werden zur Definition grundsätzlich gleichartige bzw. ähnliche Maßnahmen gewählt. Auch die Sanierungszyklen, die sich in allen Szenarien an den Lebensdauern der Bauteile orientieren sind nahezu identisch. Im technologieoffenen Fahrplan existieren jedoch keinerlei zusätzliche Anforderungen, die die Zyklen verschieben. Diese Gleichartigkeit macht deutlich, dass grundsätzlich etwa die gleiche Menge an Maßnahmen durchzuführen ist, um das angestrebte Ziel erreichen zu können. Insbesondere ist in beiden Szenarien zu gewährleisten, dass alle bisher ungedämmten Gebäude(teile) energetisch saniert werden, die älter als 50 Jahre sind.

Sanierungszyklen

Opake Hülle	50 Jahre + alle Gebäude(teile) älter als 50 Der energetische Sanierungsanteil muss für alle Bauteile der Hüllfläche 100 % betragen. Für besondere Bauarten werden jedoch angepasste Ziele formuliert.
Fenster	36 Jahre (bei Einsatz einer 3-Scheiben-Verlglasung wird auch der Rahmen ersetzt)
Anlagentechnik	30 Jahre (Hauptkomponenten: Kessel, Solaranlage)

Qualität der Sanierungsmaßnahmen

Auch für den technologieoffenen Fahrplan wird angenommen, dass bis 2014 keine Änderungen der bisherigen Trends zu erwarten sind. D.h. auch in Szenario 2 weisen bis 2014 alle Sanierungsmaßnahmen die gleichen Qualitäten und Zusatzmaßnahmen auf wie in Szenario 0 und 1.

Zur Zielerreichung ist insgesamt ein hohes Sanierungsniveau notwendig. Im Zuge der grundsätzlich erfolgenden Weiterentwicklungen durch technischen Fortschritt und Marktprozesse, werden analog zu dieser anzunehmenden Qualitätssteigerung, schrittweise ansteigende Anforderungen formuliert. Die letzte Stufe, die im Modell ab 2031 eintritt, wird mit den Spitzenanforderungen des technologiegebundenen Szenarios gleich gesetzt. Bis dahin wird die in Tabelle 23 dargestellte Steigerung angenommen.

Im Gegensatz zum technologiegebundenen Fahrplan, werden im technologieoffenen Besonderheiten der Bauweise berücksichtigt. Aufgrund der durchgeführten Vereinfachungen wird im Modell nur die Bauart „Klinkerwand“ berücksichtigt. Für diese Außenwände wird ein geringerer Dämmstandard gefordert bzw. angesetzt, vereinfacht der gleiche Wert für den gesamten Betrachtungszeitraum.

Tabelle 23:
Übersicht über die mittleren Kennwerte der Bauteile der Gebäudehülle nach Durchführung der Sanierungsmaßnahmen für die einzelnen Zeitspannen für Szenario 2 (Technologieoffener Fahrplan).

Energetische Qualität nach Sanierung	Mittlere Kennwerte der Gebäude ¹⁾ (EFH/MFH) nach Sanierung		Ansätze für die sanierten Bauteile			
			EnEV2009	EnEV-30 %	EnEV-40 %	EnEV-50 %
	2010 - 2020	2021 - 2050	2010-2014	2015-2020	2021-2030	2031-2050
U-Wert [W/m ² K] bzw. g-Wert [-] der Bauteile sowie ΔU_{WB} [W/m ² K] und n [-]						
Außenwand	0,249/0,250	0,180/0,173	0,28	0,20/0,28 ²⁾	0,16/0,28 ²⁾	0,13/0,28 ²⁾
Dach/OGD	0,167/0,168	0,105	0,20	0,14	0,12	0,10
Kellerdecke/BP	0,295/0,296	0,162	0,35	0,25	0,20	0,15
Fenster (U)	1,191	0,832/0,833	1,3	1,1	0,9	0,8
Fenster (g)	0,615	0,54	0,65	0,585	0,53	0,545
Wärmebrücken-zuschlag ΔU_{WB}	0,050	0,035	0,05	0,05	0,05	0,03
Luftwechselrate n	0,600	0,566	0,6	0,6	0,6	0,55

¹⁾ Die Mittelwerte sind abhängig von der Menge der im jeweiligen Zeitraum sanierten Gebäude, Bauteilflächen und Klinkerwand-Anteile. Hier gibt es Unterschiede zwischen den Gebäudetypen EFH und MFH, so dass ggf. beide Werte dargestellt sind, getrennt durch einen Schrägstrich.

²⁾ An die spezielle Bauart „Klinker“ werden im technologieoffenen Fahrplan geringere Anforderungen gestellt als an die sonstigen Wandbauarten.

Für die Qualität der Fenster wird in beiden Szenarien von einer grundsätzlich gleichartigen Entwicklung ausgegangen, wobei im technologieoffenen Szenario bis 2020 noch teilweise 2-Scheiben-Verglasungen zum Einsatz kommen.

Im Rahmen des vereinfachten Modells wird wiederum nur die im Wohnungsbau maßgebliche Wärmeerzeugung mit fossilen Heizkesseln betrachtet. Im Zuge der Sanierung werden diese überwiegend durch neue Kessel ersetzt. Auch der Ersatz durch alternative Heizsysteme spielt eine Rolle. Analog zu Szenario 1 werden hier die Randbedingungen nach Variante 2 (Trendverschärfung) angesetzt, mit ansteigenden Ersatz-Raten. (vgl. Tabelle 17 und Tabelle 18)

Es wird davon ausgegangen, dass bei Kessel-Austausch zu jeder Zeit ein Brennwert-Kessel zum Einsatz kommt, ab 2021 nur mehr verbesserte Brennwertkessel. Als bedingte Zusatzmaßnahmen, d.h. bei Kesseltausch stets notwendig, werden zudem umgesetzt:

- Dämmung der Verteilleitungen im Keller
- Neue Pumpen (bedarfsausgelegt, geregelt)
- Hydraulischer Abgleich
- Thermostat-Austausch (1K)
- MFH: Einsatz von Frischwasserstationen bei zentraler Warmwasserversorgung

EFH: Minimierung der Zirkulationslaufzeit
(Abschaltung der Zirkulation oder intelligente Steuerung)

Wie bereits erwähnt nimmt die thermische Solaranlage in diesem Fahrplan eine besondere Rolle ein, da eine individuell sinnvolle Bestimmung des Installationszeitpunkts möglich ist. Zudem ist sie nur zur Warmwassererzeugung vorgesehen, entgegen der Vorgaben im technologiegebundenen Fahrplan. Somit ist eine geringere Fläche an Solarpaneelen ausreichend. Die Größe der Solaranlage wird vereinfacht nach den Kennzahlen des EEWärmeG [41] bestimmt. Die Installation einer neuen Anlage erfolgt entweder bei Kesseltausch oder bei Dachsanierung, je nachdem welcher Zeitpunkt hierfür sinnvollerweise ausschlaggebend ist, da er nach dem anderen eintritt. Durch diese Vorgehensweise können aufwändige Mehrarbeiten vermieden werden. Grundsätzlich ist hier auch die Berücksichtigung anderer individueller Randbedingungen möglich, z. B. finanzieller Art, die jedoch nicht abgebildet werden können. Sinnvollerweise werden notwendige vorbereitende Maßnahmen, wenn möglich, bei der entsprechenden zuerst ausgeführten Maßnahme durchgeführt.

6. Prognosen der Entwicklung bis 2050

Für die drei in Abschnitt 5 beschriebenen Szenarien werden mit Hilfe des in 4 erläuterten Modells Hochrechnungen durchgeführt, die eine Prognose der Entwicklung des Energiebedarfs zur Wärmeerzeugung im Wohngebäudebestand von 2010 bis 2050 ermöglichen. Berücksichtigt werden Heizwärme und Warmwasserbereitung. Neben den Primärenergie-Werten, die insbesondere in der politischen Diskussion eine Rolle spielen und für die im Energiekonzept Zielwerte formuliert sind, werden auch End- und Nutzenergie betrachtet.

In den folgenden Abschnitten werden die ermittelten Hochrechnungsergebnisse dargestellt und kurz diskutiert. Zunächst werden die Ergebniswerte definiert, die Art der Darstellung erläutert und Hinweise zu Zusammenhängen geliefert.

6.1. Ergebnisse - Definitionen und Hinweise

Wie bereits erläutert, sind zur Durchführung einer rund 40 Jahre in die Zukunft blickenden Prognose einerseits zahlreiche Annahmen notwendig und andererseits müssen einige Vereinfachungen durchgeführt werden. Hierbei ist stets ein angemessenes Maß zu finden, wobei gleichzeitig geeignete Stellschrauben integriert werden müssen, die die Betrachtung unterschiedlicher Szenarien ermöglicht. Die Details zu diesen Punkten, die sich teilweise gegenseitig beeinflussen, sind in den vorangegangenen Abschnitten erläutert. Hieraus entstehen Unsicherheiten, die weder vermieden noch genauer verifiziert werden können. Dies ist bei Betrachtung der Ergebnisse stets zu berücksichtigen. Im Rahmen des Projekts entsteht hieraus die klare Zielsetzung der Darstellung von Trends, der Abschätzung von Größenordnungen sowie des Vergleichs der Szenarien untereinander.

Zum besseren Verständnis der Ergebnisse und als Grundlage für weiterführende Interpretationen sollen zum einen die dargestellten Energien (Nutz-, End- und Primärenergie) kurz erläutert werden und zum anderen auf einige Annahmen näher eingegangen werden, die sich auf deren Verhältnis untereinander auswirken. In diesem Zusammenhang kann von (im Ergebnis) „sichtbaren“ Unsicherheiten der Prognose gesprochen werden. Diesen stehen die im Rechenmodell „versteckten“ Unsicherheiten gegenüber, die sich v.a. auf Nutz- und Endenergie auswirken.

Im Rahmen der energetischen Betrachtung von Gebäuden sind die im folgenden erläuterten Energiebedarfe von Bedeutung, die u.a. in den maßgeblichen Normen definiert werden. In den dort angegebenen Rechenverfahren sind sie stets als End- oder Zwischenergebnis enthalten. Dies zeigt, dass der Ausdruck (Energie-)Bedarf stets einen rechnerisch ermittelten Wert beschreibt, unter Anwendung bestimmter Rechenverfahren und bei entsprechenden Standard-Randbedingungen. Dem gegenüber steht der Energieverbrauch, der tatsächlich benötigt wird. Ein maßgeblicher Aspekt, der die beiden Formen unterscheidet ist das Nutzerverhalten.

Die folgenden Beschreibungen basieren auf Definitionen nach DIN V 18599 [16]. Dass Bedarfswerte stets rechnerisch ermittelt sind, wird nicht wiederholt genannt. In Gebäudezonen werden Räume zusammengefasst, die gleichartige Nutzung, Randbedingungen und Anforderungen aufweisen. Sie sind die „grundlegende Berechnungseinheit für die Energiebilanzierung“ [16].

Nutzenergie(bedarf):

Energiebedarf zur Erfüllung festgelegter Anforderungen innerhalb einer Gebäudezone, z. B. thermische Raumkonditionen oder Beleuchtungsqualität

Nutz- oder Heizwärmebedarf:

„Wärmebedarf, der zur Aufrechterhaltung der festgelegten thermischen Raumkonditionen innerhalb einer Gebäudezone während der Heizzeit benötigt wird“ [16].

Endenergie(bedarf):

Energiemenge, die der Anlagentechnik zugeführt werden muss, um die Deckung des Nutzenergiebedarfs zu gewährleisten (inkl. Hilfsenergien und Verluste aus Erzeugung, Verteilung und Übergabe)

Aus dieser Energiemenge ergeben sich folglich die Energiekosten.

Primärenergie(bedarf):

Energiemenge, die neben der für den Gebäudebetrieb notwendigen „auch die Energiemenge einbezieht, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen“ [16].

Die primärenergetische Betrachtung erfolgt über Multiplikation der Endenergie mit sog. Primärenergiefaktoren, die alle o.g. Aspekte in einem Wert vereinen. Sie setzen sich aus einem erneuerbaren und einem nicht erneuerbaren Anteil zusammen. Zur energetischen Bewertung wird üblicherweise nur der nicht erneuerbare Anteil betrachtet und vereinfacht als Primärenergiefaktor bezeichnet. Folglich können Primärenergiefaktoren kleiner als 1 sein. Holz weist z. B. einen Primärenergiefaktor von insgesamt 1,2 auf, wobei der „nicht erneuerbare Anteil“ (v.a. Förderung und Transport) 0,2 beträgt.

Zur Vorhersage der Entwicklung des Primärenergiebedarfs des gesamten Wohngebäudebestands bis 2050 sind daher, neben den im Rechenmodell ermittelten Nutz- und Endenergiewerten, die eingesetzten Energieträger bzw. deren Anteile und ihre Primärenergiefaktoren von besonderer Bedeutung. Für beide Aspekte werden zur Prognose Annahmen getroffen: Zum einen die Anteile der verschiedenen Wärmeerzeugungssysteme mit unterschiedlichen Energieträgern betreffend, insbesondere bei Ersatz des bisherigen Kessels; zum anderen die Entwicklung bestimmter Primärenergiefaktoren, wobei Strom eine besondere Rolle spielt. Die entsprechenden Zahlen und Erläuterungen sind in Abschnitt 4.7 und 0 zu finden. Änderungen dieser Annahmen würden sich fast ausschließlich auf den Primärenergiebedarf auswirken. Der Endenergiebedarf würde sich nur minimal verändern und der Nutzenergiebedarf bliebe gleich.

Infolge der eben beschriebenen Zusammenhänge wird es sich maßgeblich auf die bis 2050 erreichbare Primärenergieeinsparung auswirken, inwieweit die teilweise ebenfalls im Energiekonzept der Bundesregierung [1] beschriebenen Zielsetzungen zum vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien umgesetzt werden können. Insbesondere für Strom sind hier hohe Ziele gesetzt. Wie in 0 beschrieben, wird im Rahmen der Hochrechnung davon ausgegangen, dass diese Ziele innerhalb der angestrebten Zeiträume erreicht werden.

Dies widerspricht teilweise den sich momentan abzeichnenden schnelleren Reduktionen des Primärenergiefaktors für Strom bis 2020. Die Werte bewegen sich jedoch etwa in der gleichen Größenordnung und liegen zudem ‚auf der sicheren Seite‘. Insbesondere für den Zielwert 2050 sind diese zeitnahen Entwicklungen unbedeutend, da grundsätzlich vom gleichen Trend ausgegangen werden kann.

6.2. Ergebnisdarstellung

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt für alle drei Szenarien gleichartig. Der zeitliche Verlauf wird durch Jahreswerte angegeben, überwiegend in 10-Jahresschritten von 2010 bis 2050. Zusätzlich wird der Bezugswert von 2008 angegeben sowie ein Zwischenwert für die erste Spanne (2015), da hier noch von einer größeren Genauigkeit auszugehen ist.

Die energetische Beurteilung von Gebäuden erfolgt i.d.R. anhand von spezifischen flächenbezogenen Werten in kWh/m²a. Dies dient zur Gewährleistung

der Vergleichbarkeit und um das energetische Niveau des Gebäudes einzuschätzen. Folglich ist dieser Kennwert ein maßgebendes Ergebnis der Hochrechnungen und in den folgenden Tabellen stets enthalten. Neben diesem spezifischen auf die Wohnfläche bezogenen Energiebedarf ist auch der Absolutwert für den Wohngebäudebestand von Bedeutung, insbesondere da sich die Zielsetzung des Energiekonzepts der Bundesregierung darauf bezieht. Auch dieser Wert ist in allen nachfolgenden Ergebnistabellen angegeben (gerundet in Tera-Watt-Stunden TWh).

Die direkte Vergleichbarkeit der Absolutwerte ist durch die sich ändernde Gesamtwohnfläche kritisch zu betrachten. Zwischen 2008 und 2050 ergibt sich hier zwar nur eine geringe Änderung (ca. 2,4 %), zwischenzeitlich steigt die Wohnfläche jedoch deutlich an und übersteigt den Wert von 2008 zwischen 2020 und 2040 voraussichtlich stets um mind. 5 % (mit den angesetzten Randbedingungen: 2020: +5 %, 2030: +7 %, 2040: +6 % ggü. 2008). Trotz dieser Problematik beziehen sich alle in den Tabellen enthaltenen Angaben zur prozentualen Reduktion stets auf den gesamten Energiebedarf, aufgrund der o.g. Formulierung im Energiekonzept.

Zunächst wird die Entwicklung des Heizwärmebedarfs dargestellt, sowohl separat für die Typen EFH und MFH als auch für den Gesamtbestand. Dieser gibt Aufschluss über die energetische Qualität der Gebäudehülle und kann durch entsprechende Sanierungsmaßnahmen reduziert werden, z. B. Fenstertausch oder Dachdämmung. Die Ergebnisse in Anhang B1 zeigen hier auch die Unterschiede zwischen den zusammengefassten Baualtersklassen ‚Altbau‘ (bis 1978), ‚Jung-Bestand‘ (1979-2009) und ‚Neubau‘ (ab 2010) auf.

Es folgt die Darstellung von End- und Primärenergiebedarf, wobei alle Energieträger zusammengefasst werden. Die drei maßgebenden Komponenten für die Wärmeenergie in Wohngebäuden, Heizung, Warmwasser und Lüftung, werden separat dargestellt. Zudem wird die Summe der Werte angegeben, der gesamte Energiebedarf.

Neben den Energiebedarfswerten sind auch die Entwicklungen in der Wärmeerzeugung ein interessantes Ergebnis der Hochrechnungen. Zum einen ist insbesondere der Anteil an Gebäuden mit thermischer Solaranlage zur Warmwassererzeugung eine maßgebliche Kennzahl, auch da diese Technikkomponente als Stellschraube und Unterscheidungsmerkmal der Szenarien dient. Zum anderen ist die Entwicklung der Zusammensetzung von Wärmeerzeugern im Gesamtbestand eine aufschlussreiche Größe. Beide Ergebnisse werden separat tabellarisch dargestellt.

Die bisher genannten Aspekte können als Endergebnisse des Rechenmodells angesehen werden. In gleichem Maße von Bedeutung und ebenfalls durch Hochrechnung bestimmbar, ist die hierfür notwendige Sanierungsrate bzw. die Anzahl an Sanierungsmaßnahmen. Zur Ergebnis-Übersicht wird die Darstellung von Sanierungsraten gewählt, da dies ein weithin anerkannter Wert ist, wenn

auch nicht eindeutig definiert. Im Rahmen des Projekts erfolgt grundsätzlich folgende Definition, wobei Ausnahmen notwendig sind, die direkt in den entsprechenden Tabellen angegeben werden. Die Prozentangaben beziehen sich stets auf den Gesamtbestand des entsprechenden Zeitraums. Die Gebäudehülle betreffend wird der Anteil an Gebäuden angegeben, an welchen (theoretisch) alle genannten Maßnahmen durchgeführt werden. Hierbei spielt es für die gesamte Betrachtung letztlich keine Rolle, an welchem Gebäude dies genau geschieht und ob ein Gebäude vollständig oder 4 Gebäude zu je 25 % saniert werden. Die Anlagentechnik betreffend werden grundsätzlich nur Gebäude betrachtet, die einen Kessel aufweisen, dessen Lebenszyklus abgelaufen ist. Hier erfolgt entweder ein Kesseltausch oder das System wird ersetzt. In diesem Falle wird das neue System nicht noch einmal betrachtet. Ein neuer Kessel wird dagegen wiederum nach dem gleichen Sanierungszyklus ausgetauscht oder ersetzt. Angegeben wird sowohl die Gesamtrate der fälligen Kessel als auch der Anteil an Kessel-Tausch.

Die Angabe der hieraus resultierenden Anzahl an Sanierungsmaßnahmen bzw. zu sanierenden Gebäuden befindet sich für alle Szenarien in Anhang B2.

6.3. Prognose für das Basis-Szenario 0 (Leitlinien Bundesregierung)

Im Basis-Szenario 0 wird davon ausgegangen, dass sich die aktuellen Trends fortsetzen werden, mit entsprechenden Anpassungen und Entwicklungen infolge der zu erwartenden moderaten Verschärfungen der Anforderungen, aufgrund der bekanntgegebenen und erkennbaren Leitlinien der Bundesregierung. Zudem wird eine ebenfalls eher moderat ausfallende technologische Entwicklung angenommen, wiederum im Sinne einer Trendfortschreibung.

Die Hochrechnung mit dem entwickelten, vereinfachten Modell führt zu den in folgenden Abschnitten dargestellten Ergebnissen.

6.3.1. Sanierungsraten

Infolge der für Basis-Szenario 0 definierten Sanierungszyklen ergeben sich die in folgender Tabelle dargestellten Sanierungsraten. Entsprechend der angesetzten Randbedingungen handelt es sich bei der Sanierung der opaken Hülle in diesem Szenario nicht um eine vollständige energetische Sanierung, nur das Dach bzw. die oberste Geschossdecke wird stets energetisch saniert. Entsprechend der in 0 definierten Umsetzung der Trendfortschreibung wird für etwa 45 % der Außenwandfläche davon ausgegangen, dass keine nachträgliche Dämmung erfolgt. Analog wird nur für rund 33 % der unteren Gebäudeabschlüsse die Durchführung von Dämmmaßnahmen angesetzt.

Tabelle 24:
Resultierende Sanierungsraten infolge der angesetzten Zyklen und der sonstigen Definition von Szenario 0.

Sanierungsraten und -zyklen	San.-Zyklus	Energetische Sanierungsrate					
	[Jahre]	2010-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	Mittel 2021-50	Mittel Gesamt
Opake Hülle ¹⁾	55	0,9 %	1,0 %	1,4 %	1,1 %	1,2 %	1,1 %
Fenster	36	2,3 %	2,7 %	3,4 %	2,2 %	2,7 %	2,6 %
<i>Hülle Gesamt</i>		<i>1,3 %</i>	<i>1,1 %</i>	<i>1,2 %</i>	<i>1,6 %</i>	<i>1,2 %</i>	<i>1,3 %</i>
Kessel (Austausch+Ersatz)	30	2,2 %	4,1 %	2,2 %	1,9 %	2,7 %	2,6 %
<i>davon Kessel-Tausch</i>		<i>1,9 %</i>	<i>3,3 %</i>	<i>1,8 %</i>	<i>1,6 %</i>	<i>2,2 %</i>	<i>2,0 %</i>
„3-Maßnahmen-Mittelwert“		1,7 %	2,4 %	2,1 %	1,6 %	2,0 %	1,9 %

¹⁾ Energetische Sanierung: 100 % Dach, ca. 55 % Außenwand, ca. 33 % Kellerdecke/Bodenplatte
Sanierungsrate Hülle daher zur „3-Maßnahmen-Mittelwert“-Bestimmung mit Faktor 0,5 gewichtet

Es wird deutlich, dass sich die Sanierungsraten weiterhin in der Größenordnung von 1 % für die opake Hülle und 2-3 % für Fenster und Kessel bewegen, etwa wie aktuell üblich. Bei Ansatz gleichbleibender Sanierungszyklen, ergibt sich von 2021-2040 ein Anstieg gegenüber den Zeiträumen bis 2020 und ab 2041.

6.3.2. Entwicklung der Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung im Wohngebäudebestand wird sich bei Ansatz des Basis-Szenarios 0 von 2010 bis 2050 sichtbar verändern. Als Ursachen werden technische Entwicklungen eine Rolle spielen sowie verschärfte Anforderungen für den Neubau bezüglich des Einsatzes Erneuerbarer Energien

Unter den getroffenen Annahmen wird sich der Anteil an Gebäuden mit thermischer Solaranlage zur Warmwasserbereitung insgesamt etwa verdoppeln, wobei im Neubau eine leicht rückläufige Quote erwartet wird. Am Gesamtbestand wird der Anteil jedoch eher gering bleiben und nur rund 1/6 betragen. Die gesamte Prognose, getrennt nach Baualtersgruppen ‚Altbau‘, ‚Jung-Bestand‘ und ‚Neubau‘ sowie für den Gesamtbestand ist in Tabelle 25 zusammengefasst.

Tabelle 25:
Entwicklung des Anteils an Gebäuden mit thermischer Solaranlage zur Erzeugung von Trinkwarmwasser (TWW) in Szenario 0.

Gebäudeanteil mit Solaranlage für TWW	2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Altbau (bis BJ 1978)	5 %	5 %	6 %	8 %	10 %	11 %	12 %
Jung-Bestand (1979-2009)	10 %	10 %	11 %	13 %	17 %	20 %	21 %
Neubau (ab BJ 2010)	30 %	30 %	30 %	30 %	24 %	22 %	21 %
Gesamtbestand	7 %	7 %	8 %	11 %	13 %	15 %	16 %

Für die Zusammensetzung der Wärmeerzeugung ergibt sich die in folgender Tabelle dargestellte Entwicklung. Merklich ansteigen werden die Anteile an Wärmeerzeugung durch Nah- und Fernwärme inkl. Mini- und Mikro-BHKWs, durch Wärmepumpen und mit Holzpellet-Kesseln. Die Wärmeerzeugung mit Einzelöfen wird dagegen wohl keine Rolle mehr spielen ebenso die bereits veralteten Strom-Heizungen über Nachtspeicherung.

Tabelle 26:
Entwicklung der Zusammensetzung der Wärmeerzeugung im Gesamtbestand in Szenario 0.

Zusammensetzung Wärmeerzeugung	2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Nah-/Fernwärme, BHKW	wie 2010	6,6 %	7,5 %	8,8 %	12,4 %	15,2 %	18,1 %
Wärmepumpe (Strom)		1,7 %	3,0 %	4,7 %	8,3 %	10,1 %	11,4 %
Direkte Strom-Heizung		1,8 %	1,4 %	1,0 %	0,3 %	0,0 %	0,0 %
Holz/Kohle/Gas-Ofen		4,0 %	3,0 %	2,0 %	1,3 %	0,6 %	0,0 %
Holzpellet-Kessel		0,9 %	1,6 %	3,0 %	5,5 %	6,4 %	6,7 %
Öl-/Gas-Kessel		84,9 %	83,4 %	80,4 %	72,2 %	67,6 %	63,9 %

Im Basis-Szenario 0 wird der Heizkessel auch im Jahr 2050 der maßgebende Wärmeerzeuger im Wohnungsbau bleiben, mit einem Gesamt-Anteil von etwa 70 % (davon rund 7 % mit Biomasse (Holz) betrieben). Dies liegt insbesondere an seiner aktuellen Vormachtstellung, mit etwa 85 %. Auch wenn, wie erläutert, von einem steigenden Anteil an Biogas und Bioöl ausgegangen wird, ist die Grundlage dieser Prognose, dass die fossilen Brennstoffe auch in 40 Jahren noch ausreichend vorhanden sein werden.

Die Wärmeerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung wird an Bedeutung gewinnen, sowohl zur Fernwärme-Erzeugung als auch in Form von Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken (BHKWs). Eine Entwicklung, die einerseits politisch moti-

viert ist und sich andererseits bereits im Markt widerspiegelt. Insgesamt wird angenommen, dass sich der Anteil dieser Erzeugungsart etwa verdreifachen und 18 % des Wohngebäudebestands von 2050 versorgen wird. Auch der Aufschwung der Wärmepumpe wird voraussichtlich weiter anhalten, wobei dies nach wie vor überwiegend im Neubau von Bedeutung sein wird. Anteilig sind hier insgesamt die größten Änderungen bis 2050 zu erwarten. Von aktuell knapp 2 % kann mit einem Anstieg auf deutlich über 10 % gerechnet werden.

6.3.3. Entwicklung des Energiebedarfs

Folgende Entwicklungen der Energiebedarfswerte können für das Basis-Szenario 0 prognostiziert werden. Tabelle 27 zeigt den Rückgang des Heizwärmebedarfs, der direkt von der energetischen Qualität der Hülle abhängig ist, separat für die Gebäudetypen EFH und MFH sowie für den Gesamtbestand. In Tabelle 28 werden die end- und primärenergetischen Ergebnisse dargestellt, für Heizung, Warmwasser und Lüftung sowie insgesamt. In beiden Tabellen werden stets Jahreswerte angegeben, sowohl spezifische wohnflächenbezogene Werte in kWh/m²a (die leicht miteinander verglichen werden können) als auch absolute Gesamtwerte in TWh/a. Zudem wird die prozentuale Entwicklung des Absolutwerts gegenüber dem Bezugswert von 2008 angegeben.

Tabelle 27:
Entwicklung des Heizwärmebedarfs in Szenario 0.

Heizwärmebedarf (Nutzenergie)		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
EFH	[kWh/m ² a]	137,6	133,8	123,5	113,8	98,9	86,9	75,3
	[TWh/a]	276,9	271,9	256,7	240,7	212,8	185,3	155,1
MFH	[kWh/m ² a]	119,8	117,6	108,7	100,2	85,8	75,8	67,6
	[TWh/a]	166,3	164,6	155,6	146,1	127,3	111,4	96,0
Gesamtbestand	[kWh/m ² a]	130,4	127,2	117,4	108,2	93,5	82,3	72,1
	[TWh/a]	443,1	436,5	412,3	386,9	340,1	296,8	251,1
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-7 %	-13 %	-23 %	-33 %	-43 %

Tabelle 28:
Entwicklung des End- und Primärenergiebedarfs in Szenario 0.

End- und Primärenergiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	177,8	172,5	153,5	131,7	100,5	84,3	73,4
	[TWh/a]	604,4	591,9	538,9	470,7	365,5	303,9	255,6
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-11 %	-22 %	-40 %	-50 %	-58 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	200,2	194,0	170,2	141,0	99,6	77,8	62,4
	[TWh/a]	680,7	665,7	597,3	504,0	362,3	280,5	217,2
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-26 %	-47 %	-59 %	-68 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	40,8	40,3	38,6	36,2	34,0	32,9	31,6
	[TWh/a]	138,8	138,4	135,3	129,4	123,5	118,5	110,1
Reduktion ggü. 2008			0 %	-2 %	-7 %	-11 %	-15 %	-21 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	55,7	55,0	51,3	44,8	38,1	33,4	28,5
	[TWh/a]	189,4	188,9	180,1	160,0	138,5	120,4	99,3
Reduktion ggü. 2008			0 %	-5 %	-16 %	-27 %	-36 %	-48 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,00	0,02	0,03	0,14	0,29	0,47
	[GWh/a]		10	58	101	492	1.046	1.640
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,01	0,04	0,05	0,19	0,29	0,28
	[GWh/a]		26	139	191	689	1.046	984
Gesamt								
Endenergie	[kWh/m²a]	218,6	212,8	192,1	167,9	134,6	117,5	105,6
	[TWh/a]	743,2	730,3	674,3	600,2	489,5	423,5	367,4
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-9 %	-19 %	-34 %	-43 %	-51 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	255,9	249,0	221,5	185,8	137,9	111,5	91,2
	[TWh/a]	870,0	854,6	777,5	664,2	501,5	401,9	317,5
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-11 %	-24 %	-42 %	-54 %	-64 %

Es zeigt sich, dass bei Fortführung aktueller Trends und Entwicklungen das im Energiekonzept angestrebte Ziel einer Reduktion des Primärenergiebedarfs um 80 % nicht erreicht werden wird. Es kann lediglich mit Einsparungen von 60-65 % gerechnet werden. Unter den getroffenen Annahmen sind 10-15 % hiervon dem vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energien zuzuschreiben. Die Endenergie kann in diesem Szenario etwa halbiert werden, wobei die Heizenergie ein höheres Einsparpotential birgt als die Warmwassererzeugung.

Durch die energetischen Sanierungsmaßnahmen können Einsparungen im Heizwärmebedarf von 43 % erzielt werden. Hinzu kommen weitere 15-20 %

Einsparpotential durch Verbesserungen der Anlagentechnik, wodurch die Effizienz gesteigert und Verluste reduziert werden können. Der Bedarf an Warmwasser birgt per se kein Einsparpotential. Hier erfolgt die Energieeinsparung zu etwa 20 % durch Effizienzsteigerung der Technik und Reduktion der Verluste. Aus primärenergetischer Sicht können durch den vermehrten Einsatz von Solarthermie weitere 25 - 30 % eingespart werden.

6.3.4. Diskussion

Im Basis-Szenario wird der Versuch unternommen, die Pläne der Bundesregierung zur Umsetzung des Energiekonzepts im Wohngebäudebereich zu interpretieren und in Zahlen umzusetzen. Diese werden gemeinsam mit weiteren zu erwartenden Entwicklungen zur Prognose der Entwicklungen bis 2050 genutzt. Hierbei zeigt sich, dass das geplante Vorgehen nicht ausreichen wird, um die angestrebte Reduktion der Primärenergie um 80 % bis 2050 zu erreichen. Wenngleich ebenfalls deutlich wird, dass sich merkliche Einsparungen von 60-65 % auf diesem Weg einstellen können. Aufgrund der Tatsache, dass die ersten Einsparungen grundsätzlich leichter zu erreichen sind als die letzteren, v.a. bei prozentualer Betrachtung, ist dieses Ergebnis keinesfalls als entsprechend anteilige (75 %) Zielerreichung zu interpretieren. Diese Staffelung an erreichbarbarem Potential zeigt sich deutlich im Verlauf der jährlichen Einsparung bei nahezu gleichbleibendem Engagement. Bis 2020 werden jährlich 2 % Primärenergie eingespart (gegenüber 2008). Dieser Wert sinkt bis 2050 kontinuierlich, auf 1 % Einsparung pro Jahr im letzten Jahrzehnt.

Bei Annahme einer weiteren Trendfortschreibung würde es etwa bis 2075 dauern, bis die angestrebten 80 % Primärenergieeinsparung erreicht würden. Mit zusätzlichen 25 Jahren gegenüber der bisherigen Zeitspanne von 42 Jahren (2008 – 2050) wären also weitere 60 % der zunächst eingeräumten Zeit notwendig. Insgesamt können die im Szenario erreichten 60-65 % Primärenergieeinsparung folglich als 60-65 % Zielerreichung interpretiert werden.

6.4. Prognose für Szenario 1 (technologiegebunden)

In Szenario 1 wird die Umsetzung eines technologiegebundenen Fahrplans mit konkreten technologischen und zeitgebundenen Vorgaben angenommen. Hierbei wird von deutlichen, teilweise sprunghaften Verschärfungen der Anforderungen ausgegangen, inklusive der hierbei zu erwartenden technologischen Entwicklungen. Die Hochrechnung zur Abbildung dieses Szenarios mit dem entwickelten, vereinfachten Modell führt zu den in folgenden Abschnitten dargestellten Ergebnissen.

6.4.1. Sanierungsraten

Durch die für Szenario 1 definierten Sanierungszyklen und die zusätzlichen Zeitvorgaben ergeben sich die in folgender Tabelle dargestellten Sanierungsraten. Infolge der Definition des technologiegebundenen Fahrplans, entspricht

die Sanierung der Hülle stets einer kompletten energetischen Sanierung mit hohem Dämmniveau, unabhängig von der Bauart.

Tabelle 29:
Resultierende Sanierungsraten infolge der angesetzten Zyklen und der sonstigen Definition von Szenario 1.

Sanierungsraten und -zyklen	San.- Zyklus	Energetische Sanierungsrate					
	[Jahre]	2010-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	Mittel 2021-50	Mittel Gesamt
Opake Hülle	50	1,2 %	1,2 %	1,3 %	1,7 %	1,4 %	1,3 %
Fenster	36	2,3 %	2,7 %	5,3 %	0,3 %	2,7 %	2,6 %
<i>Hülle Gesamt</i>		1,3 %	1,3 %	1,3 %	1,7 %	1,6 %	1,5 %
Kessel (Austausch+Ersatz)	30	2,2 %	4,8 %	1,4 %	1,9 %	2,7 %	2,6 %
<i>davon Kessel-Tausch</i>		1,9 %	3,7 %	1,0 %	1,3 %	2,0 %	2,0 %
„3-Maßnahmen-Mittelwert“		1,9 %	2,9 %	2,7 %	1,3 %	2,3 %	2,2 %

Die Sanierungsrate der opaken Hülle steigt in diesem Szenario kontinuierlich an und liegt im Mittel deutlich über der Rate des Basis-Szenarios, v.a. wenn berücksichtigt wird, dass es sich nun stets um eine vollständige energetische Sanierung handelt. Die Fenster-Austausch-Rate weist infolge der Zusatzanforderung zwischen 2031 und 2040 eine enorme Spitze auf, mit einem rund doppelt so hohen Wert wie in den Vorjahren. Ab 2041 besteht infolgedessen kaum mehr Handlungsbedarf, was durch die minimale Sanierungsrate von 0,3 % deutlich wird. Ebenso führt die geforderte Gewährleistung des alleinigen Einsatzes von Brennwertechnik im Kesselbestand bis 2025 zur Verdoppelung der mittleren Sanierungsrate von 2021 bis 2030 gegenüber dem Vorjahreszeitraum. In den verbleibenden 20 Jahren bis 2050 zeigen sich daraufhin die Auswirkungen des erzwungenen Austauschs der Technik vor Erreichen der Lebensdauer, indem sich die Raten in diesen Zeitspannen extrem verkleinern (wenngleich weniger stark als die der Fenster). Auch die erhöhte technologische Entwicklung gegenüber dem Basis-Szenario wird deutlich, durch die abnehmenden Anteile des Kessel-Tausches. Insgesamt werden rund 75 % der bestehenden Heizkessel ausgetauscht (durch neue Kessel mit Brennwertechnik) und 25 % durch andere zukunftsfähige Systeme ersetzt.

6.4.2. Entwicklung der Wärmeerzeugung

Die Zusammensetzung der Wärmeerzeugung im Wohngebäudebestand wird sich aufgrund der angenommenen verstärkten technologischen Entwicklung und infolge verschärfter Anforderungen an Neubau und Sanierung bis 2050 enorm verändern, insbesondere den Einsatz erneuerbarer Energien betreffend. Dieser Aspekt zeigt sich besonders deutlich am schnell steigenden Anteil an Gebäuden mit thermischer Solaranlage zur Warmwasserbereitung. Dieser wird

insgesamt um etwa das 8-fache ansteigen und bis 2050 knapp 58 % betragen. Der größte Anstieg, um ein 12-faches, wird sich am Altbau-Bestand einstellen, wo 2050 60 % mit Solarthermie-Anlagen belegt sein werden, gegenüber einem Anteil von 5 % zu Prognosebeginn. Auffällig ist der Rückgang zwischen 2040 und 2050, durch Rückbauten in Folge der zunächst erfolgten bedingten Zwangs-Installation einer Solaranlage bei Kesseltausch, die bei nachfolgendem System-Wechsel nicht mehr ersetzt werden. Tabelle 30 zeigt die Daten der Prognose nach Szenario 1, getrennt nach Baualtersgruppen ‚Altbau‘, ‚Jung-Bestand‘ und ‚Neubau‘ sowie für den Gesamtbestand.

Tabelle 30:
Entwicklung des Anteils an Gebäuden mit thermischer Solaranlage zur Erzeugung von Trinkwarmwasser (TWW) und Heizungsunterstützung in Szenario 1.

Gebäudeanteil mit Solaranlage für TWW	2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Altbau (bis BJ 1978)	5 %	5 %	8 %	22 %	57 %	64 %	60 %
Jung-Bestand (1979-2009)	10 %	10 %	12 %	24 %	58 %	65 %	62 %
Neubau (ab BJ 2010)	30 %	30 %	30 %	30 %	34 %	36 %	38 %
Gesamtbestand	7 %	7 %	10 %	23 %	55 %	61 %	58 %

Für die Zusammensetzung der Wärmeerzeugung ergibt sich die in folgender Tabelle dargestellte Entwicklung, bis 2020 entsprechend der Werte nach Basis-Szenario 0. Analog zur Entwicklung dort, werden auch in Szenario 1 die Anteile an Wärmeerzeugung durch Nah- und Fernwärme inkl. Mini- und Mikro-BHKWs, durch Wärmepumpen und mit Holzpellet-Kesseln merklich ansteigen. Ebenso wird angenommen, dass die Wärmeerzeugung mit Einzelöfen bis 2050 keine Rolle mehr spielen wird, genauso wie Strom-Heizungen über Nachtspeicherung.

Tabelle 31:
Entwicklung der Zusammensetzung der Wärmeerzeugung im Gesamtbestand in Szenario 1.

Zusammensetzung Wärmeerzeugung	2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Nah-/Fernwärme, BHKW	wie 2010	6,6 %	7,5 %	8,8 %	14,1 %	17,0 %	21,6 %
Wärmepumpe (Strom)		1,7 %	3,0 %	4,7 %	9,4 %	11,1 %	12,7 %
Direkte Strom-Heizung		1,8 %	1,4 %	1,0 %	0,3 %	0,0 %	0,0 %
Holz/Kohle/Gas-Ofen		4,0 %	3,0 %	2,0 %	1,3 %	0,6 %	0,0 %
Holzpellet-Kessel		0,9 %	1,6 %	3,0 %	6,2 %	7,0 %	7,6 %
Öl-/Gas-Kessel		84,9 %	83,4 %	80,4 %	68,7 %	64,2 %	58,0 %

Auch in Szenario 1 wird der Heizkessel im Jahr 2050 der maßgebende Wärmeerzeuger im Wohnungsbau bleiben, jedoch mit einem deutlich reduzierten Gesamt-Anteil unter 60 %. Gegenüber seiner aktuellen Vormachtstellung mit etwa 85 % entspricht dies einem Rückgang um rund 30 %. Im Zusammenhang mit der Vorhersage, dass die fossilen Energieträger zur Neige gehen werden, scheint dies nicht nur realistisch sondern unumgänglich. Ein weiterer Rückgang kann vermutlich durch einen steigenden Anteil an Biogas und Bioöl verhindert werden, wie angesetzt und erläutert. In diesem Zusammenhang wird auch die Bedeutung des Holzpellet-Kessels steigen, insbesondere mit Bezug zum fossilen Kessel, von 1/85 in 2010 zu mehr als 1/7 in 2050.

Die Wärmeerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung wird noch mehr an Bedeutung gewinnen, als im Basis-Szenario 0, wiederum sowohl im Rahmen der Fernwärme-Erzeugung als auch in Form von Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken (BHKWs). Bis 2050 wird mit einem Anstieg dieses Erzeugungs-Anteils um rund 330 % gerechnet, auf knapp 22 %. Bezogen auf den dann erwarteten Anteil des Haupt-Wärmeerzeuger Öl-/Gas-Kessel entspricht dies 2050 mehr als 1/3. Dem aktuellen Aufschwung der Wärmepumpe wird in diesem Szenario ein noch größerer Einfluss beigemessen als im Basis-Fall, mit steigender Bedeutung im Bestandsbau. Gegenüber dem Anteil am Gesamtbestand 2010 von unter 2 % ergibt sich ein enormer Anstieg auf knapp 13 %, um das 7,5-fache.

6.4.3. Entwicklung des Energiebedarfs

Folgende Entwicklungen der Energiebedarfswerte können für Szenario 1 prognostiziert werden. Tabelle 32 zeigt den deutlichen Rückgang des Heizwärmebedarfs, der direkt von der energetischen Qualität der Hülle abhängig ist. Der Nutzenergiebedarf ist separat für die Gebäudetypen EFH und MFH sowie für den Gesamtbestand aufgezeigt. In Tabelle 33 werden, nur für den Gesamtbestand, die end- und primärenergetischen Ergebnisse dargestellt, separat für Heizung, Warmwasser und Lüftung sowie insgesamt.

Tabelle 32:
Entwicklung des Heizwärmebedarfs in Szenario 1.

Heizwärmebedarf (Nutzenergie)		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
EFH	[kWh/m ² a]	137,6	133,1	118,5	105,1	83,2	64,9	39,5
	[TWh/a]	276,9	270,5	246,2	222,4	179,0	138,4	81,4
MFH	[kWh/m ² a]	119,8	116,8	103,6	91,9	72,5	57,0	36,2
	[TWh/a]	166,3	163,5	148,4	134,0	107,5	83,8	51,4
Gesamtbestand	[kWh/m ² a]	130,4	126,5	112,4	99,7	78,8	61,7	38,1
	[TWh/a]	443,1	434,0	394,6	356,4	286,5	222,2	132,8
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-11 %	-20 %	-35 %	-50 %	-70 %

In beiden Tabellen werden stets Jahreswerte angegeben, sowohl spezifische flächenbezogene Werte in kWh/m²a (die leicht miteinander verglichen werden können) als auch absolute Gesamtwerte in TWh/a. Zudem wird die prozentuale Entwicklung des Absolutwerts gegenüber dem Bezugswert von 2008 angegeben.

Tabelle 33:
Entwicklung des End- und Primärenergiebedarfs in Szenario 1.

End- und Primärenergiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m ² a]	177,8	171,6	147,5	120,6	77,5	59,2	38,2
	[TWh/a]	604,4	588,7	517,8	431,0	281,7	213,5	132,8
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-14 %	-29 %	-53 %	-65 %	-78 %
Primärenergie	[kWh/m ² a]	200,2	192,9	163,3	128,5	71,6	50,1	28,5
	[TWh/a]	680,7	662,1	573,0	459,3	260,5	180,6	99,1
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-16 %	-33 %	-62 %	-73 %	-85 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m ² a]	40,8	40,2	38,2	34,2	28,4	27,0	26,3
	[TWh/a]	138,8	138,1	134,1	122,1	103,3	97,5	91,4
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-3 %	-12 %	-26 %	-30 %	-34 %
Primärenergie	[kWh/m ² a]	55,7	54,9	50,8	42,2	30,9	26,0	22,0
	[TWh/a]	189,4	188,5	178,3	150,9	112,3	93,7	76,4
Reduktion ggü. 2008			0 %	-6 %	-20 %	-41 %	-50 %	-60 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m ² a]		0,003	0,016	0,028	0,129	0,285	0,471
	[GWh/a]		10	58	101	469	1.029	1.639
Primärenergie	[kWh/m ² a]		0,008	0,040	0,053	0,181	0,285	0,283
	[GWh/a]		26	139	191	656	1.029	983
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m ² a]	218,6	211,8	185,8	154,8	106,0	86,6	64,9
	[TWh/a]	743,2	726,8	652,0	553,2	385,4	312,0	225,8
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-26 %	-48 %	-58 %	-70 %
Primärenergie	[kWh/m ² a]	255,9	247,9	214,1	170,8	102,7	76,4	50,7
	[TWh/a]	870,0	850,7	751,4	610,4	373,4	275,4	176,5
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-14 %	-30 %	-57 %	-68 %	-80 %

Wie angestrebt, wird bei Umsetzung des definierten technologiegebundenen Fahrplans in Szenario 1 das im Energiekonzept angestrebte Ziel einer Reduktion des Gesamtprimärenergiebedarfs um 80 % erreicht. Wie der Vergleich der end- und primärenergetischen Reduktionswerte zeigt, beträgt der Beitrag durch den

Einsatz von erneuerbaren Energien 10 %, denn die Endenergie wird um 70 % verringert. Durch die Vorgaben müssen bis 2050 in allen Gebäuden erneuerbare Energien zum Einsatz kommen, was bei bestehenden Heizkesseln über solare Warmwassererwärmung und Heizungsunterstützung umgesetzt wird. Dies führt zu der beim Warmwasser sichtbaren, enormen Differenz zwischen End- und Primärenergieeinsparung von 26 %. Unabhängig davon kann auch in diesem Szenario ein höheres Einsparpotential bezüglich der Heizenergie gehoben werden als bei der Warmwassererzeugung. Primärenergetisch betrachtet beträgt die Reduktion hier 85 %, deutlich mehr als die 60 % für Warmwasser.

Durch die energetischen Sanierungsmaßnahmen in Szenario 1 können Einsparungen im Heizwärmebedarf von etwa 70 % erzielt werden. Hinzu kommen weitere 8 % durch Verbesserungen der Anlagentechnik, wodurch die Effizienz gesteigert und Verluste reduziert werden können. Da der Bedarf an Warmwasser per se kein Einsparpotential birgt, erfolgt die Energieeinsparung hier überwiegend durch Effizienzsteigerung der Technik und Reduktion der Verluste. Zu diesem Zwecke kommen in Mehrfamilienhäusern Frischwasserstationen zum Einsatz, die die Zirkulationsverluste reduzieren. Insgesamt lassen sich so etwa 34 % an Endenergie einsparen.

6.4.4. Diskussion

In Szenario 1 wird der entwickelte technologiegebundene Fahrplan zur Sicherstellung der Zielerreichung (80 % Primärenergieeinsparung) durch technologische Vorgaben und Verpflichtungen umgesetzt. Mit Hilfe einer Hochrechnung anhand des Rechenmodells wird die Entwicklung des Energiebedarfs bis 2050 prognostiziert.

Hierbei wird deutlich, dass in allen energetisch relevanten Bereichen enorme Anstrengungen unternommen werden müssen, um das Ziel zu erreichen. So müssen alle unsanierten Bestandsgebäude bzw. Bauteile vollständig energetisch saniert werden, entgegen dem aktuell in der Praxis stattfindenden Fokus der Sanierung auf Fenster und Dach. Zudem sind weitere Maßnahmen bezüglich der Anlagentechnik notwendig, die über den Einsatz effizienter Wärmeerzeuger hinaus gehen. Dies schließt den aktiven Einsatz erneuerbarer Energien mit ein. Insgesamt ergibt sich eine mittlere Gesamt-Sanierungsrate von 2,2 %.

Die Vorgabe konkreter Zeitspannen zur Erfüllung bestimmter Maßnahmen erweist sich in diesem Zusammenhang als ungeeignet. Die hierdurch entstehenden Spitzen werden bei Betrachtung der Sanierungsraten (vgl. Tabelle 29) oder der zu sanierenden Gebäude (vgl. Anhang B2) deutlich. Es zeigt sich zudem, dass diese stets eine „Flaute“ mit extrem niedrigen Sanierungsmaßnahmen nach sich ziehen. Die so entstehende Diskontinuität wirkt sich im Grunde nur ungünstig auf Baupraxis und Wirtschaftlichkeit aus, ohne das Endergebnis 2050 zu beeinflussen. Auch die so zusätzlich erreichbaren Energieeinsparungen zu früheren Zeitpunkten sind eher gering.

Die Ergebnisse zeigen zudem, dass der Einfluss effizienter Techniken sich scheinbar geringer auswirkt, je niedriger der Energiebedarf ist. Die Heizenergie betreffend ist hier beispielsweise „nur“ mehr ein Einfluss von 10 % sichtbar, gegenüber den im Basis-Szenario zu erkennenden 25 %. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Technik hier nicht wirkungsvoll ist. Stattdessen wird deutlich, dass die „letzten einzusparenden Prozente“ die schwierigsten sind. Das heißt gleichzeitig, dass es unbedingt notwendig ist, alle Energieeinsparpotentiale zu erkennen und zu nutzen, um das angestrebte hohe Ziel erreichen zu können. Im gleichen Zug scheint die immer wieder erkennbare Meinung in Frage gestellt, dass zur Primärenergieeinsparung von 80 % eine 50 %-ige Endenergieeinsparung ausreichend sei und der Rest über Technik und den Einsatz erneuerbarer Energien gelöst werden könne.

6.5. Prognose für Szenario 2 (technologieoffen)

In Szenario 2 wird ein technologieoffener Fahrplan mit grundsätzlichen Zielvorgaben, ohne technologische Verpflichtungen oder zeitspezifische Angaben umgesetzt. Obwohl in diesem Fall von angepassten Individuallösungen auszugehen ist, wird ein grundsätzlich möglicher, sinnvoller Weg für alle Gebäude zugrunde gelegt, um die Hochrechnung am vereinfachten Rechenmodell zu ermöglichen. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Szenarien untereinander zu gewährleisten werden hierfür überwiegend gleichartige Maßnahmen angenommen, wie in den übrigen Szenarien. Die technologischen Entwicklungen werden nach Variante 2 (Technologieverschärfung) angesetzt, analog zu Szenario 1. Die ermittelten Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

6.5.1. Sanierungsraten

Durch die für Szenario 2 definierten Sanierungszyklen ergeben sich die in folgender Tabelle aufgezeigten Sanierungsraten. Die Sanierung der Hülle entspricht stets einer kompletten energetischen Sanierung, mit im Laufe der Zeit ansteigendem Dämmniveau. Für die besondere Bauart „zweischalige Klinker-Außenwand“, die insgesamt rund 30 % der Bestandsbauten betrifft, wird jedoch ein geringeres Dämmniveau gefordert.

Tabelle 34:
Resultierende Sanierungsraten infolge der angesetzten Zyklen und der sonstigen Definition von Szenario 2.

Sanierungsraten und -zyklen	San.-Zyklus	Energetische Sanierungsrate					
	[Jahre]	2010-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	Mittel 2021-50	Mittel Gesamt
Opake Hülle	50	1,2 %	1,2 %	1,3 %	1,7 %	1,4 %	1,3 %
Fenster	36	2,3 %	2,7 %	3,4 %	2,2 %	2,7 %	2,6 %
<i>Hülle Gesamt</i>		1,3 %	1,3 %	1,5 %	1,8 %	1,5 %	1,5 %
Kessel (Austausch+Ersatz)	30	2,2 %	4,1 %	2,2 %	1,9 %	2,7 %	2,6 %
<i>davon Kessel-Tausch</i>		1,9 %	3,1 %	1,6 %	1,3 %	2,0 %	2,0 %
„3-Maßnahmen-Mittelwert“		1,9 %	2,7 %	2,3 %	1,9 %	2,3 %	2,2 %

Infolge des Ansatzes gleicher Sanierungszyklen in Szenario 1 und 2 ergeben sich die gleichen mittleren Sanierungsraten, sowohl für die drei Komponentenbereiche als für den „3-Maßnahmen-Mittelwert“. Im Gegensatz zum technologiegebundenen Fahrplan, wo große Spitzen mit nachfolgenden extremen Abfällen auftreten, sind die Schwankungen zwischen den 10-Jahres-Zeiträumen hier mäßig. Die Rate der Hülle steigt kontinuierlich an, wohingegen Fenster und Anlagentechnik ein geringes Maximum in der Spanne 2031-2040 bzw. 2021-2030 aufweisen. Insgesamt entsteht hieraus ein mittleres Maßnahmen-Hoch in der Dekade 2021-2030, das vom Mittelwert jedoch nur mäßig abweicht.

Analog zu den gleichen Mittelwerten stellt sich in Szenario 2 zudem der gleiche Kessel-Austausch-Anteil dar, infolge des gleichartigen Ansatzes der technologischen Variante 2. Insgesamt werden wiederum rund 75 % der bestehenden Heizkessel ausgetauscht und 25 % durch andere zukunftsfähige Systeme ersetzt.

6.5.2. Entwicklung der Wärmeerzeugung

Aufgrund der bewussten Wahl gleichartiger grundsätzlicher Sanierungsmaßnahmen zur besseren Vergleichbarkeit der Szenarien und des gleichartigen Ansatzes technologischer Entwicklungen nach Variante 2, wird sich in Szenario 2 bis 2050 nahezu die gleiche Zusammensetzung der Wärmeerzeugung einstellen wie in Szenario 1. Die geringen Unterschiede entstehen infolge der unterschiedlichen Sanierungsraten innerhalb der 10-Jahres-Spannen. Da in Szenario 1 mehr Kessel bis 2030 ausgetauscht werden, mit einer geringeren Ersatzrate durch andere Systeme als in den späteren Jahren, werden in Szenario 2 insgesamt etwas mehr Kessel ersetzt.

Tabelle 35 zeigt die Daten der Prognose nach Szenario 2, getrennt nach Baualtersgruppen ‚Altbau‘, ‚Jung-Bestand‘ und ‚Neubau‘ sowie für den Gesamtbe-

stand. Deutlich sichtbar ist der zunächst geringe Anstieg an Solaranlagen sowie die starke Zunahme in der letzten Dekade. Dies kann durch den fehlenden Zwang zur Installation einer Solaranlage bei Kesseltausch erklärt werden. Die hier gegebene Flexibilität ermöglicht es, weitere Randbedingungen zu berücksichtigen, um ggf. einen angemessenen späteren Installationszeitpunkt zu wählen. Dies kann am Beispiel der Dachsanierung gezeigt werden, wohingegen andere Einflüsse, z. B. finanzieller Art, die hier sicherlich eine Rolle spielen werden, im Modell nicht abgebildet werden können. Die entsprechenden Vorbereitungen und die angepasste Kesselwahl werden sinnvollerweise bei Kesseltausch bereits berücksichtigt, was angenommen wird. Die in Szenario 1 teilweise notwendig werdenden Rückbauten werden auf diesem Weg vermieden.

Tabelle 35:
Entwicklung des Anteils an Gebäuden mit thermischer Solaranlage zur (ausschließlichen) Erzeugung von Trinkwarmwasser (TWW) in Szenario 2.

Gebäudeanteil mit Solaranlage für TWW	2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Altbau (bis BJ 1978)	5 %	5 %	6 %	8 %	22 %	34 %	60 %
Jung-Bestand (1979-2009)	10 %	10 %	11 %	13 %	17 %	20 %	62 %
Neubau (ab BJ 2010)	30 %	30 %	30 %	30 %	34 %	36 %	38 %
Gesamtbestand	7 %	7 %	8 %	11 %	21 %	30 %	58 %

Für die Zusammensetzung der Wärmeerzeugung ergibt sich die in folgender Tabelle dargestellte Entwicklung. Bis 2020 entsprechen die Werte wiederum den Ergebnissen nach Basis-Szenario 0 und denen nach Szenario 1. Analog zu den dortigen Entwicklungen, werden auch in Szenario 2 die Anteile an Wärmeerzeugung durch Nah- und Fernwärme inkl. Mini- und Mikro-BHKWs, durch Wärmepumpen und mit Holzpellet-Kesseln merklich ansteigen und die Wärmeerzeugung mit Einzelöfen wird 2050 keine Rolle mehr spielen, genauso wie Strom-Nachtspeicher-Heizungen.

Tabelle 36:
Entwicklung der Zusammensetzung der Wärmeerzeugung im Gesamtbestand in Szenario 2.

Zusammensetzung Wärmeerzeugung	2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Nah-/Fernwärme, BHKW	wie 2010	6,6 %	7,5 %	8,8 %	13,4 %	17,4 %	22,0 %
Wärmepumpe (Strom)		1,7 %	3,0 %	4,7 %	8,9 %	11,1 %	12,7 %
Direkte Strom-Heizung		1,8 %	1,4 %	1,0 %	0,3 %	0,0 %	0,0 %
Holz/Kohle/Gas-Ofen		4,0 %	3,0 %	2,0 %	1,3 %	0,6 %	0,0 %
Holzpellet-Kessel		0,9 %	1,6 %	3,0 %	5,7 %	6,9 %	7,5 %
Öl-/Gas-Kessel		84,9 %	83,4 %	80,4 %	70,4 %	63,9 %	57,7 %

Wie bereits erläutert, entspricht die dargestellte Entwicklung nahezu der aus Szenario 1 (Tabelle 31). Der Heizkessel (mit Brennwerttechnik) bleibt trotz eines etwa 30 %igen Rückgangs mit knapp 60 % Gesamtanteil maßgebender Haupt-Wärmeerzeuger im Wohnungsbau. Unter den getroffenen Annahmen zur Umsetzung des Energiekonzepts wird die Wärmeerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung deutlich an Bedeutung gewinnen, auch in Form von Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken (BHKWs). Gemeinsam mit Nah- und Fernwärme werden diese Kleinstkraftwerke knapp ¼ der Wärme im Wohnungsbau erzeugen. Ebenso wird die Wärmepumpe weiter an Bedeutung zunehmen, und ihren aktuellen Anteil um mehrere 100 % erhöhen, auf knapp 13 %.

Die Unterschiede zu Szenario 1 zeigen sich im zeitlichen Verlauf der Entwicklung ab 2020, v.a. bis 2040. In Szenario 2 wird sich der Anteil an fossilen Heizkesseln etwas langsamer und minimal weiter reduzieren. Im Gegenzug wird der Anteil der an Bedeutung zunehmenden, alternativen Heizsysteme etwas langsamer ansteigen, wobei Wärmepumpen und Holzpellet-Kessel ab 2040 und weiter bis 2050 in beiden Szenarien eine gleich große Rolle spielen.

6.5.3. Entwicklung des Energiebedarfs

Folgende Entwicklungen der Energiebedarfswerte können für Szenario 2 prognostiziert werden. Tabelle 37 zeigt den deutlichen Rückgang des Heizwärmebedarfs, der direkt von der energetischen Qualität der Hülle abhängig ist. Der Nutzenergiebedarf ist separat für die Gebäudetypen EFH und MFH sowie für den Gesamtbestand aufgezeigt. In Tabelle 38 werden, nur für den Gesamtbestand, die end- und primärenergetischen Ergebnisse dargestellt, separat für Heizung, Warmwasser und Lüftung sowie insgesamt.

In beiden Tabellen werden stets Jahreswerte angegeben, sowohl spezifische wohnflächenbezogene Werte in kWh/m²a (die leicht miteinander verglichen werden können), als auch absolute Gesamtwerte in TWh/a. Zudem wird die prozentuale Entwicklung des Gesamtwerts gegenüber dem Bezugswert von 2008 angegeben.

Tabelle 37:
Entwicklung des Heizwärmebedarfs in Szenario 2.

Heizwärmebedarf (Nutzenergie)		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
EFH	[kWh/m ² a]	137,6	133,2	119,1	106,1	84,5	67,2	41,8
	[TWh/a]	276,9	270,7	247,4	224,5	181,8	143,3	86,1
MFH	[kWh/m ² a]	119,8	116,8	104,1	92,7	73,6	58,8	38,0
	[TWh/a]	166,3	163,6	149,1	135,2	109,2	86,5	54,0
Gesamtbestand	[kWh/m ² a]	130,4	126,5	113,0	100,7	80,0	63,8	40,2
	[TWh/a]	443,1	434,3	396,5	359,7	291,0	229,8	140,0
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-11 %	-19 %	-34 %	-48 %	-68 %

Tabelle 38:
Entwicklung des End- und Primärenergiebedarfs in Szenario 2.

End- und Primärenergiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	177,8	171,6	148,3	123,1	85,8	64,9	42,5
	[TWh/a]	604,4	589,0	520,7	440,1	312,0	234,0	148,1
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-14 %	-27 %	-48 %	-61 %	-75 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	200,2	193,0	164,1	131,2	80,2	54,8	31,7
	[TWh/a]	680,7	662,5	576,1	468,8	291,5	197,5	110,3
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-15 %	-31 %	-57 %	-71 %	-84 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	40,8	40,2	38,5	35,8	29,7	26,6	22,7
	[TWh/a]	138,8	138,1	135,0	127,9	108,0	96,0	79,1
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-3 %	-8 %	-22 %	-31 %	-43 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	55,7	54,9	51,1	44,0	32,0	25,6	18,8
	[TWh/a]	189,4	188,5	179,3	157,4	116,5	92,2	65,6
Reduktion ggü. 2008			0 %	-5 %	-17 %	-38 %	-51 %	-65 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,003	0,016	0,028	0,135	0,292	0,476
	[GWh]		10	58	101	492	1.052	1.657
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,008	0,040	0,053	0,189	0,292	0,286
	[GWh]		26	139	191	689	1.052	994
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m²a]	218,6	211,9	186,8	158,9	115,7	91,9	65,8
	[TWh/a]	743,2	727,1	655,7	568,1	420,5	331,1	228,9
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-24 %	-43 %	-55 %	-69 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	255,9	248,0	215,2	175,3	112,4	80,7	50,8
	[TWh/a]	870,0	851,0	755,5	626,4	408,7	290,7	176,9
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-13 %	-28 %	-53 %	-67 %	-80 %

Wie angestrebt, wird auch bei Umsetzung des definierten technologieoffenen Fahrplans, in Szenario 2, das im Energiekonzept angestrebte Ziel einer Reduktion des Gesamtprimärenergiebedarfs um 80 % erreicht. Wie der Vergleich der end- und primärenergetischen Reduktionswerte zeigt, beträgt der Beitrag durch den Einsatz erneuerbarer Energien 11 %, denn die Endenergie wird um 69 % verringert. Für die Warmwassererzeugung, die 2050 zu etwa 60 % über Solarthermie erfolgen wird, zeichnet sich hier ein wesentlich höherer Beitrag ab. Die Differenz zwischen End- und Primärenergieeinsparung beträgt dort 22 %. Wie in den beiden vorherigen Szenarien trägt die mögliche Heizenergieeinsparung auch in diesem Fall mehr zur gesamten Reduktion bei als die für Warmwasser.

Dies liegt wiederum auch daran, dass der zu deckende Bedarf an Warmwasser nicht reduziert werden kann, lediglich die entstehenden Verluste. Aus primär-energetischer Sicht beträgt die Reduktion hier 65 % und somit deutlich weniger als die 84 % infolge Heizwärme. In diesem Zusammenhang spielt es selbstverständlich auch eine Rolle, dass der Heizenergiebedarf grundsätzlich einen höheren Anteil am gesamten Wärmebedarf hat.

Durch die energetischen Sanierungsmaßnahmen können Einsparungen im Heizwärmebedarf von etwa 68 % erzielt werden. Hinzu kommen weitere 7 % durch Verbesserungen der Anlagentechnik (Effizienzsteigerung und Reduktion von Verlusten). Zur Warmwassererzeugung kommen in Mehrfamilienhäusern, ebenso wie in Szenario 1, Frischwasserstationen zum Einsatz. Zudem wird angenommen, dass auch in den Ein- und Zweifamilienhäusern die Zirkulationsverluste stark reduziert werden, indem entweder intelligente Regelungssysteme (z. B. Zeitschaltuhren) zum Einsatz kommen oder durch die Abschaltung der Zirkulation. Gegenüber Szenario 1, wo keine solchen Maßnahmen umgesetzt werden, lassen sich so insgesamt weitere fast 10 % Endenergie einsparen.

6.5.4. Diskussion

In Szenario 2 wird der entwickelte technologieoffene Fahrplan zur Sicherstellung der Zielerreichung (80 % Primärenergieeinsparung) ohne technologische Verpflichtungen umgesetzt. Mit Hilfe einer Hochrechnung anhand des Rechenmodells wird die Entwicklung des Energiebedarfs bis 2050 prognostiziert. Wie bereits erläutert, ergeben sich aufgrund der grundsätzlich ähnlichen Ansätze zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit insgesamt ähnliche Ergebnisse wie für Szenario 1. Infolgedessen lassen sich auch einige dort getroffene Schlussfolgerungen, beschrieben in 6.4.4, auf Szenario 2 übertragen. Dies betrifft die insgesamt notwendigen mittleren Sanierungsraten bis 2050 sowie die dabei zu gewährleistende energetische Sanierung aller bisher unsanierten Bauteile und Komponenten. Auch der scheinbar rückläufige Einfluss technischer Effizienz wird in beiden Szenarien gleichermaßen deutlich.

Ferner lassen die Ergebnisse die Schlussfolgerung zu, dass die konkrete Vorgabe von Zeiträumen oder -punkten zur Durchführung bestimmter Maßnahmen für das erreichbare Gesamtergebnis bedeutungslos und somit ungeeignet ist. Denn insgesamt lassen sich in beiden Szenarien mit den grundsätzlich gleichen Möglichkeiten, Randbedingungen und Maßnahmen Gesamtergebnisse in der gleichen Größenordnung erreichen.

6.6. Vergleich der Szenarien und resultierende Empfehlungen

Die folgende Tabelle zeigt einen Vergleich der unterschiedlichen (zeitlichen) Verläufe des gesamten Primärenergiebedarfs für die drei Szenarien. Angegeben sind die flächenspezifischen und absoluten Primärenergiebedarfe des gesamten Wohngebäudebestands sowie die prozentuale Reduktion gegenüber dem Bezugswert von 2008.

Tabelle 39:
Vergleichende Darstellung der Entwicklung des Primärenergiebedarfs für den gesamten Wohngebäudebestand nach den drei definierten Szenarien.

Entwicklung Primärenergie	2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Gesamtbedarf flächenspezifisch [kWh/m ² a]							
Szenario 0 (Trendfortführung)	255,9	249,0	221,5	185,8	137,9	111,5	91,2
Szenario 1 (technologiegebunden)		247,9	214,1	170,8	102,7	76,4	50,7
Szenario 2 (technologieoffen)		248,0	215,2	175,3	112,4	80,7	50,8
Gesamtbedarf absolut [TWh/a]							
Szenario 0 (Trendfortführung)	870,0	854,6	777,5	664,2	501,5	401,9	317,5
Szenario 1 (technologiegebunden)		850,7	751,4	610,4	373,4	275,4	176,5
Szenario 2 (technologieoffen)		851,0	755,5	626,4	408,7	290,7	176,9
Reduktion ggü. 2008							
Szenario 0 (Trendfortführung)		-2 %	-11 %	-24 %	-42 %	-54 %	-64 %
Szenario 1 (technologiegebunden)		-2 %	-14 %	-30 %	-57 %	-68 %	-80 %
Szenario 2 (technologieoffen)		-2 %	-13 %	-28 %	-53 %	-67 %	-80 %

Entsprechend der Zielsetzung werden in Szenario 1 und 2 Einsparungen von 80 % erreicht. In beiden Fällen ergibt sich bis 2050 ein spezifischer jährlicher Primärenergiebedarf von 51 kWh/m²a (Wohnfläche). Im Basis-Szenario 0 beträgt der 2050-Wert mit 91 kWh/m²a dagegen fast das Doppelte, obwohl eine Gesamteinsparung von mehr als 60 % erreicht wird. Dies zeigt wiederum, dass ein Vergleich der erreichten Einsparungen leicht zu einer Fehleinschätzung des genutzten Potentials führen kann.

Die graphische Darstellung in Bild 8 macht den direkten Vergleich der zeitlichen Verläufe deutlich. Im Basis-Szenario verläuft die Kurve insgesamt deutlich flacher und endet oberhalb der 300 TWh/a-Marke. Mit dem technologiegebundenen Fahrplan sinkt der Energiebedarf ab 2015 relativ steil ab, bevor der Verlauf ab 2030 deutlich flacher wird. Dies deutet auf ein Ungleichgewicht im Vorgehen hin. Im Vergleich hierzu wirkt die Verlaufskurve von Szenario 2 wesentlich gleichmäßiger, was auf einen konstanten und somit sinnvollen Ablauf hinweist. Insgesamt sind die Abweichungen der Kurven von Szenario 1 und 2 geringer als dies infolge der deutlichen Spitzen der Sanierungszyklen erwartet werden könnte.

Entwicklung Primärenergiebedarf

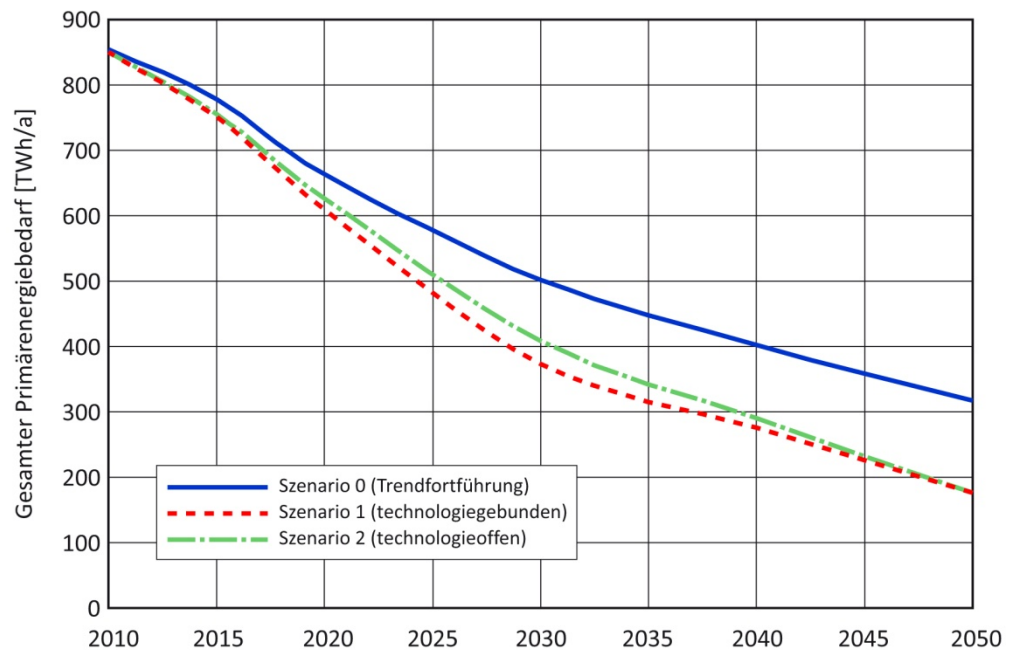


Bild 8:
Graphische Darstellung der Entwicklung des gesamten Primärenergiebedarfs für den jeweiligen Wohngebäudebestand.

Aus dem Vergleich der ermittelten Prognosen für die drei unterschiedlichen Szenarien lassen sich folgende Erkenntnisse ziehen. Zunächst wird deutlich, dass zur Erreichung des im Energiekonzept formulierten Ziels einer primärenergetischen Reduktion um 80 % insgesamt ein größerer energetischer Sanierungsaufwand zu betreiben ist, als sich bei Fortführung der auf Freiwilligkeit beruhenden aktuellen Vorgaben entwickeln wird. Die nachträgliche Dämmung aller bisher ungedämmten Bauteile ist erforderlich. Hierbei ist grundsätzlich ein hohes Niveau erforderlich. Die sprunghafte Einführung eines Top-Niveaus mit zwingenden Zeitvorgaben, wie in Szenario 1 umgesetzt, erweist sich jedoch als nicht notwendig. Stattdessen wird die Umsetzung eines hohen und stetig ansteigenden Qualitäts-Anstiegs empfohlen, analog zu Szenario 2. Dies entspricht der fortschreitenden technischen, baupraktischen und marktwirtschaftlichen Entwicklung und kann diese zugleich fördern und fordern. Außerdem ist es so möglich, besonderen Bauarten und Randbedingungen gerecht zu werden, wie die Berücksichtigung von Klinkerwänden zeigt.

Entwicklung Sanierungsrate

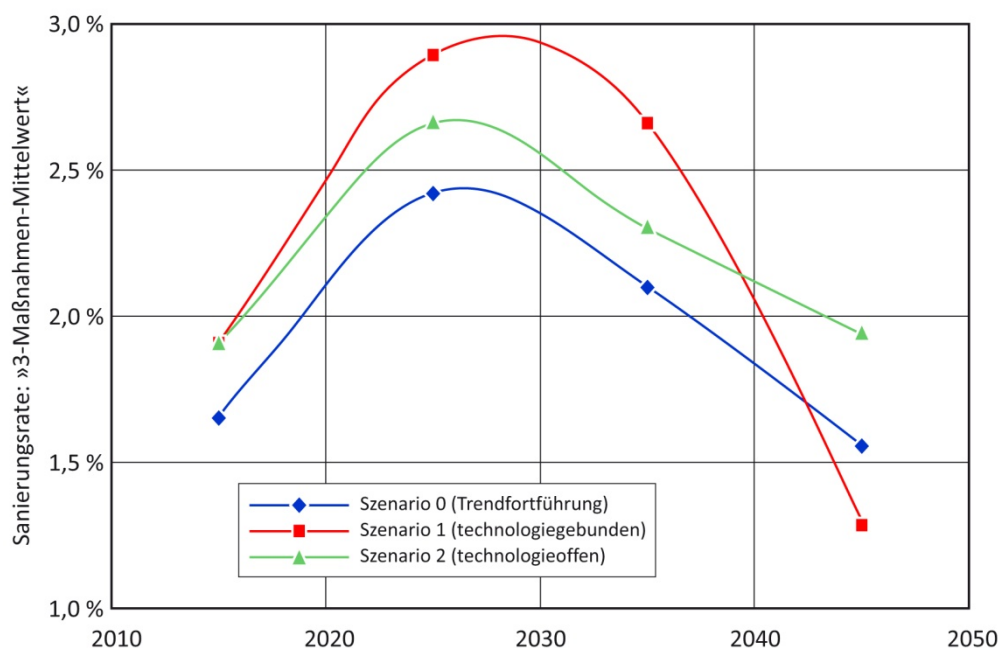


Bild 9:
Darstellung der mittleren 10-Jahres-Werte des vereinfachten „3-Maßnahmen-Mittelwerts“ der Sanierungsrate.

Die Darstellung der mittleren Sanierungsraten der drei Szenarien in Bild 9 veranschaulicht die Unterschiede in Umfang und Entwicklung der Sanierungsmaßnahmen. Vereinfacht sind die konstanten Kennzahlen der 10-Jahres-Spannen für den Mittelwert aus den Sanierungsraten der drei Maßnahmenbereiche „opake Hülle“, „Fenster“ und „Anlagentechnik“ als Punktwerte dargestellt. Zur Veranschaulichung der Tendenzen werden die Punkte mit Verlaufslinien verbunden. In allen drei Szenarien sind zwischen 2020 und 2030 die meisten Maßnahmen notwendig. Im technologiegebundenen Fahrplan ist dieser Spitzenwert jedoch am größten und bis 2040 bleibt hier ein sehr hohes Niveau erhalten, bevor dieses im letzten betrachteten Jahrzehnt rapide abnimmt. Hieraus entsteht eine enorme Diskontinuität im jährlichen Umsetzungsbedarf, die sich voraussichtlich in starken baupraktischen und wirtschaftlichen Engpässen auswirken wird. Zudem können die zukünftig auf allen Ebenen zu erwartenden, fortgeschrittenen Entwicklungen so kaum eine Wirkung entfalten, da der extreme Maßnahmenrückgang dem entgegenwirkt. Im Gegensatz hierzu weist der Kurvenverlauf von Szenario 2 deutlich geringere Unterschiede zwischen dem Maximal- und Minimalwert auf und bewegt sich wesentlich näher am beiden Kurven gemeinsamen Gesamtmittelwert von 2,2 %.

Ferner zeigt sich, dass es zur Erreichung des 80 %-Ziels notwendig ist, den Einsatz erneuerbarer Energien deutlich zu steigern. Im technologieoffenen Fahrplan wären hier grundsätzlich unterschiedliche Möglichkeiten denkbar. Zur besseren Vergleichbarkeit der Szenarien werden jedoch grundsätzlich gleichartige

Maßnahmen gewählt, konkret die Installation einer thermischen Solaranlage. Wie Tabelle 40 zeigt, ist es zur Zielerreichung notwendig, dass bis 2050 auf allen Gebäuden, deren Wärme mit einem fossilen Heizkessel erzeugt wird, eine Solaranlage installiert wird. Im Basis-Szenario ist dies infolge Trendfortschreibung und Freiwilligkeit dagegen nur für gut ¼ dieser Gebäude zu erwarten.

Tabelle 40:
Entwicklung der Anteile an Gebäuden mit thermischer Solaranlage und mit Heizkessel (fossil), sowie deren Beziehung zueinander.

Entwicklung Solaranlagen	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Anteil Gebäude mit Solaranlage						
Szenario 0 (Trendfortführung)	7 %	8 %	11 %	13 %	15 %	16 %
Szenario 1 (technologiegebunden)	7 %	10 %	23 %	55 %	61 %	58 %
Szenario 2 (technologieoffen)	7 %	8 %	11 %	23 %	33 %	58 %
Anteil Gebäude mit Heizkessel (fossil)						
Szenario 0 (Trendfortführung)	85 %	83 %	80 %	72 %	68 %	64 %
Szenario 1 (technologiegebunden)	85 %	83 %	80 %	69 %	64 %	58 %
Szenario 2 (technologieoffen)	85 %	83 %	80 %	70 %	64 %	58 %
Anteil Solaranlage am Heizkesselbestand						
Szenario 0 (Trendfortführung)	9 %	10 %	13 %	19 %	22 %	25 %
Szenario 1 (technologiegebunden)	9 %	12 %	29 %	81 %	95 %	100 %
Szenario 2 (technologieoffen)	9 %	10 %	13 %	32 %	51 %	100 %

Die Flexibilität der Technologieoffenheit wird schließlich über Funktion bzw. Größe der Solaranlage und über den Installationszeitpunkt dargestellt. Zu dessen Wahl können im technologieoffenen Fahrplan sinnvollerweise alle relevanten Randbedingungen zu Grunde gelegt werden. Neben den im Modell abbildbaren Zusammenhängen zwischen Kesseltausch und Dachsanierung können auch individuelle Argumente, wie z. B. finanzielle Situation, mit berücksichtigt werden. Dies steht im Gegensatz zur verpflichtenden Kombination der Installation einer Solaranlage bei Kesseltausch. Der sich hierbei ergebende Unterschied der Szenarien im zeitlichen Verlauf der Installation an Solaranlagen wird in Bild 10 deutlich. Nicht dargestellt werden kann der Unterschied in der Größe der Anlage. Im technologieoffenen Fahrplan kann anstelle einer Solaranlage für Warmwassererzeugung und Heizungsunterstützung eine kleinere installiert werden, die nur der Warmwasserbereitung dient. Der in diesem Falle fehlende Beitrag der Heizungsunterstützung kann durch günstige Alternativmaßnahmen ausgeglichen werden, z. B. durch Einsparmaßnahmen infolge Zirkulationsverzicht.

Entwicklung Solaranlagen

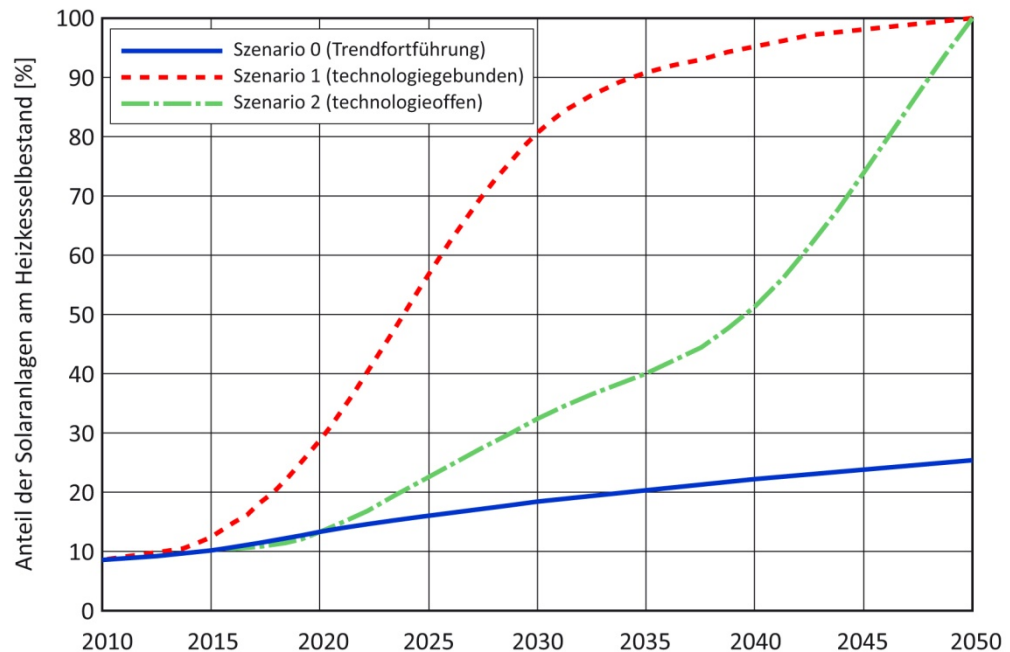


Bild 10:

Graphische Darstellung der Entwicklung des Anteils an Gebäuden mit Solaranlage, bezogen auf die Gebäude mit fossilem Heizkessel; in Szenario 1 und 2 weisen 2050 alle Gebäude mit Heizkessel eine Solaranlage auf.

Insgesamt münden die durchgeführten Berechnungen und Analysen mit den beschriebenen Ergebnissen in einer Empfehlung zur Umsetzung eines technologieoffenen Regulierungsansatzes mit qualitativ formulierten Zielvorgaben und Zeithorizonten, ohne technologisch verpflichtende Vorgaben. Die vorrangige Ausrichtung der Zielvorgaben am Primärenergiebedarf wird befürwortet. Wenn entwicklungsmäßig geboten, sollten jedoch zusätzliche Kennwerte berücksichtigt werden, z. B. Endenergie, CO₂-Emissionen, Verfügbarkeit der Rohstoffe und Energiespeichereffekte..

7. Umsetzung der Fahrplan-Szenarien an Beispielgebäuden

Aufgrund der Interpretation der Zielsetzung des Energiekonzepts als Anforderung an den Gesamtbestand an Wohngebäuden in Deutschland, wird dieser zur Hochrechnung zu Grunde gelegt. Vereinfacht wird die Gesamtheit über mittlere Werte zusammengefasst und abgebildet. Die so entstehenden Ergebnisse stellen folglich auch Mittelwerte dar. Diese eignen sich zwar zur Gesamtbetrachtung, machen es aber unmöglich, auf Unterschiede einzugehen, z. B. im vorhandenen Einsparpotential. Auch eine Zuordnung der Zusammenhänge zwischen Kosten und Einsparungen sowie Kostenträgern und Nutznießern ist somit nicht möglich.

In diesem Abschnitt sollen daher einzelne Beispielgebäude betrachtet werden. Um hierbei weiterhin der grundlegenden Idee der Hochrechnung folgen zu

können, werden jedoch keine tatsächlich bestehenden Gebäude betrachtet, sondern nach wie vor Typgebäude. So kann auch die in diesem Zusammenhang ungeeignete genaue Betrachtung der enormen Vielfalt an Gebäudetypen, Bauarten und sonstigen Besonderheiten vermieden werden. Stattdessen erfolgt weiterhin eine vereinfachte Unterscheidung nach Baualtersklasse, da diese i.d.R. in direktem Zusammenhang mit der energetischen Qualität der Bauteile bzw. Technikkomponenten stehen.

Einzige Ausnahme hiervon ist die explizite Betrachtung eines zweischaligen Klinker-Mauerwerks in einem der Beispielgebäude (EFH 1), da diese Bauart mit knapp 30 % ein maßgebliches Merkmal zur Bestandsdefinition darstellt. Von besonderer Bedeutung sind hierbei insbesondere der deutlich längere Lebenszyklus sowie die abweichenden Randbedingungen bezüglich einer nachträglichen Dämmung dieser Außenwände gegenüber den ansonsten üblichen einschaligen Bauarten.

7.1. Repräsentative Beispiel-Typgebäude

Die Beispielgebäude werden anhand der in 4.4 definierten, fiktiven mittleren Typgebäude generiert. Im Gegensatz zu diesen, sollen nun jedoch realistisch abbildbare Bauten mit ganzzahligen Wohneinheiten dargestellt werden. Für den EFH-Typ, der Ein- und Zweifamilienhäuser zusammenfasst und im Mittel 1,24 Wohneinheiten aufweist, wird vereinfacht stets nur das tatsächliche Einfamilienhaus mit 1 Wohneinheit betrachtet, das mit 76 % ohnehin den maßgeblichen Teil dieses Typs ausmacht. Hierfür wird das mittlere Gebäude entsprechend angepasst, d.h. Flächen und Volumina werden um 19 % reduziert. Die energetisch relevanten Merkmale AVV -Verhältnis (Kompaktheit) und Fensterflächenanteil bleiben somit gleich.

Zur vereinfachten Betrachtung eines beispielhaften Mehrfamilienhauses mittlerer Art werden die mittleren 6,83 Wohneinheiten näherungsweise auf 7 aufgerundet. Alle anderen Kennwerte entsprechen nach wie vor denen des mittleren Typgebäudes aus Abschnitt 4.4 (vgl. Tabelle 3).

Insgesamt sollen 3 Beispielgebäude betrachtet werden. Unterschieden werden sie nach Baujahr der im Rahmen des Rechenmodells definierten energetisch maßgeblichen Komponentenbereiche (Opake Hülle, Fenster und Anlagentechnik) und deren Baualtersklassen. Die Auswahl erfolgt so, dass stets ein möglichst hoher Anteil der einzelnen Qualitätsstufen (definiert durch Altersklassen) abgedeckt wird. Zudem werden für alle Komponenten im vergangenen Zeitraum etwa die jeweiligen Sanierungszyklen angesetzt um insgesamt ein dem Modell entsprechendes Bild zu erhalten.

Die folgende Tabelle zeigt die so definierten Beispielgebäude mit ihren energetischen Kennwerten und deren Anteile am entsprechenden Typ-Bestand. Mit den beiden gewählten Einfamilienhäusern bzw. deren Altersklassen können

knapp 30 % dieses Typs abgedeckt werden. Die Baualtersklasse des gewählten Mehrfamilienhauses repräsentiert etwa 20 % dieses Typs.

Tabelle 41:
Darstellung der Grundlagen und Randbedingungen sowie der hieraus resultierenden Definition der Beispielgebäude.

Beispielgebäude	Einheit	EFH 1	EFH 2	MFH
Baualtersklasse ¹⁾		C:1919-1948	F:1969-1978	E:1958-1968
Baujahr		1934	1978	1965
Häufigkeit am Typ-Bestand		13,1 %	14,5 %	20,2 %
Gesamte Wohnfläche 2009	Mio. m ²	264	291	281
Bereits saniert ²⁾	Mio. m ²	76,7	84,6	99,2
Rückbau 2010 bis 2020 ²⁾	Mio. m ²	4,2	4,6	4,0
Ab 2010 zu sanieren	Mio. m ²	183,1	201,8	177,8
	Gebäude	1,36 Mio.	1,49 Mio.	0,39 Mio.
Opake Hülle				
U _{Wand}	W/(m ² K)	1,6 ³⁾	1,0	1,4
U _{Dach/OG}	W/(m ² K)	1,4	0,5	0,6
U _{Fußboden/Kellerdecke}	W/(m ² K)	1,2	1,0	1,5
U _{Mittel} (flächenanteilig)	W/(m ² K)	1,25	0,67	1,12
Wärmebrückenzuschlag	W/(m ² K)	0,1	0,1	0,1
Luftwechselzahl n	1/h	1,0	1,0	1,0
Fenster				
Baujahr Fenster		2004	1978	1997
Fenstertyp ¹⁾		2-SV (00-04)	2-SV (74-84)	2-SV (95-99)
Anteil am Fenster-Bestand		15,3 %	26,1 %	24,2 %
U _{Fenster}	W/(m ² K)	1,7	4,3	1,9
g _{Fenster}		0,65	0,75	0,65
tau		0,75	0,8	0,75
Technik / Kessel				
Baujahr Kessel		1994	2008	1997
Kessel-Typ ¹⁾		NT (90-97)	NT (98-09)	NT (90-97)
Anteil am Kessel-Typ-Bestand		ca.60 %		
Anteil am Gebäude-Bestand		ca.50 %		

¹⁾ Einteilung nach Baualtersklasse analog zu Gebäudetypologie [9], [10] und Datenerhebungen [11], [12], [15].

²⁾ Nach Annahmen des Rechenmodells sowie Daten aus [11].

³⁾ In Baualtersklasse C üblicherweise 1,7; Annahme eines besseren Werts für 2-schaliges Mauerwerk

Ebenso wie die charakteristischen Kennwerte können den Gebäudetypologien auch typische Bauteilaufbauten entnommen werden. Für die Beispielgebäude

werden diese Bauteile in Tabelle 42 dargestellt. Hiermit sollen Anschaulichkeit und Verständnis, angestrebt durch die beispielhafte Betrachtung konkreter Gebäude, weiter verbessert werden.

Tabelle 42:
Stichwortartige Beschreibung der Bauteil-Aufbauten für die Beispielgebäude.

Bauteile	EFH 1 (BJ: 1934)
Außenwand	Vollziegel-Mauerwerk zweischalig (Klinker)
Dach	Steildach mit Holzsparren, leeres Gefach, raumseitig Holzfaserplatte
Kellerdecke	Massivdecke: Kappendecke mit Dielenfußboden
	EFH 2 (BJ: 1978)
Außenwand	Mauerwerk aus Leicht-Hochlochziegeln
Dach	Holzsparren-Steildach mit 8cm Dämmung zwischen den Sparren
Kellerdecke	Betondecke mit 1 cm Dämmung
	MFH (BJ: 1965)
Außenwand	Mauerwerk aus Hochlochziegeln
Dach	Flachdach mit 6 cm Dämmung, darunter begehbare Geschossdecke mit gleichem U-Wert
Kellerdecke	Massivdecke mit minimaler Trittschalldämmung

7.2. Umsetzung der Szenarien an den Beispielgebäuden

Die in Abschnitt 5 definierten Szenarien werden an den Beispielgebäuden durchgeführt. Das heißt, innerhalb der angesetzten Sanierungszyklen werden die entsprechenden Sanierungsmaßnahmen umgesetzt und die Auswirkung auf den Energiebedarf wird ermittelt. Hierfür werden energetische Berechnungen nach DIN V 18599 [16] (mittelfristige EnEV-Bewertungsmethode) durchgeführt, zunächst für den Ist-Zustand. Zur Ermittlung der primärenergetischen Werte werden die für die jeweiligen Zeitspannen nach 0 definierten Primärenergiefaktoren angesetzt. Die so berechneten energetischen Kennwerte werden in den Tabellen der folgenden Abschnitte dargestellt, für alle Szenarien und alle Beispielgebäude. Zur besseren Vergleichbarkeit werden spezifische Werte angegeben, bezogen auf die Wohnfläche.

Anhang B3 enthält ausführliche Ergebnistabellen. Diese zeigen zusätzlich die Zusammensetzung der Energiebedarfswerte, mit Angabe der Hilfsenergien sowie getrennt nach Heizung und Warmwasser. Zudem wird dort der Bezug zu den aktuellen Anforderungen an den Neubau (nach EnEV 2009) dargestellt, wobei wiederum eine Anpassung an die Entwicklung der Primärenergiefaktoren nach 0 erfolgt. Weitere Anpassungen im Rahmen zu erwartender Verschärfungen werden nicht durchgeführt. Diese Vergleichswerte dienen einerseits zur besseren Einschätzung der Energie-Kennwerte, andererseits soll der Bezug zur weiterführenden wirtschaftlichen Betrachtung unterstützt werden, in welcher

auch die existierenden Förderprogramme der KfW-Bankengruppe mit betrachtet werden sollen, die abhängig vom erreichten Anteil am „EnEV-Neubau-Anforderungswert“ erfolgen.

Analog zur Darstellung der Hochrechnungsergebnisse erfolgt die Darstellung in 10-Jahres-Schritten, wobei nur die Jahrzehnte betrachtet werden, innerhalb derer Sanierungsmaßnahmen stattfinden. Zu Beginn jeder Tabelle wird das konkrete Szenario definiert, das am Beispielgebäude infolge der Umsetzung des Sanierungsfahrplans entsteht. Hierfür werden Reihenfolge und Umsetzungsjahre (infolge der Sanierungszyklen) der einzelnen Maßnahmen dargestellt. Meist ist eine Maßnahme je Komponentenbereich notwendig, manchmal müssen jedoch zwei Maßnahmen in einem Bereich durchgeführt werden.

7.2.1. Basis-Szenario 0 (Leitlinien Bundesregierung)

Bei Umsetzung des Basis-Szenarios 0 an den drei Beispielgebäuden ergeben sich die in folgenden Tabellen dargestellten energetischen Kennwerte. Auch die prozentuale Reduktion gegenüber dem Ist-Zustand (2010) wird aufgezeigt.

Tabelle 43:
Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude EFH 1 nach Szenario 0, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 0 - EFH 1	2010	2030 ¹⁾	2040 ¹⁾	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2024	2039	2040	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Kessel	2. Hülle ²⁾	3. Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	289,8	294,1	206,0	191,9	191,9
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		1 %	-29 %	-34 %	-34 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	465,4	405,6	290,7	273,8	273,8
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-13 %	-38 %	-41 %	-41 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	471,5	400,9	280,4	264,1	254,8
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-15 %	-41 %	-44 %	-46 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

²⁾ Ohne Sanierung der zweischaligen Klinker-Außenwand

Tabelle 44:
Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)) für das Beispielgebäude EFH 2 nach Szenario 0, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 0 - EFH 2	2010	2020	2040 ¹⁾	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2014	2033	2038	2050
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Fenster	2. Hülle	3. Kessel	4. Fenster
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	231,5	173,9	108,9	116,6	113,0
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		-25 %	-53 %	-50 %	-51 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	369,9	291,6	202,4	177,5	173,3
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-21 %	-45 %	-52 %	-53 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	375,9	293,4	195,2	171,2	160,8
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-22 %	-48 %	-54 %	-57 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

Tabelle 45:
Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)) für das Beispielgebäude MFH nach Szenario 0, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 0 - MFH	2010	2020	2030	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2020	2027	2033	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Hülle	2. Kessel	3. Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	163,2	91,7	96,2	80,0	80,0
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		-44 %	-41 %	-51 %	-51 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	278,1	179,2	173,0	151,1	151,1
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-36 %	-38 %	-46 %	-46 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	278,9	178,9	170,6	145,7	141,0
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-36 %	-39 %	-48 %	-49 %

7.2.2. Szenario 1 (technologiegebunden)

Wird der technologiegebundene Fahrplan an den drei Beispielgebäuden umgesetzt, ergeben sich die in folgenden Tabellen dargestellten energetischen Kennwerte.

Tabelle 46:
Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)) für das Beispielgebäude EFH 1 nach Szenario 1, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 1 - EFH 1	2010	2030 ¹⁾	2040 ¹⁾	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2024	2034	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Kessel	2. Hülle+ Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	289,8	294,3	67,4	67,4
Reduktion Heizwärmebedarf		2 %	-77 %	-77 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	465,4	371,7	67,8	67,8
Reduktion Endenergiebedarf		-20 %	-85 %	-85 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	471,5	350,6	61,8	59,4
Reduktion Primärenergiebedarf		-26 %	-87 %	-87 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

Tabelle 47:
Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)) für das Beispielgebäude EFH 2 nach Szenario 1, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 1 - EFH 2	2010	2020	2030	2030 ¹⁾	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2014	2025	2028	2035
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Fenster	2. Kessel	3. Hülle	4. Fenster
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	231,5	173,9	178,1	60,0	46,4
Reduktion Heizwärmebedarf		-25 %	-23 %	-74 %	-80 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	369,9	291,6	234,0	87,5	72,6
Reduktion Endenergiebedarf		-21 %	-37 %	-76 %	-80 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	375,9	293,4	221,1	82,9	63,6
Reduktion Primärenergiebedarf		-22 %	-41 %	-78 %	-83 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

Tabelle 48:
Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude MFH nach Szenario 1, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 1 - MFH	2010	2020	2030	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2015	2023	2033	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Hülle	2. Kessel	3. Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	163,2	47,3	52,1	27,1	27,1
Reduktion Heizwärmebedarf		-71 %	-68 %	-83 %	-83 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	278,1	115,7	69,6	35,8	35,8
Reduktion Endenergiebedarf		-58 %	-75 %	-87 %	-87 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	278,9	115,6	66,0	32,7	31,3
Reduktion Primärenergiebedarf		-59 %	-76 %	-88 %	-89 %

7.2.3. Szenario 2 (technologieoffen)

Bei Umsetzung des technologieoffenen Szenarios 2 an den drei Beispielgebäuden ergeben sich folgende energetische Kennwerte sowie die ebenfalls dargestellten Reduktionsanteile gegenüber dem Ist-Zustand.

Tabelle 49:
Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude EFH 1 nach Szenario 2, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 2 - EFH 1	2010	2030 ¹⁾	2040 ¹⁾	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2024	2034	2040	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Kessel	2. Hülle ²⁾	3. Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	289,8	295,7	79,2	56,8	56,8
Reduktion Heizwärmebedarf		2 %	-73 %	-80 %	-80 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	465,4	396,2	114,9	85,5	85,5
Reduktion Endenergiebedarf		-15 %	-75 %	-82 %	-82 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	471,5	373,0	104,7	78,0	75,0
Reduktion Primärenergiebedarf		-21 %	-78 %	-83 %	-84 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

²⁾ Dachsanierung mit Installation Solaranlage

Tabelle 50:
Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)) für das Beispielgebäude EFH 2 nach Szenario 2, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 2 - EFH 2	2010	2020	2030	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2014	2028	2038	2050
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Fenster	2. Hülle	3. Kessel	4. Fenster
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	231,5	173,9	59,4	67,1	53,0
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		-25 %	-74 %	-71 %	-77 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	369,9	291,6	133,3	96,2	79,5
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-21 %	-64 %	-74 %	-79 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	375,9	293,4	126,1	87,8	69,6
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-22 %	-66 %	-77 %	-81 %

Tabelle 51:
Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)) für das Beispielgebäude MFH nach Szenario 2, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 2 - MFH	2010	2020	2030	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2015	2027	2033	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Hülle	2. Kessel	3. Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	163,2	53,4	58,4	32,8	32,8
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		-67 %	-64 %	-80 %	-80 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	278,1	124,6	91,5	59,5	59,5
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-55 %	-67 %	-79 %	-79 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	278,9	124,5	86,5	54,3	52,1
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-55 %	-69 %	-81 %	-81 %

7.3. Vergleich und Diskussion

Bei Umsetzung der Szenarien an den Beispielgebäuden stellen sich bei prozentualer Betrachtung etwa gleichartige Größenordnungen bezüglich der bis 2050 erreichten Primärenergieeinsparungen ein, wie bei der Hochrechnung am Gesamtbedarf. Auffällig ist, dass die prozentuale Reduktion in den Szenarien 1 und 2 die 80 % der Gesamthochrechnung übersteigt, wohingegen sich im Basis-Szenario ein geringerer Wert einstellt. Dies gibt Hinweise auf den Einfluss der anderen Wohngebäude am Gesamtergebnis, insbesondere aus jüngeren Baualtersklassen bzw. von Neubauten. Bei prozentualer Betrachtung bewirken diese Gebäudegruppen im Basis-Szenario ein insgesamt besseres Abschneiden des Gesamtbestands, als es die sanierten Altbauten aufweisen. In den Szenari-

en 1 und 2 sorgen dagegen die Altbauten mit ihrem hohen Einsparpotential für einen Ausgleich.

Bei Betrachtung der Energiebedarfswerte zeigt sich, dass Mehrfamilienhäuser grundsätzlich einen geringeren spezifischen Energiebedarf aufweisen als Ein- und Zweifamilienhäuser (was hinlänglich bekannt ist und sich v.a. durch das AV-Verhältnis begründen lässt) und dass der bis 2050 erreichte Kennwert in allen Fällen größer ist als der Mittelwert der Gesamtbetrachtung. Dies deutet ebenfalls auf den Einfluss der Gebäude hin, die keine Altbauten sind, und führt zu der Schlussfolgerung, dass bei technologieoffener Regulierung eine nach Bauart und Baualtersgruppe gestaffelte Zielvorgabe angebracht ist.

Beide o.g. Aspekte stehen in direktem Zusammenhang mit der gesamten Hochrechnung und lassen sich auch aus deren Detailergebnissen schlussfolgern. Von besonderem Interesse bei Vergleich der Szenarien an einzelnen Gebäuden sind dagegen die nur auf diese Art deutlich werdenden Unterschiede bezüglich Reihenfolge, Zeitpunkt und Umfang der Maßnahmen sowie der hierbei entstehenden Kosten. Die folgende Tabelle fasst diese Informationen für alle Beispielgebäude und alle Szenarien zusammen und vergleicht insbesondere Umsetzungszeitpunkt der Maßnahmenpakete sowie Gesamt- und Mehrkosten. Zwischen dem technologiegebundenen und dem technologieoffenen Fahrplan ergeben sich Abweichungen von bis zu 25 % (im Einzelfall). Im Mittel ist mit 15-20 % zu rechnen. Die Kostenangaben der Szenarien 1 und 2 sind Studienteil 2 [5] entnommen.

Am Beispielgebäude EFH 2 wird zudem deutlich sichtbar, wie die technologiegebundenen Anforderungen (Szenario 1) zu deutlich verkürzten Sanierungszyklen führen können, die weit unter der üblichen Lebensdauer liegen. Infolge der Zusatzanforderung bezüglich der Gewährleistung von 3-Scheiben-Verglasung ab 2035 müssen die 2014 neu eingesetzten Fenster mit hochwertiger 2-Scheiben-Verglasung bereits 2035 wieder ersetzt werden. Nach 21 Jahren ist die Lebensdauer jedoch noch lange nicht erreicht, was zu weiteren gravierenden wirtschaftlichen Nachteilen führt.

Es wird deutlich, dass sich zur Interpretation der an den Beispielgebäuden umgesetzten Szenarien wirtschaftliche Betrachtungen besonders gut eignen. Daher sei an dieser Stelle für weitere wirtschaftliche Analysen auf Teil II der Studie [5] verwiesen. Bereits erkennbar ist, dass sich auch bei Betrachtung von einzelnen Gebäuden der technologieoffene Sanierungsfahrplan als vorteilhaft erweist, da durch technologiegebundene Vorgaben deutlich höhere Kosten zu erwarten sind. Diese können sich in Einzelfällen besonders stark auswirken, sind jedoch auch bei Gesamtbetrachtung von wesentlicher Bedeutung.

Tabelle 52:

Übersicht über die repräsentativen Beispielgebäude und die maßgeblichen Unterschiede bei Umsetzung der Szenarien bezüglich Umsetzungszeitpunkt und aktueller Gesamtkosten.

Sanierungsfahrpläne an den Beispielgebäuden	EFH 1			EFH 2			MFH		
Bau-/Ersatz-Jahre des IST-Zustands									
Opake Hülle	1934 (n.e.san.1984)			1978			1965		
Fenster	2004			1978			1997		
Kessel	1994			2008			1997		
Sanierungs-Jahre der Fahrpläne	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2
Opake Hülle	2039	2034	2034	2033	2028	2028	2020	2015	2015
Fenster	2040	2034	2040	2014/2050	2014/2035	2014/2050	2033	2033	2033
Anlagentechnik (Kessel)	2024	2024	2024	2038	2025	2038	2027	2023	2027
Solare Heizungsunterstützung		2024			2025			2023	
Solare Warmwassererzeugung		2024	2034		2025	2038		2023	2031
MFH: Frischwasserstationen / EFH: Zirkulationsregelung			2024			2038		2023	2031
Schätzung aktueller Gesamtkosten (Planung, Investition, Ausführung) [5]									
Gesamtkosten	66.000 €	140.000 €	106.000 €	105.000 €	148.000 €	127.000 €	195.000 €	303.000 €	259.000 €
spez. Kosten je m² Wohnfläche	600 €	1.300 €	1.000 €	1.000 €	1.400 €	1.200 €	400 €	700 €	600 €
Mehrkosten gegenüber Basis-Szenario 0		110 %	58 %		40 %	20 %		55 %	33 %
Reduktion Sz. 2 ggü. Sz. 1		-25 %			-14 %			-14 %	
Gründe für maßgebliche Kostenunterschiede zwischen Szenario 1 (technologiegebunden) und Szenario 2 (technologieoffen)	<ul style="list-style-type: none"> - Mehrkosten Klinkerdämmung - Erzwungener vorgezogener Fenstertausch - Installation Solaranlage auf altem Dach - Solare Heizungsunterstützung - Intelligente Regelung Zirkulationslaufzeiten 			<ul style="list-style-type: none"> - Erzwungener vorgezogener Kesseltausch - Solare Heizungsunterstützung - Intelligente Regelung Zirkulationslaufzeiten 			<ul style="list-style-type: none"> - Erzwungener vorgezogener Kesseltausch - Solare Heizungsunterstützung 		

8. Weiterführende Gedanken, Fragen und Empfehlungen

8.1. Weitere Untersuchungsfelder

Die durchgeführten Analysen zeigen die Bedeutung der technologischen Entwicklung, insbesondere die Anlagentechnik betreffend. Der Anteil an Wohngebäuden in welchen ein System-Wechsel des Wärmeerzeugers erfolgen wird, hat einen maßgeblichen Einfluss auf die insgesamt erreichbare Primärenergieeinsparung. Bisher geschehen diese Wechsel nur sehr selten, so dass Trends kaum abzulesen sind und Annahmen große Unsicherheiten bergen. Um hier weitere Erkenntnisse über zu erwartende Entwicklungen zu erhalten sind weitere detaillierte Untersuchungen empfehlenswert.

Ein weiterer Aspekt, der das primärenergetische Einsparpotential wesentlich mit bestimmt, sind die Entwicklungen der Primärenergiefaktoren bzw. die hierfür getroffenen Annahmen. Für Strom gibt es bereits deutlich sichtbare Entwicklungen und konkrete Zielsetzungen zur überwiegenden Erzeugung aus erneuerbaren Energiequellen. Die übrigen Energieträger betreffend sind Möglichkeiten und Zeitschienen zum Einsatz erneuerbarer Energien jedoch überwiegend unklar. Auch hier können weitere Untersuchungen die Sicht schärfen und so die Unsicherheiten in der Prognose der Primärenergieeinsparpotentiale reduzieren.

8.2. Individuelle Fahrpläne

Ein technologieoffener Fahrplan bzw. konkrete Zielvorgaben ohne Festlegung der Umsetzungsart sind offenbar der optimale Weg, um die angestrebten energetischen Einsparziele umsetzen zu können. Dies ermöglicht nicht nur die individuelle Betrachtung einzelner Gebäude sondern macht dies unbedingt notwendig, um sowohl im Einzelfall als auch insgesamt die entsprechenden Potentiale zu definieren und sinnvoll zu erschließen. Wesentlicher Vorteil ist, dass hierbei neuen Technologien der Weg nicht versperrt wird [38].

Die angestrebte Formulierung allgemein gültiger Sanierungsfahrpläne bis 2050 wirkt daher unangebracht. Stattdessen wird empfohlen, die Erstellung individueller Sanierungsfahrpläne (verpflichtend) einzuführen, spätestens bei Umsetzung der ersten notwendigen Sanierungsmaßnahme. Nur so ist insgesamt und im Einzelfall eine energetische und wirtschaftliche Optimierung unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen (inkl. Zeitschiene) möglich.

8.3. Betrachtungszeitraum

Eine Zeitspanne von 40 Jahren ist in der heutigen Zeit rasanter technischer Entwicklungen ein langer Zeitraum. Erfahrungsgemäß kann dies Entwicklungen bergen, die aus heutiger Sicht unvorstellbar sind. Hierfür Abschätzungen und Vorhersagen zu treffen ist entsprechend schwierig und mit großen Unsicherheiten belastet.

In diesem Zusammenhang sei noch einmal darauf hingewiesen, dass alle im Rahmen der vorliegenden Studie ermittelten Ergebnisse in Abhängigkeit der getroffenen Annahmen und Vereinfachungen zu verstehen und zu interpretieren sind, unter Berücksichtigung der hierin bedingten Unsicherheiten.

Der Fokus des Energiekonzepts der Bundesregierung auf der Formulierung von Zielen für 2050, meist ohne Angabe von Zwischenzielen oder zielführenden Vorgehensweisen, wirkt daher unangemessen. Die Absicht der Entwicklung eines entsprechend langen Sanierungsfahrplans scheint ebenso unrealistisch und letztlich ungeeignet, da im Grunde nur eine recht offene Gestaltung möglich ist, um die zu erwartenden Entwicklungen mit berücksichtigen zu können.

Wesentlich geeigneter scheint eine etappenweise Betrachtung mit Zwischenzielen und regelmäßigen Aktualisierungen. Das grundsätzliche Ziel wäre, zu jeder Zeit auf hohem Niveau entsprechend der aktuellen Möglichkeiten zu handeln, unter Berücksichtigung aller möglichen Einsparpotentiale und Gewährleistung weiterführender technologischer Entwicklungen. Dies könnte beispielsweise durch zweiphasige 20-Jahres-Pläne umgesetzt werden, mit konkretem Sanierungsfahrplan für die erste Dekade und einem daran anschließenden Wegweiser zur Darstellung des daraufhin zu erwartenden Vorgehens. Regelmäßige Anpassungen in 8 bis 10-Jahres-Schritten könnten die Aktualität der Fahrpläne gewährleisten. Auf diesem Weg wären Ziele gesetzt und Vorgehensweisen aufgezeigt, wobei gleichzeitig eine mittelfristige Planungssicherheit gewährleistet wäre ebenso wie Anpassungen an Entwicklungen.

8.4. Fokus Primärenergie

Der Grundsatz energieeffizienter Bauweise und Sanierung von Wohngebäuden kann klar in zwei Schritten dargestellt werden. An erster Stelle steht stets die Reduktion des Energiebedarfs. Bezüglich der Heizwärme stehen hier Dämmmaßnahmen im Vordergrund. Im zweiten Schritt geht es darum, den verbleibenden Bedarf effizient und umweltverträglich zu decken. Hier gewinnt der Einsatz erneuerbarer Energien immer mehr an Bedeutung.

Der Fokus auf der Formulierung primärenergetischer Ziele kann jedoch dazu führen, dass der zwingend notwendige erste Schritte der Bedarfsreduktion vernachlässigt wird, wenn ein primärenergetisch sehr positiv bewerteter Energieträger eingesetzt werden kann (z. B. Holz). Dies wirkt sich negativ auf das ge-

samte mögliche Einsparpotential des Gebäudebestands aus, insbesondere wenn ein hohes Zielniveau erreicht werden soll.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, inwieweit die Primärenergie langfristig als alleinige Größe zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden geeignet ist. Dies kann im Rahmen der vorliegenden Studie nicht beantwortet werden, eine entsprechende weitergehende Betrachtung und Diskussion scheint jedoch angebracht.

8.5. Wirtschaftlichkeitsgebot

Nach den geltenden Normen und Gesetzen liegt allen energetischen Anforderungen im Gebäudebereich das Wirtschaftlichkeitsgebot zu Grunde. Dies ist in §5 des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) verankert und wie folgt formuliert: „ Die in den Rechtsverordnungen [...] aufgestellten Anforderungen müssen [...] wirtschaftlich vertretbar sein. Anforderungen gelten als wirtschaftlich vertretbar, wenn generell die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer durch die eintretenden Einsparungen erwirtschaftet werden können“ [50]. Neben der Tatsache, dass diese Anforderung recht offen formuliert ist, u.a. durch die Begriffe „generell“ und „üblich“, birgt die Definition der angesetzten energetisch wirksamen Kosten weitere Spielräume. Zudem sind die Prognosen der „eintretenden Einsparungen“ infolge der Unsicherheiten und Schwankungen des Energie- und Finanzmarkts höchst unsicher.

Aufgrund der möglicherweise gravierenden Auswirkungen des Klimawandels, die teilweise bereits sichtbar sind und durch entsprechende Energieeinsparungen vielleicht reduziert werden könnten, stellt sich die Frage inwieweit eine individuelle wirtschaftliche Betrachtung geeignet und angemessen ist. Stellt die Erhaltung des Lebensraums nicht ein übergeordnetes Ziel dar? Und ist die Verantwortung gegenüber nachfolgenden Generationen nicht unbezahlbar?

Eine mögliche Lösung, mit diesen prekären und schwer zu beantwortenden Fragen umzugehen, könnte der Versuch sein, eine monetäre Bewertung der o.g. Aspekte vorzunehmen und in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einzubeziehen. Dies würde vermutlich zu einer auch volkswirtschaftlich geprägten Betrachtung führen, so dass neue Ansätze entwickelt werden müssten. Weitere Untersuchungen und Überlegungen scheinen in diesem Zusammenhang sinnvoll und notwendig.

8.6. Gewährleistung und Kontrolle

Eine grundsätzlich offene Fragestellung im Rahmen der Umsetzung energetisch wirksamer Sanierungsmaßnahmen ist die Kontrolle der Einhaltung von Anforderungen. Dieser Aspekt ist bisher nahezu unberücksichtigt und es existieren keine entsprechenden Kontrollmechanismen. Es ist wahrscheinlich, dass durch nicht ausgeführte energetisch wirksame Maßnahmen im Zuge ohnehin notwendiger Sanierungsarbeiten bereits ein merkliches, leicht zu erschließendes

Einsparpotential unberücksichtigt blieb und zukünftig bleiben wird. Dies ist bei der angestrebten Zielsetzung, sowohl aus volks- als auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht, unverantwortlich.

Im Rahmen nachfolgender Novellierungen der gesetzlichen Grundlagen sollte dieser Aspekt berücksichtigt werden. Die Entwicklung und Umsetzung eines geeigneten Kontrollsystems ist zur Zielerreichung unbedingt notwendig. Zudem kann ein derartiges System hilfreich sein, um Praxis-Probleme aufzudecken und zu lösen.

9. Fazit und Ausblick

Es kann festgestellt werden, dass die vielfach diskutierte und teilweise in Frage gestellte, anspruchsvolle Zielsetzung einer Primärenergieeinsparung der Wärmeerzeugung im Wohngebäudebestand von 80 % bis 2050 (gegenüber 2008) möglich ist. Hierfür sind zahlreiche Sanierungsmaßnahmen am gesamten Wohngebäudebestand notwendig, die möglichst sinnvoll und vorausschauend kombiniert werden sollten. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle, dem Einsatz energieeffizienter Wärmeerzeuger und regenerativer Energien sind auch Wärmerückgewinnungssysteme sowie verlustarme und intelligente Regelungssysteme von Bedeutung. Zudem sollten Verständnis und Akzeptanz der Bevölkerung für die Thematik insgesamt sowie für richtiges Nutzerverhalten gefördert werden, um insgesamt einen angemessenen, akzeptablen und wirtschaftlich tragbaren Weg gehen zu können.

Neben Information, Motivation, Forderung und Förderung ist die Formulierung klarer, anspruchsvoller und verpflichtender Zielvorgaben notwendig, jedoch ohne die Bindung an Technologien. Hierbei sind sowohl kurzfristige Zwischenziele als auch ein vorausschauendes Fernziel erforderlich, wobei zu berücksichtigen ist, dass im zeitlichen Verlauf kein linearer Zusammenhang zwischen Aufwand und Erfolg besteht, d.h. die ersten Einsparungen sind wesentlich leichter zu erreichen, insbesondere bei prozentualer Betrachtung. Dies sollte sich in den Zielen widerspiegeln.

Für die einzelnen Gebäude könnten in Abhängigkeit von Typ und Baualtersgruppe Zielvorgaben in 10-Jahres-Schritten in Form von maximalen spezifischen Primärenergiebedarfswerten formuliert werden. Um die notwendige Flexibilität der freien Wahl eines geeigneten Wegs dorthin zu ermöglichen und um gleichzeitig den üblicherweise auftretenden Synergieeffekten zwischen Lebensdauer und (energetischen) Sanierungs-Maßnahmen Rechnung zu tragen, sollten diese Zielwerte frühzeitig bekannt sein und am Ende des Betrachtungszeitraums verstärkt verschärft werden. Die frühzeitige Formulierung der Ziele ist für eine sinnvolle Planung und zur Gewährleistung der notwendigen Planungssicherheit unbedingt notwendig. Denkbar wäre beispielsweise die folgende Formulierung: Bis zum angegebenen Jahr müssen alle Wohngebäude den in folgender Tabelle angegebenen spezifischen Primärenergiebedarf ihres Typs und ihrer Baualtersgruppe unterschreiten.

Tabelle 53:

Darstellung der beispielhaften Zielformulierung in Form von zu unterschreitenden primärenergetischen Maximalwerten (Altbau: bis Baujahr 1978, Jung-Bestand: 1979-2009).

Primärenergetische Maximalwerte [kWh/m ² a]	2020	2030	2040	2050
Altbau EFH	390	300	185	70
Altbau MFH	285	220	140	60
Jung-Bestand EFH		170	140	45
Jung-Bestand MFH		125	110	40

Zusätzlich sollten, z. B. in Form von Leitlinien, konkrete, mögliche und sinnvolle Maßnahmen und zukünftig gangbare Wege aufgezeigt werden. Hier bietet sich die Wahl von 10- oder 20-Jahresspannen an, so dass eine regelmäßige Fortschreibung und Aktualisierung infolge der stattfindenden Entwicklungen möglich ist. Zudem scheint die Einführung einer Pflicht zur Erstellung individueller Sanierungsfahrpläne angebracht. Ferner sollten Fristen, Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten geregelt werden. Eine entscheidende Rolle spielt zudem die Gewährleistung der Umsetzung, die durch ein angemessenes Kontrollsystem garantiert werden sollte. Bei Beibehaltung der momentan hoch geschriebenen Freiwilligkeit scheint die angestrebte Zielerreichung nicht zu erwarten.

Zudem scheint es angemessen, die wirtschaftliche Betrachtung in einen größeren Kontext zu stellen, der über die Einzelbetrachtung hinaus geht. Einerseits sollten soziale und volkswirtschaftliche Aspekte mit betrachtet werden. In diesem Zusammenhang wird sicherlich auch die finanzielle Förderung weiter an Bedeutung gewinnen ebenso wie das Thema der sozialen Gerechtigkeit, das mit berücksichtigt werden sollte. Andererseits liegt die Überlegung nahe, auch die Auswirkungen des Klimawandels und der ökologischen Schädigungen monetär zu bewerten und wirtschaftlich zu betrachten.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die anspruchsvollen energetischen Ziele des Energiekonzepts insbesondere aufgrund der bereits deutlich sichtbaren Entwicklung des Klimawandels notwendig und daher angemessen scheinen. Die bisher angedachte Vorgehensweise ist hierfür jedoch offenbar nicht ausreichend. Denn das angestrebte Ziel kann so voraussichtlich nur zu rund 65 % erreicht werden. Um zudem der bestehenden Komplexität und Brisanz des Themas gerecht zu werden, scheint eine zügige Überarbeitung der aktuellen Ansätze erforderlich. Im Zuge dessen werden enorme Bemühungen zur Planung und Umsetzung sinnvoller und erfolgreicher energetischer Sanierungsmaßnahmen notwendig sein. Die Ziele können jedoch erreicht werden, wenn der Handlungsbedarf rechtzeitig erkannt und umgesetzt wird.

10. Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, BMWi und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU (Hrsg.): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Stand 28.09.2010. Berlin (2010).
- [2] Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. (Hrsg.): Anforderungen an einen Sanierungsfahrplan – Auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050. September 2011, Berlin (2011).
- [3] Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. (Hrsg.): Strategie für eine wirkungsvolle Sanierung des deutschen Gebäudebestands – Fünf Bausteine für ein System wirtschaftlicher Anreize. Diskussionsschrift, Oktober 2012, Heidelberg, Berlin (2012).
- [4] Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V., GdW (Hrsg.): Strategie der Wohnungswirtschaft zur Umsetzung der Energiewende. GdW Position, November 2012, Berlin (2012).
- [5] Pfnür, A. und Müller, N.: Energetische Gebäudesanierung, Studie Teil II: Prognose der Kosten alternativer Sanierungsfahrpläne und Analyse der finanziellen Belastung für Eigentümer und Mieter. Veröffentlicht durch das Institut für Wärme und Öltechnik e.V. (IWO), Hamburg (in Vorbereitung).
- [6] TNS Emnid, Medien- und Sozialforschung GmbH: Politikerbefragung (12 telefonische Einzelerhebungen) zur Energiepolitik der Zukunft im Gebäude-Wärmemarkt, Februar 2012.
- [7] Ketchum Pleon GmbH: Briefing zur Studie „Soziale Aspekte im Wärmemarkt“ – Briefing für den Projektpartner Gebäudekatalog und Sanierungsfahrpläne. Informationsschrift zum Kick-Off-Meeting im August 2011, Hamburg (2011).
- [8] Lüking, R.-M. und Hauser, G.: Die thermische Konditionierung von Gebäuden im Kontext eines zukünftigen Energieversorgungssystems. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart (2011).
- [9] Kolmetz, S. und Rouvel, L.: Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Haushalte. IKARUS – Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien, Abschlussbericht Teilprojekt 5 „Haushalte und Kleinverbraucher“, Sektor „Haushalte“. Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Technologieforschung (Hrsg.), Monographien des Forschungszentrums Jülich, Band 17, Jülich (1995).
- [10] Loga, T., Diefenbach, N. und Born, R.: Deutsche Gebäudetypologie – Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, 18.11.2011. Institut für Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), IWU-Bestellnummer: 05/11, Darmstadt (2011).
- [11] Diefenbach, N., Cischinsky, H., Rodenfels, M. und Clausnitzer, K.: Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Forschungsbericht des Instituts Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), 09.12.2010, Darmstadt (2010).

- [12] Diefenbach, N., Cischinsky, H. und Rodenfels, M.: Anleitung zur Durchführung von Auswertungen mit der „Datenbasis Gebäudebestand“, Stand 03.03.2011. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Darmstadt (2011).
- [13] DIN V 4108-6:2003-06, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, Juni 2003. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Berlin (2003).
- [14] DIN V 4701-10:2003-08, Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, August 2003. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Berlin (2003).
- [15] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS, im Auftrag Wolfgang Ornth: Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand vom 30. Juli 2009. Berlin (2010).
- [16] DIN V 18599:2007, Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Beuth Verlag, Berlin (2007).
- [17] EnEV 2009, Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung, vom 29. April 2009. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil) Nr. 23, ausgegeben zu Bonn am 30. April 2009, Bonn (2009).
- [18] Peter, S.: Energie-Enquête-Kommission: Solare Vollversorgung in Deutschland bis 2050 ist möglich. Solarzeitalter 4/2003, Eurosolar e.V., Bonn (2003).
- [19] Enquete-Kommission: Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung – Zusammenfassung des Berichts. Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode, Auszug aus Drucksache 14/9400, 2. Juli 2002, Berlin (2002).
- [20] Empirica – Forschung und Beratung, Dr Braun, R. und Pfeiffer, U.: Wohnflächennachfrage in Deutschland. Im Auftrag der LBS Bundesgeschäftsstelle Berlin, im September 2005, Berlin (2005).
- [21] DESTATIS Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Bauen und Wohnen – Bestand an Wohnungen, 31. Dezember 2010. Fachserie 5, Reihe 3, erschienen am 28.07.2011, Artikelnummer: 2050300107004. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (2010).
- [22] DESTATIS Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Bevölkerung Deutschlands bis 2060, 12. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (2009).
- [23] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, BBSR im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, BBR (Hrsg.): Wohnungsmärkte im Wandel – Zentrale Ergebnisse der Wohnungsmarktprognose 2025. BBSR-Berichte Kompakt 1/2010, Januar 2010, Bonn (2010).
- [24] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS (Hrsg.): Wohnen und Bauen in Zahlen 2009/2010. 5. Auflage, Stand: April 2010, Bonn (2010).

- [25] DESTATIS Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Bauen und Wohnen – Bautätigkeit 2010. Fachserie 5, Reihe 1, erschienen am 21.07.2011, Artikelnummer: 2050100107005. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (2011).
- [26] Kirchner, J. und Rodenfels, M.: Wohnungsbedarfsprognose Hessen 2030 – Endbericht. 21.04.2009, Institut für Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Darmstadt (2009).
- [27] Arlt, J. und Pfeiffer, M.: Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau. Forschungsbericht F 815 des Instituts für Bauforschung e.V., Hannover, Juni 2004. ISBN 3-8167-6871-7. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart (2005).
- [28] Beck, R., Erhorn, H., Friedrich, M., Görres, J., Rabenstein, B. und Schrade, J.: Geodaten für die Erstellung von Energiebilanzen und die Bewertung energiebezogener Maßnahmen. Veröffentlicht in Koch M. K., Wagner H.-J. (Hrsg.): Wettbewerb „Energieeffiziente Stadt“ – Gebäude und Haushalte. LIT Verlag, Münster (2013).
- [29] Agethen, U., Frahm, K.-J., Renz, K. und Thees, E.P.: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte. Arbeitsblatt mit Lebensdauer katalog der BTE-Arbeitsgruppe Lebensdauer von Bauteilen. Bund Technischer Experten e.V. (Hrsg.), Essen (2008).
- [30] Kompetenzzentrum "Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen" im Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken, IEMB (Hrsg.): Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten. Info-Blatt Nr. 4.2, Dez. 2006, Bonn (2006).
- [31] Meyer, P., Büchler, M., Christen, K. und Waibel, A.: Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlegenden Daten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Impulsprogramm IP BAU, Bundesamt für Konjunkturfragen (Hrsg.), Bern (1995).
- [32] AGFW - Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hrsg.): AGFW-Report 2008 - anders, besser, effizient. AGFW, Frankfurt am Main (2008).
- [33] Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., BDH (Hrsg.): Effiziente Systeme und erneuerbare Energien – Technologie- und Energie-Forum. im Rahmen der Weltleitmesse ISH, Frankfurt am Main (2011).
- [34] Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., BDH (Hrsg.): BDH – Marktentwicklung Wärmeerzeuger 2000-2011. Infografik / Pressemitteilung vom 10.02.2012.
- [35] Bundesverband Wärmepumpe e.V., BWP (Hrsg.): BWP-Branchenstudie 2011 – Szenarien und politische Handlungsempfehlungen, Daten zum Wärmepumpenmarkt bis 2010 und Prognose bis 2030. Inhaltlich erarbeitet durch die Experten-Arbeitsgruppe „Branchenprognose“, Stand: August 2011, Berlin (2011).
- [36] Bundesverband Erneuerbare Energie e.V., BEE (Hrsg.): Wege in die moderne Energiewirtschaft – Ausbauprognose der Erneuerbare-Energie-Branche, Teil 2: Wärmeversorgung 2020. Oktober 2009, Berlin (2009).

- [37] Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband, ZIV (Hrsg.): Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für 2010. Sankt Augustin (2010).
- [38] Erhorn, H. und Hauser, G.: Energieversorgungsstrukturen im Gebäudesektor in Deutschland. Teilstudie II der Gesamtstudie: Rahmenbedingungen für effizienten Klimaschutz im Gebäudebereich. Industrie-Initiative für effizienten Klimaschutz in Deutschland, Wetzlar/München (2008).
- [39] Hauser, G.: Ist die primärenergetische Kennzeichnung des Energiebedarfs noch zeitgemäß? Bauphysik 34 (2012), H. 4, S. 139-140.
- [40] Fachausschuss „Nachhaltiges Energiesystem 2050“ des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien: Energiekonzept 2050 – Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien. Berlin, Juni 2010.
- [41] Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz – EEWärmeG). Ausfertigungsdatum: 07.08.2008, verkündet im Bundesgesetzblatt am 18.08.2008, in Kraft getreten am 01.01.2009, zuletzt geändert durch Artikel 2, Absatz 68 des Gesetzes vom 22.12.2011.
- [42] Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz – EWärmeG) vom 20. November, vom Landtag beschlossen am 07.11.2007, in Kraft getreten am 01.01.2008.
- [43] Bundesverband Solarwirtschaft e.V., BSW-Solar (Hrsg.): Solarwärme-Markt im Aufwind. Pressemitteilung vom 09.02.2012. (http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/pm_bsw_bdh_solarwaermemarkt.pdf)
- [44] Bundesverband Solarwirtschaft e.V., BSW-Solar (Hrsg.): Solarwärmemarkt - Deutschland wächst. Pressegrafik, Stand 1/2012, BSW-Solar, BDH (<http://www.solarwirtschaft.de/pressegrafiken/>).
- [45] Clausnitzer, K.-D., Gabriel, J., Diefenbach, N., Loga, T. und Wosniok, W.: Ermittlung von Effekten des KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramms - Entwicklung der Methodik und Ergebnisse der Berichtsperioden 2005 und 2006. Arbeitsgemeinschaft Bremer Energie Institut, Institut Wohnen und Umwelt GmbH und Institut für Statistik der Universität Bremen, Juli 2007, Bremen (2007).
- [46] Clausnitzer, K.-D., Gabriel, J., Diefenbach, N., Loga, T., Wosniok, W. und Balmert, D.: Effekte des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms 2007. Arbeitsgemeinschaft Bremer Energie Institut, Institut Wohnen und Umwelt GmbH und Institut für Statistik der Universität Bremen, Mai 2008, Bremen (2008).
- [47] Clausnitzer, K.-D., Gabriel, J., Eilmes S., Diefenbach, N., Loga, T. und Wosniok, W.: Effekte des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms 2008. Arbeitsgemeinschaft Bremer Energie Institut, Institut Wohnen und Umwelt GmbH und Institut für Statistik der Universität Bremen, Bremen (2009).

- [48] Clausnitzer, K.-D., Gabriel, J., Fette, M., Diefenbach, N., Loga, T. und Wosniok, W.: Effekte der Förderfälle des Jahres 2009 des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms und des Programms „Energieeffizient Sanieren“. Arbeitsgemeinschaft Bremer Energie Institut, Institut Wohnen und Umwelt GmbH und Institut für Statistik der Universität Bremen, August 2010, Bremen (2010).
- [49] Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Union, 18.6.2010, Straßburg (2010).
- [50] Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinspargesetz – EnEG). Fassung der Bekanntmachung vom 1. September 2005 (BGBl. I S. 2684), geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. März 2009 (BGBl. I S. 643), Berlin (2009).

Anhang A

Tabellarische Steckbriefe der Sanierungsfahrpläne / Szenarien

Steckbrief: Basis-Szenario 0 - Trendfortschreibung mit Leitlinien der Bundesregierung

Prinzip																																									
<p>Fortschreibung aktueller Trends und Entwicklungen bei Annahme der Umsetzung angekündigter und zu erwartender gesetzlicher und technischer Vorgaben und Randbedingungen.</p> <p>Keine Maßnahmenpflicht, wie z. B. zum Ersatz veralteter System oder zur Dämmung bisher ungedämmter Bauteile, jedoch nach wie vor bedingte „Wenn-/Dann“-Anforderungen bei Annahme moderater Verschärfungen</p> <p>(Ausnahme: bereits veröffentlichte Anforderungen, wie z. B. Dämmpflicht für Oberste-Geschossdecken nach EnEV)</p>																																									
Anforderungen / Annahmen	Umsetzung im Modell																																								
Anlagentechnik																																									
<p>Mindestanforderung an neu installierte Heizkessel (z. B. Arbeitszahl)</p> <p>Zusatzmaßnahmen bei Kesseltausch:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dämmung zugänglicher Leitungen - Hydraulischer Abgleich 	<p>Austauschzyklus: 30 Jahre (auch Solaranlage)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bis 2020: Brennwertkessel - Ab 2021: Verb. Brennwertkessel 																																								
Fenster																																									
<p>Bis 2020: Einsatz von 2-SV Ab 2021: Einsatz von 3-SV (x-SV: x-Scheiben-Verglasung)</p> <p>Zudem: moderate Verbesserung der Rahmen</p>	<p>Austauschzyklus: 36 Jahre</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bis 2020: 2-SV ($U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) - Ab 2021: 3-SV bis 2030: $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ab 2031: $U_w = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ 																																								
Hülle																																									
<p>Moderat ansteigende, bedingte Anforderungen in der Energieeinsparverordnung EnEV</p> <p>Anstieg Dämmniveau bis 2050 auf ca. EnEV2009-40% ab 2031</p> <p>Nicht alle Bauteile energetisch saniert (entsprechend bisheriger Entwicklungen):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oberster Gebäudeabschluss (v.a. Dach) zu 100 % energetische saniert - Außenwände ca. 55 % - Unterer Gebäudeabschluss ca. 33 % 	<p>Austauschzyklus: 55 Jahre</p> <p><u>Kennwerte bei Sanierung (z.T. Mittelwerte):</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>[W/m²K]</th> <th>2010-2014</th> <th>2015-2020</th> <th>2021-2030</th> <th>2031-2050</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U_{AW}</td> <td>0,28</td> <td>0,24</td> <td>0,20</td> <td>0,16</td> </tr> <tr> <td>U_{Dach}</td> <td>0,20</td> <td>0,17</td> <td>0,14</td> <td>0,12</td> </tr> <tr> <td>U_{UG}</td> <td>0,35</td> <td>0,30</td> <td>0,25</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>$U_{Fenster}$</td> <td>1,3</td> <td>1,3</td> <td>1,0</td> <td>0,9</td> </tr> <tr> <td>$g_{Fenster}$</td> <td>0,65</td> <td>0,65</td> <td>0,53</td> <td>0,545</td> </tr> <tr> <td>Glas</td> <td>2-SV</td> <td>2-SV</td> <td>3-SV</td> <td>3-SV</td> </tr> <tr> <td>ΔU_{WB}</td> <td>0,05</td> <td>0,05</td> <td>0,05</td> <td>0,05</td> </tr> </tbody> </table>	[W/m ² K]	2010-2014	2015-2020	2021-2030	2031-2050	U_{AW}	0,28	0,24	0,20	0,16	U_{Dach}	0,20	0,17	0,14	0,12	U_{UG}	0,35	0,30	0,25	0,2	$U_{Fenster}$	1,3	1,3	1,0	0,9	$g_{Fenster}$	0,65	0,65	0,53	0,545	Glas	2-SV	2-SV	3-SV	3-SV	ΔU_{WB}	0,05	0,05	0,05	0,05
[W/m ² K]	2010-2014	2015-2020	2021-2030	2031-2050																																					
U_{AW}	0,28	0,24	0,20	0,16																																					
U_{Dach}	0,20	0,17	0,14	0,12																																					
U_{UG}	0,35	0,30	0,25	0,2																																					
$U_{Fenster}$	1,3	1,3	1,0	0,9																																					
$g_{Fenster}$	0,65	0,65	0,53	0,545																																					
Glas	2-SV	2-SV	3-SV	3-SV																																					
ΔU_{WB}	0,05	0,05	0,05	0,05																																					

Steckbrief: Szenario 1 - Technologiegebundener Fahrplan

Prinzip

Zur Sicherstellung der Zielerreichung werden konkrete und sehr hohe Anforderungen an die Bauteile und die Komponenten der Anlagentechnik gestellt, die ab 2015 erfüllt werden müssen. (Eine weitere Verschärfung ist nicht vorgesehen.)

Für Fenster und Heizkessel werden zudem Zeitpunkte festgelegt, ab welchen in allen Wohngebäuden eine bestimmte Technologie vorhanden sein muss:

Kessel: bis 2025: Brennwerttechnik,

Fenster: bis 2035: 3-Scheiben-Verglasung (3-SV)

Anforderungen/Annahmen	Umsetzung im Modell																																								
Technik																																									
<p>Bis 2025: Austausch aller Heizkessel ohne Brennwert-Technologie. Ab 2015: Nur verbesserte Brennwertkessel Zusatzmaßnahmen bei Kesseltausch:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermische Solaranlage für Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung - Dämmung zugänglicher Leitungen - Hydraulischer Abgleich - Altbauten BJ<1978: Neue Thermostate - MFH: Frischwasserstationen 	<p>Austauschzyklus: 30 Jahre (auch Solaranlage) Kennwerte/Detailbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - „Zwangstausch“ gleichmäßig innerhalb 5 Jahre vor Anforderung (2021-2025) - Zusatzmaßnahmen bei jedem Kesseltausch, wenn einmalig bei erstem Tausch - Größe der Solaranlage (WW+Hzg.): Doppelte Min.-Größe nach EEWärmeG 																																								
Fenster																																									
<p>Bis 2035: Austausch aller Fenster mit 1- oder 2-Scheibenverglasung durch 3-Scheiben-Isolierverglasung Ab 2015: Einsatz 3-Scheiben-Verglasung Ab 2031: Einsatz von Passivhausrahmen bei Fenstertausch ($U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) und Erhöhte Anforderungen an Luftdichtheit</p>	<p>Austauschzyklus: 36 Jahre „Zwangstausch“ gleichmäßig innerhalb 5 Jahre vor Anforderung (2031-2035)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bis 2014: 2-SV ($U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) - Ab 2015: 3-SV mit steigender Rahmenqualität (U_w s. Tab. unten) - Ab 2031: 3-SV m.PH-Ra. ($U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) <u>und</u> verbesserte Luftdichtheit 																																								
Hülle																																									
<p>Bis 2050: Dämmung aller opaken Bauteile der wärmeübertragenden Hüllfläche Ab 2015: Dämmung-Niveau ca. EnEV2009-50%:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Außenwand: $U = 0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ - OGA¹⁾: Dach/OGD : $U = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ - UGA¹⁾ z. B. Kellerdecke: $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ <p>¹⁾ Oberer/Unterer Gebäudeabschluss</p> <p>Ab 2031: Minimierung von Wärmebrücken bei Sanierung ($\Delta U_{WB} \leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$)</p>	<p>Austauschzyklus: 50 Jahre + Geb. älter als 50 (Gebäude, älter als 50 Jahre: gleichmäßiger Zuschlag zu zyklusbedingten Austauschjahren)</p> <p><u>Kennwerte bei Sanierung (z.T. Mittelwerte):</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>[W/m²K]</th> <th>2010-2014</th> <th>2015-2020</th> <th>2021-2030</th> <th>2031-2050</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U_{AW}</td> <td>0,28</td> <td>0,13</td> <td>0,13</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>U_{Dach}</td> <td>0,20</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> </tr> <tr> <td>U_{UG}</td> <td>0,35</td> <td>0,15</td> <td>0,15</td> <td>0,15</td> </tr> <tr> <td>$U_{Fenster}$</td> <td>1,3</td> <td>1,0</td> <td>0,9</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>$g_{Fenster}$</td> <td>0,65</td> <td>0,52</td> <td>0,53</td> <td>0,545</td> </tr> <tr> <td>Glas</td> <td>2-SV</td> <td>3-SV</td> <td>3-SV</td> <td>3-SV</td> </tr> <tr> <td>ΔU_{WB}</td> <td>0,05</td> <td>0,05</td> <td>0,05</td> <td>0,03</td> </tr> </tbody> </table>	[W/m ² K]	2010-2014	2015-2020	2021-2030	2031-2050	U_{AW}	0,28	0,13	0,13	0,13	U_{Dach}	0,20	0,10	0,10	0,10	U_{UG}	0,35	0,15	0,15	0,15	$U_{Fenster}$	1,3	1,0	0,9	0,8	$g_{Fenster}$	0,65	0,52	0,53	0,545	Glas	2-SV	3-SV	3-SV	3-SV	ΔU_{WB}	0,05	0,05	0,05	0,03
[W/m ² K]	2010-2014	2015-2020	2021-2030	2031-2050																																					
U_{AW}	0,28	0,13	0,13	0,13																																					
U_{Dach}	0,20	0,10	0,10	0,10																																					
U_{UG}	0,35	0,15	0,15	0,15																																					
$U_{Fenster}$	1,3	1,0	0,9	0,8																																					
$g_{Fenster}$	0,65	0,52	0,53	0,545																																					
Glas	2-SV	3-SV	3-SV	3-SV																																					
ΔU_{WB}	0,05	0,05	0,05	0,03																																					

Steckbrief: Szenario 2 - Technologieoffener Fahrplan

Prinzip

Konkrete Zielvorgaben, z. B. über durch Vorgabe maximaler (Primär-)Energiebedarfswerte, ohne technologische Verpflichtungen werden vermutlich zur hochwertigen energetischen Sanierung aller veralteten Komponenten und ungedämmten Bauteile führen, in Abhängigkeit der Lebenszyklen und in sinnvollen Maßnahmenkombinationen, ggf. inkl. notwendiger Vorbereitungen und späterer Ergänzungen. (z. B. Installationszeitpunkt der Solaranlage, je nach Maßnahmen-Reihenfolge mit Kesseltausch oder bei Dachsanierung.)

Annahmen bezüglich der (unterstützenden) Gesetzeslage und des persönlichen Einsatzes:

- Stetige Verschärfung der EnEV zur Gewährleistung hoher und ansteigender Qualität
- Gewährleistung der Sanierung aller bisher ungedämmten Bauteile
- Akzeptanz intelligenter Regelungssysteme und angepasstes Nutzerverhalten

Anforderungen/Annahmen	Umsetzung im Modell																																								
Technik																																									
Einsatz von Brennwerttechnik (überwiegend verbesserte Brennwertkessel) Zusatzmaßnahmen bei Kesseltausch: <ul style="list-style-type: none"> - Dämmung zugänglicher Leitungen - Hydraulischer Abgleich - Neue Pumpen und Thermostate - MFH: Einsatz von Frischwasserstationen - EFH: Minimierung der Zirkulationslaufzeit (Abschaltung oder intelligente Steuerung) 	Austauschzyklus: 30 Jahre (auch Solaranlage) <ul style="list-style-type: none"> - Bis 2020: Brennwertkessel - Ab 2021: verb. Brennwertkessel - Sinnvoller Installationszeitpunkt der Solaranlage: mit Kesseltausch, bei Dachsanierung oder kurz vor 2050-Ziel (2045-2050) - Größe der Solaranlage (nur WW): Min.-Größe nach EEWärmeG 																																								
Fenster																																									
Bis 2020: Einsatz von 2-SV, rückläufig ab 2015 Ab 2015: verstärkter Einsatz von 3-SV Ab 2021: ausschließlich Einsatz von 3-SV (x-SV: x-Scheiben-Verglasung) <ul style="list-style-type: none"> - schrittweise Verbesserung der Rahmen - ab 2031 verbesserte Luftdichtheit 	Austauschzyklus: 36 Jahre <ul style="list-style-type: none"> - Bis 2014: 2-SV ($U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) - 2015-2020: etwa je 50 % 2- und 3-SV - Ab 2021: 3-SV ($U_w = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$) - Ab 2031: 3-SV m.PH-Ra. ($U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) <u>und</u> verbesserte Luftdichtheit 																																								
Hülle																																									
Energetische Sanierung aller Bauteile der wärmeübertragenden Hüllfläche bis 2050 Stetig ansteigende Anforderungen an die energetische Qualität bei Sanierung, bis 2050 auf ca. EnEV2009-50% ab 2031 Berücksichtigung bauteilspezifischer Besonderheiten durch geringere Anforderungen (z. B. für Klinkerwände)	Austauschzyklus: 50 Jahre + Geb. älter als 50 (Gebäude, älter als 50 Jahre: gleichmäßiger Zuschlag zu zyklusbedingten Austauschjahren) <u>Kennwerte bei Sanierung (z.T. Mittelwerte):</u> $U_{AW}(\text{Klinker}) = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th>[W/m²K]</th> <th>2010-2014</th> <th>2015-2020</th> <th>2021-2030</th> <th>2031-2050</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U_{AW}</td> <td>0,28</td> <td>0,20</td> <td>0,16</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>U_{Dach}</td> <td>0,20</td> <td>0,14</td> <td>0,12</td> <td>0,10</td> </tr> <tr> <td>U_{UG}</td> <td>0,35</td> <td>0,25</td> <td>0,20</td> <td>0,15</td> </tr> <tr> <td>$U_{Fenster}$</td> <td>1,3</td> <td>1,1</td> <td>0,9</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>$g_{Fenster}$</td> <td>0,65</td> <td>0,585</td> <td>0,53</td> <td>0,545</td> </tr> <tr> <td>Glas</td> <td>2-SV</td> <td>2/3-SV</td> <td>3-SV</td> <td>3-SV</td> </tr> <tr> <td>ΔU_{WB}</td> <td>0,05</td> <td>0,05</td> <td>0,05</td> <td>0,03</td> </tr> </tbody> </table>	[W/m ² K]	2010-2014	2015-2020	2021-2030	2031-2050	U_{AW}	0,28	0,20	0,16	0,13	U_{Dach}	0,20	0,14	0,12	0,10	U_{UG}	0,35	0,25	0,20	0,15	$U_{Fenster}$	1,3	1,1	0,9	0,8	$g_{Fenster}$	0,65	0,585	0,53	0,545	Glas	2-SV	2/3-SV	3-SV	3-SV	ΔU_{WB}	0,05	0,05	0,05	0,03
[W/m ² K]	2010-2014	2015-2020	2021-2030	2031-2050																																					
U_{AW}	0,28	0,20	0,16	0,13																																					
U_{Dach}	0,20	0,14	0,12	0,10																																					
U_{UG}	0,35	0,25	0,20	0,15																																					
$U_{Fenster}$	1,3	1,1	0,9	0,8																																					
$g_{Fenster}$	0,65	0,585	0,53	0,545																																					
Glas	2-SV	2/3-SV	3-SV	3-SV																																					
ΔU_{WB}	0,05	0,05	0,05	0,03																																					

Anhang B

Ergebnis-Übersicht der Sanierungsfahrpläne

**B1: Energetische Kennwerte
nach Gebäudetyp EFH/MFH und für den Gesamtbestand**

**B2: Anzahl der zu sanierenden Gebäude
nach Gebäudetyp EFH/MFH**

**B3: Umsetzung an den Beispielgebäuden:
Sanierungsmaßnahmen und Ergebnisse der energetischen Berechnungen**

B1: Energetische Kennwerte nach Gebäudetyp EFH/MFH und für den Gesamtbestand

Basis-Szenario 0 (Trendfortschreibung)

Basis-Szenario 0 - EFH

Tabelle B1 - 1:
Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf im Basis-Szenario 0 für den Gebäudetyp EFH.

End- und Primär- energiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	194,5	188,1	168,0	143,5	107,7	89,5	77,1
	[TWh/a]	391,4	382,1	349,2	303,6	231,9	190,9	158,9
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-11 %	-22 %	-41 %	-51 %	-59 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	223,8	216,2	190,3	156,6	108,0	82,6	64,9
	[TWh/a]	450,4	439,2	395,5	331,4	232,4	176,2	133,7
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-26 %	-48 %	-61 %	-70 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	43,7	43,0	41,0	37,9	35,0	33,6	32,2
	[TWh/a]	87,8	87,4	85,1	80,3	75,3	71,7	66,4
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-3 %	-9 %	-14 %	-18 %	-24 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	58,6	57,8	53,9	46,9	39,7	34,9	30,0
	[TWh/a]	117,9	117,3	112,0	99,2	85,5	74,5	61,8
Reduktion ggü. 2008			0 %	-5 %	-16 %	-27 %	-37 %	-48 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,004	0,024	0,041	0,129	0,193	0,266
	[GWh]		9	51	88	277	412	548
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,011	0,058	0,079	0,180	0,193	0,160
	[GWh]		23	121	167	387	412	329
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m²a]	238,2	231,1	209,0	181,5	142,8	123,3	109,6
	[TWh/a]	479,3	469,5	434,4	383,9	307,5	263,1	225,9
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-9 %	-20 %	-36 %	-45 %	-53 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	282,4	273,9	244,3	203,6	147,9	117,7	95,0
	[TWh/a]	568,3	556,5	507,6	430,8	318,3	251,1	195,8
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-11 %	-24 %	-44 %	-56 %	-66 %

Basis-Szenario 0 - MFH

Tabelle B1 - 2:

Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf im Basis-Szenario 0 für den Gebäudetyp MFH.

End- und Primärenergiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	153,5	149,8	132,5	114,6	90,1	76,9	68,1
	[TWh/a]	212,9	209,8	189,7	167,1	133,6	113,0	96,7
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-11 %	-22 %	-37 %	-47 %	-55 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	166,0	161,8	140,9	118,4	87,5	70,9	58,8
	[TWh/a]	230,3	226,5	201,8	172,6	129,9	104,3	83,5
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-25 %	-44 %	-55 %	-64 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	36,7	36,4	35,1	33,7	32,5	31,8	30,8
	[TWh/a]	50,9	51,0	50,2	49,1	48,2	46,8	43,8
Reduktion ggü. 2008			0 %	-1 %	-4 %	-5 %	-8 %	-14 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	51,5	51,1	47,6	41,6	35,7	31,2	26,4
	[TWh/a]	71,5	71,6	68,1	60,7	53,0	45,9	37,5
Reduktion ggü. 2008			0 %	-5 %	-15 %	-26 %	-36 %	-47 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,001	0,005	0,009	0,145	0,431	0,769
	[GWh]		1	7	13	215	634	1.092
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,002	0,012	0,017	0,203	0,431	0,461
	[GWh]		3	18	24	301	634	655
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m²a]	190,2	186,3	167,5	148,3	122,7	109,1	99,7
	[TWh/a]	263,9	260,8	239,9	216,3	182,0	160,4	141,5
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-9 %	-18 %	-31 %	-39 %	-46 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	217,5	212,9	188,5	160,0	123,5	102,6	85,7
	[TWh/a]	301,8	298,1	269,9	233,3	183,2	150,8	121,7
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-11 %	-23 %	-39 %	-50 %	-60 %

Basis-Szenario 0 - Gesamtbestand

Tabelle B1 - 3:

Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf im Basis-Szenario 0 für den Wohngebäudebestand.

End- und Primärenergiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	177,8	172,5	153,5	131,7	100,5	84,3	73,4
	[TWh/a]	604,4	591,9	538,9	470,7	365,5	303,9	255,6
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-11 %	-22 %	-40 %	-50 %	-58 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	200,2	194,0	170,2	141,0	99,6	77,8	62,4
	[TWh/a]	680,7	665,7	597,3	504,0	362,3	280,5	217,2
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-26 %	-47 %	-59 %	-68 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	40,8	40,3	38,6	36,2	34,0	32,9	31,6
	[TWh/a]	138,8	138,4	135,3	129,4	123,5	118,5	110,1
Reduktion ggü. 2008			0 %	-2 %	-7 %	-11 %	-15 %	-21 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	55,7	55,0	51,3	44,8	38,1	33,4	28,5
	[TWh/a]	189,4	188,9	180,1	160,0	138,5	120,4	99,3
Reduktion ggü. 2008			0 %	-5 %	-16 %	-27 %	-36 %	-48 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,003	0,016	0,028	0,135	0,290	0,471
	[GWh]		10	58	101	492	1.046	1.640
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,008	0,040	0,053	0,189	0,290	0,283
	[GWh]		26	139	191	689	1.046	984
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m²a]	218,6	212,8	192,1	167,9	134,6	117,5	105,6
	[TWh/a]	743,2	730,3	674,3	600,2	489,5	423,5	367,4
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-9 %	-19 %	-34 %	-43 %	-51 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	255,9	249,0	221,5	185,8	137,9	111,5	91,2
	[TWh/a]	870,0	854,6	777,5	664,2	501,5	401,9	317,5
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-11 %	-24 %	-42 %	-54 %	-64 %

Szenario 1 (technologiegebunden)

Szenario 1 - EFH

Tabelle B1 - 4:

Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf in Szenario 1 für den Gebäudetyp EFH.

End- und Primär-energiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	194,5	187,2	161,9	131,8	82,0	62,2	39,6
	[TWh/a]	391,4	380,2	336,5	278,9	176,5	132,6	81,7
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-14 %	-29 %	-55 %	-66 %	-79 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	223,8	215,1	183,3	143,6	76,9	52,9	29,5
	[TWh/a]	450,4	437,0	381,0	303,9	165,6	112,9	60,8
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-15 %	-33 %	-63 %	-75 %	-87 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	43,7	42,8	40,7	36,4	30,7	29,4	28,7
	[TWh/a]	87,8	87,0	84,5	77,0	66,1	62,8	59,2
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-4 %	-12 %	-25 %	-28 %	-33 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	58,6	57,6	53,5	45,1	34,0	29,1	24,9
	[TWh/a]	117,9	116,9	111,2	95,4	73,1	62,0	51,3
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-6 %	-19 %	-38 %	-47 %	-56 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,004	0,024	0,041	0,129	0,193	0,269
	[GWh]		9	51	88	277	412	553
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,011	0,058	0,079	0,180	0,193	0,161
	[GWh]		23	121	167	387	412	332
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m²a]	238,2	230,0	202,6	168,3	112,8	91,8	68,6
	[TWh/a]	479,3	467,3	421,0	356,0	242,9	195,8	141,4
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-12 %	-26 %	-49 %	-59 %	-71 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	282,4	272,7	236,9	188,8	111,1	82,2	54,6
	[TWh/a]	568,3	554,0	492,2	399,5	239,1	175,3	112,4
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-13 %	-30 %	-58 %	-69 %	-80 %

Szenario 1 - MFH

Tabelle B1 - 5:
Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf in Szenario 1 für den Gebäudetyp MFH.

End- und Primärenergiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	153,5	148,9	126,6	104,3	70,9	55,0	36,0
	[TWh/a]	212,9	208,5	181,3	152,1	105,2	80,9	51,1
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-15 %	-29 %	-51 %	-62 %	-76 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	166,0	160,8	134,1	106,6	63,9	46,1	27,0
	[TWh/a]	230,3	225,1	192,1	155,4	94,8	67,7	38,3
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-17 %	-33 %	-59 %	-71 %	-83 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	36,7	36,4	34,7	30,9	25,0	23,6	22,7
	[TWh/a]	50,9	51,0	49,6	45,1	37,1	34,6	32,2
Reduktion ggü. 2008			0 %	-3 %	-11 %	-27 %	-32 %	-37 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	51,5	51,1	46,9	38,0	26,4	21,6	17,7
	[TWh/a]	71,5	71,6	67,1	55,4	39,2	31,7	25,1
Reduktion ggü. 2008			0 %	-6 %	-22 %	-45 %	-56 %	-65 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,001	0,005	0,009	0,130	0,419	0,764
	[GWh]		1	7	13	192	617	1.085
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,002	0,012	0,017	0,181	0,419	0,459
	[GWh]		3	18	24	269	617	651
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m²a]	190,2	185,3	161,3	135,2	96,1	79,0	59,5
	[TWh/a]	263,9	259,5	231,0	197,2	142,5	116,1	84,4
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-25 %	-46 %	-56 %	-68 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	217,5	211,9	181,0	144,6	90,6	68,1	45,1
	[TWh/a]	301,8	296,7	259,2	210,9	134,3	100,1	64,0
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-14 %	-30 %	-55 %	-67 %	-79 %

Szenario 1 - Gesamtbestand

Tabelle B1 - 6:

Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf in Szenario 1 für den gesamten Wohngebäudebestand.

End- und Primärenergiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	177,8	171,6	147,5	120,6	77,5	59,2	38,2
	[TWh/a]	604,4	588,7	517,8	431,0	281,7	213,5	132,8
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-14 %	-29 %	-53 %	-65 %	-78 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	200,2	192,9	163,3	128,5	71,6	50,1	28,5
	[TWh/a]	680,7	662,1	573,0	459,3	260,5	180,6	99,1
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-16 %	-33 %	-62 %	-73 %	-85 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	40,8	40,2	38,2	34,2	28,4	27,0	26,3
	[TWh/a]	138,8	138,1	134,1	122,1	103,3	97,5	91,4
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-3 %	-12 %	-26 %	-30 %	-34 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	55,7	54,9	50,8	42,2	30,9	26,0	22,0
	[TWh/a]	189,4	188,5	178,3	150,9	112,3	93,7	76,4
Reduktion ggü. 2008			0 %	-6 %	-20 %	-41 %	-50 %	-60 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,003	0,016	0,028	0,129	0,285	0,471
	[GWh]		10	58	101	469	1.029	1.639
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,008	0,040	0,053	0,181	0,285	0,283
	[GWh]		26	139	191	656	1.029	983
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m²a]	218,6	211,8	185,8	154,8	106,0	86,6	64,9
	[TWh/a]	743,2	726,8	652,0	553,2	385,4	312,0	225,8
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-26 %	-48 %	-58 %	-70 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	255,9	247,9	214,1	170,8	102,7	76,4	50,7
	[TWh/a]	870,0	850,7	751,4	610,4	373,4	275,4	176,5
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-14 %	-30 %	-57 %	-68 %	-80 %

Szenario 2 (technologieoffen)

Szenario 2 - EFH

Tabelle B1 - 7:

Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf in Szenario 2 für den Gebäudetyp EFH.

End- und Primär- energiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	194,5	187,2	162,8	134,6	91,9	68,7	44,7
	[TWh/a]	391,4	380,4	338,3	284,9	197,8	146,6	92,1
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-14 %	-27 %	-49 %	-63 %	-76 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	223,8	215,2	184,3	146,6	87,2	58,3	33,3
	[TWh/a]	450,4	437,2	382,9	310,3	187,7	124,5	68,5
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-15 %	-31 %	-58 %	-72 %	-85 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	43,7	42,8	40,8	37,4	30,3	26,7	22,4
	[TWh/a]	87,8	87,0	84,8	79,1	65,1	56,9	46,1
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-3 %	-10 %	-26 %	-35 %	-47 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	58,6	57,6	53,6	46,1	33,1	26,3	19,3
	[TWh/a]	117,9	116,9	111,5	97,6	71,3	56,1	39,8
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-5 %	-17 %	-40 %	-52 %	-66 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,004	0,024	0,041	0,129	0,193	0,266
	[GWh]		9	51	88	277	412	548
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,011	0,058	0,079	0,180	0,193	0,160
	[GWh]		23	121	167	387	412	329
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m²a]	238,2	230,1	203,6	172,1	122,3	95,6	67,4
	[TWh/a]	479,3	467,5	423,1	364,1	263,2	203,9	138,8
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-24 %	-45 %	-57 %	-71 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	282,4	272,8	238,0	192,9	120,5	84,8	52,7
	[TWh/a]	568,3	554,2	494,5	408,1	259,3	181,0	108,7
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-13 %	-28 %	-54 %	-68 %	-81 %

Szenario 2 - MFH

Tabelle B1 - 8:
Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf in Szenario 2 für den Gebäudetyp MFH.

End- und Primärenergiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	153,5	149,0	127,4	106,4	77,0	59,4	39,4
	[TWh/a]	212,9	208,6	182,4	155,2	114,2	87,4	55,9
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-14 %	-27 %	-46 %	-59 %	-74 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	166,0	160,9	134,8	108,7	70,0	49,6	29,4
	[TWh/a]	230,3	225,3	193,1	158,5	103,8	73,0	41,8
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-16 %	-31 %	-55 %	-68 %	-82 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	36,7	36,4	35,1	33,5	28,9	26,6	23,2
	[TWh/a]	50,9	51,0	50,2	48,8	42,9	39,1	33,0
Reduktion ggü. 2008			0 %	-1 %	-4 %	-16 %	-23 %	-35 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	51,5	51,1	47,4	41,0	30,5	24,6	18,1
	[TWh/a]	71,5	71,6	67,8	59,8	45,3	36,1	25,8
Reduktion ggü. 2008			0 %	-5 %	-16 %	-37 %	-49 %	-64 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,001	0,005	0,009	0,145	0,435	0,781
	[GWh]		1	7	13	215	639	1.108
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,002	0,012	0,017	0,203	0,435	0,468
	[GWh]		3	18	24	301	639	665
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m²a]	190,2	185,4	162,4	139,9	106,1	86,5	63,4
	[TWh/a]	263,9	259,6	232,6	204,0	157,3	127,1	90,0
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-23 %	-40 %	-52 %	-66 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	217,5	212,0	182,2	149,7	100,7	74,6	48,0
	[TWh/a]	301,8	296,8	261,0	218,3	149,4	109,7	68,2
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-14 %	-28 %	-51 %	-64 %	-77 %

Szenario 2 - Gesamtbestand

Tabelle B1 - 9:

Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf in Szenario 2 für den gesamten Wohngebäudebestand.

End- und Primärenergiebedarf		2008	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Heizung								
Endenergie	[kWh/m²a]	177,8	171,6	148,3	123,1	85,8	64,9	42,5
	[TWh/a]	604,4	589,0	520,7	440,1	312,0	234,0	148,1
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-14 %	-27 %	-48 %	-61 %	-75 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	200,2	193,0	164,1	131,2	80,2	54,8	31,7
	[TWh/a]	680,7	662,5	576,1	468,8	291,5	197,5	110,3
Reduktion ggü. 2008			-3 %	-15 %	-31 %	-57 %	-71 %	-84 %
Warmwasser								
Endenergie	[kWh/m²a]	40,8	40,2	38,5	35,8	29,7	26,6	22,7
	[TWh/a]	138,8	138,1	135,0	127,9	108,0	96,0	79,1
Reduktion ggü. 2008			-1 %	-3 %	-8 %	-22 %	-31 %	-43 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	55,7	54,9	51,1	44,0	32,0	25,6	18,8
	[TWh/a]	189,4	188,5	179,3	157,4	116,5	92,2	65,6
Reduktion ggü. 2008			0 %	-5 %	-17 %	-38 %	-51 %	-65 %
Lüftung								
Endenergie	[kWh/m²a]		0,003	0,016	0,028	0,135	0,292	0,476
	[GWh]		10	58	101	492	1.052	1.657
Primärenergie	[kWh/m²a]		0,008	0,040	0,053	0,189	0,292	0,286
	[GWh]		26	139	191	689	1.052	994
GESAMT								
Endenergie	[kWh/m²a]	218,6	211,9	186,8	158,9	115,7	91,9	65,8
	[TWh/a]	743,2	727,1	655,7	568,1	420,5	331,1	228,9
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-12 %	-24 %	-43 %	-55 %	-69 %
Primärenergie	[kWh/m²a]	255,9	248,0	215,2	175,3	112,4	80,7	50,8
	[TWh/a]	870,0	851,0	755,5	626,4	408,7	290,7	176,9
Reduktion ggü. 2008			-2 %	-13 %	-28 %	-53 %	-67 %	-80 %

B2: Anzahl der zu sanierenden Gebäude nach Gebäudetyp EFH/MFH

Basis-Szenario 0

Basis-Szenario 0 - EFH

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle B2 - 1:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 0 für Gebäudetyp EFH.

Baualterklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	16.000	16.900	10.300	6.600	12.600	514.700
C (1919-1948)	0	7.000	32.000	25.700	15.800	646.900
D (1949-1957)	26.200	0	0	0	7.000	288.300
E (1958-1968)	92.300	37.700	0	0	34.000	1.392.500
F (1969-1978)	0	91.600	38.500	0	31.700	1.301.000
G (1979-1983)	0	0	115.900	0	28.300	1.159.500
H (1984-1994)	0	0	28.600	128.100	38.200	1.566.800
I (1995-2001)	0	0	0	22.500	5.500	225.400
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	135.000	153.000	225.000	183.000	173.000	7.095.000

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle B2 - 2:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 0 für Gebäudetyp EFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
F1.A (bis84)	42.500	0	0	0	11.400	467.200
F2.A (bis84)	351.900	0	0	0	94.400	3.870.900
F2.B (85-89)	0	174.000	0	0	42.500	1.740.500
F2.C (90-94)	0	232.400	0	0	56.700	2.323.700
F2.D (95-99)	0	0	269.400	0	65.700	2.694.200
F2.E (00-04)	0	0	223.900	0	54.600	2.238.500
F2.F (05-09)	0	0	0	93.400	22.800	934.400
F3.F (05-09)	0	0	0	49.700	12.100	497.100
F2.NEU (ab10)	0	0	0	238.300	0	0
Gesamt	394.000	406.000	493.000	381.000	418.000	17.149.000

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle B2 - 3:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 0 für Gebäudetyp EFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (EFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	232.000	493.200	275.000	175.000	292.300	11.984.400
Austausch im Neubau	0	0	0	40.400	9.900	404.200
Systemwechsel	58.000	123.000	69.000	44.000	73.000	2.996.000
Gesamt	290.000	617.000	344.000	259.000	375.000	15.385.000

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle B2 - 4:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 0 auf Gebäudetyp EFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	59.800	66.700	39.500	22.600	47.400	1.945.200
Neu auf Neubau	0	0	0	0	0	0
Neu Gesamt	60.000	67.000	39.000	23.000	47.000	1.945.000
Ersatz auf Bestand	13.600	52.500	75.000	58.800	49.100	2.012.400
Ersatz auf Neubau	0	0	0	20.200	4.900	202.100
Ersatz Gesamt	14.000	52.000	75.000	79.000	54.000	2.215.000
Gesamtsumme	74.000	119.000	114.000	102.000	101.000	4.160.000

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle B2 - 5:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 0 für Gebäudetyp MFH.

Baualterklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	2.800	3.100	1.900	1.300	2.300	93.700
C (1919-1948)	0	1.100	5.000	4.100	2.500	101.400
D (1949-1957)	6.200	0	0	0	1.700	67.700
E (1958-1968)	23.300	9.500	0	0	8.600	351.300
F (1969-1978)	0	19.900	8.400	0	6.900	282.300
G (1979-1983)	0	0	23.400	0	5.700	234.100
H (1984-1994)	0	0	6.300	28.300	8.400	346.400
I (1995-2001)	0	0	0	3.700	900	37.000
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	32.000	34.000	45.000	37.000	37.000	1.514.000

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle B2 - 6:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 0 für Gebäudetyp MFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
F1.A (bis84)	7.600	0	0	0	2.000	83.900
F2.A (bis84)	55.900	0	0	0	15.000	615.200
F2.B (85-89)	0	35.200	0	0	8.600	352.400
F2.C (90-94)	0	54.500	0	0	13.300	545.400
F2.D (95-99)	0	0	72.700	0	17.700	726.500
F2.E (00-04)	0	0	50.600	0	12.300	505.900
F2.F (05-09)	0	0	0	11.900	2.900	118.700
F3.F (05-09)	0	0	0	5846,5	1.400	58.500
F2.NEU (ab10)	0	0	0,0	40099,1	0	0
Gesamt	64.000	90.000	123.000	58.000	83.000	3.408.000

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle B2 - 7:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 0 für Gebäudetyp MFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (MFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	68.500	96.200	46.000	53.700	66.200	2.712.600
Austausch im Neubau	0	0	0	8.900	2.200	89.000
Systemwechsel	12.100	17.000	8.100	9.500	11.700	478.700
Gesamt	81.000	113.000	54.000	72.000	80.000	3.280.000

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle B2 - 8:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 0 auf Gebäudetyp MFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (MFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	0	0	0	0	0	0
Neu auf Neubau	0	0	0	0	0	0
Neu Gesamt	0	0	0	0	0	0
Ersatz auf Bestand	800	2.900	4.200	700	2.100	86.300
Ersatz auf Neubau	0	0	0	4.400	1.100	44.500
Ersatz Gesamt	1.000	3.000	4.000	5.000	3.000	131.000
Gesamtsumme	1.000	3.000	4.000	5.000	3.000	131.000

Szenario 1 (technologiegebunden)

Szenario 1 - EFH

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle B2 - 9:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 1 für Gebäudetyp EFH.

Baualtersklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	30.200	14.900	12.400	9.100	17.000	695.400
C (1919-1948)	6.900	32.700	27.800	17.400	20.800	854.800
D (1949-1957)	0	0	0	76.600	18.700	765.600
E (1958-1968)	116.700	0	0	0	31.300	1.284.100
F (1969-1978)	22.900	97.000	0	0	29.800	1.221.200
G (1979-1983)	0	46.500	69.700	0	28.300	1.162.200
H (1984-1994)	0	0	100.100	57.000	38.300	1.570.900
I (1995-2001)	0	0	0	135.300	33.000	1.352.900
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	177.000	191.000	210.000	295.000	217.000	8.907.000

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle B2 - 10:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 1 für Gebäudetyp EFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
F1.A (bis84)	42.500	0	0	0	11.400	467.200
F2.A (bis84)	351.900	0	0	0	94.400	3.870.900
F2.B (85-89)	0	174.000	0	0	42.500	1.740.500
F2.C (90-94)	0	232.400	0	0	56.700	2.323.700
F2.D (95-99)	0	0	269.400	0	65.700	2.694.200
F2.E (00-04)	0	0	225.000	0	54.900	2.250.300
F2.F (05-09)	0	0	94.500	0	23.100	945.300
F3.F (05-09)	0	0	0	49.700	12.100	497.100
F2.NEU (ab10)	0	0	238.300	0,0	0	0
Gesamt	394.000	406.000	827.000	50.000	419.000	17.172.000

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle B2 - 11:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 1 für Gebäudetyp EFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (EFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	232.000	552.900	159.300	142.200	270.600	11.096.200
Austausch im Neubau	0	0	0	40.400	9.900	404.200
Systemwechsel	58.000	184.300	68.300	76.600	95.800	3.929.400
Gesamt	290.000	737.000	228.000	259.000	376.000	15.430.000

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle B2 - 12:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 1 auf Gebäudetyp EFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	191.800	500.400	84.400	11.200	196.800	8.069.400
Neu auf Neubau	0	0	0	20.200	4.900	202.100
Neu Gesamt	192.000	500.000	84.000	31.000	202.000	8.271.000
Ersatz auf Bestand	13.600	52.500	75.000	130.900	66.700	2.734.100
Ersatz auf Neubau	0	0	0	20.200	4.900	202.100
Ersatz Gesamt	14.000	52.000	75.000	151.000	72.000	2.936.000
Gesamtsumme	205.000	553.000	159.000	183.000	273.000	11.208.000

Szenario 1 - MFH

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle B2 - 13:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 1 für Gebäudetyp MFH.

Baualtersklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	4.100	2.000	1.700	1.300	2.300	95.600
C (1919-1948)	1.100	5.200	4.400	2.800	3.300	136.500
D (1949-1957)	0	0	0	18.500	4.500	185.500
E (1958-1968)	30.300	0	0	0	8.100	333.600
F (1969-1978)	5.100	21.600	0	0	6.600	272.400
G (1979-1983)	0	9.400	14.100	0	5.700	234.700
H (1984-1994)	0	0	22.100	12.600	8.500	347.200
I (1995-2001)	0	0	0	22.200	5.400	222.000
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	41.000	38.000	42.000	57.000	45.000	1.827.000

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle B2 - 14:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 1 für Gebäudetyp MFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
F1.A (bis84)	7.600	0	0	0	2.000	83.900
F2.A (bis84)	55.900	0	0	0	15.000	615.200
F2.B (85-89)	0	35.200	0	0	8.600	352.400
F2.C (90-94)	0	54.500	0	0	13.300	545.400
F2.D (95-99)	0	0	72.700	0	17.700	726.500
F2.E (00-04)	0	0	50.900	0	12.400	508.600
F2.F (05-09)	0	0	12.000	0	2.900	120.100
F3.F (05-09)	0	0	0	5.800	1.400	58.500
F2.NEU (ab10)	0	0	40.100	0,0	0	0
Gesamt	64.000	90.000	176.000	6.000	83.000	3.412.000

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle B2 - 15:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 1 für Gebäudetyp MFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (MFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	68.500	107.200	25.600	44.200	61.500	2.523.300
Austausch im Neubau	0	0	0	8.900	2.200	89.000
Systemwechsel	17.100	35.700	11.000	23.800	21.800	893.400
Gesamt	86.000	143.000	37.000	77.000	86.000	3.506.000

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle B2 - 16:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 1 auf Gebäudetyp MFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	49.700	104.300	21.400	10.200	46.500	1.905.500
Neu auf Neubau	0	0	0	4.400	1.100	44.500
Neu Gesamt	50.000	104.000	21.000	15.000	48.000	1.950.000
Ersatz auf Bestand	800	2.900	4.200	34.000	10.200	419.400
Ersatz auf Neubau	0	0	0	4.400	1.100	44.500
Ersatz Gesamt	1.000	3.000	4.000	38.000	11.000	464.000
Gesamtsumme	50.000	107.000	26.000	53.000	59.000	2.414.000

Szenario 2 (technologieoffen)

Szenario 2 - EFH

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle B2 - 17:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 2 für Gebäudetyp EFH.

Baualterklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	30.200	14.900	12.400	9.100	17.000	695.400
C (1919-1948)	6.900	32.700	27.800	17.400	20.800	854.800
D (1949-1957)	0	0	0	76.600	18.700	765.600
E (1958-1968)	116.700	0	0	0	31.300	1.284.100
F (1969-1978)	22.900	97.000	0	0	29.800	1.221.200
G (1979-1983)	0	46.500	69.700	0	28.300	1.162.200
H (1984-1994)	0	0	100.100	57.000	38.300	1.570.900
I (1995-2001)	0	0	0	135.300	33.000	1.352.900
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	177.000	191.000	210.000	295.000	217.000	8.907.000

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle B2 - 18:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 2 für Gebäudetyp EFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
F1.A (bis84)	42.500	0	0	0	11.400	467.200
F2.A (bis84)	351.900	0	0	0	94.400	3.870.900
F2.B (85-89)	0	174.000	0	0	42.500	1.740.500
F2.C (90-94)	0	232.400	0	0	56.700	2.323.700
F2.D (95-99)	0	0	269.400	0	65.700	2.694.200
F2.E (00-04)	0	0	223.900	0	54.600	2.238.500
F2.F (05-09)	0	0	0	93.400	22.800	934.400
F3.F (05-09)	0	0	0	49.700	12.100	497.100
F2.NEU (ab10)	0	0	0,0	238.300	0	0
Gesamt	394.000	406.000	493.000	381.000	418.000	17.149.000

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle B2 - 19:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 2 für Gebäudetyp EFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (EFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	232.000	462.400	240.600	142.200	268.400	11.004.300
Austausch im Neubau	0	0	0	40.400	9.900	404.200
Systemwechsel	58.000	154.100	103.100	76.600	97.000	3.976.200
Gesamt	290.000	617.000	344.000	259.000	375.000	15.385.000

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle B2 - 20:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 2 auf Gebäudetyp EFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	59.800	152.500	134.900	330.100	166.600	6.832.600
Neu auf Neubau	0	0	0	20.200	4.900	202.100
Neu Gesamt	60.000	152.000	135.000	350.000	172.000	7.035.000
Ersatz auf Bestand	13.600	52.500	75.000	58.800	49.100	2.012.400
Ersatz auf Neubau	0	0	0	20.200	4.900	202.100
Ersatz Gesamt	14.000	52.000	75.000	79.000	54.000	2.215.000
Gesamtsumme	73.000	205.000	210.000	429.000	226.000	9.249.000

Szenario 2 - MFH

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle B2 - 21:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 2 für Gebäudetyp MFH.

Baualtersklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	4.100	2.000	1.700	1.300	2.300	95.600
C (1919-1948)	1.100	5.200	4.400	2.800	3.300	136.500
D (1949-1957)	0	0	0	18.500	4.500	185.500
E (1958-1968)	30.300	0	0	0	8.100	333.600
F (1969-1978)	5.100	21.600	0	0	6.600	272.400
G (1979-1983)	0	9.400	14.100	0	5.700	234.700
H (1984-1994)	0	0	22.100	12.600	8.500	347.200
I (1995-2001)	0	0	0	22.200	5.400	222.000
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	41.000	38.000	42.000	57.000	45.000	1.827.000

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle B2 - 22:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 2 für Gebäudetyp MFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
F1.A (bis84)	7.600	0	0	0	2.000	83.900
F2.A (bis84)	55.900	0	0	0	15.000	615.200
F2.B (85-89)	0	35.200	0	0	8.600	352.400
F2.C (90-94)	0	54.500	0	0	13.300	545.400
F2.D (95-99)	0	0	72.700	0	17.700	726.500
F2.E (00-04)	0	0	50.600	0	12.300	505.900
F2.F (05-09)	0	0	0	11.900	2.900	118.700
F3.F (05-09)	0	0	0	5.800	1.400	58.500
F2.NEU (ab10)	0	0	0,0	40.100	0	0
Gesamt	64.000	90.000	123.000	58.000	83.000	3.408.000

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle B2 - 23:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 2 für Gebäudetyp MFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (MFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	68.500	90.500	40.600	44.200	61.100	2.507.000
Austausch im Neubau	0	0	0	8.900	2.200	89.000
Systemwechsel	17.100	30.200	17.400	23.800	22.000	902.300
Gesamt	86.000	121.000	58.000	77.000	85.000	3.498.000

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle B2 - 24:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 2 auf Gebäudetyp MFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	0	26.900	23.300	110.400	39.200	1.606.700
Neu auf Neubau	0	0	0	4.400	1.100	44.500
Neu Gesamt	0	27.000	23.000	115.000	40.000	1.651.000
Ersatz auf Bestand	800	2.900	4.200	700	2.100	86.300
Ersatz auf Neubau	0	0	0	4.400	1.100	44.500
Ersatz Gesamt	1.000	3.000	4.000	5.000	3.000	131.000
Gesamtsumme	1.000	30.000	28.000	120.000	43.000	1.782.000

B3: Umsetzung an den Beispielgebäuden

Sanierungsmaßnahmen und Ergebnisse der energetischen Berechnungen

Basis-Szenario 0

Sanierungsmaßnahmen an den Beispielgebäuden

Tabelle B3 - 1:

Übersicht über die infolge des Basis-Szenarios entstehenden Sanierungszeitpunkte und Maßnahmen an den Beispielgebäuden.

Sanierungsmaßnahmen an den Beispielgebäuden im Basis-Szenario 0	EFH 1 (1934, Klinker)		EFH 2 (1978, MW ungedämmt)		MFH (1965, MW ungedämmt)	
	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke ¹⁾ [cm]	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke ¹⁾ [cm]	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke ¹⁾ [cm]
Opake Gebäudehülle	2034		2028		2015	
Außenwand (anteilig, EFH: 50 % / MFH: 60 %)	-	-	0,20	14,0	0,28	10,0
Dach ²⁾	0,12	26,7	0,14	18,0 / 22,5	0,17	14,8 / 20,0
Kellerdecke	0,20	14,6	0,25	10,5	0,30	9,3
Fenster	2040		2014 / 2050		2031	
Fenster	0,9	-	1,3 / 0,9	-	0,9	-
Anlagentechnik	2024		2038		2031	
Haupt-Erzeuger ³⁾	verb. Brennwertkessel		verb. Brennwertkessel		verb. Brennwertkessel	
Neue Pumpen	-		-		-	
Regelung - Heizung	-		-		-	
Regelung - Warmwasser	-		-		-	
Solarthermie	-		-		-	

¹⁾ für Dämmstoffe mit Wärmeleitfähigkeit $\lambda=0,035$ W/(mK),
[Rechenwert, unabhängig von am Markt verfügbaren Dämmstoffdicken]

²⁾ ggf. 2 Angaben für Dachdämmung, zusätzliche und gesamte neue Dämmung

³⁾ stets mit Dämmung Rohrleitungen und hydraulischem Abgleich

Basis-Szenario 0 - EFH 1

Tabelle B3 - 2:

Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude EFH 1 nach Szenario 0, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 0 - EFH 1	2010	2030 ¹⁾	2040 ¹⁾	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2024	2039	2040	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Kessel	2. Hülle ²⁾	3. Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m²a)]	289,8	294,1	206,0	191,9	191,9
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		1 %	-29 %	-34 %	-34 %
Endenergie [kWh/(m²a)]	465,4	405,6	290,7	273,8	273,8
... für Heizung (Hzg.)	430,7	375,8	261,4	244,7	244,7
... für Hzg.-Hilfsenergie	5,8	5,6	4,8	4,6	4,6
... für Warmwasser (TWW)	28,3	23,8	23,9	23,9	23,9
... für TWW-Hilfsenergie	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
Endenergie - Strom	6,4	6,1	5,3	5,1	5,1
Endenergie – Gas/Öl	459,0	399,5	285,4	268,7	268,7
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-13 %	-38 %	-41 %	-41 %
Primärenergie [kWh/(m²a)]	471,5	400,9	280,4	264,1	254,8
... für Heizung (Hzg.)	426,8	369,0	252,0	235,9	229,3
... für Hzg.-Hilfsenergie	15,0	7,8	4,8	4,6	2,7
... für Warmwasser (TWW)	28,1	23,3	23,1	23,1	22,4
... für TWW-Hilfsenergie	1,6	0,8	0,5	0,5	0,3
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-15 %	-41 %	-44 %	-46 %
Anteil "EnEV2009-Neubau"	389 %	338 %	242 %	236 %	237 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

²⁾ Ohne Sanierung der zweischaligen Klinker-Außenwand

Basis-Szenario 0 - EFH 2

Tabelle B3 - 3:

Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude EFH 2 nach Szenario 0, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 0 - EFH 2	2010	2020	2040 ¹⁾	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2014	2033	2038	2050
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Fenster	2. Hülle	3. Kessel	4. Fenster
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	231,5	173,9	108,9	116,6	113,0
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		-25 %	-53 %	-50 %	-51 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	369,9	291,6	202,4	177,5	173,3
... für Heizung (Hzg.)	338,6	261,0	172,1	149,5	145,4
... für Hzg.-Hilfsenergie	5,2	4,2	3,0	3,8	3,8
... für Warmwasser (TWW)	25,6	25,7	26,7	23,5	23,4
... für TWW-Hilfsenergie	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Endenergie - Strom	5,8	4,9	3,6	4,5	4,4
Endenergie – Gas/Öl	364,1	286,7	198,8	173,0	168,8
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-21 %	-45 %	-52 %	-53 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	375,9	293,4	195,2	171,2	160,8
... für Heizung (Hzg.)	335,5	258,6	165,9	144,1	136,3
... für Hzg.-Hilfsenergie	13,4	8,0	3,0	3,8	2,3
... für Warmwasser (TWW)	25,3	25,5	25,7	22,6	21,9
... für TWW-Hilfsenergie	1,7	1,2	0,7	0,7	0,4
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-22 %	-48 %	-54 %	-57 %
Anteil "EnEV2009-Neubau"	310 %	247 %	169 %	153 %	150 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

Basis-Szenario 0 - MFH

Tabelle B3 - 4:

Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude MFH nach Szenario 0, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 0 - MFH	2010	2020	2030	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2020	2027	2033	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Hülle	2. Kessel	3. Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m²a)]	163,2	91,7	96,2	80,0	80,0
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		-44 %	-41 %	-51 %	-51 %
Endenergie [kWh/(m²a)]	278,1	179,2	173,0	151,1	151,1
... für Heizung (Hzg.)	249,4	150,4	145,8	123,8	123,8
... für Hzg.-Hilfsenergie	1,7	1,2	1,4	1,2	1,2
... für Warmwasser (TWW)	26,6	27,4	25,6	25,7	25,7
... für TWW-Hilfsenergie	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Endenergie - Strom	2,0	1,5	1,7	1,5	1,5
Endenergie – Gas/Öl	276,1	177,7	171,4	149,5	149,5
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-36 %	-38 %	-46 %	-46 %
Primärenergie [kWh/(m²a)]	278,9	178,9	170,6	145,7	141,0
... für Heizung (Hzg.)	247,2	149,0	143,1	119,4	116,0
... für Hzg.-Hilfsenergie	4,4	2,2	1,9	1,2	0,7
... für Warmwasser (TWW)	26,4	27,1	25,1	24,8	24,1
... für TWW-Hilfsenergie	0,9	0,6	0,5	0,3	0,2
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-36 %	-39 %	-48 %	-49 %
Anteil "EnEV2009-Neubau"	230 %	151 %	148 %	130 %	131 %

Szenario 1

Sanierungsmaßnahmen an den Beispielgebäuden

Tabelle B3 - 5:

Übersicht über die infolge von Szenario 1 entstehenden Sanierungszeitpunkte und –maßnahmen an den Beispielgebäuden.

Sanierungsmaßnahmen an den Beispielgebäuden in Szenario 1	EFH 1 (1934, Klinker)		EFH 2 (1978, MW ungedämmt)		MFH (1965, MW ungedämmt)	
	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke ¹⁾ [cm]	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke ¹⁾ [cm]	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke ¹⁾ [cm]
Opake Gebäudehülle	2034		2028		2015	
Außenwand	0,13	24,7	0,13	23,4	0,13	24,4
Dach ²⁾	0,10	32,5	0,10	28,0 / 32,5	0,10	29,2 / 34,4
Kellerdecke	0,15	20,4	0,15	19,8	0,15	21,0
Fenster	2034		2014 / 2035		2033	
Fenster	0,8	-	1,3 / 0,8	-	0,8	-
Anlagentechnik	2024		2025		2023	
Haupt-Erzeuger ³⁾	verb. Brennwertkessel		verb. Brennwertkessel		verb. Brennwertkessel	
Neue Pumpen	Heizung+Warmwasser		Heizung+Warmwasser		Heizung+Warmwasser	
Regelung - Heizung	neue Thermostate (1K)		neue Thermostate (1K)		neue Thermostate (1K)	
Regelung - Warmwasser	-		-		Frischwasserstationen	
Solarthermie	Warmwasser + Heizungsunterstützung		Warmwasser + Heizungsunterstützung		Warmwasser + Heizungsunterstützung	

¹⁾ für Dämmstoffe mit Wärmeleitfähigkeit $\lambda=0,035$ W/(mK),
[Rechenwert, unabhängig von verfügbaren Dämmstoffdicken]

²⁾ ggf. 2 Angaben für Dachdämmung, zusätzliche und gesamte neue Dämmung

³⁾ stets mit Dämmung Rohrleitungen und hydraulischem Abgleich

Szenario 1 - EFH 1

Tabelle B3 - 6:

Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude EFH 1 nach Szenario 1, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 1 - EFH 1	2010	2030 ¹⁾	2040 ¹⁾	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2024	2034	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Kessel	2. Hülle+ Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	289,8	294,3	67,4	67,4
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		2 %	-77 %	-77 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	465,4	371,7	67,8	67,8
... für Heizung (Hzg.)	430,7	352,6	58,1	58,1
... für Hzg.-Hilfsenergie	5,8	4,6	1,1	1,1
... für Warmwasser (TWW)	28,3	14,0	8,3	8,3
... für TWW-Hilfsenergie	0,6	0,4	0,4	0,4
Endenergie - Strom	6,4	5,1	1,5	1,5
Endenergie – Gas/Öl	459,0	366,6	66,3	66,3
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-20 %	-85 %	-85 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	471,5	350,6	61,8	59,4
... für Heizung (Hzg.)	426,8	330,4	52,8	51,3
... für Hzg.-Hilfsenergie	15,0	6,5	1,1	0,7
... für Warmwasser (TWW)	28,1	13,1	7,5	7,3
... für TWW-Hilfsenergie	1,6	0,6	0,4	0,2
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-26 %	-87 %	-87 %
Anteil "EnEV2009-Neubau"	389 %	296 %	56 %	59 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

²⁾ Ohne Sanierung der zweischaligen Klinker-Außenwand

Szenario 1 - EFH 2

Tabelle B3 - 7:

Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude EFH 2 nach Szenario 1, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 1 - EFH 2	2010	2020	2030	2030 ¹⁾	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2014	2025	2028	2035
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Fenster	2. Kessel	3. Hülle	4. Fenster
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	231,5	173,9	178,1	60,0	46,4
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		-25 %	-23 %	-74 %	-80 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	369,9	291,6	234,0	87,5	72,6
... für Heizung (Hzg.)	338,6	261,0	217,0	76,6	61,4
... für Hzg.-Hilfsenergie	5,2	4,2	3,5	1,5	1,3
... für Warmwasser (TWW)	25,6	25,7	13,0	8,9	9,5
... für TWW-Hilfsenergie	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4
Endenergie - Strom	5,8	4,9	4,0	2,0	1,7
Endenergie – Gas/Öl	364,1	286,7	230,0	85,5	70,9
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-21 %	-37 %	-76 %	-80 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	375,9	293,4	221,1	82,9	63,6
... für Heizung (Hzg.)	335,5	258,6	203,4	71,8	54,2
... für Hzg.-Hilfsenergie	13,4	8,0	4,9	2,1	0,8
... für Warmwasser (TWW)	25,3	25,5	12,2	8,3	8,4
... für TWW-Hilfsenergie	1,7	1,2	0,7	0,6	0,2
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-22 %	-41 %	-78 %	-83 %
Anteil "EnEV2009-Neubau"	310 %	247 %	200 %	78 %	63 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

Szenario 1 - MFH

Tabelle B3 - 8:

Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude MFH nach Szenario 1, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 1 - MFH	2010	2020	2030	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2015	2023	2033	
Sanierungsmaßnahme - Nr. / Art		1. Hülle	2. Kessel	3. Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	163,2	47,3	52,1	27,1	27,1
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		-71 %	-68 %	-83 %	-83 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	278,1	115,7	69,6	35,8	35,8
... für Heizung (Hzg.)	249,4	86,5	59,9	33,9	33,9
... für Hzg.-Hilfsenergie	1,7	0,8	1,2	0,7	0,7
... für Warmwasser (TWW)	26,6	28,0	8,0	0,7	0,7
... für TWW-Hilfsenergie	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Endenergie - Strom	2,0	1,1	1,6	1,1	1,1
Endenergie - Gas/Öl	276,1	114,6	68,0	34,6	34,6
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-58 %	-75 %	-87 %	-87 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	278,9	115,6	66,0	32,7	31,3
... für Heizung (Hzg.)	247,2	85,8	56,2	30,9	30,0
... für Hzg.-Hilfsenergie	4,4	1,5	1,7	0,7	0,4
... für Warmwasser (TWW)	26,4	27,8	7,5	0,7	0,6
... für TWW-Hilfsenergie	0,9	0,6	0,6	0,4	0,3
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-59 %	-76 %	-88 %	-89 %
Anteil "EnEV2009-Neubau"	230 %	97 %	60 %	31 %	31 %

Szenario 2

Sanierungsmaßnahmen an den Beispielgebäuden

Tabelle B3 - 9:

Übersicht über die infolge von Szenario 2 entstehenden Sanierungszeitpunkte und –maßnahmen an den Beispielgebäuden.

Sanierungsmaßnahmen an den Beispielgebäuden in Szenario 2	EFH 1 (1934, Klinker)		EFH 2 (1978, MW ungedämmt)		MFH (1965, MW ungedämmt)	
	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke ¹⁾ [cm]	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke ¹⁾ [cm]	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke ¹⁾ [cm]
Opake Gebäudehülle	2034		2028		2015	
Außenwand	0,28	Einblasdämmung	0,16	18,4	0,20	15,0
Dach ²⁾	0,10	32,5	0,12	22,2 / 26,7	0,14	29,2 / 24,4
Kellerdecke	0,15	20,4	0,20	14,0	0,25	11,7
Fenster	2040		2014 / 2050		2031	
Fenster	0,8	-	1,3 / 0,8	-	0,8	-
Anlagentechnik	2024		2038		2031	
Haupt-Erzeuger ³⁾	verb. Brennwertkessel		verb. Brennwertkessel		verb. Brennwertkessel	
Neue Pumpen	Heizung+Warmwasser		Heizung+Warmwasser		Heizung+Warmwasser	
Regelung - Heizung	neue Thermostate (1K)		neue Thermostate (PI)		neue Thermostate (PI)	
Regelung - Warmwasser	intelligente Zirkulationsregelung		intelligente Zirkulationsregelung		Frischwasserstationen	
Solarthermie	Warmwasser 2034		Warmwasser		Warmwasser	

¹⁾ für Dämmstoffe mit Wärmeleitfähigkeit $\lambda=0,035$ W/(mK),
[Rechenwert, unabhängig von verfügbaren Dämmstoffdicken]

²⁾ ggf. 2 Angaben für Dachdämmung, zusätzliche und gesamte neue Dämmung

³⁾ stets mit Dämmung Rohrleitungen und hydraulischem Abgleich

Szenario 2 - EFH 1

Tabelle B3 - 10:

Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude EFH 1 nach Szenario 2, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 2 - EFH 1	2010	2030 ¹⁾	2040 ¹⁾	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2024	2034	2040	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Kessel	2. Hülle ²⁾	3. Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	289,8	295,7	79,2	56,8	56,8
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		2 %	-73 %	-80 %	-80 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	465,4	396,2	114,9	85,5	85,5
... für Heizung (Hzg.)	430,7	371,1	108,0	78,9	78,9
... für Hzg.-Hilfsenergie	5,8	3,8	1,3	1,0	1,0
... für Warmwasser (TWW)	28,3	21,1	4,8	4,8	4,8
... für TWW-Hilfsenergie	0,6	0,2	0,8	0,8	0,8
Endenergie - Strom	6,4	4,0	2,1	1,8	1,8
Endenergie – Gas/Öl	459,0	392,2	112,8	83,7	83,7
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-15 %	-75 %	-82 %	-82 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	471,5	373,0	104,7	78,0	75,0
... für Heizung (Hzg.)	426,8	347,7	98,3	71,8	69,7
... für Hzg.-Hilfsenergie	15,0	5,3	1,3	1,0	0,6
... für Warmwasser (TWW)	28,1	19,8	4,4	4,4	4,2
... für TWW-Hilfsenergie	1,6	0,3	0,8	0,8	0,5
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-21 %	-78 %	-83 %	-84 %
Anteil "EnEV2009-Neubau"	389 %	315 %	95 %	74 %	74 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

²⁾ Dachsanierung mit Installation Solaranlage

Szenario 2 - EFH 2

Tabelle B3 - 11:

Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude EFH 2 nach Szenario 2, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 2 - EFH 2	2010	2020	2030	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2014	2028	2038	2050
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Fenster	2. Hülle	3. Kessel	4. Fenster
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	231,5	173,9	59,4	67,1	53,0
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		-25 %	-74 %	-71 %	-77 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	369,9	291,6	133,3	96,2	79,5
... für Heizung (Hzg.)	338,6	261,0	102,8	89,0	72,6
... für Hzg.-Hilfsenergie	5,2	4,2	1,9	1,5	1,3
... für Warmwasser (TWW)	25,6	25,7	27,9	4,8	4,8
... für TWW-Hilfsenergie	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
Endenergie - Strom	5,8	4,9	2,6	2,3	2,1
Endenergie – Gas/Öl	364,1	286,7	130,7	93,9	77,4
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-21 %	-64 %	-74 %	-79 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	375,9	293,4	126,1	87,8	69,6
... für Heizung (Hzg.)	335,5	258,6	96,3	81,0	64,1
... für Hzg.-Hilfsenergie	13,4	8,0	2,7	1,5	0,8
... für Warmwasser (TWW)	25,3	25,5	26,2	4,4	4,3
... für TWW-Hilfsenergie	1,7	1,2	0,9	0,8	0,5
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-22 %	-66 %	-77 %	-81 %
Anteil "EnEV2009-Neubau"	310 %	247 %	114 %	83 %	69 %

¹⁾ Abweichungen im 10-Jahres-Rhythmus infolge der Sanierungszeitpunkte

Szenario 2 - MFH

Tabelle B3 - 12:

Übersicht der energetischen Kennwerte (spezifisch, Bezug Wohnfläche [kWh/(m²a)]) für das Beispielgebäude MFH nach Szenario 2, ermittelt nach DIN V 18599 (Endenergiewerte brennwertbezogen).

Szenario 2 - MFH	2010	2020	2030	2040	2050
Sanierungsmaßnahme - Jahr		2015	2027	2033	
Sanierungsmaßnahme – Nr. / Art		1. Hülle	2. Kessel	3. Fenster	
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	163,2	53,4	58,4	32,8	32,8
<i>Reduktion Heizwärmebedarf</i>		-67 %	-64 %	-80 %	-80 %
Endenergie [kWh/(m ² a)]	278,1	124,6	91,5	59,5	59,5
... für Heizung (Hzg.)	249,4	95,5	81,4	49,6	49,6
... für Hzg.-Hilfsenergie	1,7	0,8	0,8	0,5	0,5
... für Warmwasser (TWW)	26,6	27,9	8,3	8,4	8,4
... für TWW-Hilfsenergie	0,3	0,3	1,0	1,0	1,0
Endenergie - Strom	2,0	1,2	1,8	1,5	1,5
Endenergie – Gas/Öl	276,1	123,4	89,7	58,0	58,0
<i>Reduktion Endenergiebedarf</i>		-55 %	-67 %	-79 %	-79 %
Primärenergie [kWh/(m ² a)]	278,9	124,5	86,5	54,3	52,1
... für Heizung (Hzg.)	247,2	94,7	76,2	45,2	43,8
... für Hzg.-Hilfsenergie	4,4	1,6	1,2	0,5	0,3
... für Warmwasser (TWW)	26,4	27,6	7,8	7,7	7,4
... für TWW-Hilfsenergie	0,9	0,6	1,3	1,0	0,6
<i>Reduktion Primärenergiebedarf</i>		-55 %	-69 %	-81 %	-81 %
Anteil "EnEV2009-Neubau"	230 %	105 %	78 %	51 %	51 %

Anhang C

Detail-Ergebnisse aus dem Hochrechnungs-Modell zur Weiterverwendung in Teil II der Studie

Anzahl an notwendigen Sanierungsmaßnahmen bzw. zu sanierenden Gebäuden nach Gebäudetyp EFH/MFH

Im Gegensatz zu den in Anhang B2 dargestellten auf 100 bzw. 1000 gerundeten Ergebnissen auf Gebäudebasis werden im Folgenden die genauen aus dem Rechenmodell erhaltenen Werte angegeben, sowohl auf Gebäudebasis als auch in Form von zu sanierenden Gesamtflächen.

Basis-Szenario 0

Basis-Szenario 0 - EFH

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle C - 1:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 0 für Gebäudetyp EFH.

Baualterklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	16.044	16.926	10.343	6.551	12.553	514.684
C (1919-1948)	0	6.979	31.977	25.738	15.779	646.934
D (1949-1957)	26.205	0	0	0	7.031	288.253
E (1958-1968)	92.287	37.734	0	0	33.963	1.392.488
F (1969-1978)	0	91.573	38.532	0	31.733	1.301.046
G (1979-1983)	0	0	115.946	0	28.280	1.159.462
H (1984-1994)	0	0	28.555	128.127	38.215	1.566.819
I (1995-2001)	0	0	0	22.539	5.497	225.389
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	134.535	153.212	225.353	182.954	173.051	7.095.075

Tabelle C - 2:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Bauteilfläche, in Szenario 0 für Gebäudetyp EFH.

Bauteil [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Bauteilflächen (EFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Außenwand ¹⁾	8,61	9,81	14,42	11,71	11,08	454,08
Dach	11,84	13,48	19,83	16,10	15,23	624,37
Oberste Geschossdecke	2,42	2,76	4,06	3,29	3,11	127,71
Kellerdecke / Bodenplatte ¹⁾	5,92	6,74	9,92	8,05	7,61	312,18
Gesamt	28,79	32,79	48,23	39,15	37,03	1.518,35

¹⁾ anteilig, 50 %

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle C - 3:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 0 für Gebäudotyp EFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
F1.A (bis84)	42.471	0	0	0	11.395	467.177
F2.A (bis84)	351.899	0	0	0	94.412	3.870.894
F2.B (85-89)	0	174.047	0	0	42.450	1.740.469
F2.C (90-94)	0	232.374	0	0	56.677	2.323.739
F2.D (95-99)	0	0	269.420	0	65.712	2.694.201
F2.E (00-04)	0	0	223.851	0	54.598	2.238.510
F2.F (05-09)	0	0	0	93.441	22.791	934.411
F3.F (05-09)	0	0	0	49.709	12.124	497.089
F2.NEU (ab10)	0	0	0	238.259	58.112	2.382.594
Gesamt	394.370	406.421	493.271	381.409	418.270	17.149.084

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Tabelle C - 4:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen, in Szenario 0 für Gebäudotyp EFH.

Verglasungstyp / Fensterfläche [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen (EFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
1 SV ¹⁾	1,27	0,00	0,00	0,00	0,34	14,02
2 SV ¹⁾	10,56	12,19	14,80	2,80	10,10	414,07
3 SV ¹⁾	0,00	0,00	0,00	1,49	0,36	14,91
2/3 SV ¹⁾ Neubau	0,00	0,00	0,00	7,15	1,74	71,48
Gesamt	11,83	12,19	14,80	11,44	12,55	514,47

¹⁾ x SV: x-Scheiben-Verglasung

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle C - 5:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 0 für Gebäudetyp EFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (EFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	232.018	493.237	275.007	174.973	292.302	11.984.368
Austausch im Neubau	0	0	ab 2040	40.415	9.857	404.151
Systemwechsel	58.005	123.309	68.752	43.743	73.075	2.996.092
Gesamt	290.023	616.546	343.758	259.132	375.234	15.384.611

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle C - 6:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 0 auf Gebäudetyp EFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	59.817	66.652	39.462	22.606	47.444	1.945.185
Neu auf Neubau	0	0	0	0	0	0
Neu Gesamt	59.817	66.652	39.462	22.606	47.444	1.945.185
Ersatz auf Bestand	13.635	52.494	74.991	58.761	49.084	2.012.447
Ersatz auf Neubau	0	0	0	20.208	4.929	202.075
Ersatz Gesamt	13.635	52.494	74.991	78.969	54.013	2.214.522
Gesamtsumme	73.451	119.146	114.454	101.574	101.456	4.159.707

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle C - 7:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 0 für Gebäudetyp MFH.

Baualterklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	2.850	3.053	1.904	1.275	2.284	93.664
C (1919-1948)	0	1.078	4.973	4.087	2.473	101.376
D (1949-1957)	6.150	0	0	0	1.650	67.655
E (1958-1968)	23.276	9.523	0	0	8.568	351.270
F (1969-1978)	0	19.859	8.367	0	6.884	282.263
G (1979-1983)	0	0	23.410	0	5.710	234.104
H (1984-1994)	0	0	6.311	28.326	8.448	346.373
I (1995-2001)	0	0	0	3.698	902	36.982
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	32.277	33.512	44.966	37.386	36.919	1.513.688

Tabelle C - 8:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Bauteilfläche, in Szenario 0 für Gebäudetyp MFH.

Bauteil [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Bauteilflächen (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Außenwand ¹⁾	7,26	7,54	10,12	8,41	8,31	340,58
Dach	1,19	1,24	1,66	1,38	1,37	56,01
Oberste Geschossdecke	3,81	3,95	5,31	4,41	4,36	178,62
Kellerdecke / Bodenplatte ¹⁾	2,92	3,04	4,07	3,39	3,34	137,14
Gesamt	15,19	15,77	21,16	17,59	17,37	712,34

¹⁾ anteilig, 60 %

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle C - 9:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 0 für Gebäudetyp MFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
F1.A (bis84)	7.631	0	0	0	2.047	83.939
F2.A (bis84)	55.927	0	0	0	15.005	615.200
F2.B (85-89)	0	35.237	0	0	8.594	352.368
F2.C (90-94)	0	54.545	0	0	13.304	545.445
F2.D (95-99)	0	0	72.653	0	17.720	726.535
F2.E (00-04)	0	0	50.590	0	12.339	505.905
F2.F (05-09)	0	0	0	11.871	2.895	118.711
F3.F (05-09)	0	0	0	5.847	1.426	58.465
F2.NEU (ab10)	0	0	0	40.099	9.780	400.991
Gesamt	63.558	89.781	123.244	57.817	83.111	3.407.560

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Tabelle C - 10:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen, in Szenario 0 für Gebäudetyp MFH.

Verglasungstyp / Fensterfläche [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
1 SV ¹⁾	0,69	0,00	0,00	0,00	0,18	7,55
2 SV ¹⁾	5,03	8,08	11,09	1,07	6,29	257,77
3 SV ¹⁾	0,00	0,00	0,00	0,53	0,13	5,26
2/3 SV ¹⁾ Neubau	0,00	0,00	0,00	3,61	0,88	36,09
Gesamt	5,72	8,08	11,09	5,20	7,48	306,68

¹⁾ x SV: x-Scheiben-Verglasung

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle C - 11:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 0 für Gebäudetyp MFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (MFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	68.481	96.170	46.045	53.713	66.160	2.712.567
Austausch im Neubau	0	0	0	8.896	2.170	88.962
Systemwechsel	12.085	16.971	8.126	9.479	11.675	478.688
Gesamt	80.566	113.141	54.170	72.088	80.005	3.280.217

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle C - 12:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 0 auf Gebäudetyp MFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (MFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	0	0	0	0	0	0
Neu auf Neubau	0	0	0	0	0	0
Neu Gesamt	0	0	0	0	0	0
Ersatz auf Bestand	760	2.926	4.181	684	2.104	86.271
Ersatz auf Neubau	0	0	0	4.448	1.085	44.481
Ersatz Gesamt	760	2.926	4.181	5.132	3.189	130.752
Gesamtsumme	760	2.926	4.181	5.132	3.189	130.752

Szenario 1 (technologiegebunden)

Szenario 1 - EFH

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle C - 13:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 1 für Gebäudetyp EFH.

Baualterklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	30.176	14.853	12.423	9.066	16.960	695.359
C (1919-1948)	6.918	32.726	27.788	17.360	20.850	854.830
D (1949-1957)	0	0	0	76.561	18.673	765.613
E (1958-1968)	116.734	0	0	0	31.319	1.284.076
F (1969-1978)	22.875	96.960	0	0	29.786	1.221.222
G (1979-1983)	0	46.520	69.705	0	28.347	1.162.246
H (1984-1994)	0	0	100.063	57.022	38.313	1.570.852
I (1995-2001)	0	0	0	135.292	32.998	1.352.921
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	176.703	191.057	209.980	295.302	217.247	8.907.119

Tabelle C - 14:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Bauteilfläche, in Szenario 1 für Gebäudetyp EFH.

Bauteil [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Bauteilflächen (EFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Außenwand	22,618	24,455	26,877	37,799	27,808	1.140,111
Dach	15,550	16,813	18,478	25,987	19,118	783,826
Oberste Geschossdecke	3,181	3,439	3,780	5,315	3,910	160,328
Kellerdecke / Bodenplatte	15,550	16,813	18,478	25,987	19,118	783,826
Gesamt	56,898	61,520	67,613	95,087	69,953	2.868,092

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle C - 15:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 1 für Gebäudetyp EFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)					Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050		
F1.A (bis84)	42.471	0	0	0	11.395	467.177	
F2.A (bis84)	351.899	0	0	0	94.412	3.870.894	
F2.B (85-89)	0	174.047	0	0	42.450	1.740.469	
F2.C (90-94)	0	232.374	0	0	56.677	2.323.739	
F2.D (95-99)	0	0	269.420	0	65.712	2.694.201	
F2.E (00-04)	0	0	223.851	0	54.598	2.238.510	
F2.F (05-09)	0	0	0	93.441	22.791	934.411	
F3.F (05-09)	0	0	0	49.709	12.124	497.089	
F2.NEU (ab10)	0	0	0	238.259	58.112	2.382.594	
Gesamt	394.370	406.421	493.271	381.409	418.270	17.149.084	

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Tabelle C - 16:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen, in Szenario 0 für Gebäudetyp EFH.

Verglasungstyp / Fensterfläche [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen (EFH)					Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050		
1 SV ¹⁾	1,274	0,000	0,000	0,000	0,342	14,015	
2 SV ¹⁾	10,557	12,193	17,669	0,000	10,116	414,747	
3 SV ¹⁾	0,000	0,000	0,000	1,491	0,364	14,913	
2/3 SV ¹⁾ Neubau	0,000	0,000	7,148	0,000	1,743	71,478	
Gesamt	11,831	12,193	24,817	1,491	12,565	515,152	

¹⁾ x SV: x-Scheiben-Verglasung

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle C - 17:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 1 für Gebäudetyp EFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (EFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	232.018	552.891	159.341	142.166	270.639	11.096.183
Austausch im Neubau				40.415	9.857	404.151
Systemwechsel	58.005	184.297	68.289	76.551	95.840	3.929.420
Gesamt	290.023	737.189	227.630	259.132	376.335	15.429.753

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle C - 18:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 1 auf Gebäudetyp EFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	191.771	500.396	84.350	11.241	196.814	8.069.355
Neu auf Neubau				20.208	4.929	202.075
Neu Gesamt	191.771	500.396	84.350	31.449	201.742	8.271.430
Ersatz auf Bestand	13.635	52.494	74.991	130.925	66.685	2.734.085
Ersatz auf Neubau				20.208	4.929	202.075
Ersatz Gesamt	13.635	52.494	74.991	151.132	71.614	2.936.160
Gesamtsumme	205.406	552.890	159.342	182.581	273.356	11.207.590

Szenario 1 - MFH

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle C - 19:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 1 für Gebäudetyp MFH.

Baualterklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	4.104	2.037	1.722	1.287	2.332	95.597
C (1919-1948)	1.086	5.182	4.446	2.831	3.330	136.540
D (1949-1957)	0	0	0	18.546	4.523	185.462
E (1958-1968)	30.328	0	0	0	8.137	333.603
F (1969-1978)	5.094	21.634	0	0	6.643	272.375
G (1979-1983)	0	9.393	14.074	0	5.724	234.671
H (1984-1994)	0	0	22.114	12.605	8.468	347.193
I (1995-2001)	0	0	0	22.201	5.415	222.013
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	40.612	38.246	42.356	57.470	44.572	1.827.453

Tabelle C - 20:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Bauteilfläche, in Szenario 1 für Gebäudetyp MFH.

Bauteil [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Bauteilflächen (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Außenwand	15,230	14,342	15,884	21,551	16,715	685,295
Dach	1,503	1,415	1,567	2,126	1,649	67,616
Oberste Geschossdecke	4,792	4,513	4,998	6,781	5,259	215,639
Kellerdecke / Bodenplatte	6,132	5,775	6,396	8,678	6,730	275,945
Gesamt	27,657	26,045	28,845	39,137	30,354	1.244,495

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle C - 21:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 1 für Gebäudetyp MFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
F1.A (bis84)	7.631	0	0	0	2.047	83.939
F2.A (bis84)	55.927	0	0	0	15.005	615.200
F2.B (85-89)	0	35.237	0	0	8.594	352.368
F2.C (90-94)	0	54.545	0	0	13.304	545.445
F2.D (95-99)	0	0	72.653	0	17.720	726.535
F2.E (00-04)	0	0	50.857	0	12.404	508.574
F2.F (05-09)	0	0	12.009	0	2.929	120.088
F3.F (05-09)	0	0	0	5.847	1.426	58.465
F2.NEU (ab10)	0	0	40.099	0	9.780	400.991
Gesamt	63.558	89.781	175.619	5.847	83.210	3.411.606

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Tabelle C - 22:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen, in Szenario 1 für Gebäudetyp MFH.

Verglasungstyp / Fensterfläche [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
1 SV ¹⁾	0,687	0,000	0,000	0,000	0,184	7,555
2 SV ¹⁾	5,033	8,080	12,197	0,000	6,296	258,139
3 SV ¹⁾	0,000	0,000	0,000	0,526	0,128	5,262
2/3 SV ¹⁾ Neubau	0,000	0,000	3,609	0,526	1,009	41,351
Gesamt	5,720	8,080	15,806	1,052	7,617	312,306

¹⁾ x SV: x-Scheiben-Verglasung

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle C - 23:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 1 für Gebäudetyp MFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (MFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	68.481	107.206	25.563	44.234	61.544	2.523.324
Austausch im Neubau				8.896	2.170	88.962
Systemwechsel	17.120	35.735	10.955	23.818	21.791	893.416
Gesamt	85.601	142.941	36.518	76.949	85.505	3.505.702

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle C - 24:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 1 auf Gebäudetyp MFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (MFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	49.684	104.279	21.382	10.234	46.475	1.905.476
Neu auf Neubau				4.448	1.085	44.481
Neu Gesamt	49.684	104.279	21.382	14.682	47.560	1.949.957
Ersatz auf Bestand	760	2.926	4.181	34.001	10.230	419.436
Ersatz auf Neubau				4.448	1.085	44.481
Ersatz Gesamt	760	2.926	4.181	38.449	11.315	463.917
Gesamtsumme	50.444	107.206	25.563	53.131	58.875	2.413.874

Szenario 2 (technologieoffen)

Szenario 2 - EFH

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle C - 25:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 2 für Gebäudetyp EFH.

Baualterklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	30.176	14.853	12.423	9.066	16.960	695.359
C (1919-1948)	6.918	32.726	27.788	17.360	20.850	854.830
D (1949-1957)	0	0	0	76.561	18.673	765.613
E (1958-1968)	116.734	0	0	0	31.319	1.284.076
F (1969-1978)	22.875	96.960	0	0	29.786	1.221.222
G (1979-1983)	0	46.520	69.705	0	28.347	1.162.246
H (1984-1994)	0	0	100.063	57.022	38.313	1.570.852
I (1995-2001)	0	0	0	135.292	32.998	1.352.921
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	176.703	191.057	209.980	295.302	217.247	8.907.119

Tabelle C - 26:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Bauteilfläche, in Szenario 2 für Gebäudetyp EFH.

Bauteil [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Bauteilflächen (EFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Außenwand	22,618	24,455	26,877	37,799	27,808	1.140,111
Dach	15,550	16,813	18,478	25,987	19,118	783,826
Oberste Geschossdecke	3,181	3,439	3,780	5,315	3,910	160,328
Kellerdecke / Bodenplatte	15,550	16,813	18,478	25,987	19,118	783,826
Gesamt	56,898	61,520	67,613	95,087	69,953	2.868,092

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle C - 27:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 2 für Gebäudetyp EFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (EFH)					Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050		
F1.A (bis84)	42.471	0	0	0	11.395	467.177	
F2.A (bis84)	351.899	0	0	0	94.412	3.870.894	
F2.B (85-89)	0	174.047	0	0	42.450	1.740.469	
F2.C (90-94)	0	232.374	0	0	56.677	2.323.739	
F2.D (95-99)	0	0	269.420	0	65.712	2.694.201	
F2.E (00-04)	0	0	223.851	0	54.598	2.238.510	
F2.F (05-09)	0	0	0	93.441	22.791	934.411	
F3.F (05-09)	0	0	0	49.709	12.124	497.089	
F2.NEU (ab10)	0	0	0	238.259	58.112	2.382.594	
Gesamt	394.370	406.421	493.271	381.409	418.270	17.149.084	

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Tabelle C - 28:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen, in Szenario 2 für Gebäudetyp EFH.

Verglasungstyp / Fensterfläche [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen (EFH)					Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050		
1 SV ¹⁾	1,274	0,000	0,000	0,000	0,342	14,015	
2 SV ¹⁾	10,557	12,193	14,798	2,803	10,099	414,067	
3 SV ¹⁾	0,000	0,000	0,000	1,491	0,364	14,913	
2/3 SV ¹⁾ Neubau	0,000	0,000	0,000	7,148	1,743	71,478	
Gesamt	11,831	12,193	14,798	11,442	12,548	514,473	

¹⁾ x SV: x-Scheiben-Verglasung

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle C - 29:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 2 für Gebäudetyp EFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (EFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	232.018	462.409	240.631	142.166	268.397	11.004.262
Austausch im Neubau				40.415	9.857	404.151
Systemwechsel	58.005	154.136	103.128	76.551	96.980	3.976.199
Gesamt	290.023	616.546	343.758	259.132	375.234	15.384.611

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärmeerzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle C - 30:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 2 auf Gebäudetyp EFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (EFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	59.817	152.472	134.939	330.052	166.649	6.832.624
Neu auf Neubau				20.208	4.929	202.075
Neu Gesamt	59.817	152.472	134.939	350.260	171.578	7.034.700
Ersatz auf Bestand	13.635	52.494	74.991	58.761	49.084	2.012.447
Ersatz auf Neubau				20.208	4.929	202.075
Ersatz Gesamt	13.635	52.494	74.991	78.969	54.013	2.214.522
Gesamtsumme	73.451	204.966	209.931	429.229	225.591	9.249.222

Szenario 2 - MFH

Sanierungsfälle Opake Hülle (Dach, Geschossdecken, Außenwand)

Tabelle C - 31:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren opake Hülle zu sanieren ist, in Szenario 2 für Gebäudetyp MFH.

Baualterklasse der Gebäude	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
B (1861-1918)	4.104	2.037	1.722	1.287	2.332	95.597
C (1919-1948)	1.086	5.182	4.446	2.831	3.330	136.540
D (1949-1957)	0	0	0	18.546	4.523	185.462
E (1958-1968)	30.328	0	0	0	8.137	333.603
F (1969-1978)	5.094	21.634	0	0	6.643	272.375
G (1979-1983)	0	9.393	14.074	0	5.724	234.671
H (1984-1994)	0	0	22.114	12.605	8.468	347.193
I (1995-2001)	0	0	0	22.201	5.415	222.013
J (2002-2009)	0	0	0	0	0	0
Gesamt	40.612	38.246	42.356	57.470	44.572	1.827.453

Tabelle C - 32:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Bauteilfläche, in Szenario 2 für Gebäudetyp MFH.

Bauteil [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Bauteilflächen (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Außenwand	15,230	14,342	15,884	21,551	16,715	685,295
Dach	1,503	1,415	1,567	2,126	1,649	67,616
Oberste Geschossdecke	4,792	4,513	4,998	6,781	5,259	215,639
Kellerdecke / Bodenplatte	6,132	5,775	6,396	8,678	6,730	275,945
Gesamt	27,657	26,045	28,845	39,137	30,354	1.244,495

Sanierungsfälle Fenster

Tabelle C - 33:

Übersicht der mittleren jährlichen Gebäudeanzahl, deren Fenster zu sanieren sind, in Szenario 2 für Gebäudetyp MFH.

Fenster-Typ ¹⁾ und Altersklasse	Mittlere jährlich zu sanierende Gebäudeanzahl (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
F1.A (bis84)	7.631	0	0	0	2.047	83.939
F2.A (bis84)	55.927	0	0	0	15.005	615.200
F2.B (85-89)	0	35.237	0	0	8.594	352.368
F2.C (90-94)	0	54.545	0	0	13.304	545.445
F2.D (95-99)	0	0	72.653	0	17.720	726.535
F2.E (00-04)	0	0	50.590	0	12.339	505.905
F2.F (05-09)	0	0	0	11.871	2.895	118.711
F3.F (05-09)	0	0	0	5.847	1.426	58.465
F2.NEU (ab10)	0	0	0	40.099	9.780	400.991
Gesamt	63.558	89.781	123.244	57.817	83.111	3.407.560

¹⁾ Fenstertyp-Bezeichnung weist hin auf: Anzahl Gläser (1, 2 o. 3) und Altersklasse

Tabelle C - 34:

Übersicht über die mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen, in Szenario 2 für Gebäudetyp MFH.

Verglasungstyp / Fensterfläche [Mio. m ²]	Mittlere jährlich zu sanierende Fensterflächen (MFH)					Gesamt Σ
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
1 SV ¹⁾	0,687	0,000	0,000	0,000	0,184	7,555
2 SV ¹⁾	5,033	8,080	11,092	1,068	6,287	257,775
3 SV ¹⁾	0,000	0,000	0,000	0,526	0,128	5,262
2/3 SV ¹⁾ Neubau	0,000	0,000	0,000	3,609	0,880	36,089
Gesamt	5,720	8,080	11,092	5,204	7,480	306,680

¹⁾ x SV: x-Scheiben-Verglasung

Sanierungsfälle Anlagentechnik / Kessel

Tabelle C - 35:

Übersicht der jährlichen mittleren Gebäudeanzahl mit Kessel-Ersatz und zugehörigen technischen Sanierungs-Maßnahmen, in Szenario 2 für Gebäudetyp MFH.

Kessel-Austausch / Systemwechsel ¹⁾	Mittlere jährliche Gebäudeanzahl (MFH) mit Kessel-Ersatz- und Zusatz-Maßnahmen ²⁾				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Austausch im Bestand	68.481	90.513	40.628	44.234	61.147	2.507.039
Austausch im Neubau				8.896	2.170	88.962
Systemwechsel	17.120	30.171	17.412	23.818	22.008	902.335
Gesamt	85.601	120.684	58.039	76.949	85.325	3.498.336

¹⁾ Ersatz des Heizkessels durch ein anderes Wärme erzeugungs-System (z. B. Wärmepumpe)

²⁾ Zusatz-Maßnahmen: Dämmung Verteilungen, hydraulischer Abgleich

Tabelle C - 36:

Übersicht der jährlich im Mittel installierten thermischen Solaranlagen in Szenario 2 auf Gebäudetyp MFH.

Neuinstallation / Ersatz	Mittlere jährlich installierte Anzahl an Solaranlagen (MFH)				Gesamt Σ	
	2010 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2010 - 2050	
Neu auf Bestand	0	26.911	23.336	110.420	39.187	1.606.679
Neu auf Neubau				4.448	1.085	44.481
Neu Gesamt	0	26.911	23.336	114.868	40.272	1.651.160
Ersatz auf Bestand	760	2.926	4.181	684	2.104	86.271
Ersatz auf Neubau				4.448	1.085	44.481
Ersatz Gesamt	760	2.926	4.181	5.132	3.189	130.752
Gesamtsumme	760	29.838	27.517	120.001	43.461	1.781.912