

CO₂-Global-Budget

Rainer Vallentin

Aktualisierung der Klimaschutzstandards für den deutschen Wohnbau

für Gebäude



Warum eine Aktualisierung?

Nach 10 Jahren ist es notwendig, die Klimaschutz-Szenarien zum Wohngebäudepark Deutschlands zu überarbeiten und auf den neuesten Stand zu bringen. Dies betrifft zuallererst „technische“ Anpassungen:

- Berücksichtigung der Bevölkerungs-, Haushalts- und Wohnflächenentwicklung im Zeitraum 2005 - 2018 und deren Fortschreibungen in Bevölkerungs- und Wohnungsprognosen, weil diese wesentliche Mengenkomponeenten in den Szenarien darstellen.
- Modellierung der Entwicklung der Heizstruktur im Zeitraum 2005 - 2018, weil sich daraus wichtige Hinweise für Strategien zur notwendigen Dekarbonisierung der Heizsysteme bis 2050 ableiten lassen. Für die künftige Entwicklung werden zusätzlich Szenarien anderer Autoren herangezogen und auf Plausibilität hinsichtlich ihrer Anwendung auf den Wohngebäudepark geprüft.
- Einarbeiten der Veränderungen der Stromerzeugungsstruktur Deutschlands seit 2005 und der Beschlüsse zum Kohleausstieg. Hierzu werden Szenarien anderer Autoren ausgewertet, die unterschiedliche Annahmen zur Substituierung der heute brennstoffgestützten Systeme durch Strom treffen. Dies betrifft insbesondere die künftige Wärmeerzeugung (Wärmepumpen) und Mobilität (Elektromobilität, erneuerbare Kraftstoffe) sowie Industrieprozesse.
- Abgleich mit Verbrauchsdaten zum Endenergiebedarf des Wohngebäudeparks für Wärme und Strom mit Hilfe der Daten aus verschiedenen Veröffentlichungen.
- Abschätzung zum Stand der energetischen Sanierungen im Wohngebäudebestand aufgrund von Studien zur Sanierungsrate bzw. zur Sanierungstiefe.
- Anpassung der Klimaziele der Aktualisierung an den völkerrechtlich verbindlichen Beschlüssen der Pariser Klimakonferenz 2015 mit Hilfe der CO₂-Global-Budgets (IPCC 2021).

CO₂-Global-Budget für Gebäude

Im Vorfeld der Ausarbeitung der Klimaschutzszenarien war zunächst zu definieren, wie ein umsetzbarer Weg aussieht, der die Pariser Klimaziele einhält. Dabei steht die Frage im Vordergrund, welche maximale Menge an Treibhausgasemissionen weltweit noch künftig in die Atmosphäre gelangen darf. Als CO₂-Global-Budgets werden diese Mengenangaben auf bestimmte Klimalimits, z.B. 1,5-, 1,7- oder 2,0-Grad-Ziel bezogen und verschiedenen Eintrittswahrscheinlichkeiten, z.B. 33%, 50%, 67% bzw. 83%, zugeordnet (siehe Tabelle 1.1).

Die Menge an Treibhausgasen, die weltweit noch emittiert werden darf ist endlich und knapp bemessen. So knapp, dass nur noch ein extrem kleiner Zeitraum verbleibt, um die derzeit hohen Emissionen auf Null zu führen.

Über eine nationale und sektorale Zuordnung kann das CO₂-Budget schließlich für die Wohnnutzungen in Deutschland angegeben werden. In dieser Studie wird das CO₂-Budget für das Wohnen zum ersten Mal systematisch in Klimaschutzszenarien angewendet und bildet dabei den zentralen Indikator. Von großem Vorteil ist hierbei, dass die klimarelevante Qualität verschiedener Klimaschutzstrategien mit einer einfachen Kenngröße abgebildet werden kann.

Paris-kompatibles Bauen

Ein Paris-kompatibles Bauen orientiert sich an den CO₂-Budgets für Gebäude, die das 1,7 Grad-Limit mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 67 % einhalten können. Mit Hilfe von Langfristszenarien (2020 - 2070) lassen sich die konkreten Anforderungen an die energetische Qualität von Neubauten sowie für Modernisierungen im Bestand entwickeln und schließlich in Form von Klimaschutzstandards definieren.

Kernthesen

Die Kernaussagen der Szenarienstudie zum Klimaschutz im deutschen Wohngebäudepark sind:

1 CO₂-Global-Budget für Gebäude (Wohnnutzungen)

Ein Bauen, das in Übereinstimmung mit den Pariser Klimazielen steht, basiert auf den CO₂-Global-Budgets, wie sie das IPCC jüngst veröffentlicht hat (IPCC 2021). Die Menge an Treibhausgasen, die noch global emittiert werden darf ist endlich. Es steht nur noch ein extrem kleiner Zeitraum zu Verfügung, um die derzeit hohen Emissionen auf Null zu führen. Anhand des Anteils Deutschlands an der Weltbevölkerung von 1,1 % und dem Anteil des Wohnens an den nationalen Treibhausgasemissionen von 25 % lässt sich für das 1,7-Grad-Ziel ein Pro-Kopf-Budget in Höhe von 23 Tonnen bestimmen. Dies bildet die Grundlage für Bewertung der Szenarien.

2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 2005

Innerhalb der letzten 15 Jahre konnten die Pro-Kopf-Emissionen durch die Wohnnutzungen kaum abgesenkt werden. Dadurch hat sich die Ausgangslage für einen effektiven Klimaschutz markant verschlechtert. Gründe hierfür sind fehlende Effizienzerfolge bei den Gebäuden (Hülle, Lüftung, Stromausstattungen) und die Dominanz fossiler Heizsysteme. Nur bei der Stromerzeugung ist ein klimagerechter Pfad eingeleitet.

3 Szenariengestützte Untersuchung

Als Methode kommen in dieser Studie szenariobasierte Modellrechnungen zum Einsatz. Zugrunde gelegt ist ein differenziertes Abbild des Wohngebäudeparks mit 52 Gebäudetypen und aller energierelevanter Nutzungsarten des Wohnens (Raumwärme, Lüften, Warmwasser, sämtliche Stromanwendungen) sowie der zugeordneten Heizsysteme und der deutschen Stromerzeugung. Auf dieser Basis kann eine verursachergerechte Bilanzierung der Wohnnutzungen erfolgen. In

den Szenarien werden grundlegende Handlungsoptionen gegenübergestellt. Dies betrifft einerseits das Zusammenspiel von energetischen Qualitäten der Gebäudehüllen, Lüftung und Versorgungssysteme. Andererseits können hierbei auch verschiedene Umsetzungsstrategien und der Einfluss des Nutzerverhaltens und des Klimawandels mit untersucht werden. Wegen der großen Trägheit des Gebäudeparks in Bezug auf Veränderungsprozesse sind lange Zeiträume zu betrachten.

4 Differenzierte Modellierung des Wohngebäudeparks

Für die Auswertung der Szenarien ist entscheidend, dass der komplexe Wohngebäudebestand im Hinblick auf Gebäudetypen (z.B. Ein- und Mehrfamilienhäuser), Baualter, Konstruktionsarten und Eingriffsempfindlichkeit (Baudenkmale, bedingt und voll sanierbarer Bestand) differenziert modelliert ist. Nur so lassen sich die unterschiedlichen Herangehensweisen im Neubau und Bestand sowie die speziellen Umsetzungshemmnisse bei der energetischen Modernisierung angemessen abbilden.

5 Zentrale Ergebnisse

Die Referenzszenarien repräsentieren „Weiter-so“-Entwicklungen. Sie stehen in keinem Fall in Übereinstimmung mit den Pariser Klimazielen. Selbst mit dem Einsatz umfangreicher CO₂-Senken kann der notwendige Ausgleich nicht mehr hergestellt werden. Die Klimaschutzszenarien beinhalten die Umsetzung einer hohen Qualität hinsichtlich Energieeffizienz und erneuerbarer Energien. Wegen des Stillstands der letzten 15 Jahre wird hier jedoch nur ein grenzwertiger Klimaschutz erreicht, Unter günstigen Umsetzungsbedingungen und dem Einsatz von CO₂-Senken ist eine Zielerreichung noch möglich. Bei den Klimaschutz-Plus-Szenarien kommen ab 2030 zusätzlich technologische Fortschritte mit ins Spiel, die heute bereits in Form von Prototypen oder Konzeptstudien existieren. Nur hier ist die Einhaltung des 2-Grad-Budgets nachweisbar. Für einen voll-

wertigen Klimaschutz, der das 1,7-Grad-Budget nicht überschreitet ist zusätzlich der Einsatz von CO₂-Senken in Höhe von ca. 0,7 - 1,0 Gt notwendig (Szenario Klimaneutral 2050).

6 Drei Hauptstrategien

Hohe Energieeffizienz, der Wechsel von fossilen zu erneuerbaren Versorgungssystemen und die Schaffung von CO₂-Senken im Gebäude oder an anderen Orten stellen die drei unverzichtbaren Hauptstrategien für den Paris-kompatiblen Umbau des Wohngebäudeparks dar.

7 Gelegenheiten für hohe Qualität nutzen

Immer dann, wenn ein Neubau ansteht oder im Bestand eine Bau- oder Technikkomponenten instand zu setzen oder zu erneuern ist, ergibt sich die Gelegenheit eine hohe anstelle einer mittleren Qualität zu realisieren. Die hohe Qualität entspricht der Güte des Passivhauskonzeptes (Wärmeschutz, Wärmerückgewinnung bei Lüftung, Stromeffizienz, erneuerbares Heizsystem). Bei anstehenden Reparaturen bzw. dem Austausch ergibt sich die Gelegenheit von einem fossilen auf ein erneuerbares Heizsystem zu wechseln. Der Neubau und energetische Modernisierungen sollten darüber hinaus unter Einsatz von Holzbauweisen und nachwachsenden bzw. Recycling-Baustoffen erfolgen. Damit können zugleich CO₂-Senken geschaffen und sicher eingelagert werden.

8 UND-Strategien

Für den Klimaschutz kommt es darauf an, die Strategien sinnvoll zu verknüpfen und diese nicht gegeneinander auszuspielen. Insbesondere Effizienz und Erneuerbare lassen sich in der notwendigen Geschwindigkeit nur miteinander realisieren.

Deutlich erkennbar wird dies an der „Effizienzlücke“, die bei dem willkürlichen Weglassen der Effizienzstrategie entstehen würde, wie dies z.B. im Konzeptansatz „Einfach Bauen“ (Nagler et al. 2020) vorgeschlagen wird. Sie umfasst emissionsseitig 1860 Mio t CO₂-Äquivalente und ist damit fast so groß wie das 1,7-Grad-Budget. Zudem wäre das Energiesystem um einen Faktor 3,4 größer als im Szenario Klimaneutral 2050.

9 Gebäudehüllen aus nachwachsenden Rohstoffen

Die im Rahmen dieser Untersuchung parallel entstandene Studie „Wie kann der Holzbau zum Klimaschutz beitragen?“ (Valentin 2023) rückt den Einsatz von Dämmstoffen aus schnellwachsenden biogenen Materialien (z.B. Stroh, Hanf, Gräser) in das Zentrum einer künftigen CO₂-Senkenstrategie. Diese können in allen Bauweisen (Holz-, Holzhybrid- und Massivbau) sowie im Neubau als auch bei energetischen Modernisierungen zum Einsatz kommen. Neben der Speicherung von Kohlenstoff helfen sie die energie- und materialbedingten Emissionen der Gebäude im gesamten Lebenszyklus zu reduzieren.

10 Klimagerechtes Konsum- und Nutzerverhalten

in den Suffizienzstrategien werden Maßnahmen zusammengefasst, bei denen Freiwilligkeit und individuelle Beweggründe eine Rolle spielen. Konkret wurde hierzu untersucht, welche Beiträge durch ein klimagerechtes Nutzerverhalten (Absenkung der Raumtemperatur und des Warmwasserverbrauchs) und durch andere Konsummuster (Akzeptieren kleinerer Wohnungsgrößen, reduzierte Ausstattungen) erschlossen werden können. Ihr Einfluss ist vor allem in der Anfangsphase bedeutend.

11 Systemdienlichkeit des Gebäudeparks

Für den Klimaschutz ist es notwendig, den Gebäudepark als integralen Bestandteil des erneuerbaren Energiesystems zu verstehen. Die Gebäude selbst und deren Versorgungssysteme können darin Aufgaben des Lastmanagements und der Rückverstromung saisonal gespeicherter Energie übernehmen.

12 Energieautonomie

Mit den drei Hauptstrategien Erneuerbare, Effizienz und CO₂-Senken gelingt es, sich aus der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu befreien. Entscheidend ist die Effizienzstrategie, weil sie ermöglicht, das künftige erneuerbare Energiesystem gegenüber dem heutigen um einen Faktor vier zu verkleinern. Dies hat den Effekt, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien schneller erfolgt und dabei zudem die Belange des Umwelt- und Kulturschutzes berücksichtigt werden können.

1 Zusammenfassung

Diese Studie verfolgt das Ziel aufzuzeigen, wie die konkrete Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens für den deutschen Wohngebäudepark ausgestaltet werden kann.

Der Betrachtungsrahmen entspricht dem Sektor der privaten Haushalte. Er wird jedoch verursachergerecht um die anteilige Strom- und Fernwärmeversorgung erweitert, damit z.B. der anstehende Wandel weg von den fossilen Heizsystemen hin zu Wärmepumpenheizungen und erneuerbarer Nah-/Fernwärme zutreffend abgebildet werden kann. Anders als in den gesetzlichen Energiebilanzierungsverfahren werden sämtliche Stromanwendungen in den Wohngebäuden mitbilanziert. Einerseits sind diese Bestandteil des Sektors der privaten Haushalte und andererseits stellen diese neben der Raumwärme das zweitwichtigste Handlungsfeld dar. Der Energieaufwand und die Treibhausgasemissionen der Baumaterialien und Bauprozesse werden hingegen nicht mit bilanziert **(1)**.

Auf der Bilanzierungsebene End- und Primärenergie sowie den daraus resultierenden Treibhausgasemissionen beanspruchen die Wohnnutzungen in den letzten Dekaden etwa 25 % der gesamten Energiebedarfs bzw. des Global Warming Potentials (siehe Tab. 1.2). Sie stellen somit einen Schlüsselsektor für die nationale Klimaschutzstrategie Deutschlands dar.

Tabelle 1.1
CO₂-Global-Budgets ab 2020 für verschiedene Klimaschutzziele und Eintrittswahrscheinlichkeiten gemäß IPCC. Zuordnung der Pro-Kopf-CO₂-Budgets für Deutschland durch Zuweisung des 1,1%-Anteils an der Weltbevölkerung. Für die Wohnnutzungen kann davon ein Viertel in Anspruch genommen werden. Zur besseren Orientierung ist der Pfad C, der einen Paris-kompatiblen Klimaschutz repräsentiert, grau hinterlegt. Quellen: (IPCC 2021, SfP, S. SPM-38) und eigene Berechnungen.

Pfad	Klimaschutzziel (Wahrscheinlichkeit)	CO ₂ -Globalbudget ab 2020 (IPCC 2021)	Pro-Kopf-CO ₂ -Budget Deutschland ab 2020	Pro-Kopf-CO ₂ -Budget Deutschland - Wohnen
A	2 Grad (50 %)	1350 Gt	180 t/P	45,1 t/P
B	2 Grad (67%)	1150 Gt	154 t/P	38,5 t/P
C	1,7 Grad (67%)	700 Gt	93 t/P	23,3 t/P
D	1,5 Grad (67%)	400 Gt	53 t/P	13,3 t/P

1.1 Paris-kompatibler Gebäudepark / Herleitung des CO₂-Globalbudgets für Wohngebäude

Unter „Paris-Kompatibilität“ wird ein Klimaschutz verstanden, der in Übereinstimmung mit dem Pariser Klimaabkommen steht. Damit wird bewusst eine Abgrenzung von ungenau definierten Klimaschutzkonzepten wie „Klimaneutraler Gebäudebestand“ oder „Klimagerechtes Bauen“ gesucht, die im Hinblick auf die Umsetzung und den Zeitpfad weitgehend unbestimmt bleiben. Die Operationalisierung des Pariser Klimaschutzziels erfolgt über das CO₂-Global-Budget und seine nationale sowie sektorale Zuordnung auf den deutschen Wohngebäudepark.

Das CO₂-Global-Budget beschreibt, welche Kohlendioxidemissionen in Zukunft noch weltweit ausgestossen werden dürfen um mit einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit ein vorgegebenes Klimaziel (z.B. Überschreitung der globalen Mitteltemperatur gegenüber vorindustriellem Stand um 2,0 bzw. 1,5 Grad) einzuhalten (vgl. IPCC 2021, SfP, S. SPM-38). Die Zuordnung des CO₂-Global-Budgets auf Länder und Sektoren erfordert die Einbeziehung von Gerechtigkeitsgrundsätzen, kann also nicht auf objektiv-wissenschaftlicher Basis erfolgen. Hier hat sich als Bezugsgröße für die Verteilung auf Ländergruppen oder einzelne Nationen der Anteil an der Weltbevölkerung allgemein durchgesetzt **(2)**. Für Deutschland beträgt dieser 1,1 %. Unter Berücksichtigung des Anteils des Wohngebäudeparks von 25 % an den klimarelevanten deutschen Gesamtemissionen ergeben sich folgende wohngebäudebezogene CO₂-Budgets (siehe Tabelle 1.1):

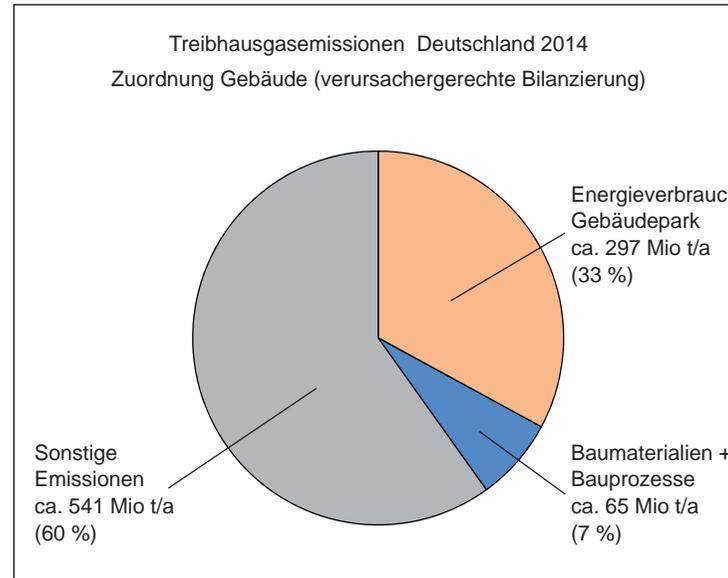
- 2-Grad (Eintrittswahrscheinlichkeit 50%): 45,1 t/P
- 2-Grad (Eintrittswahrscheinlichkeit 67%): 38,5 t/P
- 1,75-Grad (Eintrittswahrscheinlichkeit 67%): 23,3 t/P
- 1,5-Grad (Eintrittswahrscheinlichkeit 67%): 13,3 t/P

Die Spannweite der Werte ist erheblich. Zugleich wird deutlich, dass das Zeitfenster für einen Klimaschutz in Richtung des 1,5-Grad-Ziels inzwischen sehr klein geworden ist. Eine „Weiter so“-Strategie ist in keinem Fall mehr möglich. Jede weitere Verzögerung hat nun zur Folge, dass ein Klimaziel nach dem anderen außer Reichweite für eine noch wirtschaftlich vertretbare Umsetzung wird. Am anschaulichsten werden diese Zusammenhänge, indem man die Reichweite in Jahren angibt, bis das jeweilige Budget aufgebraucht ist, wenn man die heutigen Pro-Kopf-Emissionen (ca. 2,5 t/Pa) beibehalten würde:

- 2-Grad (Wahrscheinlichkeit 50%): 18 Jahre (2038)
- 2-Grad (Wahrscheinlichkeit 67%): 15 Jahre (2035)
- 1,7-Grad (Wahrscheinlichkeit 67%): 9 Jahre (2029)
- 1,5-Grad (Wahrscheinlichkeit 67%): 5 Jahre (2025)

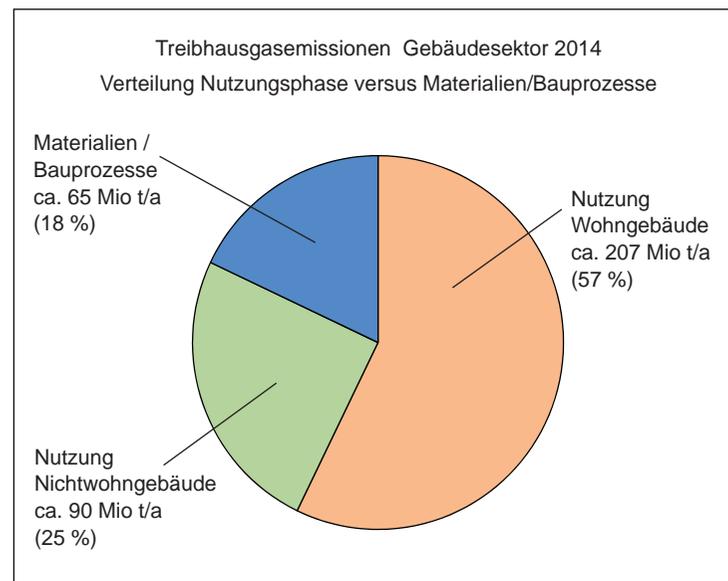
Derzeit beansprucht der Gebäudesektor 40 % der Treibhausgasemissionen Deutschlands. Davon entfallen mehr als 80 % auf die Nutzungsphase (Heizen, Lüften, Warmwasser- und sämtliche Stromwendungen in den Gebäuden) und etwa 20 % auf die Herstellung von Baumaterialien und Bauprozesse (vgl. BBSR 2020, S. 17 und Darstellung in Abb. 1.1 und 1.2).

Damit sind die elementaren Gewichtungen der Klimaschutzstrategien bereits vorgegeben: An erster Stelle steht die Reduktion der Treibhausgasemissionen in der Nutzungsphase, die fast vollständig mit den Energieanwendungen in den Gebäuden in Verbindung steht. Die Hauptstrategien hierbei sind Energieeffizienz und der Ausstieg aus den fossilen Wärme- und Stromerzeugungen. Gleichwohl ist zeitgleich eine Dekarbonisierung der Baustoffe und der Bauprozesse erforderlich. Ihre anteilige Bedeutung wird im Zuge der kommenden Emissionsminderungen in der Nutzungsphase tendenziell zunehmen und der Aufbau einer CO₂-armen Kreislaufwirtschaft viel Zeit in Anspruch nehmen. Ferner ist zu erwarten, dass zur Steigerung der Energieeffizienz und für den Ausbau der erneuerbaren Energien ein vorübergehender Anstieg der materialbedingten Emissionen erfolgt (vgl. BBSR 2020, S.27).



- Gebäude - Energie (Nutzung)
- Baumaterialien / Bauprozesse
- Sonstige Emissionen

Abbildung 1.1
Treibhausgasemissionen 2014 in Deutschland und Zuordnung Gebäudesektor getrennt nach Nutzung (Wärme / Strom) und Emissionen für die Herstellung von Baumaterialien und Bauprozesse. Quelle: (BBSR 2020, S.17)

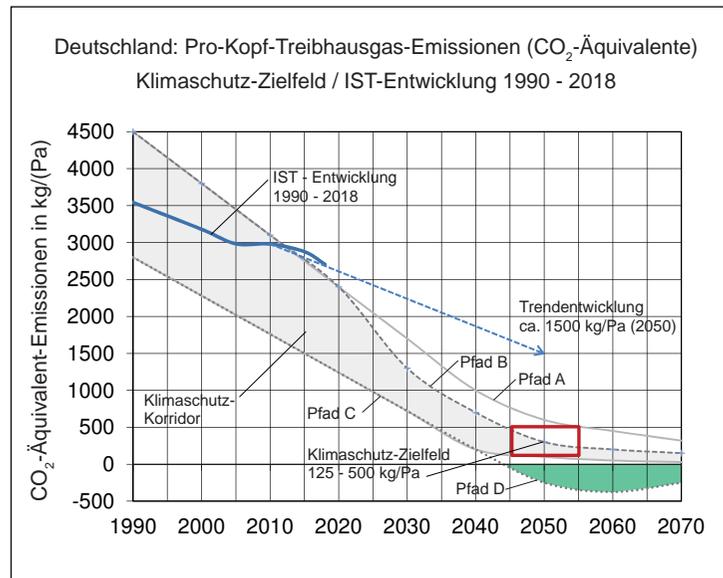


- Nutzung Wohnen
- Nutzung Nichtwohnen
- Materialien / Bauprozesse

Abbildung 1.2
Treibhausgasemissionen 2014 in Deutschland im Gebäudesektor bei verursachergerechter Zuordnung. Quelle: (BBSR 2020, S.17)

- IST - Entwicklung 1990 - 2018
- Klimaschutz-Korridor
- Klimaschutz-Zielfeld
- CO₂-Senken (1,5 Grad-Ziel)

Abbildung 1.3
Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen der privaten Haushalte im Zeitraum 1990 - 2018. Zur besseren Einordnung sind eine Trendentwicklung bis 2050 und der Klimaschutz-Korridor und das Klimaschutz-Zielfeld mit dargestellt. Die CO₂-Senken für den Pfad D sind grün hinterlegt. Quelle: (UBA 2018) und eigene Berechnungen.



1.2 Klimaschutzkorridor und -zielfeld

Zur Beurteilung der bisherigen Entwicklung und zur anschaulichen Analyse der Zuverlässigkeit von Klimaschutz-Minderungspfaden wurde in enger Anlehnung an (Kern 2016) ein Klimaschutzkorridor in Verbindung mit einem Zielfeld entwickelt (siehe Abb. 1.3). Grundlage bilden die vier Klimschutzpfade A - D, in denen die jeweiligen Pro-Kopf-Budgets aus Tabelle 1.1 eingehalten sind. Sie haben somit einen direkten Bezug zum CO₂-Global-Budget. Der grau hinterlegte Klimaschutz-Korridor ist als der Bereich zwischen den Pfaden B und C definiert, der für einen Paris-kompatiblen Klimaschutz steht. Das Zielfeld umfasst zusätzlich auch grenzwertige Entwicklungen, bei denen das 2-Grad-Ziel nur mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 50% erreicht würde. Für das 1,5-Grad-Ziel sind in jedem Fall zusätzlich CO₂-Senken notwendig, über die negative Emissionen (z.B. durch Entfernen von CO₂-Emissionen aus der Atmosphäre und langfristige Einlagerung) möglich sind. Diese sind zur besseren Orientierung in Abb. 1.3 grün markiert.

Tab. 1.2
Vergleich der CO₂-Emissionen der privaten Haushalte mit den gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland 2005, 2010 und 2015. Angaben als Absolutwerte in Mio t/a und als prozentualer Anteil. Quelle: (UBA 2018).

CO ₂ -Emissionen (Mio t)			
Jahr	2005	2010	2015
Wohnen	220	221	213
Gesamt	867	832	796
Anteil (%)	25,1	26,4	26,8

1.3 Entwicklung der CO₂-Emissionen seit 1990

Wie Abb. 1.3. zeigt sind die CO₂-Emissionen des deutschen Wohngebäudeparks im Zeitraum 1990 - 2005 von ca. 3500 kg/Pa auf ca. 3000 kg/Pa gesunken. Hierbei spielten u.a. die sog. „Wall-Profit“-Effekte eine Rolle, d.h. die Erneuerung der emissionsintensiven Strom- und Wärmeversorgung in den neuen Bundesländern nach der Wiedervereinigung. Nach 2005 sind die Pro-Kopf-Emissionen durch die Wohnnutzungen hingegen kaum noch gesunken. Bildlich gesprochen haben sie in einer Seitwärtsbewegung den Klimaschutzkorridor verlassen. Die Ursachen hierfür sind **(3)**:

- Der Neubau und die energetischen Modernisierungen mit „mittlerer Qualität“ (z.B. Anforderungen EnEV bzw. GEG, Sanierung bestenfalls mit Niedrigenergiekomponenten) bewirkten nur geringe Effizienzfortschritte beim Endenergieverbrauch pro Person.
- Die Sanierungsrate von 1 % ist zu niedrig, um im Bestand eine durchgreifende Bedarfsreduzierung zu erreichen.
- Wegen dem stetig hinzu kommenden Neubau verharren Endenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen auf hohem Niveau.
- Der Anteil fossiler Energieträger beträgt bei der Wärmeversorgung immer noch mehr als 85 %. Selbst im Neubau werden weiterhin fossile Heizsysteme eingebaut.
- Die Kohleverstromung und zu geringe Erfolge bei der Stromeffizienz sind die größten Hemmnisse für einen wirk-samen Klimaschutz im Strombereich.
- Die umfangreichen und gleichzeitig kostenintensiven Förderprogramme (z.B. KfW, Bafa) konnten in der Vergangenheit diese Trends nicht umkehren. Dominierend war hier die Förderung des KfW-Effizienzhauses 55 **(4)**.

Die letzten 15 Jahre waren somit verlorene Jahre für den Klimaschutz. Als Folge hat sich der Gebäudepark von einem relativ einfach umsetzbaren zu einem besonders kritischen Sektor gewandelt.

1.4 Szenariengestützte Untersuchung

Als Methode kommen in dieser Studie szenariobasierte Modellrechnungen zum Einsatz (vgl. Vallentin 2011, Teil IV). Die Untersuchung erfolgt über ein Kohortenmodell, in dem der Wohngebäudepark über 52 Gebäudetypen abgebildet wird. Dabei kommt die IWU-Wohngebäudetypologie (IWU 2003 und deren Aktualisierungen) zum Einsatz, die in leicht abgewandelter Form und ergänzt mit Neubautypen ein hoch differenziertes Abbild der Vielfalt des Wohngebäudeparks ermöglicht. Insbesondere wurden dabei die Aspekte Gebäude- und Nutzungs-

formen, Bau- und Konstruktionsweisen, Baualtersklassen und Eingriffsempfindlichkeit berücksichtigt. Unterschiedliche Handlungsoptionen werden in Form von Szenarien gegenübergestellt, in denen die energetische Qualität des Gebäude (Hülle + Lüftungssystem) und die Wärme- sowie Stromversorgung nach übergeordneten Gesichtspunkten variiert werden.

Szenarien erzählen eine Geschichte, indem sie denkbare künftige Entwicklungen beschreiben. Dies erfolgt zumeist in idealtypischer Form, um die Szenarien klar gegeneinander abzugrenzen. Besonderer Wert wird darauf gelegt, dass die in den

Szenario	Heizwärme / Heizung	Warmwasser	Lüftung	Haushaltsgeräte
Status quo	Spezifischer Nutzenergiebedarf, Heiz- und Stromstruktur sowie energetische Qualität auf dem Stand von 1990, Mengenkompenten (z.B. Wohnflächen, Haushalte) jedoch wie in allen anderen Szenarien			
Referenz	Energetische Verbesserungen orientieren sich an bisheriger Entwicklung (leichte Verschärfung EnEV bzw. GEG alle 3-4 Jahre für Neubau und Sanierung), Ausstieg Ölheizungen bis 2070; Stromerzeugung gemäß "Energie-Referenz-Prognose" (ewi/gws/prognos 2014) Kohleverstromung endet 2038.			
	Moderate Effizienzverbesserungen		Fensterlüftung bis 2030 dominant; danach Abluftanlagen als Standard	Moderate Effizienzverbesserungen
Klimaschutz	Energetische Qualitäten ab 2020: Orientierung am Kostenoptimum in Neubau (vgl. KliNaWo-Studie) und bei Sanierung (EnerPhit-Standard); Ausstieg Ölheizungen bis 2060; Ausstieg Gasheizungen 2070; Stromerzeugung folgt "Szenario 2011 A" (Nitsch et al. 2012), Kohleverstromung endet 2035.			
	Ab 2020: Energetisch gleichwertig mit Passivhaus-Neubau bzw. EnerPhit-Sanierungen	Wassersparende Armaturen, WW-Anschlüsse für Waschmaschinen und Geschirrspüler	Ab 2020: verstärkter Ausbau Lüftungsanlagen mit WRG, ab 2030 wird dies Standard	Ausstattung mit effizienten Haushaltsgeräten, Leuchtmitteln und sonstigen Stromgeräten
Klimaschutz Plus	Wie Klimaschutzszenario, Berücksichtigung von absehbaren technologischen Verbesserungen bei allen Bau- und Technikkomponenten; entspricht vermutlich dem Kostenoptimum ab 2030/2040; Ausstieg Ölheizungen 2050; Ausstieg Gasheizungen 2060; Stromerzeugung gemäß "Szenario 2013" (Nitsch 2013), Kohleverstromung endet 2030.			
	Hocheffiziente Heizsysteme mit stark reduzierten Verteil- und Speicherverlusten	wie Klimaschutzszenario plus Dusch-WW-WRG sowie hocheffizienter Wärmespeicherung und -verteilung	ab 2025: Lüftungen mit WRG und hocheffizienten Ventilatoren plus CO ₂ -gesteuerter Luftmengenregelung	Hocheffiziente Ausstattung bei allen Elektrogeräten plus integriertes Lastmanagement

Tabelle 1.3:
Kurzcharakterisierung der vier Hauptszenarien gemäß den Hauptanwendungsfeldern Heizung, Warmwasser, Lüftung und Haushaltsgeräte.

Der Ausstieg aus den Ölheizungen bedeutet konkret, dass ca. 25 - 30 Jahre zuvor keine neue Ölheizungen mehr im Neubau und bei Instandsetzungen bzw. Erneuerungen im Bestand eingebaut werden dürfen; im Effizienz-Szenario gilt dies demnach ab spätestens 2035 und im Effizienz-Plus-Szenario spätestens ab 2025. Die Dynamik der Heiz- und Stromerzeugungsstruktur wird in Abschnitt 6 detailliert behandelt.

Szenarien dargestellten Handlungspfade in sich konsistent und plausibel modelliert sind, um innere Widersprüche und Kombinationen von Entwicklungen, die sich ausschließen (z.B. hohe Anteile Biomasseheizungen in einem gleichzeitig wenig effizienten Gebäudepark jenseits der Verfügbarkeitsgrenze der Biomasse) zu vermeiden. Anhand der späteren Auswertung der Szenarien soll schließlich geklärt werden, mit welchen Maßnahmenkombinationen die Transformation des Wohngebäudeparks gemäß den Pariser Klimazielen erfolgen kann.

Es werden insgesamt vier Szenarien unterschieden, die folgendermaßen charakterisiert werden können (siehe Tab. 1.3):

Status-quo-Szenario

Im Status-quo-Szenario werden die energetischen Qualitäten (Neubau und Sanierung) auf dem Stand des Jahres 1990 „eingefroren“ und unverändert in der Zukunft fortgeführt. Die MengenkompONENTEN (z.B. Bevölkerung, Wohnflächen, Art und Umfang von Elektroausstattungen) werden jedoch, wie in den anderen Szenarien auch, weiterentwickelt. Das Status-quo-Szenario dient aus methodischer Sicht als Referenz und Eichmaßstab für die erzielten Effizienzsteigerungen und die Dekarbonisierungserfolge in den anderen Szenarien.

Referenz-Szenario

Hier wird eine „Weiter-so-wie-bisher“-Entwicklung abgebildet. Es werden nur zurückhaltende Reaktionen von Politik, Gesellschaft und Wirtschaft auf künftige Problemstellungen unterstellt. Beispielsweise wird der Wärmeschutz der Gebäude auch künftig nur zurückhaltend verbessert, wie dies in den Wärmeschutzverordnungen, und später in den unterschiedlichen Fassungen der EnEV und des GEG geschah. Eine Wärmerückgewinnung der Lüftung kommt im gesamten Betrachtungszeitraum nicht zum Einsatz. Die Stromeffizienz wird nicht über die bisher zu beobachtenden Verbesserungen hinaus gesteigert. Der Wandel der Heizstruktur und Stromerzeugung erfolgt entsprechend den Entwicklungen der vergangenen 15 Jahre.

Klimaschutz-Szenario

In diesem Zielszenario erfolgt der Neubau und die energetischen Sanierungen in der Güte des Passivhauskonzepts und orientieren sich damit an dem Kostenoptimum der Lebenszykluskosten, wie es z.B. in entsprechenden Studien zum Wohnbau in Vorarlberg und Luxemburg detailliert ermittelt wurde (vgl. EIV 2018 und MdE 2014) (5). Dies beinhaltet einen sehr guten Wärmeschutz der Gebäudehülle inklusive Fenster und eine hochwertige Wärmerückgewinnung der Lüftung sowie eine stromeffiziente Ausstattung der Wohngebäude mit Haushaltsgeräten und für Kommunikationselektronik, Beleuchtung, Aufzüge, Hilfsaggregate. Aufgrund des zunehmend geringeren Energiebedarfs der Gebäude können sich erneuerbare Heizsysteme spürbar schneller durchsetzen als im Referenzszenario. Auch der Wandel hin zu einer erneuerbaren Stromerzeugung erfolgt hier schneller als im Referenzszenario. Weil künftig neue Stromanwendungen hinzukommen (z.B. für Mobilität, Wärmeerzeugung, Prozesswärme) ist eine hohe Stromeffizienz Voraussetzung für eine derartige Entwicklung.

Klimaschutz-Plus-Szenario

Neben den Maßnahmen des Klimaschutzeszenarios werden hier Technologieentwicklungen miteinbezogen, die derzeit nur in Form von Prototypen bzw. Sonderlösungen oder theoretischer Studien vorliegen (z.B. besonders energieeffiziente Fenster und Verglasungen auch für Anwendungen im Denkmalschutz, Duschwasser-Wärmerückgewinnung, Wärmepumpen mit emissionsarmen Kältemitteln usw.). Die Beobachtungen der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass diese Entwicklungen viel schneller und durchgreifender erfolgen, als zunächst vermutet. Daher bestehen gute Gründe für die Annahme, dass die hier beschriebenen Qualitäten und NeukompONENTEN tatsächlich in einigen Jahren allgemein zur Verfügung stehen, wirtschaftlich eingesetzt werden und bereits 2030 dem Kostenoptimum entsprechen können. Zusätzlich wird in diesem Szenario ein schnellerer Ausstieg aus den fossilen Heizsystemen und aus der Kohleverstromung angenommen. Der

Umfang der Stromerzeugung verdoppelt sich hier gegenüber dem Klimaschutzszenario, u.a. weil hier der Einstieg in die erneuerbare Erzeugung von Wasserstoff bzw. Methan als saisonaler Speicher sowie für industrielle Zwecke sowie Flug- bzw. Schwerlastverkehr modelliert wird.

Kopplungsprinzip als Umsetzungsstrategie

Das sog. Kopplungsprinzip drückt aus, dass sich Gelegenheiten für energetische Effizienzverbesserungen und den Wechsel von fossilen zu erneuerbaren Energiesystemen immer dann ergeben, wenn eine Bau- bzw. ein Technikkomponente ohnehin instand zu setzen oder zu erneuern ist. Sobald z.B. eine Außenwand neu zu streichen oder der Putz auszubessern ist, kann in diesem Zuge eine Außendämmung aufgebracht werden. Es sind aber auch andere Gelegenheiten denkbar, z.B. Erweiterungen, Umbauten oder Nutzungsänderungen. **Betont werden soll an dieser Stelle, dass das Motiv der Energieeinsparung oder des Klimaschutzes für sich genommen - mit wenigen noch zu benennenden Ausnahmen - nicht der Auslöser für Effizienzverbesserungen oder den Umstieg auf erneuerbare Energiesysteme sein kann oder soll.**

Dafür sprechen vor allem ökonomische Gründe. In den meisten Fällen ist nur dann eine Wirtschaftlichkeit der energetischen Maßnahmen gegeben. Es fallen keine zusätzlichen Rüstkosten (z.B. Baustelleneinrichtung, Gerüst) an und der Restwert der Konstruktionen wird nicht vorzeitig zerstört. Es ist aufschlussreich, dass Hausbesitzer von sich aus dieser ökonomischen Vernunft folgen (vgl. Frondel et al. 2006, S. 89). Anderslautende Vorschläge kommen eher von außen, z.B. die Erhöhung der Sanierungsrate deutlich über 2 % hinaus oder die sog. „Abrissprämie“ für energetisch besonders schlechte Gebäude.

Mittlere Nutzungsdauern

Gemäß dem o.g. Kopplungsprinzip werden im Kohortenmodell immer dann energetische Verbesserungen durchgeführt, wenn die Nutzungszeit eines Bauteils oder eines haustechni-

schen Systems abläuft. Diese entsprechen den technischen Standzeiten und nicht den häufig verwendeten wirtschaftlichen Abschreibungszeiträumen, die i.d.R. deutlich kürzer sind. Aus der mittleren Nutzungsdauer ergibt sich eine mittlere Standzeit von Baukomponenten von 50 - 60 Jahren und von 15 - 30 Jahren bei Technikaggregaten. Letztere sind somit deutlich kürzer, was einen Vorteil für die anstehenden Erneuerungsprozesse der Heizsysteme in Richtung Erneuerbare bedeutet.

Einteilung der Wohngebäude in strategische Gruppen

Die Wohngebäude werden im Kohortenmodell drei strategischen Gruppen zugeordnet, für die szenarienabhängig differenzierte Umsetzungsbedingungen modelliert wurden:

- 1 Neubau ab 1990
- 2 Voll sanierbarer Bestand
- 3 Bedingt sanierbarer Bestand / Baudenkmale

Die energetischen Umsetzungsniveaus an die strategischen Gruppen erfolgen in abgestufter Form. Vollumfängliche energetische Anforderungen werden nur im Neubau gestellt. Im Bestand wird hingegen berücksichtigt, dass hier baukulturelle, baupraktische und wirtschaftliche Restriktionen existieren.

Der eingriffsempfindliche Gebäudebestand und die Sonderstellung der Baudenkmale

An Baudenkmale und sonstige eingriffsempfindliche Gebäude werden vorab keine festgelegten energetischen Anforderungen gestellt und es besteht auch keine Pflicht einen Ausgleich für die im Vergleich zum voll sanierbaren Bestand geringere Energieeffizienz zu leisten. Bauliche Maßnahmen können dort ohnehin nur einzelfallbezogen und in Abstimmung mit den Denkmalschutzbehörden erfolgen. Um hierbei auf der sicheren Seite zu agieren wurde der Anteil der eingriffsempfindlichen Gebäuden im Ausgangszustand mit ca. 10 % bewusst sehr umfangreich gewählt und umfasst somit auch diejenigen Bestandsbauten, die aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen problematisch in der Umsetzung sind (6).



Denkmalgeschützter Bestand



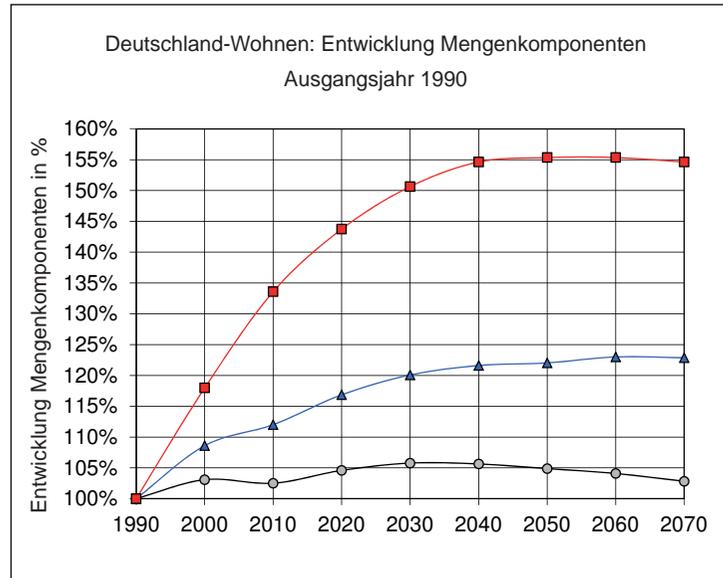
Bedingt sanierbarer Bestand



Voll sanierbarer Bestand

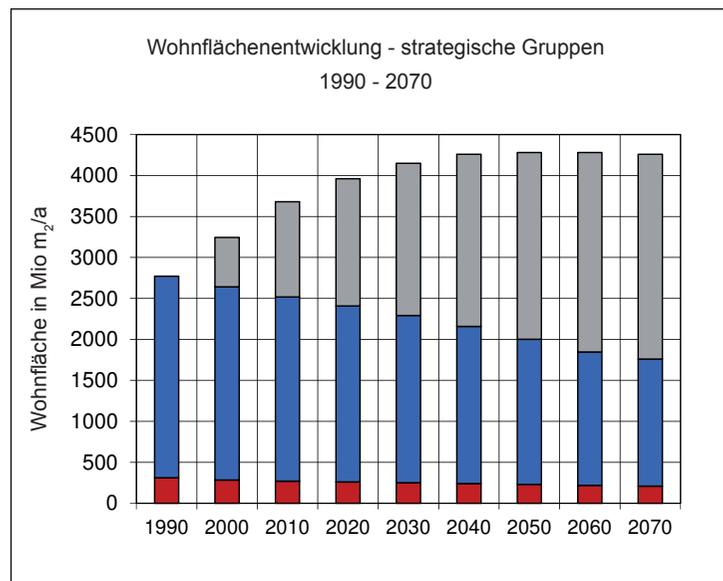
- Wohnfläche
- ▲ Anzahl Haushalte
- Bevölkerung

Abbildung 1.4
Entwicklung von Bevölkerung, Haushalten und der Wohnfläche im Zeitraum 1990 - 2020 gemäß statistischen Daten und Weiterentwicklung in den Szenarien. Die Entwicklungen sind prozentual gegenüber dem Ausgangsjahr 1990 (= 100 %) aufgetragen. Quellen: (DESTASIS 2019, gbe-bund 2020, gbe-bund 2021, BBSR 2015) und eigene Berechnungen; siehe hierzu auch Abschnitt 3.



- Neubau seit 1990
- Voll sanierbarer Bestand
- Bedingt sanierbarer Bestand

Abbildung 1.5
Entwicklung von der Wohnflächen, differenziert nach strategischen Gruppen. (Quelle: IWU 2015 und IWU 2018) und eigene Berechnungen; siehe hierzu auch Abschnitt 3.



1.5 Wichtige Eck- und Rahmendaten

Mengenkomponenten

Als „Antriebe“ für Veränderungen in den Szenarien sind insbesondere Bevölkerung, die Zahl der Haushalte und die Wohnflächen wirksam. Besonders auffällig ist der stark überproportionale Zuwachs an Wohnflächen um 45 % im Zeitraum 1990 - 2020, während die Zahl der Haushalte im gleichen Zeitraum um 17 % und die Bevölkerung nur um 5 % angestiegen sind. Das Wohnflächenwachstum ist nur zu einem geringeren Teil mit der Vergrößerung der Bevölkerung und der Tendenz hin zu kleineren Haushaltsgrößen erklärbar. Vielmehr spielen der Remanenzeffekt und der steigende Wohnkonsum als Folge der Wohlstandsentwicklung seit 1960 eine entscheidende Rolle. Aus Klimaschutzsicht wird zudem die stetige Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen kritisch bewertet, die sich als Landnutzungsänderung in einer Verringerung der CO₂-Senken (LULUCF-Sektor) auswirkt.

Bei Betrachtung der Wohnflächenentwicklung, differenziert nach den strategischen Gruppen, fällt auf, dass im Ausgangszustand 1990 der voll sanierbare Bestand mit 90 % des Umfangs dominierend ist. Der bedingt sanierbare Bestand macht in etwa 10 % aus, wovon Baudenkmale einen Anteil von 2 % beanspruchen. Im Betrachtungszeitraum sind die Abgänge aus dem Bestand mit einer Quote von ca. 0,4-0,5 %/a an dem Absinken der Bestandswohnflächen sichtbar. Im bedingt sanierbaren Bestand sind die Abgangsraten deutlich niedriger. Der Neubau gleicht zunächst diesen Abgang aus. Zeitgleich werden neue Wohnflächen geschaffen, die den Wohngebäudepark bis 2050 immer umfangreicher machen. Aufgrund dieser Gesamtentwicklung macht der Neubau ab 1990 im Jahr 2040 bereits mehr als die Hälfte des Wohngebäudestocks aus.

In der Projektion nach 2020 setzt sich der Anstieg der Wohnflächen noch bis etwa 2050 fort. Erst danach findet eine Stabilisierung auf hohem Niveau statt.

Ausgangszustand Gebäude

Neben dem Umfang des Wohngebäudebestands ist auch der energetische Ausgangszustand eine wichtige Randbedingung. Hierbei spielen auch Teilsanierungen in den letzten Jahren und Jahrzehnten eine Rolle, die jedoch nur schwierig zu erfassen sind. Die Festlegungen in der Modellierung des Wohngebäudeparks in den Szenarien basiert auf einer Untersuchung des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU 2018).

Für das Jahr 2010 werden in den Szenarien für den Ausgangszustand des Wohngebäudeparks folgende nutzflächenbezogene Kennwerte ausgewiesen:

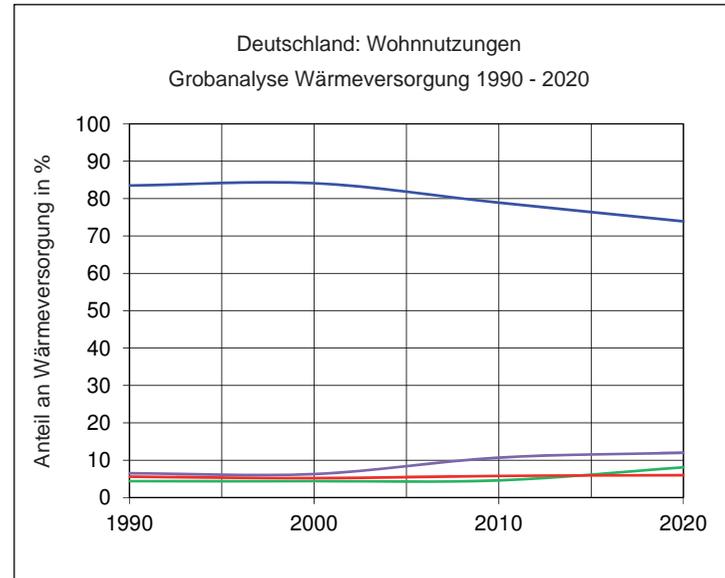
- Spezifischer Jahresheizwärmebedarf; 127,5 kWh/m²a
- Spezifischer Warmwasserbedarf: 14,4 kWh/m²a
- Spezifischer Strombedarf: 31,0 kWh/m²a
- Spezifischer Endenergiebedarf: 203,6 kWh/m²a.

Heizstruktur

Bei der Entwicklung der Wärmeversorgung (Abb. 1.6) zeigt sich im Zeitraum von 1990 - 2020 eine starke Dominanz der fossilen Heizsysteme. Weil auch die Fernwärme- und Stromerzeugung überwiegend mit fossilen Energieträgern erfolgte, lag der Anteil der erneuerbaren Wärmeversorgung im Jahr 1990 bei 93 % und konnte bis Jahr 2010 nur auf 88,5 % abgesenkt werden und lag im Jahr 2020 immer noch bei 86,0 %.

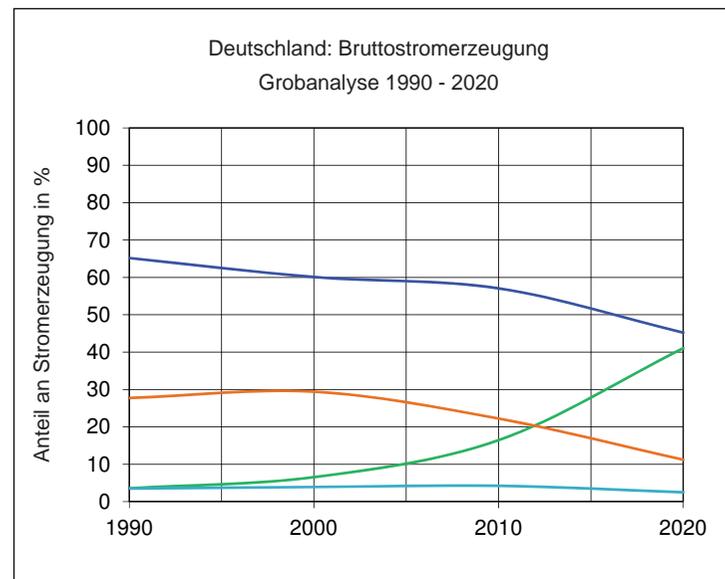
Stromerzeugung

Deutlich dynamischer hat sich die Bruttostromerzeugung Deutschlands in Richtung Erneuerbare entwickelt (Abb. 1.7). Deren Anteil beträgt im Jahr 2020 bereits über 40 %. Für die Wohnnutzungen spielt dies auch deshalb eine wichtige Rolle, weil der Primärenergieeinsatz und die Treibhausgasemissionen der Strom- gegenüber den Wärmenutzungen je Endenergieeinheit viel höher ausfällt. Gleichzeitig findet der Ausstieg aus der Kernenergienutzung statt. Weil diese Stromerzeugung zunächst zu ersetzen ist, zögert dies den Aufbau einer vollständig erneuerbaren Stromversorgung hinaus.



- Fossile Brennstoffe
- Erneuerbare Wärme
- Fernwärme
- Strom (direkt+Wärmepumpen)

Abbildung 1.6
Grundzüge der Heizstruktur der deutschen Wohngebäude im Zeitraum 1990 - 2020. Quellen: (IWU 2018 und (BDEW 2019); siehe hierzu auch Abschnitt 3.

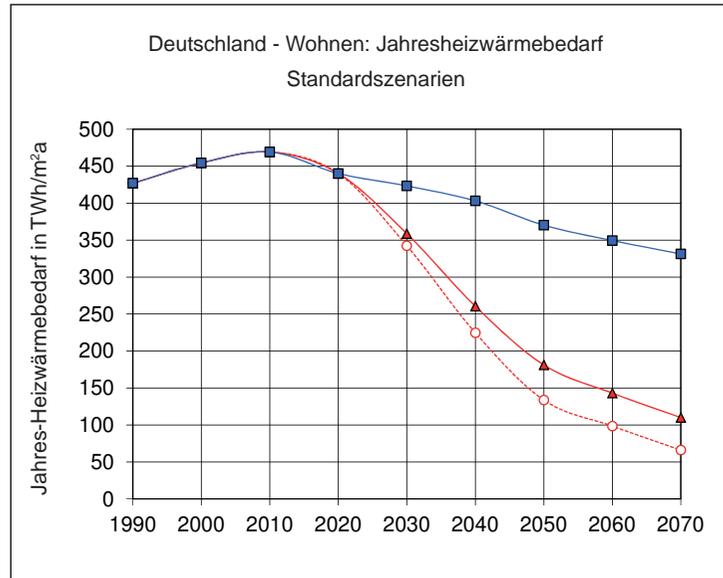


- Fossile Stromerzeugung
- Erneuerbare Stromerzeugung
- Kernkraftwerke
- Sonstige

Abbildung 1.7
Grundzüge der Stromerzeugungsstruktur Deutschlands im Zeitraum 1990 - 2020. Quelle: (AG Energiebilanzen 2019); siehe hierzu auch Abschnitt 3.

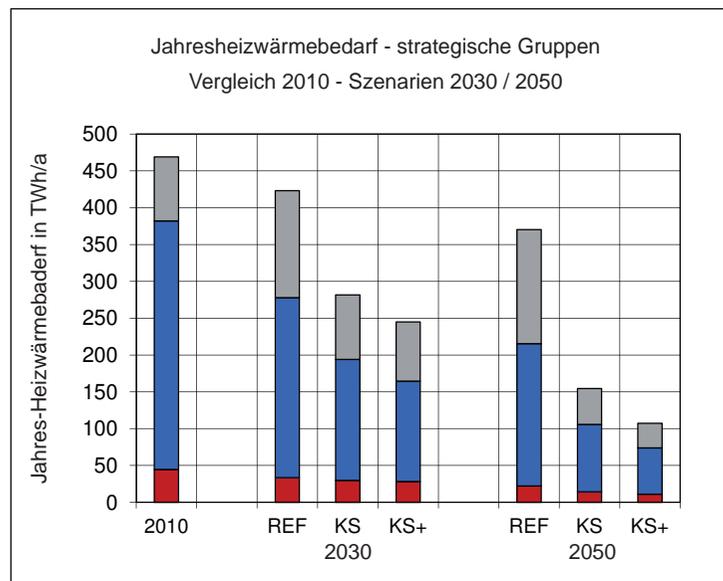
- Referenz-Szenario
- ▲— Klimaschutz-Szenario
- Klimaschutz-Plus-Szenario

Abbildung 1.8
Entwicklung des Jahresheizwärmebedarfs der deutschen Wohngebäude im Zeitraum 1990 - 2070 in TWh/a im Referenz-, Klimaschutz- und Klimaschutz-Plus-Szenario.



- Neubau seit 1990
- Voll sanierbarer Bestand
- Bedingt sanierbarer Bestand

Abbildung 1.9
Entwicklung des Jahresheizwärmebedarfs der deutschen Wohngebäude in den Jahren 2010, 2030 und 2050 in TWh/a, differenziert nach strategischen Gruppen. Für 2030 und 2050 sind die Werte im Referenz- (REF), Klimaschutz- (KS) und Klimaschutz-Plus-Szenario (KS+) nebeneinander aufgetragen.



1.6 Zentrale Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Szenarien in Kurzform zusammengestellt, die als Grundlage für die späteren Handlungsempfehlungen dienen. Als Neuerung gegenüber der Dissertation wird hierbei ein Bezug zum CO₂-Globalbudget und damit zu den Pariser Klimazielen hergestellt.

Entwicklung Heizwärmebedarf

Im Wohngebäudepark dominiert derzeit mit einem Anteil von ca. 73 % die Raumwärme den Nutzenergiebedarf. Danach folgen mit 15 % die Stromanwendungen und die Warmwasserbereitung mit 12 %. Für Klimaschutzpfade ist somit die Reduktion des Heizwärmebedarfs aller Wohngebäude das zentrale Handlungsfeld. Die wesentlichen Maßnahmen bestehen in der Verbesserung des Wärmeschutzes der Gebäude und im Einsatz der Wärmerückgewinnung bei der Lüftung.

Im Referenzszenario kann der Heizwärmebedarf nach seinem Höchstwert von ca. 470 TWh im Jahr 2010 in den folgenden Jahrzehnten nur wenig gesenkt werden. Im Jahr 2050 beträgt die Reduktion mit einem Heizwärmebedarf von ca. 370 TWh/a gerade einmal 22% (Abb. 1.8). Ursache hierfür ist der Einsatz sog. „mittlerer Qualitäten“ (siehe Tab. 1.9) beim Wärmeschutz und das weitgehende Fehlen der Wärmerückgewinnung bei den Lüftungskonzepten. In den Klimaschutzszenarien gelingt hingegen bis 2050 eine starke Reduktion um 62 bzw. 71 % der Bedarfswerte für Raumheizung auf Werte von 180 TWh/a im Klimaschutz- und auf 135 TWh/a im Klimaschutz-Plus-Szenario. Bei der differenzierten Betrachtung nach strategischen Gruppen (Abb. 1.9) ist erkennbar, dass der bedingt sanierbare Bestand wegen seinem geringen Umfang kein substantielles Problem darstellt. In den beiden Klimaschutzszenarien werden vor allem im Neubau seit 1990 und im voll sanierbaren Bestand durchgreifende Minderungserfolge erreicht. Im Referenzszenario ist dies nicht der Fall. Das führt dort sogar zu einem Anstieg des Heizwärmebedarfs im Neubau nach 2010.

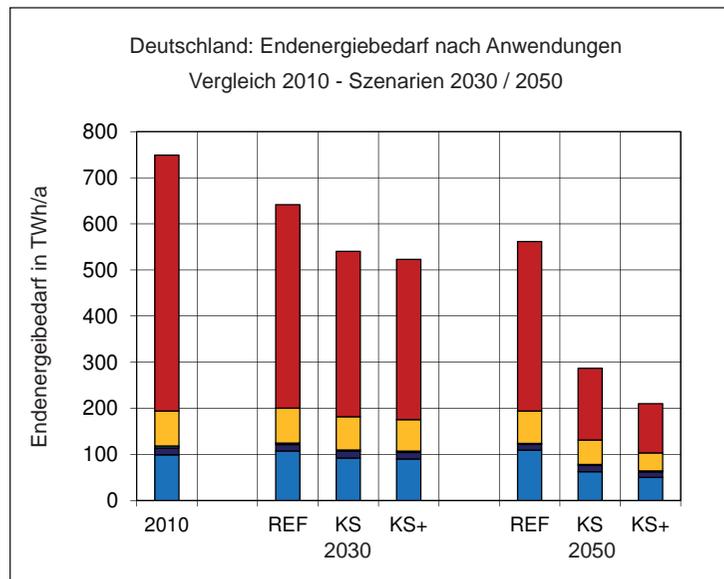
Entwicklung des sonstigen Nutzenergiebedarfs

Die Stromanwendungen in den Haushalten sind ein besonders effektives und wirtschaftliches Handlungsfeld zur Senkung des Nutzenergiebedarfs der privaten Haushalte. Im Referenzszenario verändert sich der Strombedarf der Haushalte kaum, weil durch zusätzliche Anwendungen und Ausstattungen die Effizienzerfolge bei den Geräten bestenfalls kompensiert werden. In den Klimaschutzszenarien hingegen kann durch die konsequente Ausstattung der Haushalte mit stromeffizienten Geräten in etwa eine Halbierung des Strombedarfs erreicht werden.

Bei den Warmwasseranwendungen sind die Möglichkeiten für eine Verbesserung der Effizienz aufgrund von Hygieneanforderungen und Komfortgewohnheiten deutlich geringer als bei Raumwärme und Stromanwendungen. Im Klimaschutz-Plus-Szenario wird jedoch bis 2050, z.B. durch den Einsatz wassersparende Armaturen und Duschwasser-Wärmerückgewinnung, immerhin eine Reduktion um 30 % erreicht.

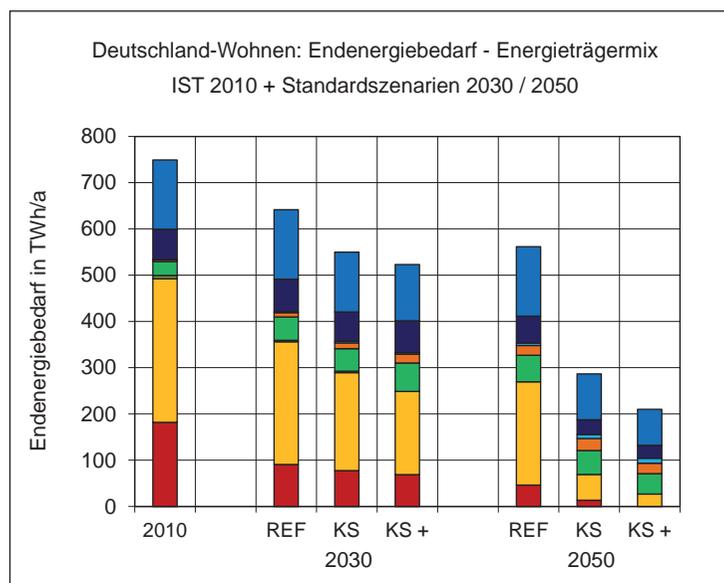
Entwicklung Endenergiebedarf

Bei der Endenergie (Abb. 1.10 und 1.11) sind zusätzlich die Wärmeverluste bei Erzeugung, Verteilung und Speicherung mitbilanziert. Die Grundtendenzen sind ähnlich wie beim Nutzenergiebedarf. Dominierend ist die Raumwärme. Nur in den Klimaschutzszenarien kann der Endenergiebedarf in allen Anwendungsfeldern substantiell verringert werden. Gegenüber der Referenzentwicklung können hier die Wärmeverluste bei Erzeugung, Verteilung und Speicherung durch sorgfältige Planung, Vereinfachung der Heizsysteme und besseren Wärmeschutz stark reduziert werden. Parallel dazu gelingt in den Klimaschutzszenarien ein schnellerer Ausstieg aus den fossilen Energiesystemen. Dazu tragen entscheidend die geringeren Energiebedarfswerte (z.B. wegen der einfacheren Quellschließung für Wärmepumpen) bei. Während im Referenzszenario im Jahr 2050 immer noch fossile Heizsysteme dominieren, wird im Klimaschutz-Plus-Szenario nur noch ein kleiner Anteil der Wohngebäude mit Erdgas beheizt.



- Raumwärme
- Warmwasser
- Gas für Kochen
- Hilfsstrom
- Haushaltsstrom

Abbildung 1.10
Entwicklung des Nutzenergiebedarfs der deutschen Wohngebäude in den Jahren 2010, 2030 und 2050 in TWh/a, getrennt für die Anwendungsfelder Raumwärme, Warmwasser, Gas für Kochen, Hilfs- und Haushaltsstrom. Für 2030 und 2050 sind die Werte im Referenz- (REF), Klimaschutz- (KS) und Klimaschutz-Plus-Szenario (KS+) nebeneinander aufgetragen.

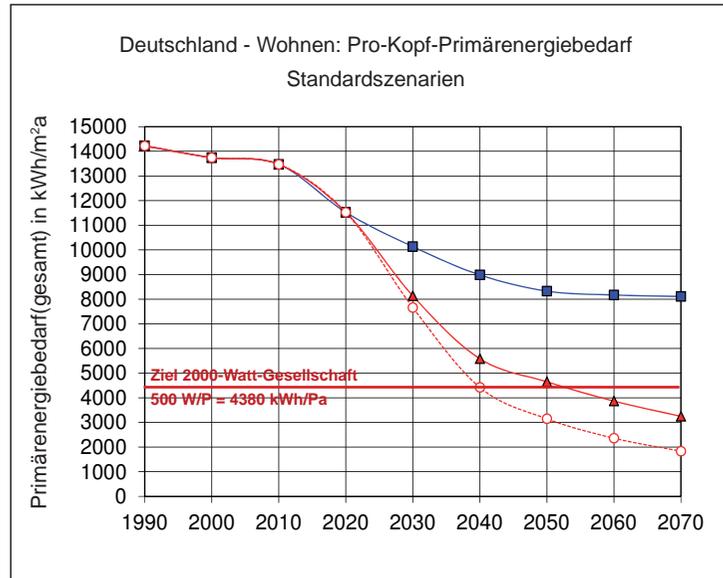


- Strom
- Fernwärme
- Geothermie
- Solarwärme
- Biomasse
- Braun- und Steinkohle
- Erdgas
- Heizöl

Abbildung 1.11
Entwicklung des Endenergiebedarfs der deutschen Wohngebäude in den Jahren 2010, 2030 und 2050 in TWh/a, getrennt nach Energieträgern. Für 2030 und 2050 sind die Werte im Referenz- (REF), Klimaschutz- (KS) und Klimaschutz-Plus-Szenario (KS+) nebeneinander aufgetragen.

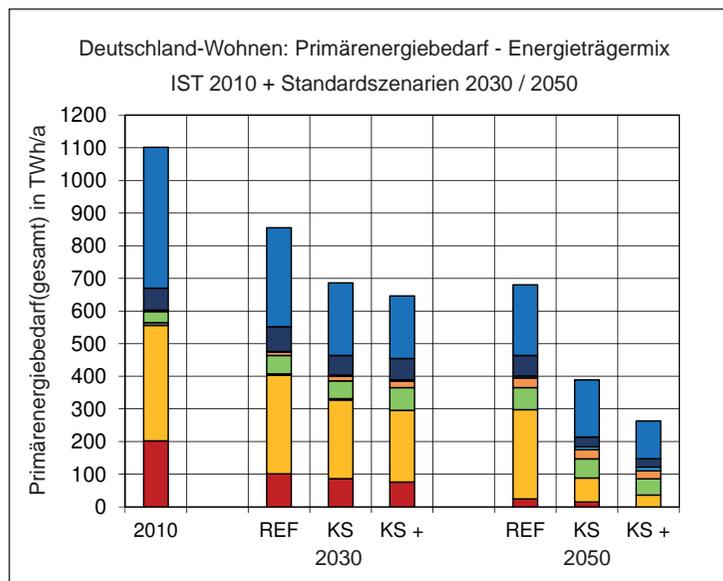
- Referenz-Szenario
- ▲— Klimaschutz-Szenario
- - -○- - Klimaschutz-Plus-Szenario

Abbildung 1.12
Entwicklung des gesamten Pro-Kopf-Primärenergiebedarfs der deutschen Wohngebäude im Zeitraum 1990 - 2070 in kWh/Pa im Referenz-, Klimaschutz- und Klimaschutz-Plus-Szenario. Zur besseren Orientierung ist der Kennwert der 2000-Watt-Gesellschaft (500 W = 4380 kWh/Pa) mit aufgetragen.



- Strom
- Fernwärme
- Geothermie
- Solarwärme
- Biomasse
- Braun- und Steinkohle
- Erdgas
- Heizöl

Abbildung 1.13
Entwicklung des gesamten Primärenergiebedarfs der deutschen Wohngebäude in den Jahren 2010, 2030 und 2050 in TWh/a, getrennt nach Energieträgern. Für 2030 und 2050 sind die Werte im Referenz- (REF), Klimaschutz- (KS) und Klimaschutz-Plus-Szenario (KS+) nebeneinander aufgetragen.



Entwicklung Primärenergiebedarf

Im Primärenergiebedarf werden zusätzlich zur Endenergie alle vor- und nachgelagerten Prozesse der Energiebereitstellung (z.B. Exploration, Förderung, Transport + übergeordnete Verteilung, Erstellung Kraftwerke und Heizzentralen und deren späterer Rückbau) im Sinne des kumulierten Energieaufwands (KEA) mitbilanziert. Es wird die gesamte Primärenergie ausgewiesen, d.h. fossile, nukleare und erneuerbare Primärenergie werden zusammengefasst. Damit ergibt sich ein guter Beurteilungsmaßstab, wie groß das Energiesystem für die Energiebereitstellung der Wohnnutzungen in den jeweiligen Szenarien sein muss. Im Gegensatz zur Endenergie ist der gesamte Aufwand für die Stromerzeugung mit enthalten.

In Abb. 1.12 sind die Pro-Kopf-Werte des Primärenergieaufwandes der drei Szenarien gegenübergestellt. Im Referenzszenario kann der Primärenergiebedarf der Wohnnutzungen im Zeitraum 2010 - 2050 von 13.500 auf 8.300 kWh/Pa und damit nur um 38 % verringert werden. Mit einem Wert von 4700 kWh/Pa im Jahr 2050 wird im Klimaschutzszenario nahezu der Kennwert der 2000-Watt-Gesellschaft von 4380 kWh/Pa und eine Reduktion von 65 % erreicht. Im Klimaschutz-Plus-Szenario liegt der Primärenergie-Kennwert bei 3100 kWh/Pa dann deutlich unter dem der 2000-Watt-Gesellschaft. Die Reduktion gegenüber dem Ausgangswert im Jahr 2010 beträgt 77 %. Es ist gut zu erkennen, dass das Energiesystem bei der Referenzentwicklung um einen Faktor 1,8 bzw. 2,6 größer ausfallen müsste als im Klimaschutz- bzw. Klimaschutz-Plus-Szenario.

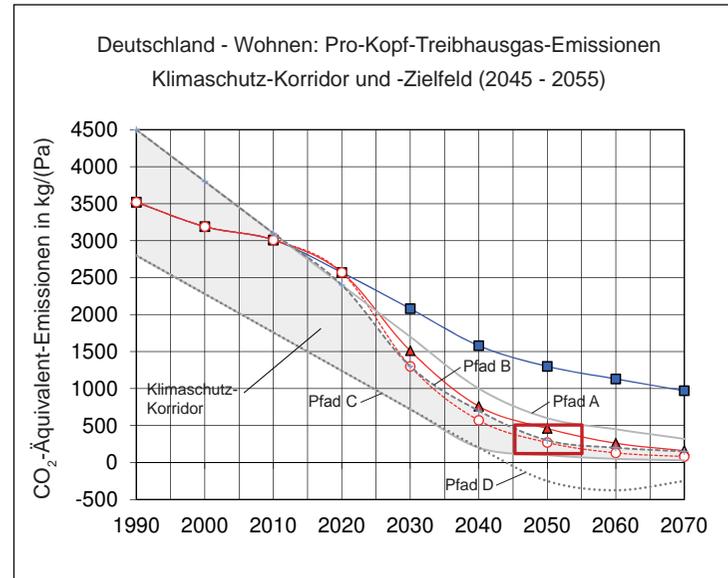
Bei der Entwicklung des Energieträgermixes (Abb. 1.13) zeigen sich die gleichen Tendenzen wie bei der Endenergie, wobei die Stromerzeugung hier ein deutlich höheres Gewicht hat. Die Transformation hin zu einem erneuerbaren und gleichzeitig effizienten Energiesystem gelingt nur in den Klimaschuttszenarien, während im Referenzszenario im Jahr 2050 hohe Bedarfswerte mit einer dann immer noch dominant fossilen Energieerzeugung verbunden bleiben.

Entwicklung der Treibhausgasemissionen

In dieser Studie kommen als Kriterium zum ersten Mal CO₂-Budgets für Gebäude zum Einsatz. Sie beschreiben die Menge der kumulierten Treibhausgasemissionen, die anteilig für die Wohnnutzungen in Deutschland noch zulässig sind. Gemäß der Pariser Klimavereinbarung stellt das 2-Grad-Ziel die Mindestanforderung dar (Pfad B). Nach Möglichkeit soll möglichst eine Unterschreitung in Richtung 1,5-Grad-Ziel (Pfad D) angestrebt werden, um die Risiken des Klimawandels zu begrenzen. Das 1,7-Grad-Ziel (Pfad C) kann somit als Paris-kompatibel eingestuft werden. Als Klimaschutz-Korridor ist das Feld zwischen Pfad B und C definiert. Das Zielfeld wurde so bestimmt, dass Entwicklungen, die oberhalb davon verlaufen auf keinen Fall mehr als Klimaschutzpfade eingestuft werden können.

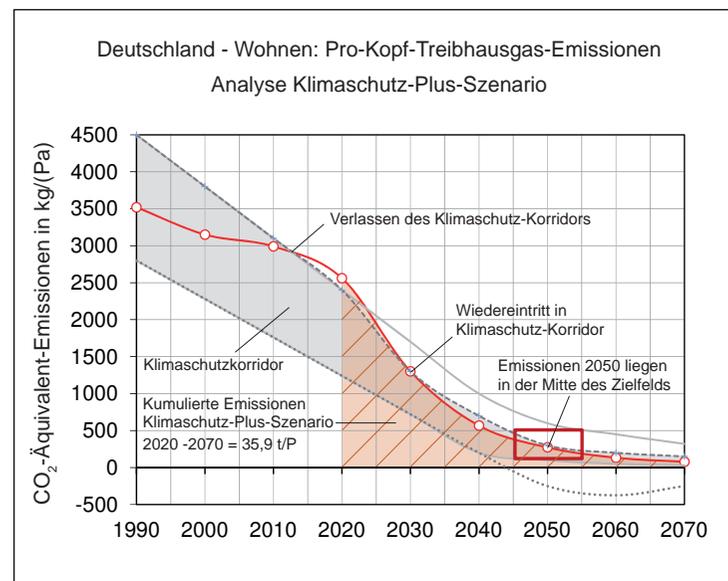
In Abbildung 1.14 ist zunächst die Entwicklung der Pro-Kopf-CO₂-Äquivalent-Emissionen seit 1990 bis 2020 dargestellt. Ausgehend von 3,5 t/Pa sinken die Werte bis 2020 auf 2,5 t/Pa. Die Modellierung in den Szenarien kann somit auch die Ist-Entwicklung, wie sie in Abb. 1.3 analysiert wurde, hinreichend gut nachgebildet. Festzustellen ist ferner, dass die Emissionen nach 2010 den Korridor seitlich verlassen haben.

In der Referenzentwicklung entfernen sich die Werte für das Global Warming Potential immer weiter vom Klimaschutz-Korridor und befinden sich im Jahr 2050 mit ca. 1,3 t/Pa um einen Faktor 4,3 über dem Zielwert von 0,30 t/Pa (Mitte des Zielfeldes). Dieser Wert liegt derart hoch, dass damit der Zielwert von einer Tonne pro Person und Jahr für Deutschland insgesamt überschritten wird. Die Emissionen des Klimaschutzeszenarios verlaufen stetig leicht oberhalb des Klimaschutzkorridors und landen schließlich im oberen Bereich des Zielfeldes. Dies entspricht bestenfalls noch einem grenzwertigen Klimaschutz (2-Grad-Ziel mit 50 % Eintrittswahrscheinlichkeit). Im Klimaschutz-Plus-Szenario gelingt es 2030 wieder in den Klimaschutz-Korridor zurückzukehren. Im Jahr 2050 liegt der Pro-Kopf-Kennwert schließlich in der Mitte des Zielfeldes.



- Referenz-Szenario
- ▲ Klimaschutz-Szenario
- Klimaschutz-Plus-Szenario
- Klimaschutz-Korridor
- Klimaschutz-Zielfeld

Abbildung 1.14: Entwicklung der Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen für die Hauptszenarien. Angabe in CO₂-Äquivalenten je Person und Jahr in kg/Pa im Zeitraum 1990 - 2070. Zur besseren Orientierung sind die vier Pfade A-D gemäß Tab. 1.1. und der daraus abgeleitete Klimaschutz-Korridor (grau) und das Klimaschutz-Zielfeld (rotes Rechteck) mit dargestellt.

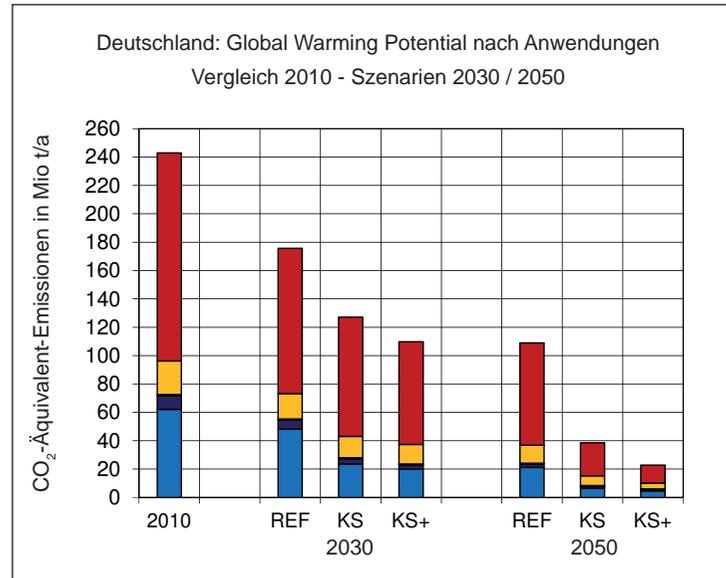


- Klimaschutz-Plus-Szenario
- Klimaschutz-Korridor
- Klimaschutz-Zielfeld

Abbildung 1.15: Exemplarische Analyse des Klimaschutz-Plus-Szenarios im Hinblick auf die Entwicklung der Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen. Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind die strategisch hervorgehobenen Punkte im Emissionsverlaufs markiert und bezeichnet sowie die Herleitung der kumulierten Emissionen 2020 - 2070 als hellrot schraffierte Fläche dargestellt.



Abbildung 1.16
Entwicklung des Global-Warming-Potentials der deutschen Wohngebäude in den Jahren 2010, 2030 und 2050 in Mio t/a, getrennt für die Anwendungsfelder Raumwärme, Warmwasser, Gas für Kochen, Hilfs- und Haushaltsstrom. Für 2030 und 2050 sind die Werte im Referenz- (REF), Klimaschutz- (KS) und Klimaschutz-Plus-Szenario (KS+) nebeneinander aufgetragen.

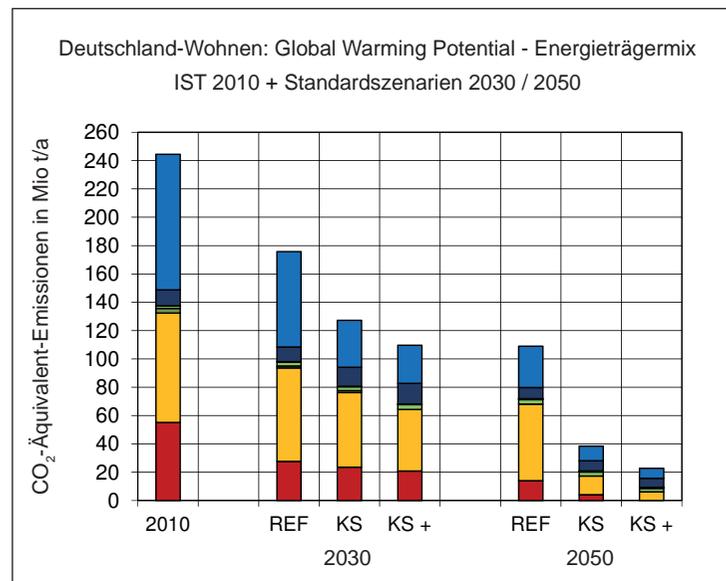


Eine Paris-kompatible Entwicklung erfordert bis 2050 ein Reduktion um einen Faktor 10 gegenüber dem Wert im Jahr 2010. Dies gelingt - das zeigt die erste Analyse - nur noch unter den Bedingungen des Klimaschutz-Plus-Szenarios.

Die Darstellung des Global Warming Potentials der Wohnnutzungen nach Anwendungen (Abb. 1.16) zeigt in allen Szenarien eine Dominanz der Raumwärme. An zweiter Stelle stehen die Stromanwendungen. Der geringste Anteil kann der Bereitstellung von Warmwasser zugeordnet werden. Die Betrachtung der Anteile ist jedoch wenig aussagekräftig, denn es ergeben sich zwischen den Szenarien substantielle Unterschiede bei den Absolutwerten. Ganz offensichtlich ist es möglich in allen Anwendungsbereichen Effizienzverbesserungen zu erreichen und diese mit einem Ausstieg aus den fossilen Heiz- und Stromversorgungen zu kombinieren.



Abbildung 1.17
Entwicklung des Global-Warming-Potentials der deutschen Wohngebäude in den Jahren 2010, 2030 und 2050 in Mio t/a, getrennt nach Energieträgern. Für 2030 und 2050 sind die Werte im Referenz- (REF), Klimaschutz- (KS) und Klimaschutz-Plus-Szenario (KS+) nebeneinander aufgetragen.



In Abbildung 1.17 ist der Beitrag der verschiedenen Energieträger zu den Treibhausgasemissionen erkennbar:

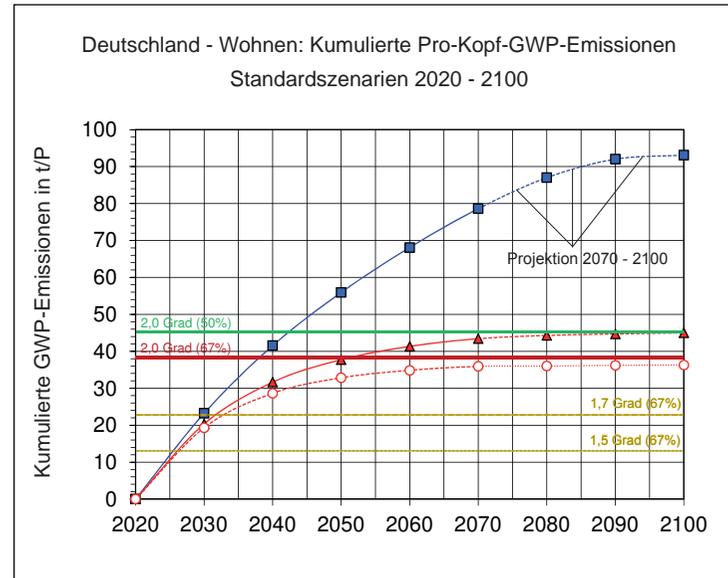
- Im Jahr 2010 wird durch den Einsatz von Erdgas und Heizöl in Heizsystemen etwas mehr als 50 % der GWP-Emissionen verursacht. Die andere Hälfte geht auf das Konto der Strom- und Fernwärmeerzeugung, die Bestandteil der gewählten verursachergerechten Bilanzierung sind.
- Im Referenzszenario können die klimawirksamen Emissionen wegen zu geringer Effizienzfortschritte und einem zu langsamen Ausbau der erneuerbaren Strom- und Wärmeversorgung nicht in ausreichendem Maße abgesenkt werden. Erdgas dominiert im Jahr 2050 die Emissionsbilanz.
- In den beiden Klimaschutzszenarien kann bis 2050 gegenüber der Referenzentwicklung eine deutliche Reduktion der klimawirksamen Emissionen erreicht werden.
- Im Klimaschutz-Plus-Szenario ergibt sich durch die zusätzliche Verbesserung der Bau- und Technikkomponenten bis 2050 eine nochmalige Halbierung der Emissionen gegenüber dem Klimaschutzszenario. Nur mit diesem Pfad wird eine Paris-kompatible Entwicklung nachgewiesen.

Kumulierte Treibhausgasemissionen und deren Bezug zu den Global-Warming-Budgets für Gebäude

In einer äquivalenten Darstellungsform werden nun die kumulierten CO₂-Äquivalent-Emissionen seit 2020 der drei Standardszenarien gegenübergestellt. Dabei werden die jährlichen Werte nacheinander aufaddiert. Aufgrund der langen Verweildauer der Treibhausgase in der Atmosphäre wird damit der Wirkmechanismus, der den Klimawandel antreibt, anschaulicher abgebildet, als in der vorherigen Darstellung mit Minderungspfaden. Die kumulierten CO₂-Äquivalent-Emissionen seit 2020 haben einen unmittelbaren Bezug zu den Pariser Klimazielen. Am Ende ist es ein einziger Wert, mit dem die Paris-Kompatibilität eines Emissionspfades belegt wird (siehe farbige Balken am rechten Rand von Abb. 1.19).

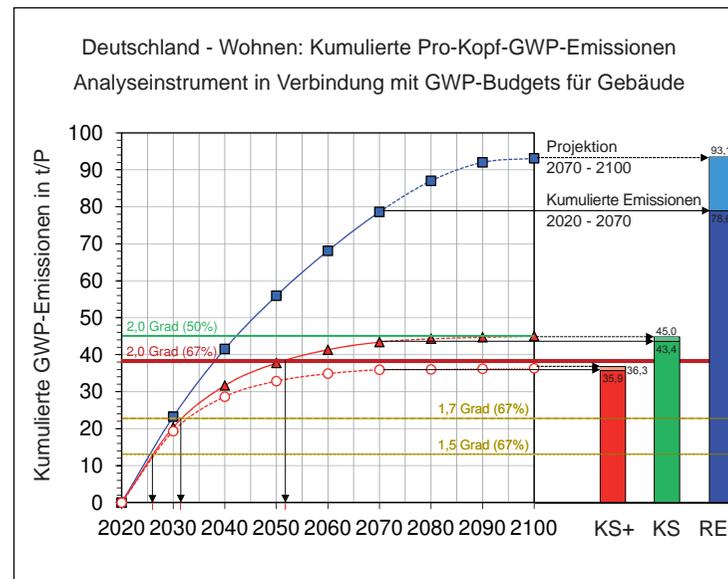
Die Global-Warming-Budgets für Gebäude, sind als farbige horizontale Linien markiert und verstehen sich als Grenzwerte, denen die Klimaschutzziele gemäß den Pfaden A-D in Tabelle 1.1 zugeordnet sind. Sie stellen klar definierte Schwellen dar, deren Überschreitung zudem auch zeitlich eingeordnet werden kann (siehe Abb 1.18 und 1.19):

- Das 1-5-Grad-Budget für Wohnnutzungen in Deutschland ist in allen drei Szenarien bereits in den Jahren 2025 - 2027 ausgeschöpft.
- 2029 - 2033 wird das 1,7-Grad-Budget überschritten.
- Das 2-Grad-Budget ist im Referenzszenario im Jahr 2038 erschöpft. Auch danach steigen die kumulierten Emissionen immer weiter an. Eine Stabilisierung kann erst in der Projektion bis 2100 mit einem Wert von 93 t/P stattfinden.
- Im Klimaschuttszenario wird das 2-Grad-Budget im Jahr 2052 überschritten. Am Ende landen die kumulierten GWP-Emissionen mit 45 t/P wenigstens knapp unterhalb des bereits grenzwertigen 2-Grad-Budgets mit nur 50% Eintrittswahrscheinlichkeit.
- Nur das Klimaschutz-Plus-Szenario bleibt mit 36 t/P zuverlässig unter der Schwelle des 2-Grad-Budgets mit 67 % Eintrittswahrscheinlichkeit.



- Referenz-Szenario
- ▲ Klimaschutz-Szenario
- Klimaschutz-Plus-Szenario

Abbildung 1.18 Entwicklung der kumulierten Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen der deutschen Wohngebäude im Zeitraum 1990 - 2070 in t/P im Referenz-, Klimaschutz- und Klimaschutz-Plus-Szenario. Zur Beurteilung der Paris-Kompatibilität sind die Budgets für die abgestuften Klimaziele gemäß den Pfaden A-D aus Tab. 1.1. als farbige markierte horizontale Linien mit aufgetragen. Die Emissionen nach 2070 sind als Projektion so abgeschätzt, dass spätestens im Jahr 2100 Klimaneutralität erreicht ist.



- Referenz-Szenario
- ▲ Klimaschutz-Szenario
- Klimaschutz-Plus-Szenario

Abbildung 1.19 Analyse der kumulierten Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen der deutschen Wohngebäude im Zeitraum 1990 - 2070 in t/P. Zur Erläuterung sind die Zeitpunkte der Budgetgrenzen im Klimaschuttszenario als Pfeile nach unten auf die x-Achse angetragen. Auf der rechten Seite finden sich die Gesamtwerte der kumulierten Treibhausgasemissionen als farbige Balken für das Referenz- (blau), das Klimaschutz-Szenario (grün) und das Klimaschutz-Plus-Szenario (rot). Die berechneten Emissionen 2020-2070 sind dunkel und die Projektion 2070 - 2100 hell dargestellt.

Tabelle 1.4:
Primäre „Ampel“-Bewertung der Szenarien im Hinblick auf die 2-Grad-Erfüllung mit dem Kriterium der kumulierten Pro-Kopf-GWP-Emissionen seit 2020 in t/P.

Kumulierte Pro-Kopf-GWP-Emissionen in t/P		
"Ampel"-Bewertung	Kriterium	
	Rot	größer gleich 45,1
	Gelb	zwischen 38,5 und 45,1
	Grün	kleiner gleich 38,5

Tabelle 1.5:
Sekundäre „Ampel“-Bewertung der Szenarien im Hinblick auf die Einhaltung der Klimaziele mit Hilfe von zusätzlichen CO₂-Senken. Die Höhe der Senken ist als Minuswert in t/P ausgewiesen.

Erforderliche CO ₂ -Senken in t/P		
"Ampel"-Bewertung	Kriterium	
	Rot	größer gleich -25,0
	Gelb	zwischen - 7,5 und -25,0
	Grün	kleiner gleich - 7,5

Tabelle 1.6:
Hauptdaten der Standardszenarien zum Global-Warming-Potential. Unten erfolgt eine einfache Bewertung der Szenarien über die wohngebäudebezogenen GWP-Budgets und die erforderlichen CO₂-Senken zum Erreichen des 2-Grad-, des 1,7-Grad- und des 1,5-Grad-Ziels mit Hilfe des zuvor erläuterten „Ampelsystems“.

Standardszenarien		REF	KS	KS +
Global Warming Potential (Mio t/a)	2010	244,4	244,4	244,4
	2030	175,8	127,1	109,7
	2050	108,8	38,6	22,9
	2070	79,4	12,9	6,4
GWP pro Kopf (kg/Pa)	2010	3002	3002	3002
	2030	2084	1507	1300
	2050	1301	462	273
	2070	969	157	78
Kumuliertes GWP pro Kopf seit 2020 (t/P)	bis 2070	78,6	43,4	35,9
	gesamt	93,1	45,0	36,3
Erforderliche GWP-Senke (t/P) für Einhaltung Klimaziel mit 67% Eintrittswahrscheinlichkeit	2 Grad	-55,3	-7,2	0,0
	1,7 Grad	-69,8	-21,7	-13,0
	1,5 Grad	-79,8	-31,7	-23,0

Emissions-Budgets als Analyseinstrument

Der Klimaschutz-Korridor plus Zielfeld (KKZ) und die gebäudebezogenen Emissions-Budgets (gEB) stellen äquivalente und sich ergänzende Analyseinstrumente dar.

Der Verlauf der Minderungspfade im Vergleich zu den Pfaden A-D sowie dem Klimaschutz-Korridor und -Zielfeld ermöglicht einen anschaulichen Überblick mit welchen Strategien die Pariser Klimazielen erreicht werden können. Entscheidend ist hierfür, dass die Treibhausgasemissionen im Zeitverlauf der nächsten Jahrzehnte schnell und durchgreifend zurückgehen. Als Zielwert für das Jahr 2050 kann ein Pro-Kopf-Wert von kleiner gleich 300 kg/Pa Verwendung finden. Dieser liegt in der Mitte des Zielfelds.

Für den Klimaschutz ist jedoch nicht das Erreichen bestimmter Zielwerte ausschlaggebend, sondern die Summe der in Zukunft noch ausgestoßenen Treibhausgasemissionen. Dieser Zusammenhang wird durch die CO₂-Global-Budgets abgebildet. Mit Hilfe der daraus abgeleiteten gebäudebezogenen Emissionsbudgets ergeben sich Schwellenwerte mit Bezug zu bestimmten abgestuften Klimazielen (z.B. 2,0 Grad mit Eintrittswahrscheinlichkeit von 67 %). Um die auf die Wohnnutzung in Deutschland bezogenen Ziele einzuhalten, dürfen diese Grenzwerte nicht überschritten werden (siehe Tab. 1.1, letzte Spalte). Über das Aufaddieren der Treibhausgasemissionen kann am Ende beurteilt werden, ob ein Szenario und die dort modellierten Handlungsoptionen kompatibel mit den Pariser Klimazielen sind oder nicht. Dies erfolgt über einen einzigen aussagekräftigen Kennwert. Wichtig ist, dass hierfür lange Zeiträume gewählt werden. In allen Szenarien ist dies die Periode 2020 - 2070 und zusätzlich eine Projektion bis 2100. Dahinter verbirgt sich die Annahme, dass spätestens im Jahr 2100 Klimaneutralität für den Gebäudesektor erreicht wird. Über eine Ampelbewertung (siehe Tab. 1.4 und 1.5) ergibt sich schließlich eine übersichtliche Schnellbewertung für den Vergleich der Szenarien untereinander.

Ampelsystem zur Schnellbewertung von Szenarien

Zur besseren Orientierung wird ein zweistufiges Bewertungssystem zur Schnellbewertung der Szenarien eingeführt (siehe Tabellen 1.4 und 1.5).

Im ersten Schritt wird aufbauend auf den gebäudebezogenen Emissionsbudgets (gEB) aus Tabelle 1.1 eine Ampelbewertung zur Schlüsselgröße der kumulierten Pro-Kopf-Emissionen des deutschen Wohngebäudeparks eingeführt:

- Rot sind gEB-Werte größer gleich 45,1 t/P markiert. Hier wird das Klimaziel von 2 Grad nur noch mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von weniger als 50 % erreicht. Szenarien, die in diese Kategorie eingeordnet werden, haben definitiv keinen Bezug mehr zu den Pariser Klimazielen.
- Gelb sind gEB-Werte zwischen 38,5 und 45,1 t/P markiert. Szenarien, die in diesem Bereich zu liegen kommen, erreichen bestenfalls einen grenzwertigen Klimaschutz. Hier sind Zusatzmaßnahmen notwendig, um einen Paris-kompatiblen Wohnungspark zu erreichen.
- Grün sind gEB-Werte kleiner gleich 38,5 t/P markiert. Szenarien, die in diesem Bereich zu liegen kommen, stehen zunächst nicht in direktem Widerspruch zu den Pariser Klimazielen. Denn einschränkend ist zu sagen, dass hier nur eine Übereinstimmung mit dem 2-Grad-Ziel mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 67 % gegeben ist. Für einen Paris-kompatiblen Wohngebäudepark wäre eigentlich das 1,7-Grad-Ziel zutreffender.

Aufgrund der genannten Einschränkungen wurde das Ampelsystem um die Option der potenziellen künftigen CO₂-Senken erweitert. Damit wird ein neues Element in Szenarien für den Gebäudesektor eingeführt, für die es bislang kein Vorbild gibt. Die Kriterien basieren auf dem Potenzial für natürliche Senken in Höhe von etwa einer Tonne pro Person und Jahr in Verbindung mit Zeiträumen (eine bzw. drei Generationen, d.h. 30 bzw. 100 Jahre). Dies wird im Folgenden in Abschnitt 1.8 noch näher zu begründen sein.

Beurteilt wird die Höhe der zusätzlich notwendigen CO₂-Senken, um eine Kompatibilität der Szenarien mit den Pariser Klimazielen herstellen zu können. Auch hier wurden aus Gründen einer schnellen Einordnung drei Kategorien gebildet:

- Rot sind notwendige CO₂-Senken größer gleich -25,0 t/P markiert. Das Ausmaß der notwendigen Senken wäre hier derart groß, dass in großem Umfang risikoreiche und kostenintensive technische Senken hinzutreten müssten. Dieses Risiko ist auch deshalb als unverhältnismäßig einzuschätzen, weil die Vermeidung von Treibhausgasemissionen technisch viel einfacher und deutlich kostengünstiger umsetzbar ist.
- Gelb sind notwendige CO₂-Senken zwischen - 7,5 und - 25 t/P markiert. Der Umfang wird als gerade noch vertretbar eingeschätzt, wobei Werte bis 15 t/P wohl als weniger kritisch angesehen werden können.
- Grün sind notwendige CO₂-Senken kleiner gleich 7,5 t/P markiert. Diese werden als gut umsetzbar eingeschätzt.

Die Anwendung des Ampelsystems für die drei Standardszenarien wird in Tabelle 1.6 demonstriert:

- Den Ausgangspunkt bilden die Treibhausgasemissionen (GWP) der Jahre 2010, 2030, 2050 und 2070, wie sie in den Modellberechnungen der Szenarien ermittelt wurden.
- Im zweiten Schritt werden auf dieser Basis die Pro-Kopf-Emissionen berechnet.
- Aufaddiert ergeben sich daraus die kumulierten Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2020 - 2070.
- Unter der Annahme einer Klimaneutralität des Gebäudesektors bis spätestens 2100, kann eine Projektion die bis dahin noch ausgestoßenen Treibhausgasemissionen abschätzen und damit die gesamten künftigen kumulierten Emissionen abgeschätzt werden.

Das Referenzszenario wird in allen Kategorien rot bewertet. Es ist damit durchgehend nicht Paris-kompatibel, selbst wenn man zusätzlich die Potenziale von CO₂-Senken mit einbezieht.

Das Klimaschutzszenario erhält mit 45,0 t/P gerade noch eine gelbe Einstufung bei den gesamten kumulierten Pro-Kopf-GWP-Emissionen. Das 2-Grad-Ziel wäre mit einem Einsatz von CO₂-Senken in Höhe von -7,2 t/P noch erreichbar (Einstufung grün), während das 1,7-Grad Ziel bereits -21 t/P benötigen würde (Einstufung gelb). Das 1,5-Grad-Ziel würde CO₂-Senken von -31,7 t/P erfordern (Einstufung rot), weil dies über dem kritischen Schwellenwert von -25 t/P liegt. Die Beurteilung ergibt eine Einstufung als bedingt Paris-kompatibel.

Das Klimaschutz-Plus-Szenario kann auch ohne CO₂-Senken das gEB für das 2-Grad-Ziel von 38,5 t/P unterschreiten (Einstufung grün). Für das 1,7-Grad-Ziel werden CO₂-Senken von -13 t/P und für das 1,5-Grad-Ziel von -23 t/P benötigt (Einstufung gelb). Nur dieses Szenario kann demnach als uneingeschränkt Paris-kompatibel eingestuft werden.

1.7 Erste Zwischenbilanz

Die vorausgegangene Analyse der drei Standardszenarien hat aufgezeigt, dass die beiden Hauptstrategien der Dissertation Energieeffizienz und Ausbau einer erneuerbaren Wärme- und Stromversorgung unverzichtbar sind um eine Einhaltung des wohngebäudebezogenen 2-Grad-Budgets mit hinreichender Sicherheit sicherzustellen. Die notwendigen Strategien werden im Klimaschutz-Plus-Szenario abgebildet. Zu den Kernstrategien zählen (siehe auch Tabelle 1.7):

- Hohe energetische Qualitäten mit der Güte des Passivhausstandards für die Gebäudehüllen im Neubau und bei energetischen Sanierungen im Gebäudebestand.
- Konsequenter Einsatz der Wärmerückgewinnung bei Lüftung und Warmwasser (z.B. Duschwasser-Wärmerückgewinnung).
- Hohe Stromeffizienz in allen Anwendungsfeldern (Haushaltsgeräte, Beleuchtung, Kommunikation, Hilfs- und Gemeinschaftsstrom).

- Berücksichtigung des technologischen Fortschritts in Form von heutigen Prototypen und künftigen Weiter- bzw. Neuentwicklungen ab 2030.
- Erneuerbare Wärmeversorgung für Neubauten und Ausstieg aus den fossilen Heizsystemen im Bestand.
- Zügiger Aufbau einer erneuerbaren Stromversorgung auf nationalen und europäischer Ebene. Der Gebäudesektor muss hierzu einen angemessenen Beitrag leisten (z.B. Nutzung der Dachflächen für Photovoltaik).
- Erhöhung der energetischen Sanierungsrate bis 2030 von heute 1% auf 2 %.
- Beginn der genannten Klimaschutzstrategien ab sofort. Der Übergang von verbindlichen politischen Beschlüssen und deren praktischen Umsetzung darf nicht länger als 2 - 5 Jahre dauern.

Für die Beurteilung der notwendigen Klimaschutzstrategien sind die baukulturellen Eingriffsempfindlichkeiten wie Denkmalschutz und die sonstigen objektiven Hemmnisse, wie z.B. konstruktive Grenzen und Platzprobleme sowie besondere Härten im Einzelfall zu berücksichtigen. Sie haben zur Folge, dass die Anforderungen im Neubau und in voll sanierbaren Bestand entsprechend höher ausfallen müssen.

Die Zwischenbilanz hat ein ernüchterndes Ergebnis: Im Gegensatz zur Dissertation 2011 existieren nun keine Spielräume mehr für abweichende Umsetzungen und mangelnde Beteiligung bei der Umsetzung der Klimaschutzstrategien (vgl. Valentin 2011, S. IV-125 ff.). Dafür sind im Wesentlichen zwei Ursachen verantwortlich:

- 1 Die Klimaschutzziele haben sich wesentlich verschärft. Am deutlichsten wird dies am Zielwert der Pro-Kopf-GWP-Emissionen im Jahr 2050 für Wohnnutzungen. Während dieser Wert in der Dissertation noch bei ca. 600 kg/Pa lag, hat sich dieser Grenzwert gemäß den Anforderungen zur Einhaltung des 2-Grad-Ziels mit 300 kg/Pa innerhalb von 10 Jahren halbiert (**7**).

- 2 Durch den Stillstand seit 2005 hat sich die Ausgangslage für einen wirksamen Klimaschutz deutlich verschlechtert. Im Jahr 2020 sind die Treibhausgasemissionen zwar coronabedingt gesunken, um im Jahr 2021 wieder zu steigen.

Bis zu dieser Stelle wurde als Klimaschutzziel wohlgermerkt nur das 2-Grad-Ziel als Maßstab herangezogen. In der Pariser Klimavereinbarung wird jedoch ein strengeres Ziel möglichst in Richtung 1,5-Grad gefordert. Dafür stünde nur noch ein deutlich geringeres wohngebäudebezogenen Emissionsbudget von 13,3 t/P zur Verfügung. Die Zwischenbilanz zeigt auf, dass dieses Ziel wegen der nun stark verzögerten Umsetzung mit den beiden klassischen Strategien Energieeffizienz und Umbau der fossilen Energiesysteme zu einer erneuerbaren Vollversorgung wohl nicht mehr erreicht werden kann.

1.8 CO₂-Senken und sonstige Ausgleichsmaßnahmen

Im IPCC-Sachstandsreport SR6 (IPCC 2018) wurde herausgearbeitet, dass das 1,5-Grad Ziel nur noch unter Einbeziehung von CO₂-Senken eine Umsetzungsperspektive hat. In dieser Veröffentlichung wurden zum ersten Mal CO₂-Global-Budgets mit Bezug zu den Pariser Klimazielen veröffentlicht (8).

Als CO₂-Senken werden Maßnahmen zusammengefasst, bei denen Kohlendioxid aus der Atmosphäre oder aus Energie- bzw. Industrieprozessen entnommen und dauerhaft in sicheren Lagern gespeichert wird. Dabei ist besondere Sorge dafür zu tragen, dass eine versehentliche Freisetzung zuverlässig verhindert wird. Bei den CO₂-Senken wird zwischen natürlichen und technischen Senken unterschieden:

- Natürliche Senken basieren auf der Kohlenstoffspeicherung in den biologischen Systemen und verstärken diese mit bewussten Eingriffen (z.B. Neuaufforstung, Wiedervernässung von ehemaligen Mooren, Einbringung von Bio- kohle in Böden, Holzbau anstelle thermischer oder stoffli-

chen Nutzung von Holz in kurzlebigen Produkten).

- Technische Senken sind ingenieurgestützte Maßnahmen, bei denen Kohlendioxid und andere Treibhausgase aus Energie- oder Industrieprozessen abgeschieden, verflüssigt transportiert und in sicheren geologischen Lagern verpresst wird (CCS). Auch sonstige Strategien, die unter z.B. unter den Oberbegriffen „Geoengineering“ oder „Direct Air Capture“ subsummiert werden, zählen hierzu (9).

Natürliche Senken generieren i.d.R. einen Zusatznutzen (z.B. Steigerung des Humusgehaltes und der Feuchteresilienz der Böden, stoffliche Nutzung, Verbesserung von Regional- und Kleinklima). Technischen Senken sind als sog. „end of the pipe“-Technologien ohne Zusatznutzen, kostenintensiv und zu- meist mit hohen Risiken verbunden. Für den Einsatz von CO₂- Senken im Wohngebäudepark sind daher in den Szenarien nur natürlichen Senken vorgesehen. Eine grobe Schätzung ergibt ein Potential von einer Tonne Kohlendioxid pro Person und Jahr, wovon für die Wohnnutzungen ein Viertel in Anspruch genommen werden kann.

Technische Senken im Gebäudesektor kommen hingegen bei großtechnischen Industrieprozessen für Baumaterialien in Betracht, z.B. bei der Zement- und Stahlherstellung (10).

1.9 Modellierung weiterer Szenarienfamilien und deren Auswertung

Als Konsequenz aus der nun deutlich schwierigeren Ausgangslage im Vergleich zur Dissertation 2011 wurden neue Szenarienfamilien auf Basis der bisher vorgestellten Standardszenarien modelliert. Einerseits war eine Fortsetzung der problematischen Umsetzungsbedingungen, wie sie die bisherige Entwicklung geprägt haben, zu untersuchen. Andererseits sollen neue Handlungsoptionen ausgelotet werden, die eine schnellere und tiefere Umsetzung ermöglichen würden.

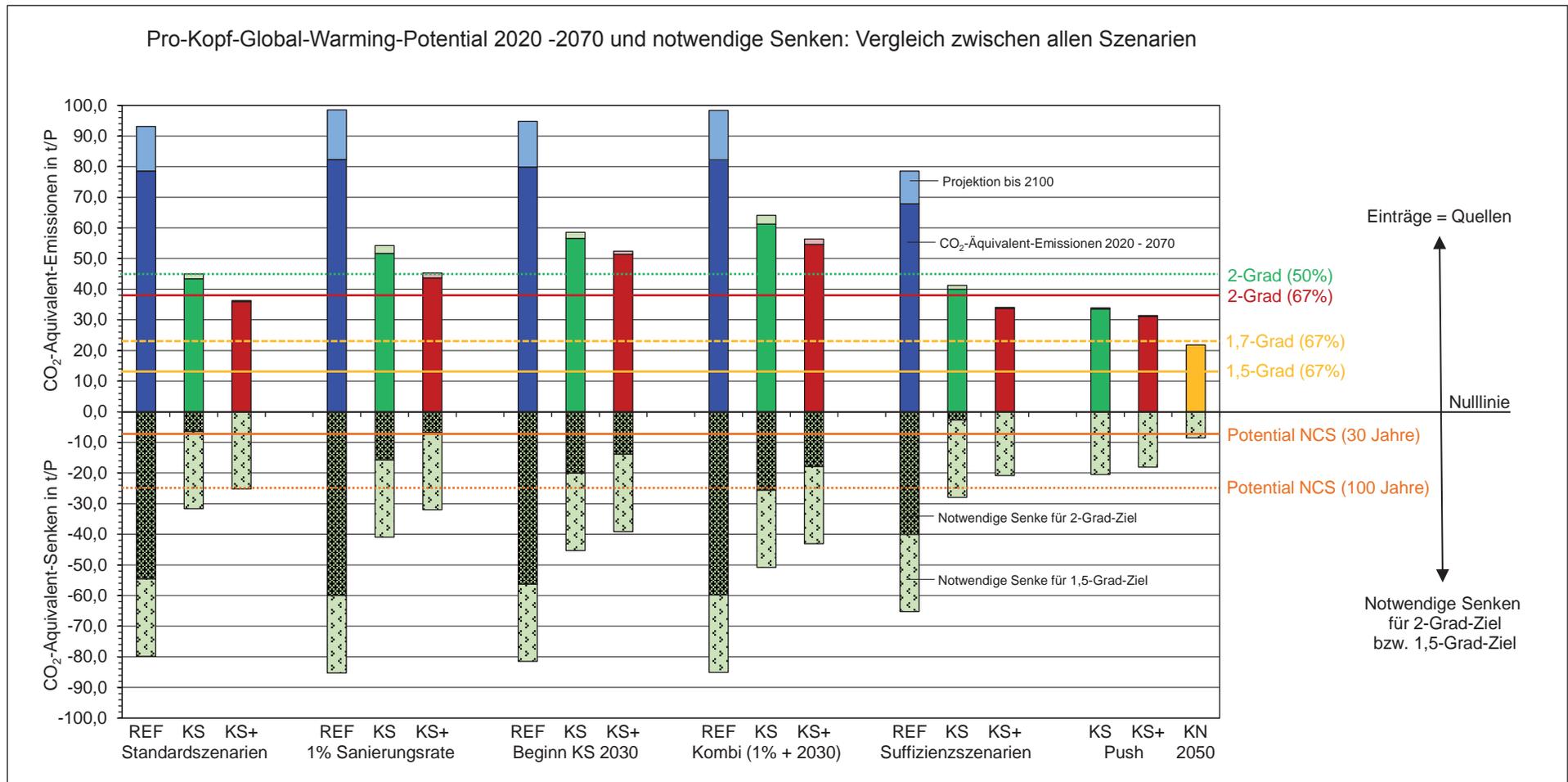
Szenarienfamilie / Kurzbeschreibung	Szenario	Kumulierte Pro-Kopf-GWP-Emissionen (t/P)				Notwendiger Ausgleich mit CO ₂ -Senken (t/P)	
		bis 2030	bis 2050	bis 2070	gesamt	2-Grad	1,7 Grad
Standard Konsequente Anwendung des Kopplungsprinzips (Sanierungsrate 2 %) Klimaschutzstrategien beginnen 2020 / ab 2030 vollumfängliche Umsetzung Unterscheidung der Anforderungen im Bestand (voll-/ bedingt sanierbar) In allen Szenarien werden die Qualitäten im Betrachtungszeitraum stetig verbessert Suffizienzstrategien kommen nicht zum Einsatz							
	Referenz	23,3	55,9	78,6	93,1	-54,6	-69,8
	Klimaschutz	20,3	37,7	43,4	45,0	-6,5	-21,7
	Klimaschutz-Plus	19,3	32,8	35,9	36,3	0,0	-13,0
1 % Sanierungsrate							
wie Standard, jedoch durchgängig nur 1 % Sanierungsrate bei energetischen Modernisierungen	Referenz	23,4	57,5	82,4	96,4	-60,0	-73,1
	Klimaschutz	21,0	43,0	51,7	54,6	-15,7	-31,3
	Klimaschutz-Plus	20,0	38,1	43,7	45,3	-6,8	-22,0
Beginn Klimaschutz 2030							
wie Standard, jedoch Beginn gebäudebezogener Klimaschutzmaßnahmen erst ab 2030	Referenz	23,5	56,9	79,9	95,0	-56,3	-71,7
	Klimaschutz	23,4	49,4	56,6	58,6	-20,1	-35,3
	Klimaschutz-Plus	23,4	46,7	51,4	52,4	-13,9	-29,1
Kombination (1% Sanierungsrate / Beginn Klimaschutz 2030)							
wie Standard, jedoch Sanierungsrate 1 % und Beginn Klimaschutzmaßnahmen erst ab 2030	Referenz	23,5	57,6	82,2	98,4	-59,9	-75,1
	Klimaschutz	23,4	51,4	61,3	64,1	-25,6	-40,8
	Klimaschutz-Plus	23,4	47,9	54,6	56,4	-17,9	-33,1
Suffizienz							
wie Standard, jedoch konsequente Verfolgung von Suffizienzansätzen hinsichtlich Wohnfläche / Person, Raumtemperatur, WW-Anwendungen und Stromanwendungen	Referenz	22,2	50,4	67,9	78,6	-40,1	-55,3
	Klimaschutz	19,6	35,3	40,0	41,2	-2,7	-20,9
	Klimaschutz-Plus	18,7	31,2	33,8	34,1	0,0	-10,8
Push / Klimaneutral 2050							
wie Standard, jedoch konsequenter Einsatz der marktbesten Komponenten Beim Szenario KN 2050 werden ab 2030/40 zusätzlich CO ₂ -Senken eingesetzt	Push	18,4	30,9	33,5	33,9	0,0	-10,6
	Push-Plus	17,9	28,9	31,1	31,4	0,0	-8,1
	KN 2050	17,8	25,3	23,3	19,5	0,0	0,0

Tabelle 1.7: Kurzbeschreibung der Szenarienfamilien mit Angabe der kumulierten Pro-Kopf-GWP-Emissionen seit 2020 und der notwendigen CO₂-Senken zum Erreichen des 2,0-, 1,7- und 1,5-Grad-Ziels

In Tabelle 1.7 findet sich eine Kurzbeschreibung der Szenarienfamilien nebst Zusammenstellung der Ergebnisse in Form der zuvor erläuterten zweistufigen Ampelbewertung. Als Kriterien kommen primär die kumulierten Treibhausgasemissionen seit 2020 und sekundär die Höhe des notwendigen Ausgleichs mit CO₂-Senken differenziert für das 2,0- und das 1,5-Grad-Ziel zum Einsatz. Von den insgesamt 18 modellierten Szenarien können zunächst nur fünf das gebäudebezogene Emissions-

budget für das 2-Grad-Ziel einhalten. Darunter befinden sich ausschließlich Klimaschutz-Plus- und die noch weitergehenden Push-Szenarien. Bezieht man zusätzlich die Potenziale von CO₂-Senken zur Einhaltung des 2-Grad-Ziels mit ein, erweitert sich der Kreis um einige Klimaschutzszenarien. Unter ungünstigen Randbedingungen (Kombination 1 % Sanierungsrate + Beginn Klimaschutz 2030) ist jedoch bei ihnen selbst der Ausgleich mit CO₂-Senken als grenzwertig einzustufen.

Abbildung 1.20: Gegenüberstellung der kumulierten Pro-Kopf-GWP-Emissionen seit 2020 für alle 18 Szenarien aus den sechs Szenarienfamilien. Die Referenzszenarien sind blau, die Klimaschutzszenarien grün und die Klimaschutz-Plus-Szenarien rot markiert. Zusätzlich sind die notwendigen CO₂-Senken zum Erreichen des 2,0 und 1,5-Grad-Ziels angegeben.



1.10 Erweitertes Fazit

Die Analyse aller 18 Szenarien ermöglicht nun ein abschließendes Fazit.

Referenzszenarien

Alle Referenzszenarien (in Abbildung 1.20 blau markiert) verfehlen das wohngebäudebezogene 2-Grad-Budget unabhängig von den sonstigen Randbedingungen erheblich. Selbst mit einem umfangreichen Einsatz von CO₂-Senken ließe sich dies nicht ausgleichen. Folglich sind in der Ampelbewertung die Referenzszenarien in sämtlichen Kategorien rot markiert.

- Eine Strategie des „Weiter so“ - auch nur in Teilbereichen - ist aus Klimaschutzsicht hoch problematisch. Dies führt zu derart hohen Energiebedarfen und Treibhausgasemissionen, dass mit ihnen das 1,7-Grad-Budget von 93 t/P für Deutschland insgesamt überschritten würde. Damit würde alleine dieser Sektor das nationale Klimaziel gefährden.
- Die Einbeziehung umfangreicher Suffizienzstrategien führt zwar zu einer spürbaren Reduktion der kumulierten GWP-Emissionen um 15,6 % gegenüber den Standardannahmen auf 78,6 t/P. Damit wird das 2-Grad-Budget immer noch um einen Faktor zwei überschritten. Selbst auf dieser Basis kann daher kein belastbarer Klimaschutzpfad begründet werden.
- Die Referenzszenarien können somit unabhängig von den Randbedingungen in keinem Fall als Paris-kompatibel eingestuft werden.

Klimaschutzszenarien

Die Klimaschutzszenarien (in Abbildung 1.20 grün markiert) verfehlen das 2-Grad-Budget mehr oder weniger stark. Jedoch lassen sich in einigen Fällen mit Hilfe von CO₂-Senken der notwendige Ausgleich zur Zielerfüllung herstellen. In der Ampelbewertung zeigt sich dies in einem gemischten Bild der Beurteilung je nach Szenario und Kategorie. Hier wird deutlich, welche große Bedeutung die Umsetzungsbedingungen für eine erfolgreiche Klimaschutzentwicklung spielen.

- Bei ungünstigen Randbedingungen (z.B. 1% Sanierungsrate, Beginn gebäudebezogener Klimaschutzmaßnahmen erst 2030 sowie der Kombination von beidem) kann nicht einmal das grenzwertige 2-Grad-Budget mit 50 % Eintrittswahrscheinlichkeit unterschritten werden. Mit dem Einsatz umfangreicher CO₂-Senken wäre das 2-Grad-Budget gerade noch einhaltbar.
- Unter günstigen Randbedingungen, wie in den Standard- und Suffizienzszenarien modelliert, kann wenigstens das 2-Grad-Budget mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 50 % eingehalten werden. Sowohl das 2,0- als auch das 1,7-Grad-Budget ist durch den Einsatz von CO₂-Senken noch erreichbar.
- In der Gesamtbeurteilung können die Klimaschutzszenarien als nur bedingt Paris-kompatibel eingestuft werden.

Klimaschutz-Plus-Szenarien

Bei den Klimaschutz-Plus-Szenarien (in Abbildung 1.20 rot markiert) kann durch den Einsatz von technologischen Verbesserungen bei allen Bau- und Technikkomponenten ab 2030 nochmals eine spürbare Reduktion der kumulierten GWP-Emissionen von 6,2 - 9,3 t/P erreicht werden. Immer noch zeigt sich ein gemischtes Bild in der Ampelbewertung jedoch auf vorteilhafterem Niveau:

- Ungünstige Randbedingungen wirken sich auch hier kritisch aus. Jedoch ist ein Ausgleich mit CO₂-Senken zur Einhaltung des 2-Grad-Budgets durchgängig möglich.
- Dabei wirkt sich ein verspäteter Beginn ab 2030 deutlich ungünstiger aus, als eine Fortsetzung der derzeitigen Sanierungsrate von nur 1%.
- Unter den günstigen Randbedingungen der Standard- und Suffizienzszenarien wird das 2-Grad-Budget auch ohne CO₂-Senken eingehalten. Das 1,7-Grad-Budget kann unter Einsatz von CO₂-Senken noch erreicht werden.
- In der Gesamtbeurteilung können die Klimaschutz-Plus-Szenarien als Paris-kompatibel eingestuft werden. Unter ungünstigen Randbedingungen gilt dies nur eingeschränkt.

Push-Szenarien

Erst in den Push-Szenarien ist eine vollumfängliche Einhaltung der Pariser Klimaziele gegeben. Sie stellen eine Weiterentwicklung der Klimaschutz-Plus-Szenarien dar. Dies wird durch den konsequenten und unverzüglichen Einsatz der heute marktbesten Komponenten und einen besonders schnellen Umbau der Energiesysteme zu einer vollständig erneuerbaren Versorgung erreicht. Eine derartige Transformation ist ohne Vorbild und stellt somit einen sehr optimistischen Zukunftsentwurf dar:

- Das 2-Grad-Budget kann problemlos unterschritten werden, so dass mit einem begrenzten Einsatz von CO₂-Senken auch das 1,7 Grad-Budget eingehalten werden kann.
- Im Push-Plus-Szenario kommen zusätzlich Suffizienzmaßnahmen zum Einsatz. Die kumulierten GWP-Emissionen sinken dadurch nochmals um 7 %.
- Mit dem Szenario „Klimaneutralität 2050“ kann das 1,7-Grad-Budget eingehalten werden. Dafür ist es notwendig, bereits ab 2030 zusätzlich CO₂-Senken einzusetzen. Diese summieren sich bis 2070 auf minus 8 - 10 t/P.

Einfluss von Umsetzungsbedingungen

Die methodische Funktion der neu gebildeten Szenarienfamilien besteht vor allem darin, den Einfluss verschiedener Umsetzungsbedingungen auf die kumulierten GWP-Emissionen prüfen und quantifizieren zu können (siehe Tabelle 1.8).

Drei Szenarienfamilien beschäftigen sich mit ungünstigen Randbedingungen, die Tendenzen, wie sie in der Vergangenheit zu beobachten waren, fortsetzen:

- Eine Sanierungsrate von 1% anstelle 2%
- Beginn gebäudebezogener Klimaschutzes erst 2030
- Kombination der beiden o.g. Bedingungen

Im Referenzszenario wirken sich diese ungünstigen Randbedingungen nur in geringem Maße aus (gEB plus 4% - 6 %). Weitaus kritischer zu bewerten sind diese schwierigen Umset-

	REF	KS	KS +
1 % Sanierungsrate	104%	121%	125%
Beginn Klimaschutz 2030	102%	130%	144%
Kombination 1% SR + Beginn KS 2030	106%	142%	155%
Suffizienz	84%	92%	94%
Push	k.A.	k.A.	93%
Push-Plus	k.A.	k.A.	87%
Klimaneutral 2050	k.A.	k.A.	54%

zungsbedingungen in den Klimaschutzszenarien, indem die kumulierten GWP-Emissionen dort um 21 - 55 % ansteigen.

In den Suffizienzszenarien werden klimarelevante Verhaltensänderungen (Absenkung der Raumtemperatur um 2 Kelvin, Reduzierung Warmwasserverbrauch und Einsatz von Stromgeräten in den Haushalten) sowie ein geringerer Anstieg der Wohnflächen als in den Standardszenarien modelliert. Die Auswirkungen im Referenzszenario sind mit minus 16 % weit aus größer als in den Klimaschutzszenarien mit minus 6 - 8 %. Der Grund hierfür liegt darin, dass in energieeffizienten Gebäuden die zugleich erneuerbar versorgt werden, eine hohe thermische Behaglichkeit, Komfortansprüche und konsumbedingte Ansprüche nicht grundsätzlich im Widerspruch zu den Klimaschutzstrategien stehen. Das kann auch als ausgeprägte Resilienz der Kernstrategien Effizienz und Erneuerbare interpretiert werden. Gleichwohl wird sichtbar, dass die Suffizienzstrategien besonders in der Anfangsphase einen substanziellen Beitrag zum Klimaschutz für Wohngebäude leisten können.

Auch wenn die Minderungsbeiträge der Push-Szenarien gegenüber den Standardszenarien mit minus 7 -13 % nicht besonders groß erscheinen mögen, leisten sie den entscheidenden Zusatzbeitrag um die Anforderungen eines Paris-kompatiblen Umbaus des Wohngebäudeparks vollumfänglich zu er-

Tabelle 1.8:

Unterschiede zwischen den kumulierten GWP-Emissionen in den Standardszenarien im Vergleich zu denen in den neuen Szenarienfamilien in Prozent. Damit kann der Einfluss der Umsetzungsbedingungen quantifiziert werden.

Legende:

REF: Referenzszenario

KS: Klimaschutzszenario

KS +: Klimaschutz-Plus-Szenario

k.A.: keine Angabe möglich

füllen. Dies zeigt auf, dass die Kernstrategien Effizienz und Erneuerbare bei unverzüglichem Beginn und konsequenter Umsetzung in Verbindung mit dem künftigen technologischen Fortschritt ein besonders zuverlässiges und robustes Konzept darstellen. Von strategischer Bedeutung hierbei ist, dass keine CO₂-Senken erforderlich, um das 2-Grad-Budget zuverlässig einzuhalten.

Das Szenario „Klimaneutral 2050“ unterscheidet sich von den Push-Szenarien dadurch, dass die CO₂-Senken bereits ab 2030 zum Einsatz kommen, mit dem Ziel das 1,7-Grad-Budget zu unterschreiten. Damit werden schließlich die Pariser Klimaziele im Wohngebäudepark vollumfänglich eingelöst.

1.11 Handlungsempfehlungen

Durch die hoch differenzierte Modellierung der Szenarien und die dadurch mögliche feinkörnige Auswertung können nun einerseits Handlungsempfehlungen formuliert und darauf aufbauend Klimaschutzstandards für Wohngebäude in Deutschland definiert werden.

1 Paris-kompatibler Umbau des Wohngebäudeparks

Der klimagerechte Umbau des Wohngebäudeparks betrifft am Ende jedes Gebäude und alle Handlungsfelder. Ziel ist, im Sinne einer allgemeinen Zukunftsfähigkeit, die energetischen Eigenschaften der Gebäude durchgreifend zu verbessern und im selben Zuge eine erneuerbare Energieversorgung für alle Wohnbauten aufzubauen.

Der alles entscheidende Aspekt ist, dass bei diesem Umbau statt der bisher üblichen mittleren künftig eine **hohe energetische Qualität** zum Einsatz kommt (siehe Tabelle 1.9).

Idealtypische Konzepte für hohe Qualitäten stellen mit erneuerbaren Energien versorgte Passivhäuser im Neubau und Ener-

Phit-Sanierungen im Bestand dar. Beide Konzepte haben sich bereits seit Längerem in der Praxis bewährt und funktionieren zuverlässig. Dies gilt gerade im Hinblick auf die reproduzierbar besonders niedrigen Energieverbräuche bei gleichzeitig moderaten zusätzlichen Investitionskosten. Sie entsprechen bereits heute bei den Lebenszykluskosten dem Kostenoptimum (vgl. EIV 2018, MdE 2014, EIV 2022).

Auch andere Konzepte die hohe Energieeffizienz mit einer erneuerbaren Wärme- und Stromversorgung kombinieren, z.B. KfW-40-EE-, Null- und Plusenergiehäuser sowie mit gewissen Einschränkungen auch Aktiv- und Sonnenhäuser, sind Repräsentanten für hohe Qualität.

Neubau

Die bisherigen gesetzlichen Neubaustandards mit mittlerer Qualität sind durch Standards mit hoher Qualität (Güte KfW-Effizienzhaus-40-EE bzw. Passivhaus) zu ersetzen. Im Luxemburg ist dies bereits im Jahr 2018 erfolgt (vgl. RGD 2016). Darüber hinaus dürfen Neubauten künftig nur noch mit erneuerbaren Heizsystemen versorgt werden. Das Gebäude-Energien-Gesetz (GEG) sollte in diesem Sinne unverzüglich und ohne weiteren Übergangsschritt überarbeitet werden.

Voll sanierbarer Bestand

Auch im voll sanierbaren Bestand ist die Realisierung hoher energetischer Qualitäten der alles entscheidende Konzeptansatz. Zusätzlich ist eine Erhöhung der Sanierungsrate von bislang etwa 1 % auf 2 % bis 2030 wichtig. Im Gegensatz zum Neubau erfolgt die Umsetzung hier im Zuge der sich bietenden Gelegenheiten, die sich durch ohnehin anstehende Instandsetzungen und Erneuerungen ergeben. Neben der schrittweisen Sanierung existiert auch die Möglichkeit umfassender Modernisierungen, die idealerweise mit Nachverdichtungen gekoppelt sind. Aufgrund der vorgegebenen Konstruktionen lassen sich nicht alle Anschlusspunkte optimal im Hinblick auf Luftdichtigkeit und Wärmebrückenvermeidung lösen. Häufige Hemmnisse sind

Mittlere Qualität	
Wärmeschutz (U-Werte Gebäudehülle)	
Dach:	0,18 - 0,35 W/m ² K
Außenwand:	0,25 - 0,40 W/m ² K
Kellerdecke/Bodenplatten:	0,30 - 0,50 W/m ² K
Fenster/Verglasungssysteme:	1,50 - 1,00 W/m ² K (eingebauter Zustand)
Lüftung	
Fensterlüftung + evt. Abluftanlagen	
Wärmeversorgung	
Fossile und teilfossile Systeme (z.B. Gasheizungen + Solarthermie/PV)	
Stromeffizienz	
Ausstattung mit marktüblichen Geräten und Komponenten	
Stromerzeugung	
Netzstrom	

Hohe Qualität	
Wärmeschutz (U-Werte Gebäudehülle)	
Dach:	0,08 - 0,12 W/m ² K
Außenwand:	0,10 - 0,15 W/m ² K
Kellerdecke/Bodenplatten:	0,15 - 0,20 W/m ² K
Fenster/Verglasungssysteme:	0,60 - 0,85 W/m ² K (eingebauter Zustand)
Lüftung	
Lüftung mit Wärmerückgewinnung + Fensterlüftung	
Wärmeversorgung	
Erneuerbare Systeme (z.B. Wärmepumpen/Fernwärme/Biomasse*)	
Stromeffizienz	
Ausstattung mit hocheffizienten Geräten und Komponenten	
Stromerzeugung	
Netzstrom + Eigenerzeugung (Gebäude / Region / global)	

Tabelle 1.9: Gegenüberstellung der Eigenschaften und Anforderungen zwischen mittlerer und hoher Qualität. Für die Klimaschutzstrategien im Gebäudesektor ist entscheidend, anstelle der bislang üblichen mittleren Qualität künftig eine hohe Qualität bei allen Neubauten und energetischen Modernisierungen im Bestand einzusetzen.

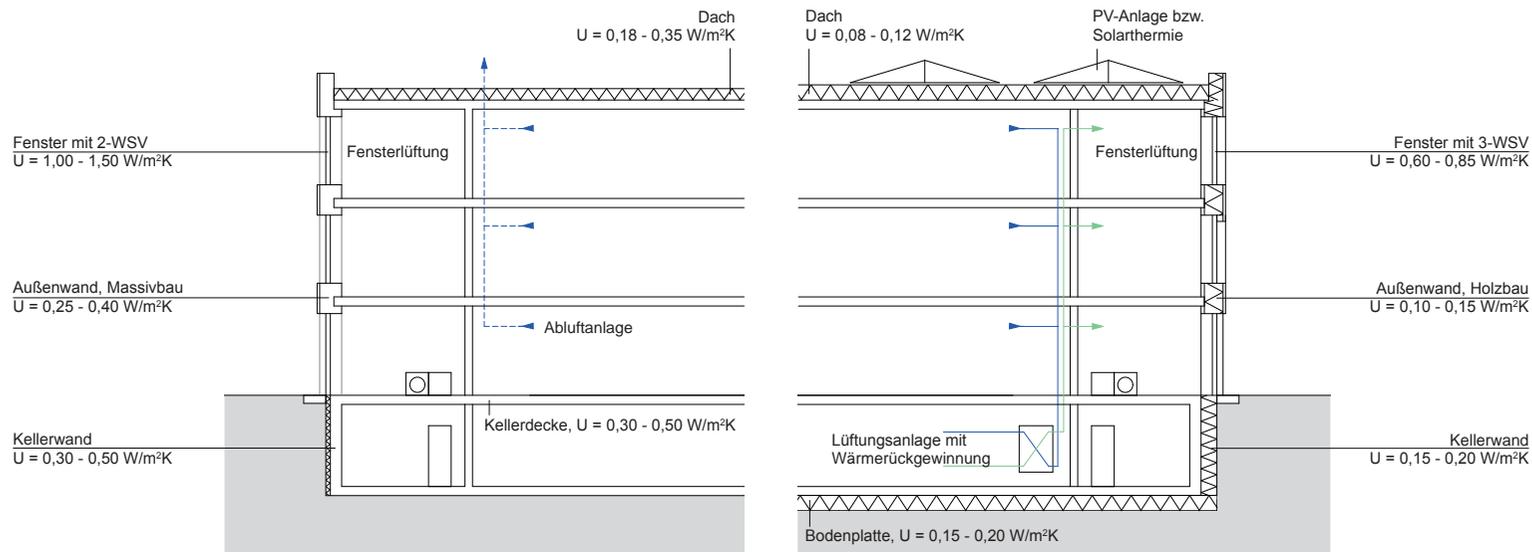


Abbildung 1.21: Gegenüberstellung der Eigenschaften und Anforderungen zwischen mittlerer und hoher Qualität an einem schematischen Gebäudeschnitt.

ferner Platzprobleme (z.B. Kellerdämmung) sowie statische, wirtschaftliche und baupraktische Probleme.

Bedingt sanierbarer Bestand

Nochmals anders gelagert sind die Bedingungen im bedingt sanierbaren Bestand. Hier spielt zusätzlich der Aspekt der Eingriffsempfindlichkeit eine Rolle, z.B. baukulturell schützenswerte Fassaden und Innenraumausstattungen. Dadurch lassen sich die energetischen Maßnahmen bisweilen gar nicht oder nur in abgewandelter Form umsetzen. Ein typisches Beispiel ist die Ausführung einer Innen- anstelle einer Außendämmung.

Sonderstellung der Baudenkmale

An Baudenkmale können keine vorgegebenen energetischen Anforderungen gestellt werden. Der Erhalt der Bausubstanz hat Vorrang. Bauliche Maßnahmen können nur in Abstimmung mit den Denkmalschutzbehörden ausgeführt werden. Das erfordert immer einzelfallbezogene Konzepte.

2 Trägheit des Wohngebäudeparks

Der Wohngebäudepark ist ein besonders träges System, in dem Veränderungsprozesse sehr langsam ablaufen. Wegen der langen Nutzungsdauern der Bau- und Technikkomponenten können sich hier neue Energiestandards und erneuerbare Energiesysteme nur langsam im Gesamtbestand durchsetzen. Das hat vielfältige Konsequenzen für eine erfolgreiche Umsetzung der Klimaschutzstrategien:

- Eine Erhöhung der Sanierungsrate von 1% auf 2 % bis 2030 ist sinnvoll und notwendig, auch um den Werterhalt der Gebäude zu sichern (Auflösung Sanierungsstau).
- Eine Erhöhung deutlich über 2 % hinaus ist jedoch kontraproduktiv (Zerstörung von funktionsfähigen Konstruktionen und Technikaggregaten mit ihren Restwerten)
- Wegen der ausbleibenden Erfolge beim Klimaschutz bei den Wohnnutzungen während der letzten 15 Jahre ist nun ein sofortiger Beginn der gebäudebezogenen Klimaschutzstrategien mit hoher Qualität erforderlich. Jede weitere

Verzögerung über das Jahr 2025 hinaus beinhaltet ein sehr hohes Risiko, das 2-Grad-Budget für Wohngebäude nicht mehr einhalten zu können.

- Durch technische Verbesserungen können die Neubauqualitäten und die Sanierungstiefe bei energetischen Modernisierungen auch in Zukunft weiter gesteigert werden.
- Suffizienzstrategien bilden gerade für die Anfangsphase kurzfristig erschließbare Potenziale, den Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen abzusenken.

3 Einbeziehung künftigen technologischen Fortschritts

Um das 2-Grad-Budget mit hinreichender Sicherheit zu erreichen, sind ab 2030 zusätzlich auch künftige technologische Fortschritte in die Klimaschutzstrategien miteinzubeziehen. Das betrifft sämtliche Bau- und Technikkomponenten, z.B. Fenster und Verglasungen, Hüllkonstruktionen und deren serielle Fertigung, Lüftungsanlagen und -konzepte sowie die erneuerbaren Heizsysteme (z.B. Wärmepumpen, Fernwärme) und sämtliche stromgestützten Anwendungen und Versorgungslösungen. Dieses Forschungsfeld sollte intensiv gefördert werden, um den politisch beschlossenen Klimaschutz und seine Verknüpfung mit dem Ziel der Energieautonomie gerade noch in dem vorgegebenen engen Zeitrahmen realisieren zu können.

Die dadurch ausgelösten Weiterentwicklungen von Bau- und Techniksystemen sowie der zugeordneten Planungskonzepte bilden den Bezugsmaßstab, um die Anforderungen an Wohngebäude und deren Versorgungssysteme auch in den nächsten Jahrzehnten weiter fortschreiben zu können, um damit die Markteinführung und breite Anwendung zu ermöglichen.

4 Klimagerechtes Nutzerverhalten und Änderungen der Konsummuster

Unter dem Überbegriff Suffizienzstrategien werden Maßnahmen zusammengefasst, bei denen individuelle Motivation und Freiwilligkeit den Ausgangspunkt für Emissionsminderungen bilden. Hierzu zählen ein klimaschonendes Nutzerverhalten

(z.B. Absenkung der mittleren Raumtemperatur in der eigenen Wohnung) und Änderungen von Konsummustern (Akzeptieren kleinerer Wohnungsgrößen, reduzierte Ausstattungen). Als systematische Strategie sind diese Verhaltensänderungen auf Anreize und Preissignale angewiesen (z.B. hoher CO₂-Preis mit vollständiger Pro-Kopf-Rückvergütung). Die Szenarien zeigen, dass vor allem in der Anfangsphase bis 2040 dadurch ein zügig umsetzbarer Beitrag zur Emissionsminderung erzielt werden kann.

5 CO₂-Senken und sonstige Klimaausgleiche

Ein wichtiges Ergebnis der Aktualisierung der Szenarien ist, dass als neue Klimaschutzmaßnahme bereits mittelfristig die Bildung von Kohlenstoffsinken notwendig ist, um ein Paris-kompatibles Wohnen zu erreichen. Dies ist vor allem dann erforderlich, wenn anstelle des wohngebäudebezogenen 2-Grad- das 1,7-Grad-Budget eingehalten werden soll. Im Klimaschutz-Plus-Szenario wären hierfür zusätzlich CO₂-Senken im Umfang von 0,7-1,0 Gt bzw. 10-13 t/P nachzuweisen.

Für Wohnbauten ist der Einsatz von Holzbauweisen in Verbindung mit nachwachsenden Baustoffen wirklich naheliegend (vgl. Schellnhuber et al. 2020). Auch andere Verfahren wie z.B. die Erzeugung von Biokohle in Holz-Heizkraftwerken und ihre Einbringung in Böden oder die Wiedervernässung von Mooren sind als CO₂-Senken wirksam. Sie sind als negative Emissionen dann anrechenbar, wenn sie in Verbindung mit baulichen Maßnahmen oder der Gebäudenutzung selbst direkt umgesetzt oder an anderer Stelle mitfinanziert werden.

Für den Nachweis sind weitere Randbedingungen einzuhalten (z.B. Anrechenbarkeit der CO₂-Senken unter Berücksichtigung der Holzentnahme aus dem Wald, nachhaltige Waldbewirtschaftung, Nutzung als langlebiger Baustoff anstelle thermischer Nutzung, langfristige Sicherung bzw. Verhinderung einer unfreiwilliger Freisetzung des im Boden, Produkten oder geologischen Lagern eingespeicherten CO₂).

6 Dekarbonisierung der Materialbereitstellung und Bauprozesse

Die Betrachtung der Energieaufwendungen und Treibhausgasemissionen durch Baumaterialien und Bauprozesse war nicht Bestandteil der Szenarienstudien. Diese ist jedoch derzeit Ausgangspunkt für intensive Diskussionen um die Themen graue Energie, Ökobilanzierung von Gebäuden und Kreislaufwirtschaft. Belastbare Aussagen könnten nur auf der Basis von Szenarien zur künftigen Entwicklung der Herstellung, Verarbeitung, Instandsetzung, Erneuerung und des Rückbaus von Baukonstruktionen und Haustechnik erfolgen. Bislang fehlen jedoch Studien, die die künftige Dynamik der Herstellungs- und Bauprozesse unter Berücksichtigung der Transformation hin zu einer klimaneutralen Wirtschaft abbilden. Die bislang vorliegenden Untersuchungen enthalten daher oftmals Fehlschlüsse und sind zur Begründung belastbarer Klimaschutzstrategien in diesem wichtigen Handlungsfeld nicht geeignet. Neue seriöse Forschungsarbeiten sind notwendig, um die bislang ungeklärten Bilanzierungs- und Umsetzungsfragen zu klären (11).

An dieser Stelle können daher vorerst nur allgemein gehaltene Einschätzungen gegeben werden:

- Der Umbau zu einem Paris-kompatiblen Wohngebäudepark ist zumindest vorübergehend mit einem Anstieg des Herstellungsenergieaufwandes und der materialbedingten Treibhausgasemissionen verbunden. Hintergrund sind die zusätzlichen Materialaufwendungen für eine hohe Energieeffizienz, erneuerbare Heiz- und Stromsysteme sowie die Erhöhung der Sanierungsrate von 1% auf 2%.
- Der Materialeinsatz für die Ausführung in hoher anstelle mittlerer Qualität wird durch die anschließenden Energie- und Emissionsminderungen bei weitem übertroffen (vgl. BBSR 2020, S. 27). Entscheidend hierfür sind die langen Nutzungsdauern der Bau- und Technikkomponenten.
- Der Umbau der Wirtschaft in Richtung Klimaneutralität wird auch die Herstellung von Baumaterialien, Haustechnik und alle Bauprozesse umfassen. An erster Stelle

ist hierbei der Ausbau der erneuerbaren Energien und Effizienzsteigerungen bei allen Produktions- und Verarbeitungsprozessen wirksam. Zur Reduzierung von prozessbedingten Emissionen z.B. bei der Zement- und Stahlproduktion werden künftig technische Senken (CCS) und/oder erneuerbarer Wasserstoff Anwendung finden.

- Der Aufbau einer Kreislaufwirtschaft im Baubereich ist ein langwieriger Vorgang, der alle Herstellungs- und Bauprozesse betreffen wird. Grundlage hierfür ist ein neues Planungsverständnis im Sinne eines „Zirkulären Bauens“.
- Der Gebäudepark dient bei dieser Interpretation als Materiallager und beinhaltet künftig auch die Bildung von CO₂-Senken in langlebigen Baukonstruktionen.
- Mit einem Anteil von mehr als 4/5-tel dominiert der Energieeinsatz in der Nutzungsphase die Treibhausemissionen im Gebäudesektor. Die Baumaterialien beanspruchen davon hingegen weniger als 20% (siehe Abb. 1.1 und 1.2).
- Konzepte zur Dekarbonisierung der Materialbereitstellung und Bauprozesse müssen daher zwingend mit der Ausführung der Hüllkonstruktionen, Lüftungskonzepte und Energieversorgung mit hohen Qualitäten kombiniert werden.
- Idealerweise erfolgt dies mit Material- und emissionsarmen Bau- und Technikprodukten und wird mit der Bildung von CO₂-Senken gekoppelt, z.B. Holzbau mit Dämmung aus schnell nachwachsenden Rohstoffen (z.B. Stroh, Hanf).

Fazit

Die Hauptstrategien klimagerechten Wohnens können auf Basis der Szenarienauswertung und der daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen in fünf Punkten zusammengefasst werden:

- 1 Konsequente Steigerung der Energieeffizienz
- 2 Einsatz erneuerbarer Energien und Rohstoffe
- 3 Dekarbonisierung der Baumaterialien und Bauprozesse
- 4 Einsatz von Kohlenstoffsinken
- 5 Klimagerechte Konsum- und Verhaltensweisen

1.12 Strategische Fragen und Analysen

Der Wohngebäudepark wird in dieser Studie als integraler Bestandteil des Energiesystems interpretiert. Zusätzlich existieren vielfache Beziehungen und Abhängigkeiten zu anderen Sektoren. Die sich daraus ergebenden strategischen Fragen sollen nun in diesem abschließenden Abschnitt der Zusammenfassung behandelt und erste Antworten gegeben werden.

„UND“ anstelle „ODER“-Strategien

Zentrales Ergebnis der Untersuchung ist, dass es vor allem darauf ankommt, die einzelnen Klimaschutzstrategien sinnvoll und effektiv miteinander zu kombinieren. Ein gegeneinander Auspielen der zuvor genannten Klimaschutzstrategien, insbesondere der beiden Hauptstrategien Effizienz und Erneuerbare hat zur Konsequenz, dass die nationalen Klimaziele Deutschlands alleine im Sektor der Wohnnutzungen in Frage gestellt werden können.

Das Dilemma der mittleren Qualität

Werden, wie dies in der Referenzentwicklung der Fall ist, bei Neubauten und den energetischen Modernisierung im Bestand nur mittlere Qualitäten eingesetzt, so produziert dies das „Dilemma der mittleren Qualität“:

- Mit den mittleren Qualitäten, wie sie im derzeit noch gültigen GEG festgelegt sind und das Baugeschehen bestimmen, können die deutschen Klimaschutzziele nicht erreicht werden.
- Wegen der langen Nutzungsdauern von 30 - 80 Jahren bei den Bau- und Technikkomponenten handelt es sich in erster Linie um verpasste Gelegenheiten, die so schnell nicht wiederkehren.
- In zweiter Linie stellt sich ein sog. „Lock-in-Effekt“ ein. Auch nach 20, 40 oder 60 Jahren ist keine Wirtschaftlichkeit für energetische Verbesserungen von mittlerer auf hohe Qualität zu erwarten.
- Gründe hierfür sind der abnehmende Grenznutzen bei

Effizienzmaßnahmen (z.B. im Hinblick auf Dämmstärken und Wärmeverluste) und dass die Energiepreise auf Dauer nicht beliebig ansteigen werden (z.B. Deckelung auf dem Preisniveau erneuerbarer Versorgungslösungen).

- Nicht zuletzt bleiben die mittleren Qualitäten oftmals hinter dem wirtschaftlichen Optimum zurück, d.h., bei einer Ausführung mit hoher Qualität wären weitere Gewinne bei den Lebenszykluskosten im Vergleich zur üblichen Ausführung möglich gewesen.
- Keinesfalls zielführend ist hingegen das zeitliche Vorziehen von Maßnahmen, der vorzeitige Abriss von Bestandsgebäuden und Ersatz mit einem Neubau („Abrissprämie“) oder eine Erhöhung der Sanierungsrate deutlich über 2 % hinaus. Diese Vorschläge stehen im Widerspruch zum Kopplungsprinzip, verursachen hohe Rüstkosten und zerstören funktionierende Konstruktionen und Technik und damit die darin noch vorhandenen Restwerte.
- Gerade auch im Neubau ist eine hohe Qualität entscheidend für den Klimaschutz. Im entscheidenden Zeitraum bis 2050 gibt es dort keine Gelegenheiten mehr zur Verbesserung der Energieeffizienz und im Hinblick auf einen Wechsel hin zu einer erneuerbaren Wärmeversorgung.

Wenn schon - denn schon

Es kommt daher entscheidend darauf, die sich bietenden Gelegenheiten für die Realisierung hoher Qualität zu nutzen. Auslöser dafür sind in den meisten Fällen nicht der Klimaschutz, sondern ganz andere Motive und Notwendigkeiten. Dies soll ein einigen Beispielen erläutert werden:

- Wenn der Außenputz ohnehin erneuert werden muss, kann in diesem Zuge zugleich ein Außenwärmeschutz aufgebracht werden.
- Am Ende der technischen Nutzungsdauer eines Flachdaches kann der alte Aufbau belassen und mit einer neuen Abdichtung plus Zusatzdämmung (sog. „Duodach“) versehen werden. Anders als in vielen Ökobilanzieren zugrunde gelegt, bleibt der alte Konstruktionsaufbau erhalten, d.h. es

findet kein Rückbau mit anschließender „thermischer Verwertung“ der Dämmung statt.

- Der Austausch von Fenstern ist aus Gründen des Feuchteschutzes ein bauphysikalisch sinnvoller Auslöser für den Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.
- Sobald bei einer Gasheizung ein Kesselaustausch ansteht, bietet sich die Gelegenheit für den Wechsel zu einem erneuerbaren Heizsystem, z.B. einer Wärmepumpe.
- Eine sowieso anstehende Erneuerung der Dachdeckung wird mit einer Aufdachdämmung und der Installation einer PV-Anlage verbunden.

Überbrückung der Winterlücke

In Ländern mit ausgeprägten Jahreszeiten existiert in einem erneuerbaren Stromsystem das Problem der sog. „Winterlücke“. Während im Sommer tendenziell Überschüsse produziert werden, treten im Winterhalbjahr regelmäßig Energielücken auf,

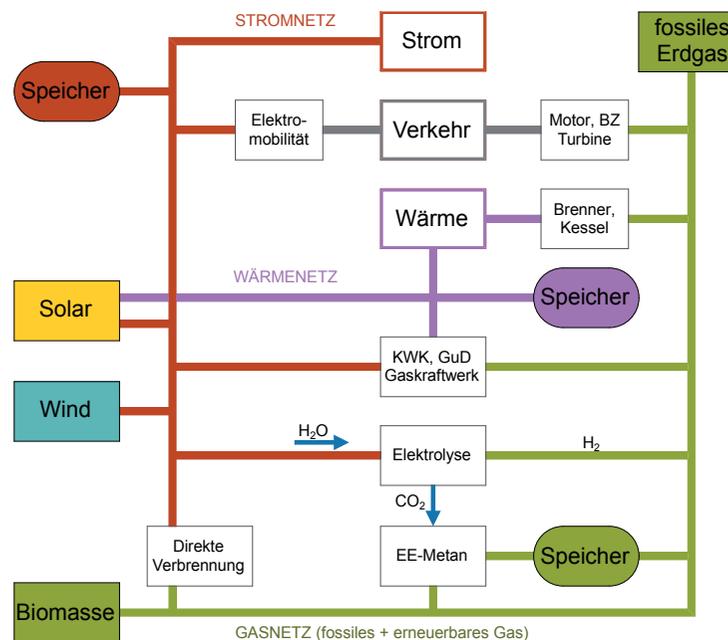
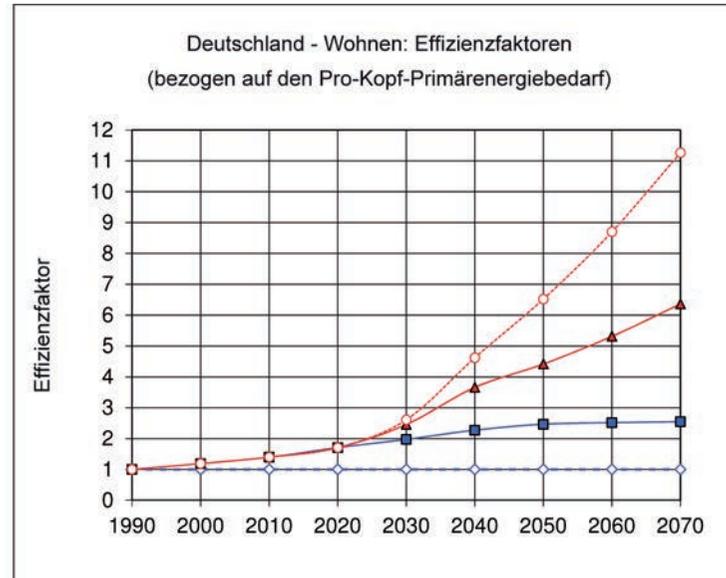


Abbildung 1.22: Schema des künftigen Energiesystems mit integrierter „Power-to-Gas“-Strategie. Übergangsweise ist der Einsatz von fossilem Erdgas notwendig, das nach und nach durch erneuerbaren Wasserstoff bzw. Methan ersetzt wird. Quelle: abgeändert nach (Sterner et al. 2011, S. 19).

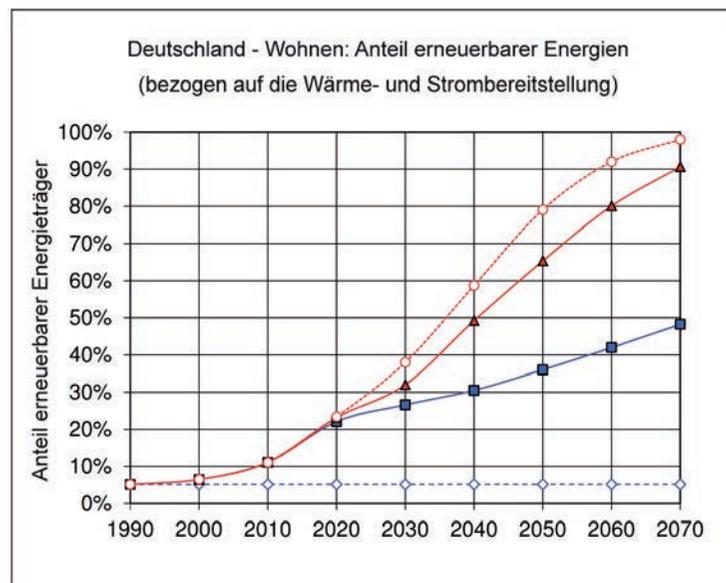
- ◇--- Status quo
- Referenz
- ▲--- Klimaschutz
- Klimaschutz-Plus

Abbildung 1.23:
Effizienzverbesserungen im Hinblick auf den Pro-Kopf-Primärenergiebedarf der privaten Haushalte in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 1990 - 2070. Darstellung in Form der sog. Effizienzfaktoren.



- ◇--- Status quo
- Referenz
- ▲--- Klimaschutz
- Klimaschutz-Plus

Abbildung 1.24:
Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energieträger der privaten Haushalte in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 1990 - 2070.



die mit speicherbaren erneuerbaren Energieträgern (z.B. Wasserstoff oder Methan) geschlossen werden müssen. Um die Winterlücke möglichst klein zu halten sollte der Gebäudepark im Kernwinter möglichst wenig Energie benötigen. Das ist nur mit einer konsequent umgesetzten Effizienzstrategie erreichbar, die alle Strom- und Wärmeanwendungen umfasst. Sobald hier zusätzliche Stromverbraucher hinzutreten (z.B. Elektromobilität) wird die Aufgabe der Stabilität der Stromversorgung noch anspruchsvoller. Eine entscheidende Rolle spielen dafür Speicher auf verschiedenen Zeitebenen (Kurzzeit, Langzeit).

Systemdienlichkeit des Wohngebäudeparks

In einem erneuerbaren Energiesystem haben die Gebäude und deren Versorgungssysteme eine aktive und dienende Funktion und können nicht mehr alleine als passive Verbraucher interpretiert werden:

- Bei mit Wärmepumpen versorgten Gebäuden dient die Speichermasse dem Lastmanagement, indem in Zeiten von Stromüberschüssen Wärme zwischengespeichert wird. Dafür sind hocheffiziente Gebäude besonders gut geeignet.
- Die Rückverstromung saisonal gespeicherter Energie aus erneuerbaren Wasserstoff oder Methan findet am besten in Fernwärmesystemen mit Kraft-Wärmekopplung statt.
- Durch die Installation von Photovoltaik auf den Dachflächen und Fassaden werden Gebäude im Verbund mit regionalen Wind- und Wasserkraftanlagen zu einem virtuellen Kraftwerk.
- Darüber hinaus existieren weitere Möglichkeiten der Sektorenkopplung, z.B. Wohnen + Energie + Verkehr über eine Verknüpfung von gebäudeintegrierter Photovoltaik mit Batterien, Wärmepumpen und Elektromobilität.
- Die Größe des künftigen erneuerbaren Energiesystems hängt direkt mit den Effizienzerfolgen im Zuge des Paris-kompatiblen Umbaus des Wohngebäudeparks zusammen.
- Ein erneuerbares Energiesystem ist auch sicherheitspolitisch von Vorteil (Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern, Robustheit, Sabotagegefährdung).

Effizienzfaktoren

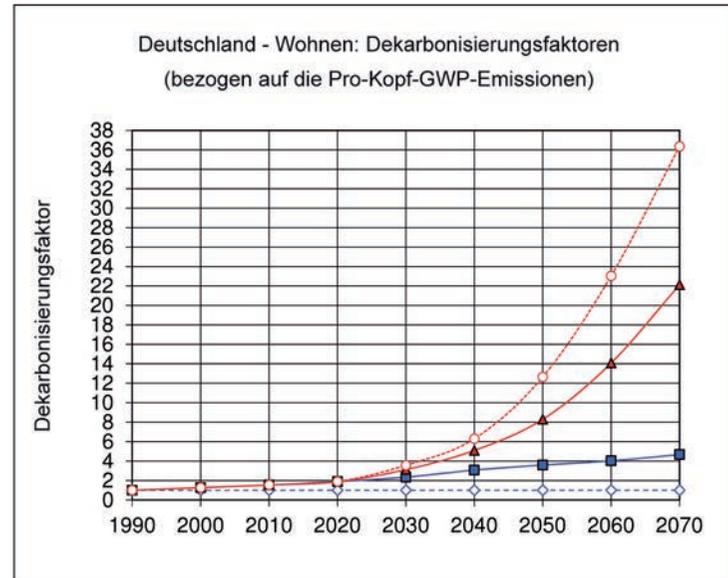
Der Erfolg der Effizienzstrategien in den Wohngebäuden lässt sich übersichtlich über sog. Effizienzfaktoren abbilden. Dabei wird das Status-quo-Szenario als Bezugsgröße mit einem durchgängig vorgegebenen Faktor von 1,0 definiert. Die Qualität der energetisch relevanten Bau- und Technikkomponenten wird dabei auf dem Stand von 1990 festgehalten. Für diesen Vergleich werden der Pro-Kopf-Primärenergiebedarf als Indikator für den energetischen Ressourceneinsatz gewählt. In Abbildung 1.23 wird erkennbar, dass im Referenzszenario die Effizienzverbesserungen nur mäßig ausfallen. Im Jahr 2050 lässt sich dort gerade einmal ein Faktor von 2,5 realisieren. Im Klimaschutzszenario liegt der Effizienzfaktor bereits bei 4,4 und im Klimaschutz-Plus-Szenario sogar 6,5 und steigt dort bis 2070 auf 11,3 an. Hier wird deutlich, dass eine längerfristige Effizienzstrategie spätestens ab dem Jahr 2030 auch künftige technologische Verbesserungen miteinbeziehen sollte.

Ausbau der erneuerbaren Energieträger

In Abbildung 1.24 ist dargestellt wie sich parallel zur Effizienzentwicklung der Ausbau erneuerbarer Energieträgern in den Szenarien entwickelt. Im Referenzszenario gelingt es nicht einmal bis 2050, die Dominanz der fossilen Energieträger zu überwinden, während im Klimaschutzszenario 2050 der Anteil erneuerbarer Energien bereits 65 % und im Klimaschutz-Plus-Szenario sogar 79 % beträgt. Bis 2070 geht der Anteil fossiler Energieträger in den beiden Klimaschutzszenarien stetig zurück, so dass bis dahin eine nahezu vollständig erneuerbare Energieversorgung (mit 91 bzw. 97 %) realisiert werden kann.

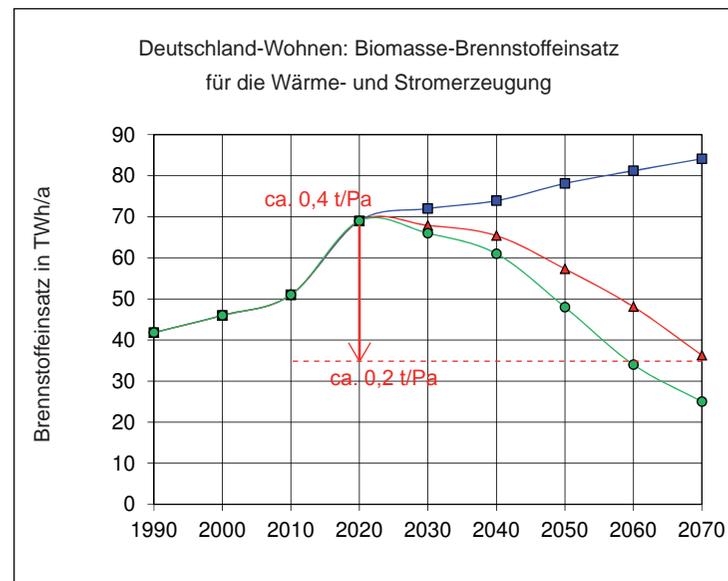
Dekarbonisierungsfaktoren

Noch deutlicher fallen die Unterschiede zwischen den Szenarien im Hinblick auf die Minderungserfolge bei den Treibhausgasemissionen aus. Diese lassen sich über sog. Dekarbonisierungsfaktoren abbilden. Dieser Faktor gibt an, in welchem Ausmaß die CO₂-Äquivalent-Emissionen im Vergleich zur Status-quo-Entwicklung abgesenkt werden können. Im Referenz-



- ◇--- Status quo
- Referenz
- ▲— Klimaschutz
- Klimaschutz-Plus

Abbildung 1.25: Minderungserfolge hinsichtlich der Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 1990 - 2070. Darstellung in Form der sog. Dekarbonisierungsfaktoren.

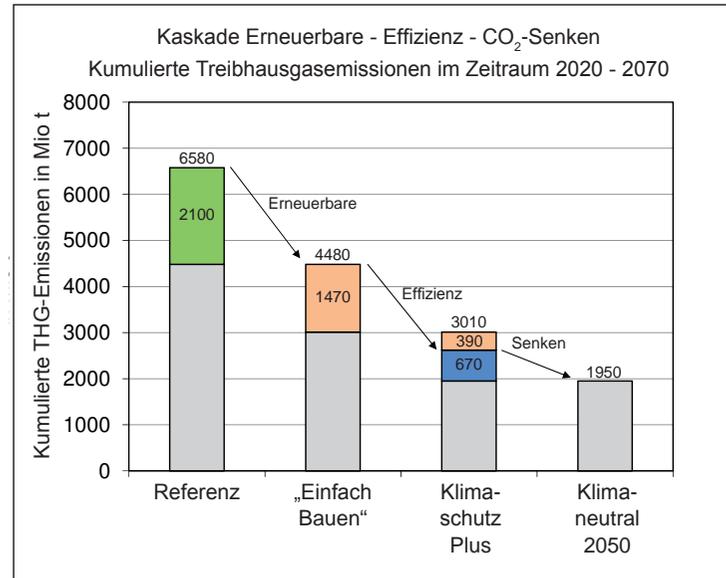


- Referenzentwicklung
- ▲— Klimaschutz-Plus-Entwicklung
- Klimaneutralität 2050

Abbildung 1.26: Brennstoffeinsatz für Biomasse, Müll und Reststoffe für die Wärme- und Stromerzeugung der deutschen Wohngebäude in TWh/a. Beim Strom wurde der Biomasseeinsatz anteilig bezogen auf den Endenergiebedarf der privaten Haushalte bilanziert. In den beiden Klimaschutzszenarien gelingt es, die energetische Nutzung von Biomasse nach 2030 immer mehr zurückzudrängen und damit zusätzliche Potenziale für eine stoffliche Nutzung bzw. den Aufbau eines stärkeren Holzvorrats in Laub-Mischwäldern zu ermöglichen.



Abbildung 1.27:
Beiträge des Ausbaus erneuerbarer Energien, der Energieeffizienz und der CO₂-Senken zur Emissionsminderung der deutschen Wohngebäude im Zeitraum 2020 - 2070. Dargestellt ist der Fall, bei dem im ersten Schritt der Ausbau der erneuerbaren Energien Vorrang vor der Energieeffizienz hat.



szenario können die Pro-Kopf-GWP-Emissionen im Jahr 2050 gegenüber dem Stand von 1990 nur um einen Faktor von 3,6 abgesenkt werden. Im Klimaschutzszenario liegt dieser Faktor 2050 bereits bei 8,3 um bis 2070 weiter auf 22,1 anzusteigen. Nur im Klimaschutz-Plus-Szenario wird ein durchgreifender Klimaschutz realisiert. Die Dekarbonisierungsfaktoren steigen hier bis 2050 auf 12,7 und bis 2070 auf 36,4 an.

Energieautonomie

Um die Abhängigkeit von fossilen Energierägern zu reduzieren, sind folgende Strategieansätze entscheidend:

- Die Größe des künftigen erneuerbaren Energiesystems hängt vor allem von den Effizienzerfolgen und zusätzlich vom Erfolg der Suffizienzmaßnahmen ab.
- Kann, wie dies im Klimaschutz-Plus-Szenario der Fall ist, ab 2030 der Bedarf für erneuerbare Primärenergie reduziert werden, werden sogar Potenziale für die anstehende Dekarbonisierung der Materialbereitstellung freigesetzt. Besonders wichtig ist dies bei der Biomassenutzung, denn da-

mit wird es möglich eine stärkere stoffliche Nutzung von Holz mit einem Vorratsaufbau in klimaangepassten Wäldern zu kombinieren (siehe Abb. 1.26 und nähere Erläuterungen in Kapitel 12).

- Der Ausbau einheimischer erneuerbarer Energieträger (z.B. Wind, Solarstrom und -wärme, Biomasse, Geothermie und Meeresenergie) und der zugehörige Netzausbau müssen deutlich beschleunigt werden.
- Parallel dazu sind Speichertechnologien auszubauen (z.B. Pumpspeicherwerke, Saisonale Wärmespeicher, Power-to-Gas-Technologien, Batterien, Schwungradspeicher).
- Durch den hohen Flächenbedarf der Erneuerbaren und zur Berücksichtigung der Belange des Umwelt- und Kulturschutzes sind Spielräume für Standortentscheidungen von sehr großer Bedeutung. Hierfür können eine hohe Energieeffizienz der Gebäude und Doppelnutzungen (z.B. PV auf den Dachflächen, Windräder auf landwirtschaftlichen Flächen) entscheidende Beiträge leisten.

„Einfach Bauen“ und die Effizienzlücke

Im Kontext der Einführung der Wärmeschutzverordnung 1995 wurde von Professoren, die das Fachgebiet Architektur und die Fächer Entwerfen in Forschung und Lehre vertraten, Kritik an den „aufkotroyierten Superdämmungen“ und der energetischen Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung bei Lüftungsanlagen geübt (vgl. Ackermann et al. 1992). In der Folge wurde die gesetzliche Einführung des bereits bewährten Niedrigenergiestandard u.a. von der Architektenschaft und der Wohnungswirtschaft verhindert. Das hat wesentlich zum Stillstand beim Klimaschutz während der letzten 15 Jahre beigetragen.

Ein aktuelles Beispiel der Zurückweisung der Effizienzstrategie ist der Konzeptansatz „Einfach Bauen“ (Nagler et al. 2020). Dort werden Gebäudefassaden mit einschaligen Konstruktionen vorgeschlagen, die gerade einmal den geforderten Wärmeschutz des aktuellen Gebäude-Energien-Gesetzes (GEG 2020) einhalten. Eine mittlere Qualität wird ferner für alle weite-

ren Hüllkonstruktionen und die Lüftung propagiert. Die für den Klimaschutz notwendigen Emissionsminderungen sollen alleine durch den geringeren Herstellungsaufwand für die Lüftung und Gebäudehülle in Verbindung mit erneuerbaren Heizsystemen erreicht werden.

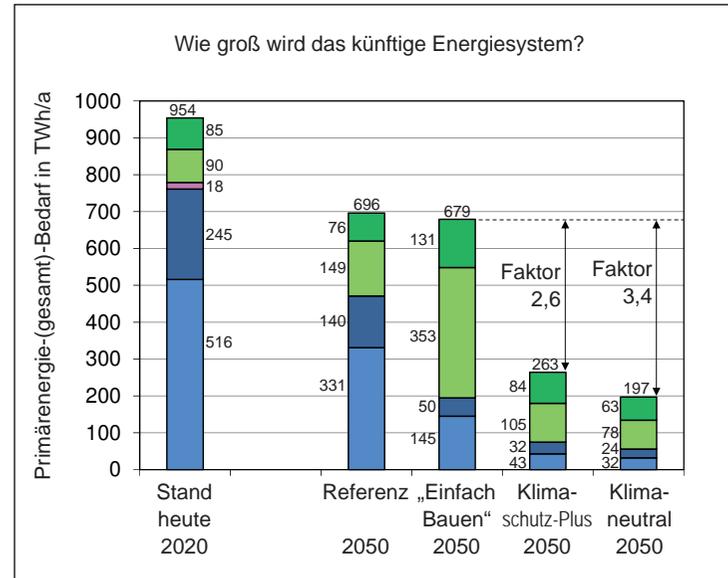
Exakt diese „Entweder-Oder“-Strategie wird im sog. Referenz-Switch-Szenario abgebildet und dort aus Konsistenzgründen auch auf die energetischen Modernisierungen im Bestand angewendet (12). Das ermöglicht eine Bewertung anhand der resultierenden GWP-Budgets (siehe Abbildung 1.27):

- Die Effizienzlücke beim Konzept „Einfach Bauen“ beläuft sich im Zeitraum 2020 - 2070 auf 1860 Mio t CO₂-Äquivalente und ist damit fast so groß wie das 1,7-Grad-Budget für Wohngebäude (1925 Mio t). „Einfach Bauen“ ist somit, anders als postuliert, kein Beitrag zu Klimaschutz.
- Der Primärenergiebedarf im Jahr 2050 liegt mit 679 TWh/a gegenüber dem Klimaschutz-Plus-Szenario (263 TWh/a) um einen Faktor 2,6 und gegenüber dem Klimaneutral-2050-Szenario (197 TWh/a) um einen Faktor 3,4 höher. Damit ist das Konzept „Einfach Bauen“ auch aus energie- und sicherheitspolitischer Sicht nicht wünschenswert (13).

Analyse der Einzelbeiträge der drei Hauptstrategien

Neben dieser klaren Zurückweisung des Konzeptansatzes „Einfach Bauen“ als Klimaschutzstrategie können aus der Analyse der Switch-Szenarien weitere methodisch aufschlussreiche Erkenntnisse gewonnen werden. Diese betreffen vor allem das Zusammenspiel der Hauptstrategien Erneuerbare, Effizienz und Senken im Zeitraum 2020 - 2070 und ihre Quantifizierung. Es kann nun abschließend bestimmt werden, welche Minderungsbeiträge im Szenario „Klimaneutral 2050“, das als einziges das 1,7-Grad-Budget einhält, im Vergleich zur Referenzentwicklung erreicht werden (Abb. 1.27):

- Im Vergleich zum Referenzszenario (6580 Mio t bzw. 79,2 t/P) wird im Szenario „Klimaneutral 2050“ (1950 Mio t bzw. 23,3 t/P) im Zeitraum 2020 - 2070 ein Minderungsbei-



- Strom, erneuerbar
- Wärme, erneuerbar
- Strom, nuklear
- Strom, fossil
- Wärme, fossil

Abbildung 1.28: Primärenergiebedarf der deutschen Wohngebäude im Jahr 2020 und 2050. Für das Jahr 2050 sind zunächst die Ergebnisse für das Referenzszenario und das Konzept „Einfach Bauen“ gegenübergestellt. Erst das Klimaschutz-Plus-Szenario hält das 2-Grad-Limit und das Szenario „Klimaneutral 2050“ schließlich das 1,7-Grad-Limit bei der Erderwärmung ein. Zugleich wird deutlich, wie groß das künftige Energiesystem bei den unterschiedlichen Ansätzen ausfallen würde.

trag von insgesamt 4630 Mio t nachgewiesen.

- Der größte Minderungserfolg in Höhe von 45 Prozent wird mit 2100 Mio t durch den Ausbau erneuerbarer Energien erzielt (14).
- An zweiter Stelle stehen die Emissionseinsparungen durch Energieeffizienzmaßnahmen. Mit 1860 Mio t haben diese einen Anteil von 40 Prozent (14).
- Zusätzlich sind durch CO₂-Senken negative Emissionen in Höhe von minus 670 Mio t nachzuweisen. Diese machen am Ende 15 % der CO₂-Minderungen aus (15).

Nur in diesem „Dreiklang“, d.h. durch die konsequente Umsetzung und intensive Verknüpfung der Hauptstrategien Erneuerbare, Effizienz und CO₂-Senken gelingt ein Paris-kompatibler Umbau des Wohngebäudeparks, der nicht nur das 2,0- sondern darüber hinaus auch das 1,7-Grad-Budget einhält. Eine konsequente Steigerung der Energieeffizienz ist darüber hinaus entscheidend, um das Energiesystem für Gebäude gegenüber heute um einen Faktor 3-4 verkleinern zu können.



Abbildung 1.29: Beiträge des Ausbaus erneuerbarer Energien, der Energieeffizienz und der CO₂-Senken zur Emissionsminderung der deutschen Wohngebäude im Zeitraum 2020 - 2070. Dargestellt ist der Fall, bei dem im ersten Schritt die Energieeffizienz vor dem Ausbau der Erneuerbaren hat.

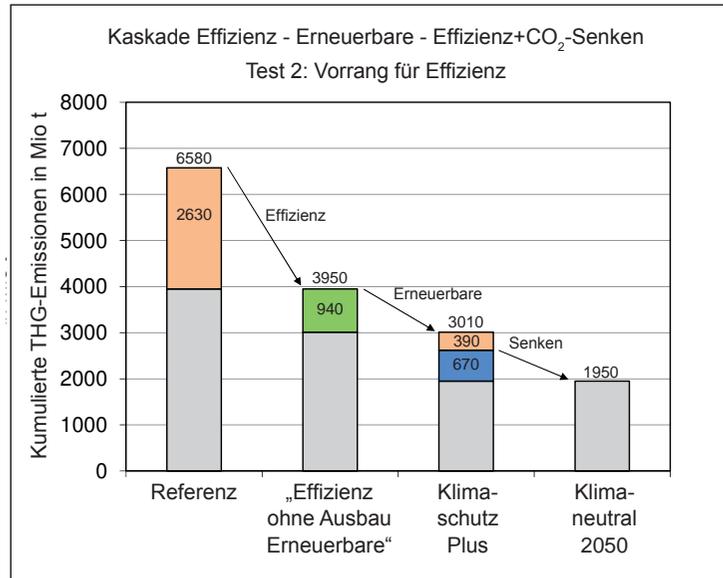
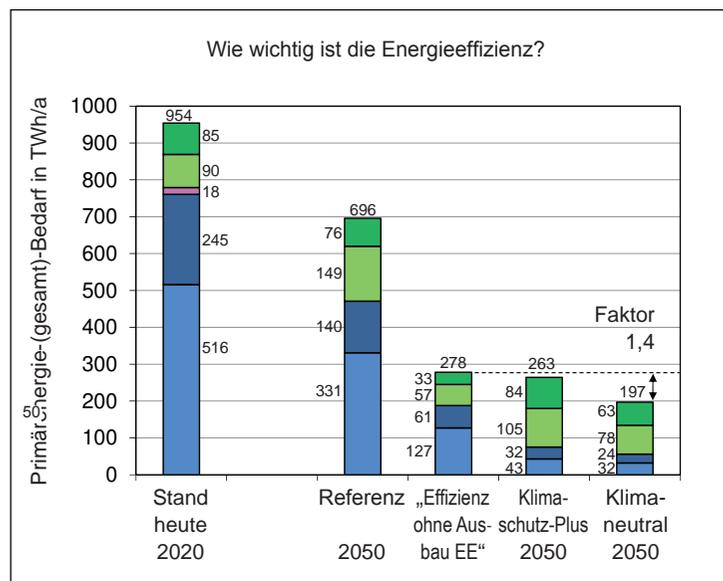


Abbildung 1.30: Primärenergiebedarf der deutschen Wohngebäude im Jahr 2020 und 2050. Für das Jahr 2050 sind zunächst die Ergebnisse für das Referenzszenario und das Konzept „Effizienz ohne Ausbau Erneuerbare“ gegenübergestellt. Erst das Klimaschutz-Plus-Szenario hält das 2-Grad-Limit und das Szenario „Klimaneutral 2050“ schließlich das 1,7-Grad-Limit bei der Erderwärmung ein.



Exkurs 1: „Effizienz ohne consequenten Ausbau der Erneuerbaren“ und die Ausbaulücke

Als Gegenkonzept zu „Einfach Bauen“ kann man die Verfolgung einer consequenten Effizienzstrategie ansehen, bei der jedoch, wie dies im Referenzszenario erfolgt, wenig Augenmerk auf einen Ausbau der erneuerbaren Energien gelegt wird. Diese Kombination wird exakt durch das Klimaschutz-Plus-Szenario abgebildet. Wie immer bei Kaskadenbetrachtungen, gehen die Beiträge der Vorrangstrategie mit einem höheren Gewicht in die Gesamtbewertung ein. Daher ist zu erwarten, dass sich bei einem Wechsel des Vorrangs, die Gewichte zwischen den Kernstrategien im Vergleich zum Konzept „Einfach Bauen“ entscheidend verschieben:

- Im Vergleich zum Referenzszenario (6580 Mio t bzw. 79,2 t/P) wird im Szenario „Klimaneutral 2050“ (1950 Mio t bzw. 23,3 t/P) im Zeitraum 2020 - 2070 ein Minderungsbeitrag von insgesamt 4630 Mio t nachgewiesen.
- Der größte Minderungserfolg in Höhe von 65 Prozent wird mit 3020 Mio t durch die Effizienzmaßnahmen erzielt (17).
- An zweiter Stelle stehen nun die Emissionseinsparungen durch den Ausbau der Erneuerbaren. Mit 940 Mio t haben diese einen Anteil von 20 Prozent.
- Zusätzlich sind durch CO₂-Senken negative Emissionen in Höhe von minus 670 Mio t nachzuweisen. Diese machen am Ende 15 % der CO₂-Minderungen aus.

Die Ausbaulücke im Zeitraum 2020 - 2070 ist emissionsseitig mit 940 Mio t nur halb so groß wie die Effizienzlücke mit 1860 Mio t (Abb. 1.29). Im Hinblick auf die gesamte Primärenergie fällt die Ausbaulücke mit ca. 1180 TWh kaum ins Gewicht (Abb. 1.30). Damit erweist sich die Effizienzstrategie am Ende vor allem im Hinblick auf die künftige Größe des Energiesystems als risikobegrenzend und besonders robust. Als alleinige Strategie ist sie jedoch nicht in der Lage einen Paris-kompatiblen Klimaschutz sicherzustellen. In der bisherigen Praxis existiert dieses Problem jedoch nicht, weil besonders energieeffiziente Gebäuden in der Vergangenheit dominant erneuerbar versorgt wurden (18).

Zusammenführung der Ergebnisse 2020 - 2100 unter Einbeziehung der Materialbereitstellung für alle Wohnbauten

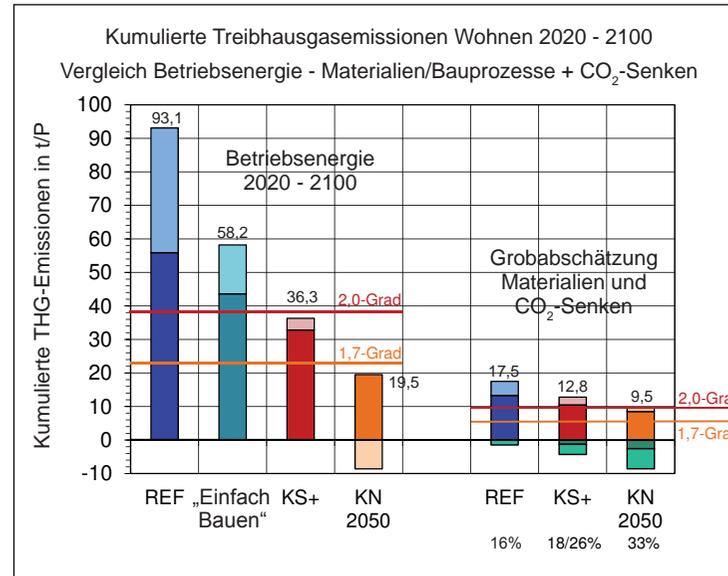
Abschließend werden die Ergebnisse der Szenarien für den Zeitraum 2020 - 2100 und unter Einbeziehung der materialbedingten Emissionen zusammengeführt (siehe Abb. 1.31 und 1.32). Das macht aus drei Gründen Sinn:

- 1 Bis 2100 kann in allen Szenarien auf der Ebene Betriebsenergie Klimaneutralität erreicht werden.
- 2 Die Abschätzung der Beiträge durch Materialbereitstellung und CO₂-Senken erweitert das Gesamtbild in Richtung einer Lebenszyklusbetrachtung.
- 3 Speziell der Aufbau der CO₂-Senken in den Baukonstruktionen und damit im Materiallager der Wohnbauten dauert sehr lange und findet in größerem Umfang erst nach 2050 statt, weil das Materiallager der Gebäude den Zufluss biogener Stoffe nur nach und nach aufnehmen kann.

Zu beachten ist, dass die kumulierten Treibhausgasemissionen der Materialbereitstellung und der CO₂-Senken nur grob abgeschätzt wurden. Hierbei wurden Annahmen zur Dekarbonisierung der Baustoffe und der durch Neubau, Modernisierung und Instandsetzung erzielbaren CO₂-Senken getroffen (vgl. Vallentin 2023, S. 22 ff. und S. 53 ff.).

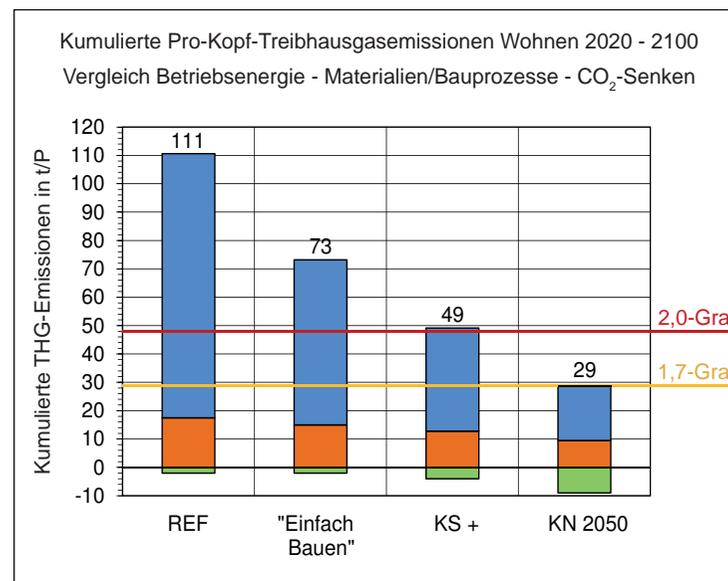
Auch in der Gesamtbetrachtung dominiert die Betriebsenergie während der Nutzungsphase. Für ein Paris-kompatibles Bauen ist es von daher eine unhintergehbare Forderung, durch Energieeffizienz und den Ausstieg aus der fossilen Energieversorgung zunächst die Emissionen für Heizen, Warmwasser, Lüften und Strom möglichst bis 2050 auf nahezu Null zu führen.

Für einen Paris-kompatiblen Wohnbau ist es dann aber zusätzlich notwendig, die Emissionen der Materialbereitstellung in Verbindung mit der Bildung von CO₂-Senken nochmals zu reduzieren. Dies gelingt in erster Linie durch den Einsatz von schnell nachwachsenden Rohstoffen in hochwärmedämmter Gebäudehüllen und in zweiter Linie durch den Holzbau.



- Referenzszenario 2050-2100
- Referenzszenario 2020-2050
- Einfach Bauen 2050 - 2100
- Einfach Bauen 2020-2050
- Klimaschutz-Plus 2050-2100
- Klimaschutz-Plus 2020-2050
- Klimaneutral 2050-2100
- Klimaneutral 2020-2050
- CO₂-Senken 2020-2050
- CO₂-Senken 2050-2100

Abbildung 1.31: Vergleich der kumulierten Treibhausgasemissionen durch die Betriebsenergie der Wohnnutzung in Deutschland im Vergleich zu den Baumaterialien und CO₂-Senken im Zeitraum 2020 - 2100.



- Betriebsenergie
- Materialien / Bauprozesse
- CO₂-Senken

Abbildung 1.32: Kumulierte Treibhausgasemissionen der Wohnnutzungen in Deutschland (Betriebsenergie / Materialbereitstellung / Schaffung von CO₂-Senken) im Zeitraum 2020 - 2100. Die Ergebnisse sind für das Referenzszenario, das Konzept „Einfach Bauen“, das Klimaschutz-Plus-Szenario und das Szenario, in dem im Jahr 2050 Klimaneutralität erreicht wird, ausgewiesen. Angabe der personenbezogenen Emissionen in Tonnen CO₂-Äquivalente. Zur besseren Einordnung sind die Schwellen für das 2,0 und das 1,7-Grad-Limit aufgetragen.

Wie kann der Holzbau zum Klimaschutz beitragen?

In der separaten gleichnamigen Studie (Vallentin 2023) wurde untersucht, wie das Bauen mit Holz und nachwachsenden Rohstoffen einen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann. Das Ergebnis kann in 10 Punkten zusammengefasst werden:

- 1 Der Schutz der Wälder und ihrer Biodiversität, auch um ihrer selbst willen, steht an erster Stelle. Wälder erbringen vielfältige Öko- und Klimadienleistungen und dienen als Kohlenstoffspeicher und -senken dem Klimaschutz.
- 2 Für die Entnahme von Holz aus den Wäldern existieren Grenzen der nachhaltigen Verfügbarkeit. Durch den Klimawandel und die notwendige Waldanpassung wird diese künftig zusätzlich zurückgehen. Leitplanken in Form eines Risikokorridors ergeben für Deutschland ein verträgliches Pro-Kopf-Holzbudget zwischen 0,8 und 1,1 m³/Pa.
- 3 Das nachhaltig nutzbare Holzaufkommen liegt damit niedriger als der derzeitige Holzverbrauch. Dadurch wird eine Priorisierung der Holznutzungen notwendig.
- 4 Aus Gründen des Klimaschutzes sind kurzlebige Holzverwendungen wenig zielführend. Kritisch zu bewerten sind die meisten Energienutzungen, insbesondere die Verbrennung in Heizsystemen von Gebäuden mit hohem Wärmebedarf.



Abbildung 1.33:
Totholz und stehendes Holz im
Hambacher Wald.

Auch die thermische Verwertung von Holzprodukten am Ende der Nutzungsphase ist in Frage zu stellen, weil mit hohen Emissionen und der Zerstörung von prinzipiell erhältlichen CO₂-Senken verbunden.

- 5 Aus der Perspektive der CO₂-Senkeneffektivität stellt der Einsatz von Holz in möglichst langlebigen Holzkonstruktionen den „Königsweg“ dar. Diese kann durch eine Kaskadennutzung noch gesteigert werden. Das anzustrebende Ideal ist der dauerhafte Erhalt des Holzes im Materialkreislauf.
- 6 Der Holzbau kann als isolierte Maßnahme nur wenig zum Klimaschutz beitragen. Erst durch seine Einbettung in eine Gesamtstrategie können die Vorteile des Holzbaus zur vollen Geltung kommen. In Verbindung mit hohen energetischen Qualitäten gelingt es, die Steigerung der Energieeffizienz und den Einsatz von erneuerbaren Energien sowie Materialien mit der Bildung von CO₂-Senken zu verknüpfen.
- 7 Einen Schlüssel hierfür bilden holzsparende Hüllkonstruktionen, die mit schnell nachwachsenden biogenen Materialien gedämmt werden. Sie sind universell einsetzbar: sowohl im Neubau als auch bei energetischen Modernisierungen, tragend und nichttragend, im reinen Holzbau oder im Holzhybridbau.
- 8 Bei der Klimaschutzbilanzierung ist der Zeitfaktor zu berücksichtigen. Eine Dynamisierung ist sowohl für alle Energie- und Herstellungsprozesse aber auch für die biogenen Emissionen von Holz und Nawaros erforderlich. Die Ökobilanzen sind in diesem Sinne komplett zu überarbeiten.
- 9 Wenn dies über sehr lange Zeiträume erfolgt, kann der konsequente Einsatz biobasierter Materialien in Gebäuden als „Reperaturmechanismus“ für das Klima dienen. Dies erfolgt über den generationenübergreifenden Aufbau und Erhalt von CO₂-Senken im Materiallager der Gebäude insgesamt.
- 10 Damit dieser Mechanismus gerade noch rechtzeitig greifen kann, sind zunächst im Zeitraum bis 2050 die energiebedingten Treibhausgasemissionen aller Gebäude mit Hilfe der beiden Hauptstrategien Effizienz und Erneuerbare auf nahezu Null zu führen.

So können wir uns aus der Energie- und Klimakrise herausbauen

Im Begriff des Herausbauens ist die Vision enthalten, dass wir Bauschaffenden selbst die Mittel in der Hand halten, um einen eigenständigen Beitrag zum Klimaschutz und zur Energieautonomie zu leisten.

Weg von den Fossilen hin zu hoher Energieeffizienz und Erneuerbaren ist das Motto dieses Umbaus - und wo möglich tun wir das mit Hilfe natürlicher Baumaterialien.

Auch die Nutzer und Bewohner können einen Beitrag durch ihr klimagerechtes Konsum- und Nutzerverhalten leisten, der sofort wirksam ist.

Der Umbau des Gebäudesektors betrifft alle Bauteile und Techniksysteme. Hierbei kommt es darauf an, mehr aus dem Vorhandenen zu machen, anstelle es immer weiter durch Neues zu ersetzen oder zu erweitern. Konkret betrifft dies die vorhandene Bausubstanz, eine bessere Raumorganisation und Flächennutzung des vorhandenen Gebäudebestands sowie die vielfältigen Möglichkeiten im Bereich Um- und Weiterbauen in Verbindung mit einer Nachverdichtung.

Klimaökonomie

Für eine zügige Umsetzung der Energieautonomie in Verbindung mit dem Pariser Klimazielen sind nicht zuletzt die ökonomischen Randbedingungen entscheidend:

- Wirtschaftlichkeits- und Kostenoptimalitätsbetrachtungen sollten auf der Basis von Lebenszykluskosten anstelle der bislang üblichen Investitionskosten aufgestellt werden.
- Für den Neubau konnte gezeigt werden, dass Paris-kompatible Wohngebäude bereits heute dem Kostenoptimum bei den Lebenszykluskosten entsprechen (vgl. EIV 2022).
- Daher sollte im Neubau ab sofort Effizienzstandards mit hoher Qualität (z.B. Effizienzhaus 40-EE, Passivhaus) im GEG verpflichtend vorgeschrieben werden.

- Ab sofort dürfen im Neubau und im Bestand keine neuen fossilen Heizsysteme, insbesondere Gasheizungen **(19)**, mehr eingebaut werden. Parallel ist die Verbrennung von Biomasse in Gebäudeheizungen möglichst weitgehend zurückzufahren. Insgesamt bedeutet dies den Ausstieg aus allen brennstoffgestützten Heizsystemen.
- Im Gebäudebestand sollten im GEG die bedingten Anforderungen an Bauteile in Richtung hoher Qualitäten angepasst werden (siehe Tabelle 1.9 und Abb. 1.20).
- Förderungen sollten vor allem dem Bestandserhalt in Verbindung mit energetischen Modernisierungen dienen. Der Wechsel von fossilen hin zu erneuerbaren Heizsystemen (Wärmepumpen, Fernwärme) ist hierbei miteinzubeziehen.
- Ein hoher CO₂-Preis mit Pro-Kopf-Rückvergütung ist nicht nur als Marktinstrument mit sozialem Ausgleich wirksam, sondern setzt auch Anreize für eine breite Anwendung der Suffizienzstrategien.
- Zur Verknüpfung des schnellen Ausbaus der Erneuerbaren mit den Zielen Diversifizierung, Energiesicherheit und Akzeptanz sollten künftig Bürgerenergieanlagen, Mieterstrommodelle und kommunale Investitionen privilegiert werden.
- Für den Aufbau einer Senkenökonomie sind Vergütungsmodelle für die Schaffung von CO₂-Senken zu etablieren.

Abbildung 1.34:
Blick vom Münchener Olympiaberg Richtung Westen auf das Häusermeer. Hier wird die enorme Herausforderung sichtbar, den Gebäudebestand innerhalb der nächsten drei Jahrzehnte energetisch zu sanieren und erneuerbar zu versorgen. Nur so kann ein Paris-kompatibler Umbau des Gebäudeparks gelingen.

