



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Autorinnen und Autoren

Dr. Jan Steinbach
Jana Deurer
Charlotte Senkpiel
Julian Brandes
Judith Heilig
Jessica Berneiser
Dr. Christoph Kost

BBSR-
Online-Publikation
23/2021

Wege zur Erreichung eines klima- neutralen Gebäudebestandes 2050



Foto: privat

Liebe Leserinnen und Leser,

Deutschland soll gemäß der Novelle des Klimaschutzgesetzes bis 2045 klimaneutral werden. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) in allen Sektoren stark zurückgehen. Ein wichtiges Zwischenziel ist das Jahr 2030. Für den Zeitraum bis 2030 legt das Gesetz für die einzelnen Sektoren maximale Jahres-Emissionsmengen fest. Der Gebäudesektor ist derzeit für rund 16 % der THG-Emissionen in Deutschland nach dem Quellprinzip verantwortlich.

Wenn die aktuellen Randbedingungen so bleiben, werden die Ziele im Gebäudesektor deutlich verfehlt. Die vorliegende Studie stellt dar, welche Lücke sich für den Sektor unter Beibehaltung des aktuellen Rechts- und Förderrahmens ergibt. Darüber wird anhand eines Szenarios gezeigt, wie die vollständige Reduktion der THG-Emissionen bis 2050 gelingen kann.

Obgleich die Studie auf der ursprünglichen Zielvorgabe des Klimaschutzgesetzes 2019 für eine vollständige Reduktion der THG-Emissionen bis 2050 basiert, wird darin ebenfalls aufgezeigt, dass eine Klimaneutralität auch bis 2045 gelingen kann. Um das zu erreichen, sind sowohl eine Erhöhung der Sanierungsaktivität als auch eine Wärmewende hin zu einer strombasierten Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen erforderlich. Die Autoren weisen diesbezüglich auf die Notwendigkeit hin, den Fachkräfte- und Weiterbildungsbedarf zukünftig noch stärker in den Fokus zu rücken. Daneben verdeutlicht die Studie, dass eine klimaneutrale Zukunft in Bezug auf alle Sektoren nur bei einer emissionsfreien Stromerzeugung durch einen massiven Ausbau der erneuerbaren Energien möglich ist.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit sind insbesondere für die Anpassung des bestehenden Rechts- und Förderrahmens im Gebäudebereich relevant. Zusätzlich können sie als Grundlage dienen, um notwendige neue Anreizinstrumente für eine weitere Minderung der THG-Emissionen im Gebäudebereich zu entwickeln. Deshalb richtet sich diese Studie insbesondere an Personen, welche sich mit der Weiterentwicklung von ordnungsrechtlichen und förderrechtlichen Maßnahmen des klimaneutralen Bauens auseinandersetzen, aber auch an alle interessierten Leserinnen und Leser mit gebäudetechnischem Hintergrund.

Ich wünsche eine erkenntnisreiche Lektüre.

Dr. Robert Kaltenbrunner
Stellvertretender Leiter des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

Inhaltsverzeichnis

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis | X |
| Kurzfassung | 1 |
| Executive summary | 3 |
| Zusammenfassung | 5 |
| 1 Hintergrund und Zielsetzung | 12 |
| 1.1 Klimaneutralität als politisches Ziel in Deutschland und der EU..... | 12 |
| 1.2 Zielsetzung und Vorgehen..... | 12 |
| 1.3 Abgrenzung Gebäudebereich | 13 |
| 2 Beschreibung des methodischen Vorgehens | 16 |
| 2.1 Analyse bestehender Studien für den Gebäudebereich | 16 |
| 2.2 Szenarienentwicklung | 16 |
| 2.3 Modellierung eines Trendszenario | 18 |
| 2.4 Modellierung eines Zielszenarios | 18 |
| 3 Bestehende Ziel- und Referenzszenarien für den Gebäudesektor | 21 |
| 3.1 Vergleich aktueller Referenzszenarien und ESG-Referenz | 21 |
| 3.2 Auswertung von Zielszenarien für den Gebäudebereich | 25 |
| 3.3 Zusammenfassung | 42 |
| 4 Rahmendaten für die Szenarienentwicklung | 43 |
| 4.1 Allgemeine Rahmendaten | 43 |
| 4.2 Rahmendaten für das Trendszenario | 52 |
| 4.3 Rahmendaten für das Zielszenario..... | 59 |
| 5 Ergebnisse Trendszenario | 63 |
| 5.1 Endenergiebedarf und THG-Emissionen im Gebäudesektor | 63 |
| 5.2 Sanierungsmaßnahmen und Neubauten | 66 |
| 5.3 Marktanteile der primären Wärmeversorgungssysteme im Gebäudesektor | 71 |
| 5.4 Investitionen in Wärmeversorgung | 77 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.5 | Sensitivität - Berücksichtigung technologischer Lerneffekte bei Wärmeversorgungssystemen | 77 |
| 5.6 | Zusammenfassung und Fazit | 81 |
| 6 | Ergebnisse Zielszenario | 85 |
| 6.1 | Energiebedarf und THG-Emissionen im Gebäudesektor | 85 |
| 6.2 | Sanierungsmaßnahmen und Neubauten | 87 |
| 6.3 | Zusammensetzung der Wärmeversorgungstechnologien im Gebäudesektor | 94 |
| 6.4 | Entwicklung der Wärmebereitstellung in Wärmenetze | 101 |
| 6.5 | Energiebedingte THG-Emissionen aller Sektoren im Vergleich..... | 102 |
| 6.6 | Entwicklung des Energiesystems | 106 |
| 6.7 | Zusammenfassung und Fazit | 110 |
| 7 | Vergleich Trend- und Zielszenario | 112 |
| 7.1 | Einordnung der Ergebnisse unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Untersuchungsansätze..... | 112 |
| 7.2 | Vergleich der Ergebnisse | 113 |
| 7.3 | Anforderungen und Hemmnisse zur Realisierung des Zielpfades..... | 114 |
| | Literaturverzeichnis | 118 |
| | Anhang | 123 |

Abbildung in den Modellen jedoch nur bedingt möglich. Als Ambitionsniveau wird im kostenoptimalen Zielsystem das Sanierungspaket mit einer Reduktion des Heizwärmebedarfs um 50 % (~KfW70 bis KfW55 (mittelfristig)) im Modell gezogen. Eine ambitioniertere Sanierungstiefe wird in der Optimierung hingegen nicht erreicht, da Sanierungsmaßnahmen mit höheren Reduktionen in der Gesamtsystembetrachtung ohne Förderung sowie ohne Steuern und Abgaben auf die Energiepreise im Vergleich zu alternativen Maßnahmen „teurer“ sind.

- Im Trendszenario werden zum größten Teil Standardsanierungen entsprechend den Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes durchgeführt. Der Anteil der KfW55 Sanierungen steigt im Zeitraum nach 2030 aufgrund der höheren Energie- und CO₂-Preise deutlich an.

Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Gebäudesektor

Im Trendszenario resultiert bis 2050 eine höhere Reduktion des Endenergieverbrauchs als im Zielszenario aufgrund der höheren Sanierungsaktivität.

- Der Endenergieverbrauch im Zielszenario sinkt bis 2030 um 20 % und bis 2050 um 30 % gegenüber 2018. Im Trendszenario beträgt der Rückgang des Endenergieverbrauchs 13 % bis 2030. Aufgrund der höheren Sanierungsaktivität nach 2030 sinkt der Endenergieverbrauch von 2018 bis 2050 um 43 %.
- Dabei kann die Reduktion des Endenergieverbrauchs im Trendszenario anhand der Modellierungsergebnisse folgendermaßen aufgeschlüsselt werden:
 - 186 TWh der Endenergieverbrauchsreduktion sind auf energetische Gebäudesanierungsmaßnahmen zurückzuführen
 - 126 TWh entfallen auf den Austausch der Wärmeversorgungssysteme
 - 53 TWh sind auf steigende durchschnittliche Temperaturen aufgrund des Klimawandels zurückzuführen

Entwicklung der Wärmeversorgung und Marktanteile

Im Trendszenario wird durch Fortschreibung der derzeitigen Förderinstrumente und unter Annahme eines steigenden CO₂-Preises eine Trendwende im Heizungsmarkt erst deutlich nach 2030 erreicht.

- Der Heizungsmarkt wird derzeit noch durch Gas- und Heizöl betriebene Wärmeversorgungssysteme mit über 90 % Marktanteil bei den Neuinstallationen dominiert. Im Trendszenario sinkt deren Marktanteil bis 2050 auf 14 %.
- Im Jahr 2030 haben gasbetriebene Wärmeversorgungssysteme mit 55 % immer noch den höchsten Marktanteil bei den Neuinstallationen.
- Ab dem Jahr 2040 sind Wärmepumpen im Trendszenario die dominierende Technologie mit Marktanteilen von 30 bis 40 %. Bis zum Jahr 2050 werden insgesamt rund 7 Mio. zusätzliche Wärmepumpen installiert und 12,5 Millionen fossile Wärmeversorgungssysteme.
- Mit Bezug auf die Marktanteile der Technologien in den verschiedenen Baualtersklassen der Gebäude werden Gaskessel in allen Gebäuden gleichermaßen installiert. Der größte Anteil der Gaskessel wird aufgrund der Fördermaßnahmen als Hybridsysteme in Kombi-

nation mit Solarthermie installiert. Der Anteil der Hybridheizungen an den neu installierten Gaskesseln steigt von 75 % im Zeitraum 2020 bis 2030 auf 86 % im Zeitraum nach 2030 bis 2050.

- Bei Wärmepumpen entfällt der größte Anteil auf Neubauten, die im Zeitraum bis 2050 errichtet werden. Insgesamt werden in diesen Gebäuden rund 2 Mio. Wärmepumpen installiert. Im Bereich des Heizungstausches werden die meisten Wärmepumpen (rund 1,7 Mio.) in jüngeren Gebäudebeständen mit Baualtersklassen ab dem Jahr 1995 installiert. Allerdings werden Wärmepumpen im Szenario auch im sanierten Gebäudebestand vor 1978 installiert. So entfallen auf Gebäude mit Baualtersklasse 1949 bis 1978 insgesamt 1,4 Mio. neu installierte Wärmepumpen.
- Biomassekessel werden dagegen zu höheren Anteilen in älteren Gebäuden installiert. Der höchste Anteil entfällt auf den Austausch in Gebäuden mit Baualtersklasse 1949 bis 1978 mit rund 1,5 Mio. neu installierten Biomassekesseln bis 2050.

Die Ergebnisse des Zielszenarios zeigen, dass die zentrale Stellschraube zur Schließung der aus dem Trendszenario resultierenden Ziellücke in der Transformation der Wärmeversorgung liegt.

- Das Ergebnis einer kostenoptimalen Wärmeversorgung des Gebäudebestands aus Gesamtsystemperspektive erfolgt **zu 56 % aus Wärmepumpen** (Strom und Umweltwärme) und **zu 25 % über Wärmenetze** im Jahr 2050. Die **Wasserstoffbrennstoffzelle spielt mit 6%** der Wärmeversorgungssysteme eine untergeordnete Rolle, während deren Rolle im Gebäudesektor durch die Abhängigkeit der Infrastruktur noch genauer untersucht werden muss.
- Die Wärmebereitstellung über **synthetische EE-Gase oder Biogas** erfolgt im Zielsystem nur zu marginalen Anteilen, da diese Energieträger vorrangig in den anderen Verbrauchssektoren Verwendung finden.
- **Wärmepumpen** haben im Zielszenario bereits ab 2025 bei allen Gebäudetypen **Marktanteile von über 65 %**.
- Bis zum Jahr 2030 **werden im Bestand rund 6 Mio. Wärmepumpen** erreicht. Bis zum Jahr 2050 steigt die Zahl der installierten **Wärmepumpen auf 19 Millionen**. Notwendige Voraussetzung hierfür sind Maßnahmen zur Reduktion der Heizkreistemperaturen in Bestandsgebäuden, sowie ein gezielter Austausch von Radiatoren sowie (Teil-) Sanierungen.

Relevanz der Technologie- und Marktentwicklung für die Ergebnisse

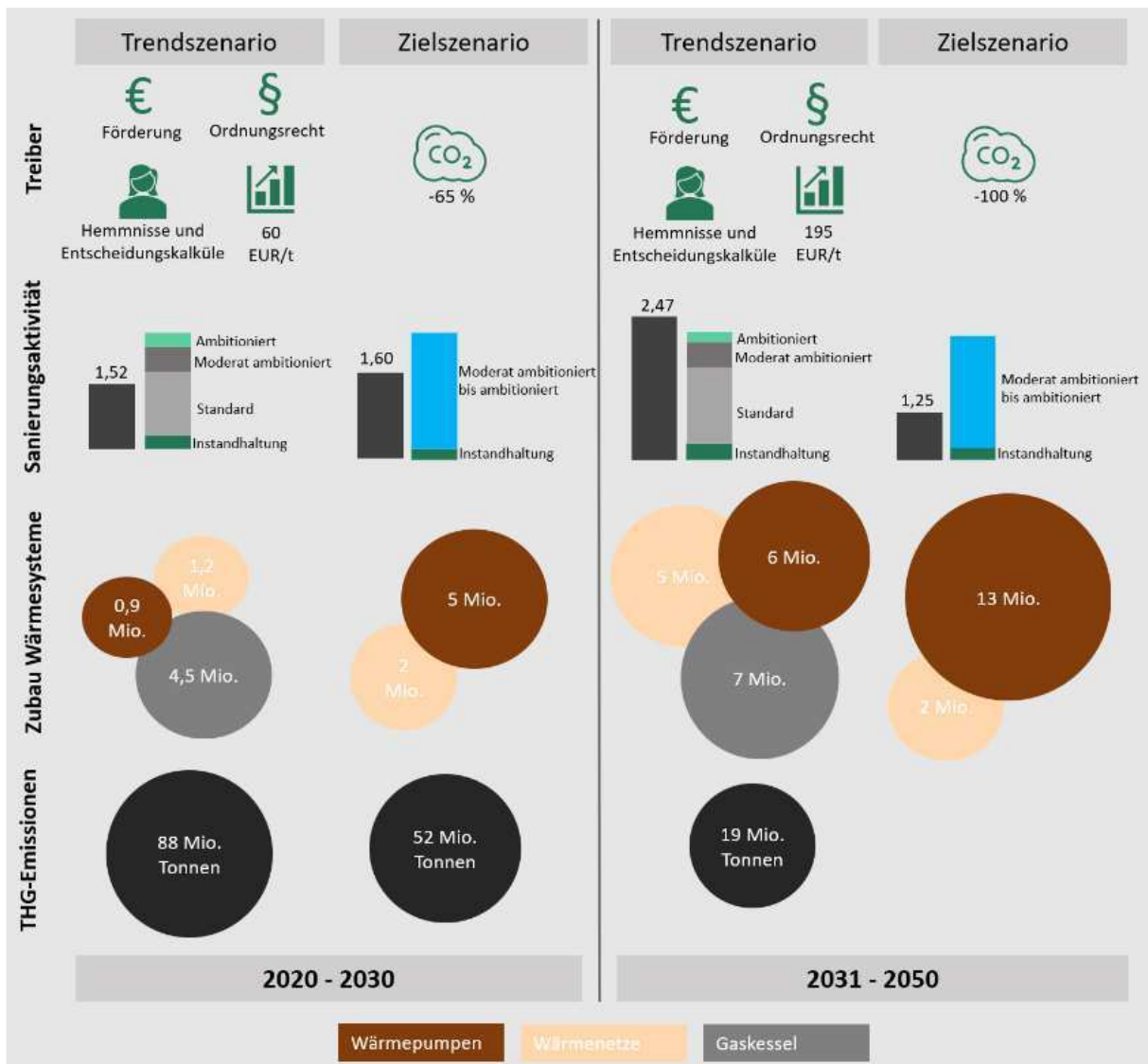
Eine Reduktion der Investitionskosten durch technologischen Fortschritt und Marktentwicklung auf Ebene der Handwerker:innen hat einen signifikanten Einfluss auf die resultierenden THG-Emissionen im Gebäudebereich.

- Im Zielszenario wird angenommen, dass technische Entwicklungen bei erneuerbaren Wärmeversorgungssystemen realisiert werden können und am Markt durch geringere Investitions- und Installationskosten weitergegeben werden.
- Im Trendszenario wird hingegen unterstellt, dass die spezifischen Investitionen für Wärmeversorgungssysteme über den Simulationszeitraum konstant bleiben. Um den Einfluss von technologischem Wandel und Marktentwicklung auf Ebene der Handwerker:innen zu

untersuchen, wird eine Sensitivität mit Bezug auf einen Rückgang der spezifischen Investitionen modelliert. Hierbei resultiert ein deutlich schnellerer Umstieg auf erneuerbare Energien Wärmeversorgungssysteme bereits vor dem Jahr 2030. Diese erreichen in der Sensitivitätsrechnung **bereits im Jahr 2025 einen Marktanteil bei den Neuinstallationen von über 70 %**. Dadurch werden bis zum Jahr 2030 zusätzlich 8 Mio. t CO₂e im Trendszenario eingespart.

Abbildung 1 fasst noch einmal wichtige Ergebnisse des Trend- und Zielszenarios zusammen und verdeutlicht die unterschiedliche Fragestellung anhand der zentralen Treiber für die Entwicklung des Gebäudebestandes.

Abbildung 1: Zusammenfassung und Vergleich Ziel- und Trendszenario



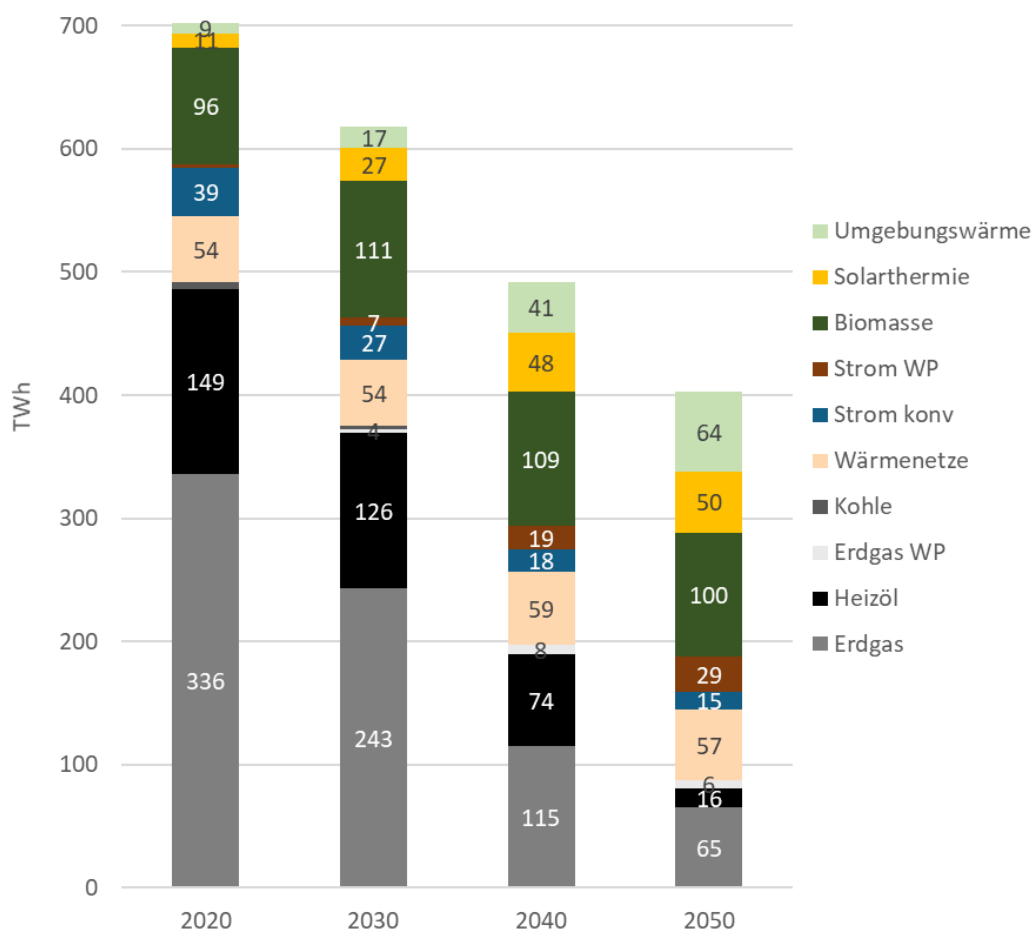
5 Ergebnisse Trendszenario

Im Folgenden werden die Ergebnisse des modellierten Trendszenarios hinsichtlich Endenergiebedarf, Treibhausgasemissionen, Wärmeversorgungssystemen sowie Sanierungsmaßnahmen beschrieben. Im Trendszenario werden keine technologischen Lerneffekte der Wärmeversorgungssysteme angenommen, dafür wird in Kapitel 5.5 eine Sensitivität des Trendszenarios beschrieben, welche diese technologischen Entwicklungen berücksichtigt.

5.1 Endenergiebedarf und THG-Emissionen im Gebäudesektor

Abbildung 37 zeigt die Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern im Trendszenario im Zeitraum 2020 bis 2050¹³.

Abbildung 37: Entwicklung des Endenergiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden (GHD) im Trendszenario

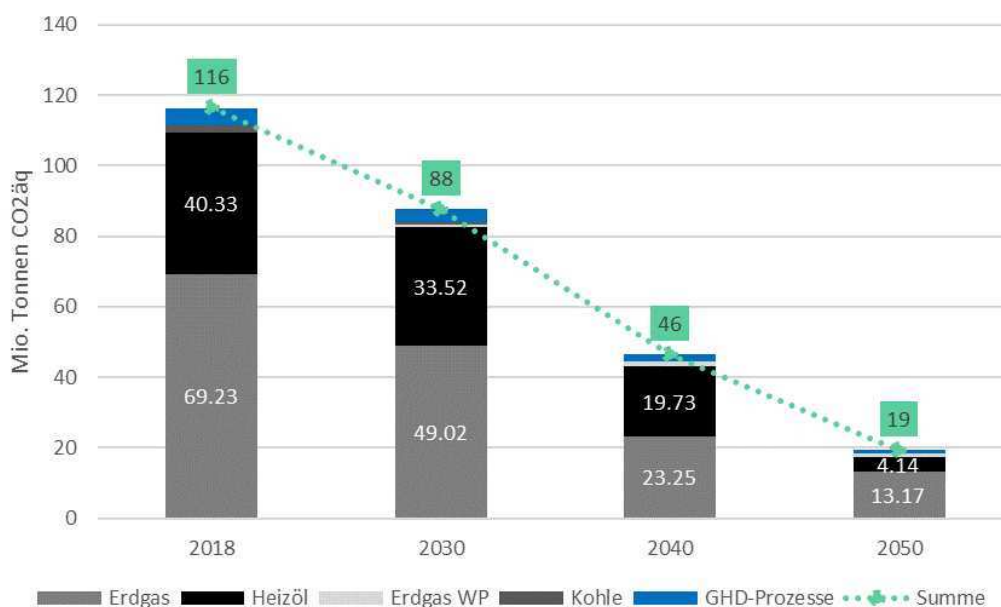


¹³ Bilanzraum ist hierbei der Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser für Wohngebäude (Private Haushalte) und Nichtwohngebäude (GHD)

Der Endenergiebedarf reduziert sich im Zeitraum 2018 bis 2030 um 13 % und von 2018 bis 2050 um 43 %. Mit Bezug auf die eingesetzten Energieträger führen die simulierten Investitionsentscheidungen unter den angenommenen Rahmenbedingungen zu einer Verschiebung von Erdgas zu Wärmepumpen (Umgebungswärme und Strom WP) und Biomassekesseln¹⁴. Auch der Anteil der kombinierten Anlagen mit Solarthermie wächst deutlich und beträgt im Jahr 2050 rund 12 %. Der Anteil von Wärmenetzen ist dagegen konstant. Im Jahr 2030 tragen Wärmenetze zu 9 % und im Jahr 2050 zu 14 % zum Endenergiebedarf bei. Dezentrale EE-Wärme erreicht so bis 2030 einen Anteil von 25 % und bis 2050 einen Anteil von 53 %. Der Anteil fossil betriebener Heizkessel mit Erdgas und Heizöl an der Wärmeerzeugung liegt im Jahr 2050 bei 20 %, Wärmepumpen haben einen Anteil von 23 %.

Abbildung 38 zeigt die Entwicklung der Treibhausgase im Trendszenario nach Energieträgern, entsprechend der Abgrenzung des Gebäudesektors nach der dem KSG zugrundeliegenden THG-Inventarrechnung.

Abbildung 38: Treibhausgasemissionen des Trendszenarios nach Energieträgern



Anmerkung zur Abbildung: 2018er Werte basierend auf AGEB Anwendungsbilanzen (Stand September 2020). Die Jahre 2030, 2040 und 2050 sind Ergebnisse der Berechnung mit Invert/ee-Lab

Die THG-Emissionen umfassen dabei nicht nur die thermische Konditionierung von Gebäuden im Haushalts- und GHD-Sektor, sondern auch weitere Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen, die nach der Anwendungsbilanz der Energiebilanz dem Prozesswärmebereich im GHD Sektor bzw. im Falle von mobilen Quellen dem Bereich Militär und damit dem Verkehrssektor zugeordnet sind. Diese nicht der thermischen Konditionierung des Gebäudesektors zurechenbaren THG-Emissionen umfassen 4,8 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2018. Insgesamt sinken die THG-Emissionen für den Gebäudesektor von 116 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten in 2018 auf 19 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente in 2050.

¹⁴ Bei Biomasse ist ein konstanter Anteil von 45 TWh für Kaminöfen enthalten.

In der Modellierung werden dabei die Auswirkungen des Klimawandels auf die Veränderung der durchschnittlichen Monatstemperaturen berücksichtigt, was zu einer Reduktion der Heizgradtage führt (vgl. Abschnitt 4.1.3). Abbildung 39 zeigt die durch den Klimawandel angenommene Änderung der monatlichen Durchschnittstemperatur im Zeitraum von 2018 bis 2050 und den Mittelwert. Eine Steigerung der Temperaturen ist vor allem in den Wintermonaten von November bis März zu beobachten, während die Änderung der Durchschnittstemperaturen in den Sommermonaten gering ausfällt. Auf Basis der hinterlegten Temperaturen für 2018 und der Reduktion der Heizgradtage berechnet das Modell Invert/ee-Lab die Temperaturen in den Folgejahren.

Abbildung 39: Monatliche Durchschnittstemperaturen im Zeitraum 2018 bis 2050

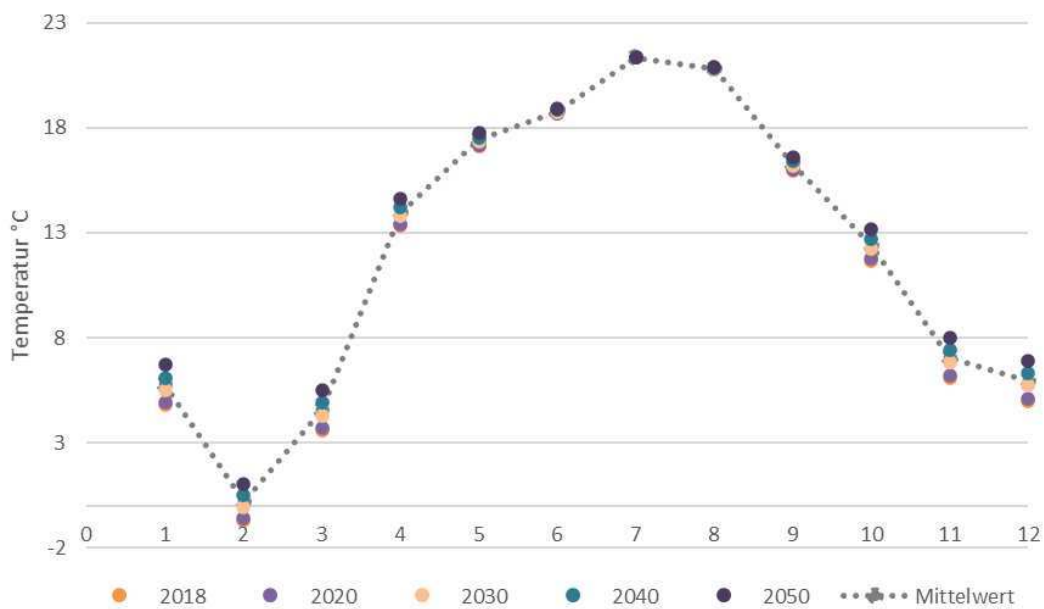
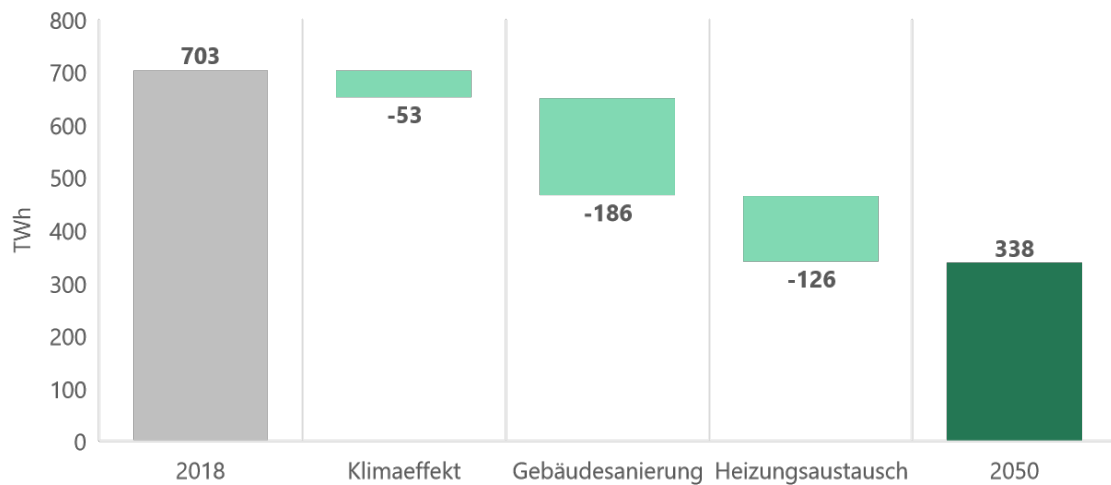


Abbildung 40 zeigt die Dekomposition der Endenergiebedarfsreduktion zwischen 2018 und 2050. Die detaillierte Auswertung der Modellergebnisse zeigt, dass höhere durchschnittliche Temperaturen allein zu einer Einsparung von 53 TWh pro Jahr bis zum Jahr 2050 führen. Der größte Effekt wird durch die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle erreicht, die zu 186 TWh Einsparungen pro Jahr führen. Auch durch den Wechsel der Wärmeversorgungssysteme wird mit 126 TWh eine hohe Wirkung erzielt¹⁵.

¹⁵ Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei der Dekompositionsanalyse Umweltwärme und Solarthermie nicht als Energiebedarf verbucht werden, somit führt der Ausbau von Wärmepumpen und Solarthermie als Effizienzmaßnahme zu einem zusätzlichen Rückgang des Endenergiebedarfs, der in der Darstellung unter „Heizungstausch“ bilanziert wird.

Abbildung 40: Einfluss des Klimateffektes, der Gebäudesanierung und des Heizungsaustauschs auf den Endenergiebedarf im Trendszenario



Anmerkung: Endenergiebedarf ohne Umweltwärme und Solarthermie

5.2 Sanierungsmaßnahmen und Neubauten

Abbildung 41 zeigt die Entwicklung der Sanierungsrate im Trendszenario. Diese steigt bis zum Jahr 2040 auf 2,6 % an, sinkt im Anschluss jedoch wieder auf 2,3 %. Die Sanierungsrate wird modellendogen ermittelt. Die Veränderungen der Sanierungsrate ergeben sich dabei zum einen durch eine Veränderung der Wirtschaftlichkeitsbedingungen, die im Modell über die Sensitivität mit Bezug auf die Energiekosten abgebildet ist. Die in dem Szenario unterstellte Energiepreisentwicklung mit einer hohen CO₂-Bepreisung führt somit zu einem Anstieg der Sanierungsrate. Zum anderen bildet das Modell die Sanierungszyklen des Gebäudebestandes über eine Verteilungsfunktion in Abhängigkeit des Baualters und der letztmaligen Sanierung der Referenzgebäude in den Eingangsdaten ab. Somit ist die Steigerung der Sanierungsrate nicht primär auf politische Maßnahmen, sondern auf den Instandsetzungszyklus im Gebäudebestand zurückzuführen, der zu der Steigerung der Sanierungsrate bis zum Jahr 2040 führt.