

Energiewende-Outlook: Kurzstudie Wärme

*Eine Untersuchung
verschiedener Strategien
zur Sicherstellung einer
erfolgreichen Energiewende
im Wärmebereich.*



Energiewende-Outlook: Kurzstudie Wärme

*Eine Untersuchung
verschiedener Strategien
zur Sicherstellung einer
erfolgreichen Energiewende
im Wärmebereich.*

Energiewende-Outlook: Kurzstudie Wärme

Herausgegeben von der PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft

Von Dr. Volker Breisig, Dr. Peter Claudy, Philipp Kohlmorgen, Stephan Tillner, Peik Uhr
und Mustafa Zein

Januar 2015, 64 Seiten, 35 Abbildungen, 3 Tabellen, Softcover

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigungen, Mikroverfilmung, die Einspeicherung und Verarbeitung
in elektronischen Medien sind ohne Zustimmung der Herausgeber nicht gestattet.

Die Inhalte dieser Publikation sind zur Information unserer Mandanten bestimmt. Sie entsprechen
dem Kenntnisstand der Autoren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung. Für die Lösung einschlägiger
Probleme greifen Sie bitte auf die in der Publikation angegebenen Quellen zurück oder wenden sich
an die genannten Ansprechpartner. Meinungsbeiträge geben die Auffassung der einzelnen Autoren
wieder. In den Grafiken kann es zu Rundungsdifferenzen kommen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis.....	8
A Executive Summary	9
B Einleitung	15
C Stand der Energiewende im Wärmebereich	16
D Herausforderungen der Energiewende im Wärmebereich	22
1 Reduzierung des Wärmebedarfs	22
1.1 Analyse des Wärmebedarfs der privaten Haushalte.....	25
1.2 Analyse des Wärmebedarfs der Industrie	30
1.3 Analyse des Wärmebedarfs im GHD-Sektor	31
1.4 Studienprognosen zur zukünftigen Entwicklung des Wärmebedarfs	32
2 Reduzierung des Primärenergieverbrauchs und Verbesserung der CO ₂ -Emissionsfaktoren	34
2.1 Verbesserung der technischen Wirkungsgrade der Wärmeerzeuger	34
2.1.1 Verbesserungen auf verschiedenen Ebenen der Energiebilanz (Endenergie- und Primärenergieverbrauch)	34
2.1.2 Verbesserung der Effizienz einzelner Technologien	35
2.2 Optimierung der CO ₂ -Emissionsfaktoren	38
2.3 Entwicklungen und Trends im Wärmebereich.....	39
2.4 Rolle der Erneuerbaren Energien	42
E Szenarioberechnungen	45
1 Referenzszenario	45
1.1 Haushaltsbereich	45
1.1.1 Sanierung von Gebäuden zur Absenkung des Raumwärmebedarfs	45
1.1.2 Austausch von Wärmeerzeugern	46
1.1.3 Prozesswärme und Warmwasser	46
1.2 Besonderheiten bei GHD und Industrie	47
2 Alternativszenarien.....	47
2.1 Abweichung Sanierungsgrad & Sanierungstiefe.....	47
2.1.1 Ausweitung der Sanierungsmaßnahmen	48
2.1.2 Keine Sanierungsmaßnahmen	48
2.2 Stromszenario.....	48
2.3 Gas- und KWK-Szenario	49
2.4 Bio-Szenario	50
2.5 Bio + Sanierungsszenario	50
3 Szenario übergreifende Ergebnisse	51
4 Schlussfolgerungen für die einzelnen Szenarien	53
5 Handlungsempfehlungen.....	56
Anhang	58
Ihre Ansprechpartner.....	61

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Differenzen bei den Gesamtkosten und CO ₂ -Emissionen (2014–2050) gegenüber Referenzszenario	11
Abb. 2	Zusammensetzung der Gesamtkosten	12
Abb. 3	Primär-, Endenergie- und Wärmeverbrauch in Deutschland in TWh.....	16
Abb. 4	Verhältnis Primärenergieverbrauch Wärme zu Endenergieverbrauch Wärme.....	17
Abb. 5	CO ₂ -Emissionen im Wärmesektor	18
Abb. 6	Wärmekosten der privaten Haushalte.....	18
Abb. 7	Entwicklung Verbraucherpreise Haushalte.....	19
Abb. 8	Entwicklung Energiepreise für die Industrie	20
Abb. 9	Entwicklung und Zusammensetzung der Erzeugung zur Deckung des Wärmebedarfs.....	21
Abb. 10	Entwicklung Wärmeverbrauch der verschiedenen Anwendungsbereiche.....	23
Abb. 11	Endenergieverbrauch Raumwärme und Prozesswärme.....	23
Abb. 12	Entwicklung Wärmeverbrauch private Haushalte nach Anwendungsbereichen.....	25
Abb. 13	Entwicklung der Wohnfläche und Bevölkerung	26
Abb. 14	Anzahl Haushalte und Bewohner je Haushalt.....	26
Abb. 15	Entwicklung Endenergieverbrauch Raumwärme je m ² der privaten Haushalte	27
Abb. 16	Studienvergleich für spezifische energiebedingte Investitionskosten der Gebäudehülle.....	28
Abb. 17	Entwicklung und Anwendungsbereiche Wärmeverbrauch Industrie	30
Abb. 18	Entwicklung und Anwendungsbereich Wärmeverbrauch GHD	31
Abb. 19	Endenergieverbrauch Raumwärme in Deutschland	32

Abb. 20	Endenergieverbrauch Wärme in Deutschland.....	33
Abb. 21	Altersstruktur der Öl- und Gasbefeuerungsanlagen in Deutschland 2013	35
Abb. 22	Bestand zentraler Wärmeerzeuger 2013	36
Abb. 23	Investitionskosten verschiedener Heiztechnologien (am Beispiel EFH)	37
Abb. 24	Entwicklung Endenergieverbrauch Fernwärme nach Sektoren	38
Abb. 25	CO ₂ -Äquivalente verschiedener Energieträger	39
Abb. 26	Szenario Anzahl und Struktur von installierten Heizungsanlagen	40
Abb. 27	Wirkungsgrade verschiedener KWK-Anlagentypen.....	41
Abb. 28	Erneuerbarer Endenergieverbrauch für Wärme	43
Abb. 29	Vermeidung von CO ₂ -Emissionen durch EE im Wärmesektor	44
Abb. 30	Entwicklungskorridor für erneuerbare Wärme	44
Abb. 31	Kosten der Wärmeerzeugung	51
Abb. 32	Endenergieverbrauch für Wärme	51
Abb. 33	CO ₂ -Emissionen	52
Abb. 34	Differenzen bei den Gesamtkosten und CO ₂ -Emissionen (2014–2050) gegenüber Referenzszenario	53
Abb. 35	Zusammensetzung der Gesamtkosten.....	54

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Einsparpotenzial für Prozesswärme in der Industrie	31
Tab. 2	Raumwärmebedarf nach Haustyp und Sanierungsstand.....	46
Tab. 3	Szenarienannahmen	58

Abkürzungsverzeichnis

AGEB	Arbeitsgruppe Energiebilanzen
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
EnEV	Energieeinsparverordnung
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EwO	PwC Energiewende Outlook
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GTZ	Gradtagszahl
HH	Private Haushalte
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MFH	Mehrfamilienhaus
PwC	PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
UBA	Umweltbundesamt
WÄG	Wohnhausähnliche Gebäude
WUG	Wohnhausunähnliche Gebäude
ZFH	Zweifamilienhaus

Zur Vereinfachung werden wir in dieser Kurzstudie von Mitarbeitern, Kollegen und Fallbearbeitern geschlechterneutral sprechen. Selbstverständlich werden die Gleichstellungsgrundsätze bei PwC berücksichtigt.

A Executive Summary

Stand der Energiewende im Wärmebereich

Bislang liegen „erst“ 3 bis 4 Jahre Energiewende hinter uns und 30 bis 40 weitere Jahre vor uns. Der Energiewende Outlook von PwC konsolidiert eine Vielzahl von Studien und bietet Kosten-Nutzen-Analysen zu verschiedensten Szenarien. Die Kurzstudie Wärme ist ein Auszug aus dem EwO.

Der Wärmebereich ist für die Umsetzung der Energiewende von entscheidender Bedeutung. Mit rd. 1.500 TWh entfielen 2013 mehr als 50% des Endenergieverbrauchs Deutschlands auf diesen Bereich. Rd. 45% der energiebedingten CO₂-Emissionen, deren Höhe gemeinhin als wichtigster Indikator für die Umweltverträglichkeit gilt, entstanden durch die Wärmeerzeugung und -nutzung.

Die durch die Bereitstellung von Wärme erzeugten CO₂-Emissionen konnten in den letzten Jahren nicht reduziert werden und stiegen 2013 gegenüber dem Vorjahr sogar um rd. 9% an. Insofern kann in der Überblicksbetrachtung die Energiewende im Hinblick auf das Kriterium **Umweltverträglichkeit** im Sinne von reduzierten CO₂-Emissionen im Wärmesektor bisher keine Erfolge vorweisen.

Ein Grund hierfür war, dass sich der Wärmesektor insgesamt noch nicht auf einem Pfad sinkender Energieverbräuche befindet. Zwar wurden Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden mit einer Sanierungsrate von ca. 1% durchgeführt, doch stand dieser Verbesserung eine gestiegene Gesamtwohnfläche in Deutschland gegenüber. Außerdem lag die Sanierungsrate unter der von der Bundesregierung anvisierten Zielmarke von 2%. Auch bei der bisherigen Sanierungsintensität zeigte sich, dass bei einem Großteil der sanierten Gebäude nur Einzelmaßnahmen oder wenige Maßnahmen gleichzeitig durchgeführt wurden und damit oft keine umfassende Sanierung stattfand. Schließlich stagnierte die Entwicklung des Prozesswärmebedarfs in der Industrie sowie des Warmwasserbedarfs.

Zum anderen werden rd. 93% der zentralen Wärmeerzeuger nach wie vor mit fossilen Energieträgern betrieben und dem Einsatz Erneuerbarer Energien kommt bisher eine deutlich geringere Bedeutung als im Strombereich zu. Die fossilen Energieträger setzen sich u. a. zu 43% aus Gaskessel (Heizwert), 26% Ölkessel (Heizwert), 20% Gasbrennwertkessel und 3% Ölbrennwertkessel zusammen. Im Hinblick auf die CO₂-Ziele konnte eine intensivere Nutzung der effizienteren Brennwerttechnik noch nicht in ausreichendem Maße erreicht werden. Zudem erfolgt der Einsatz von Wärmepumpen erst allmählich. Daneben gibt es auch noch Optimierungspotenziale bei der Nutzung von Kraft-Wärme-Koppelung und der Fernwärme. Da schließlich auch die CO₂-Belastung bei der Stromerzeugung in jüngster Zeit – wie in unserer Stromstudie analysiert – eine negative Entwicklung aufwies, wirkte sich dies auch auf den Teil der Wärmeerzeugung, der über den Stromeinsatz erfolgt, entsprechend aus.

Bezüglich der **Wirtschaftlichkeit** bzw. Bezahlbarkeit der Wärmeerzeugung verzeichneten die vergangenen Jahren ebenfalls eine negative Entwicklung, da die Wärmekosten sowohl für die privaten Haushalte als auch die Industrie in der Tendenz deutlich angestiegen sind. Dies war zu einem großen Teil auf seit dem Jahre 2000 zu beobachtenden Preissteigerungen aller für die Wärmebereitstellung relevanten Primärenergieträger zurückzuführen.

In 2014 sind die Preise der Energieträger für die Wärmeerzeugung sowohl für private Haushalte als auch für die Industrie gefallen. Ob diese jüngste Entwicklung tatsächlich nachhaltig ist, wird sich jedoch noch zeigen müssen.

Maßnahmen zur Erreichung der CO₂-Ziele der Bundesregierung und ihre Auswirkungen auf CO₂-Emissionen und Kosten

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Entwicklung bei den CO₂-Emissionen im Wärmebereich in der Vergangenheit stellt sich die Frage, mit welchen Maßnahmen eine signifikante Absenkung der CO₂-Emissionen im Wärmebereich erreicht werden kann. Maßnahmen müssen unseres Erachtens in Anlehnung an die Energiebilanzen an folgenden Stellschrauben ansetzen:

- Senkung des Nutzenergieverbrauchs
- Verbesserung der technischen Wirkungsgrade der Wärmeerzeuger auf den verschiedenen Ebenen der Energiebilanz (Endenergie- und Primärenergieverbrauch) sowie
- Optimierung des Energieträgereinsatzes im Hinblick auf die CO₂-Emissionsfaktoren

Im Rahmen dieser Studie wird zunächst ein Referenzszenario für die Entwicklung des Wärmebereichs bis 2050 festgelegt, das aus unserer Sicht der Fortschreibung der aktuellen Energiewendeentwicklung entspricht. Anschließend werden Abweichungsszenarien definiert und deren Auswirkungen auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen und der Kosten analysiert.

Das Referenzszenario ist dabei kein negatives Szenario, sondern ein realitätsbezogenes, bei dem einerseits – insbesondere bei der Raumwärme – Energieeinsparungen erreicht werden, und andererseits zunehmend effiziente Technologien – wie Brennwertkessel – mit hohen Nutzungsgraden zur Wärmeerzeugung verwendet werden. Bei Neubauten kommen zudem, wie auch im Erneuerbaren Wärmegesetz festgelegt, vermehrt Erneuerbare Energien zum Einsatz.

Im Referenzszenario werden die jährlichen Gesamtkosten der Wärmeerzeugung von rd. 118 Mrd. € in 2014 um rd. 13,5% auf 134 Mrd. € in 2050 ansteigen. Der Endenergieverbrauch für die Wärmeerzeugung wird von rd. 1.410 TWh im Jahre 2014 um rd. 17% auf rd. 1.167 TWh im Jahre 2050 sinken. Hieraus resultieren CO₂-Emissionen in Höhe von 230 Millionen Tonnen, was gegenüber 1990 eine Reduktion um ca. 50% darstellt.

Diese Ergebnisse zeigen, dass ohne weitere Maßnahmen eine Reduzierung der CO₂-Emissionen bis 2050 um 80–95% gegenüber dem Jahr 1990 zumindest über den Wärmebereich kaum zu realisieren ist. Mit Blick auf die hohe Bedeutung des Wärmesektors für die Energiewende erscheint es daher notwendig, die bisherige Strategie zur Erreichung der CO₂-Reduktionsziele im Wärmesektor zu ändern.

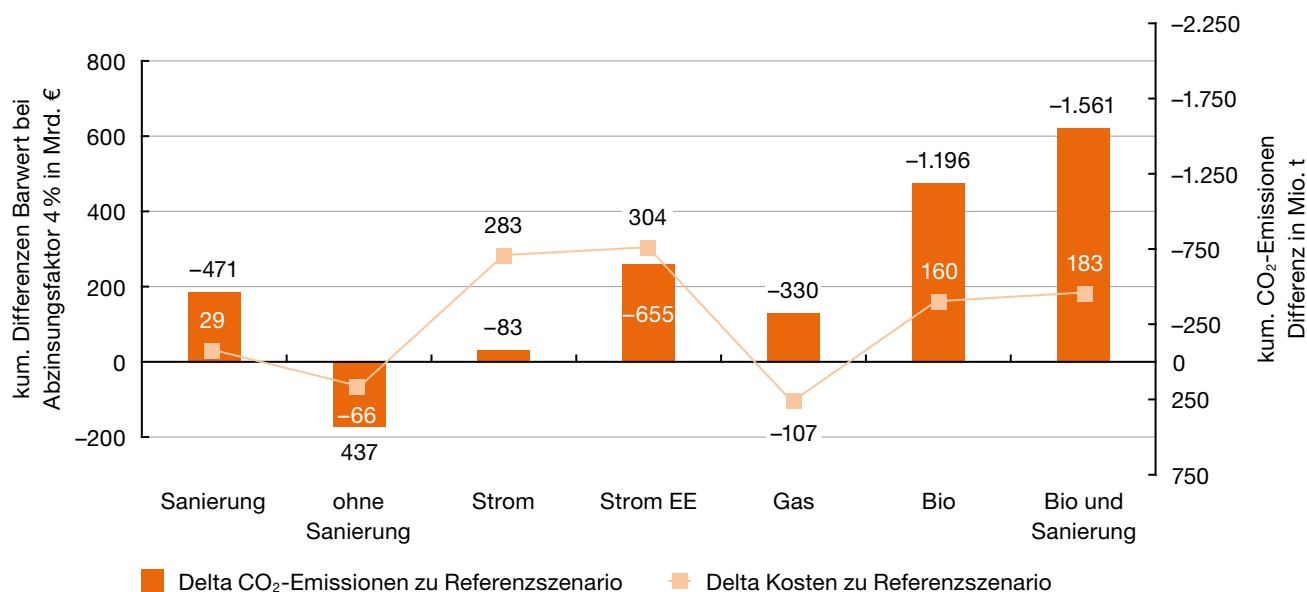
In der Studie werden daher neben dem Referenzszenario, welches die heutige Entwicklung für den Wärmesektor fortschreibt, weiterführende Konzepte in nachfolgend dargestellten Alternativszenarien abgebildet und deren Auswirkungen auf künftige CO₂-Emissionen und Kosten untersucht:

- Verstärkte Energieeinsparung im Gebäudebereich (Sanierungsszenario)
- Nutzung von strombetriebenen Heizungstechnologien (Stromszenario)
- Konsequenter Ausbau von Erdgas- und KWK Anlagen (Gas- und KWK-Szenario)
- Stärkere Nutzung von Bioenergie für die Wärmeerzeugung (Bio-Szenario)
- Kombination des Bio-Szenarios mit dem Sanierungsszenario

Die einzelnen Szenarien und ihre Unterschiede zum Referenzszenario sind in Tabellenform im Anhang dargestellt.

Die folgende Abbildung stellt die jeweiligen Unterschiede bei den Ergebnissen der einzelnen Szenarien im Hinblick auf die kumulierten Gesamtkosten und die kumulierten CO₂-Emissionen im Zeitraum 2014–2050 gegenüber dem Referenzszenario dar.

Abb. 1 Differenzen bei den Gesamtkosten und CO₂-Emissionen (2014–2050) gegenüber Referenzszenario

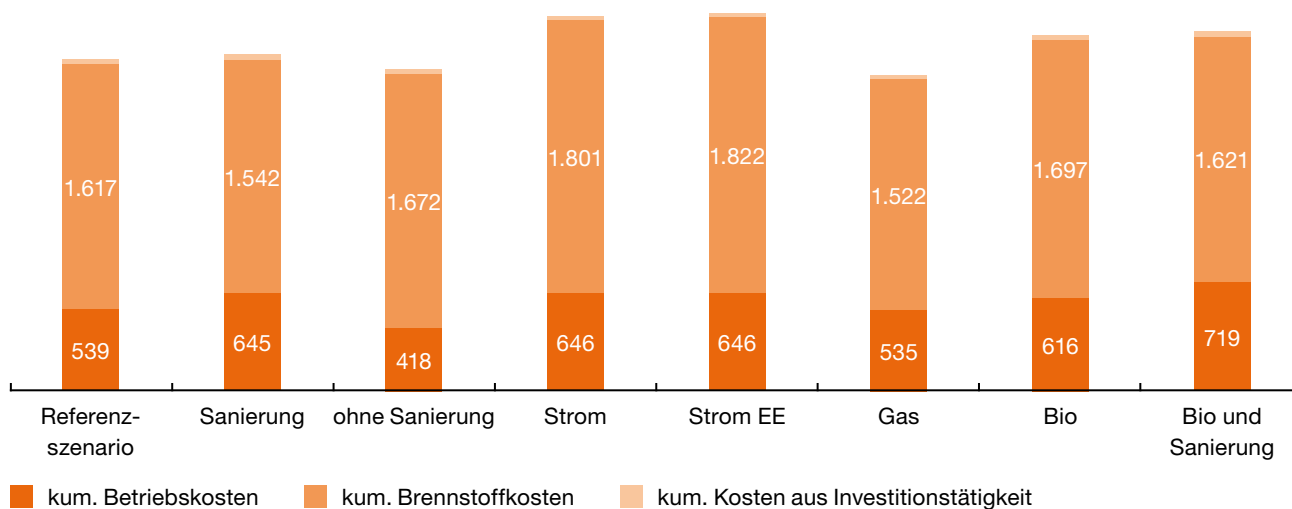


Die Grafik zeigt, dass die Szenarien mit hohen Anteilen Erneuerbaren Energien – das Bio-Szenario, das kombinierte Bio- und Sanierungsszenario sowie das Stromszenario Erneuerbare Energien im Hinblick auf die CO₂-Emissionen die günstigsten Szenarien darstellen. Sie sind aber auch, zusammen mit dem Stromszenario Referenzfall, die Szenarien mit den höchsten Gesamtkosten. Das Sanierungsszenario sowie das Gasszenario führen zu moderaten Abweichungen gegenüber dem Referenzszenario.

Betrachtet man die Zusammensetzung der Gesamtkosten in den einzelnen Szenarien wird deutlich, dass die Brennstoffkosten in allen Szenarien den größten Anteil haben, gefolgt von den Investitionskosten. Die sonstigen Betriebskosten spielen demgegenüber eine eher untergeordnete Rolle.

Abb. 2 Zusammensetzung der Gesamtkosten

kumulierter Barwert (4 % Abzinsungsfaktor) in Mrd. € (2014–2050)



Insgesamt zielten die weiteren Szenarien (mit Ausnahme des Szenarios „ohne Sanierung“) darauf ab, zusätzliche Verbesserungen zu erreichen, die über das hinausgehen, was sich aus der bisherigen Entwicklung ergibt.

Verstärkte Energieeinsparung im Gebäudebereich (Sanierungsszenario)

Mit einer verstärkten Durchführung von Sanierungsmaßnahmen ließe sich der Endenergieverbrauch im Jahre 2050 gegenüber 2014 um rd. 24% absenken gegenüber nur rd. 17% im Referenzszenario oder sogar nur rd. 10% für den Fall, dass keine nennenswerten Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Die CO₂-Emissionen gehen im Sanierungsszenario bis 2050 gegenüber 1990 um rd. 54% zurück (50%-Rückgang im Referenzszenario). Dies setzt allerdings voraus, dass die Einspareffekte, die wir unserer Berechnung zugrunde gelegt haben, auch tatsächlich realisiert werden können. Werden überhaupt keine Sanierungsmaßnahmen durchgeführt, reduzieren sich die CO₂-Emissionen lediglich noch um rd. 45%.

Die zusätzlichen Sanierungsmaßnahmen würden im Betrachtungszeitraum 2014–2050 Mehrkosten von 29 Milliarden Euro und CO₂-Einsparungen von 471 Millionen Tonnen verursachen, was relativ moderate CO₂-Vermeidungskosten von ca. € 62 je Tonne CO₂-Belastung im Vergleich zum Referenzszenario mit sich bringt.

Nutzung von strombetriebenen Heizungstechnologien (Stromszenario)

In dem Stromszenario hat PwC untersucht, wie sich die intensivere Nutzung von Strom zur Wärmeerzeugung auswirkt. Legt man die gegenwärtige Entwicklung der Stromerzeugung nach Inkrafttreten der EEG-Novelle 2014 zugrunde, fallen die Vorteile des Strom- gegenüber des Referenzszenarios im gesamten Zeitraum 2014–2050 gesehen nur sehr schwach ins Gewicht. Bei einem höheren Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung ergibt sich daraus aber ein Vorteil bei den CO₂-Emissionen von immerhin rd. 6%. Aufgrund hoher Stromgestehungskosten käme es zu Mehrkosten von 304 Milliarden Euro bis 2050.

Die CO₂-Bilanz würde sich aber bei beiden Stromszenarien im Zeitverlauf erheblich verbessern. Allein auf das Jahr 2050 bezogen beträgt der entsprechende Vorteil des Stromszenarios Erneuerbare Energien rd. 21 % und des Stromszenarios Referenzfall immerhin noch 13 %, was im Hinblick auf die Erreichung der CO₂-Ziele dafür spricht, mittel-langfristig auch Strom zur Wärmeerzeugung einzusetzen. Auch längerfristig, über 2050 hinaus, würde sich dann der Einsatz erneuerbar erzeugten Stroms zu Wärmezwecken positiv auswirken.

Konsequenter Ausbau von Erdgas- und KWK-Anlagen (Gas- und KWK-Szenario)

In dem Gas- und KWK-Szenario hat PwC untersucht, wie sich ein erhöhter Einsatz von Erdgas, unter vermehrter Einbeziehung von KWK-Anlagen, auswirkt. Sowohl bei den CO₂-Emissionen als auch bei den Gesamtkosten sind die Ergebnisse besser als im Referenzszenario. So entstünden keinerlei CO₂-Vermeidungskosten; die Emissionen könnten im Betrachtungszeitraum 2014–2050 allerdings nur um 3,2 Prozent gegenüber dem Referenzszenario reduziert werden.

Stärkere Nutzung von Bioenergie für die Wärmeerzeugung (Bioszenario)

Gelänge es, wie im Bioszenario angenommen, den Anteil von Biomethan im Gas signifikant (bis zu 20 Prozent in 2050) zu steigern und mehr Holz bei der Wärmeerzeugung einzusetzen, würden die CO₂-Emissionen um 10,8 Prozent sinken, bei Mehrkosten von 160 Milliarden Euro. Letztere entstehen insbesondere durch die erheblich höheren Bezugskosten von Biomethan gegenüber Erdgas. Im Hinblick auf das Bio-Szenario ist hingegen festzustellen, dass der Gewinnung von Biomethan durch Ressourcenknappheit und Verwendungskonkurrenzen gewisse Grenzen gesetzt sind.

Kombination des Bioszenarios mit dem Sanierungsszenario

Selbst in einem kombinierten Szenario mit Einsparungen beim Raumwärmebedarf und hohen Anteilen von Bioenergie kommt PwC nur zu einer Absenkung der CO₂-Belastung von 64 Prozent im Jahr 2050 gegenüber 1990. Dafür fielen dann bereits 183 Milliarden Euro Mehrkosten an. Dies verdeutlicht, dass sich durch geeignete Maßnahmen zwar signifikante Verbesserungen bei der CO₂-Bilanz erreichen lassen, dass aber Einsparungen bei der Wärme in der Größenordnung von 80–95 Prozent gegenüber 1990 dennoch auch in sehr optimistischen Szenarien nicht realistisch erscheinen.

Handlungsempfehlungen

Um ambitionierte Ziele erreichen zu können, die über die Entwicklung im Rahmen des Referenzszenarios hinausgehen, ist also eine tieferegreifende Energiewende – ähnlich wie im Strombereich – auch für den Wärmebereich notwendig.

Dabei kommt bei den Haushalten der Verbesserung der CO₂-Bilanz für Raumwärme und bei der Industrie der Prozesswärme bzw. -kälte eine Schlüsselrolle zu. Die Steigerung der Sanierungsrate und -tiefe hat eine wichtige Bedeutung für die Senkung des Raumwärmebedarfs. Nicht zuletzt aufgrund einer zu erwartenden Steigerung der Wertschöpfung in der Volkswirtschaft lässt sich eine Reduzierung der CO₂-Belastung bei der Prozesswärme nur schwerer realisieren. Effizienzgewinne müssen zunächst einmal den CO₂-Anstieg infolge einer höheren Wertschöpfung kompensieren, bevor es im Prozesswärmebereich zu nennenswerten Einsparungen kommen kann. Vor diesem Hintergrund erscheint es notwendig, geeignete Anreize für die Industrie zur Durchführung von Effizienzmaßnahmen im Prozesswärmebereich zu stellen, um auch dort zu signifikanteren Einsparungen zu kommen.

Über Maßnahmen zur Einsparung des Wärmebedarfs hinaus empfiehlt es sich, auch die Entwicklung von der Wärmeerzeugungsseite her zu flankieren und über geeignete Maßnahmen die bisher moderate Austauschrate von ca. 3 % für alte Wärmeerzeuger zu steigern. Dabei sollten insbesondere Technologien mit hohen Wirkungsgraden – z. B. Gas-Brennwertkessel – und Energieträger mit niedrigen CO₂-Emissionsfaktoren gefördert werden. Eine wichtige Rolle können dabei auch KWK-Anlagen im Nah- und Fernwärmebereich sowie insbesondere mittel- bis langfristig – wenn die CO₂-Vorteile eines Einsatzes von Strom zur Wärmeerzeugung mit der Zeit auf Grund steigender Anteile Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung besser zu Geltung kommen – Wärmepumpen (unter Nutzung von Umweltwärme) spielen.

Darüber hinaus sollte auch im Wärmebereich – wie bei Strom – in größerem Ausmaß Erneuerbare Energien zum Einsatz kommen. Aus verschiedenen Gründen, wie z. B. die Knappheit von Bio-Ressourcen oder ein nur eingeschränktes Einsatzspektrum für Solarthermieranlagen (weshalb sie i. d. R. mit anderen konventionellen Energieträgern kombiniert werden müssen), dürfte sich dies im Wärmebereich etwas schwieriger darstellen als im Strombereich. Trotzdem könnten hier bestehende Möglichkeiten besser genutzt werden. In diesem Zusammenhang wäre aus unserer Sicht beispielsweise ein flexibler Einsatz von Biomethan über das Gasnetz eine Option. Hierdurch könnten auch der Strom- und der Wärmemarkt besser miteinander verknüpft werden, z. B. über stromgeführte KWK-Anwendungen unter Einsatz von Wärmespeichern mit einem Energieträger Erdgas/Biomethan. Schließlich sehen wir auch beim Einsatz von Holzkesseln noch Ausbaupotenzial.

B Einleitung

Zielsetzung der Studie

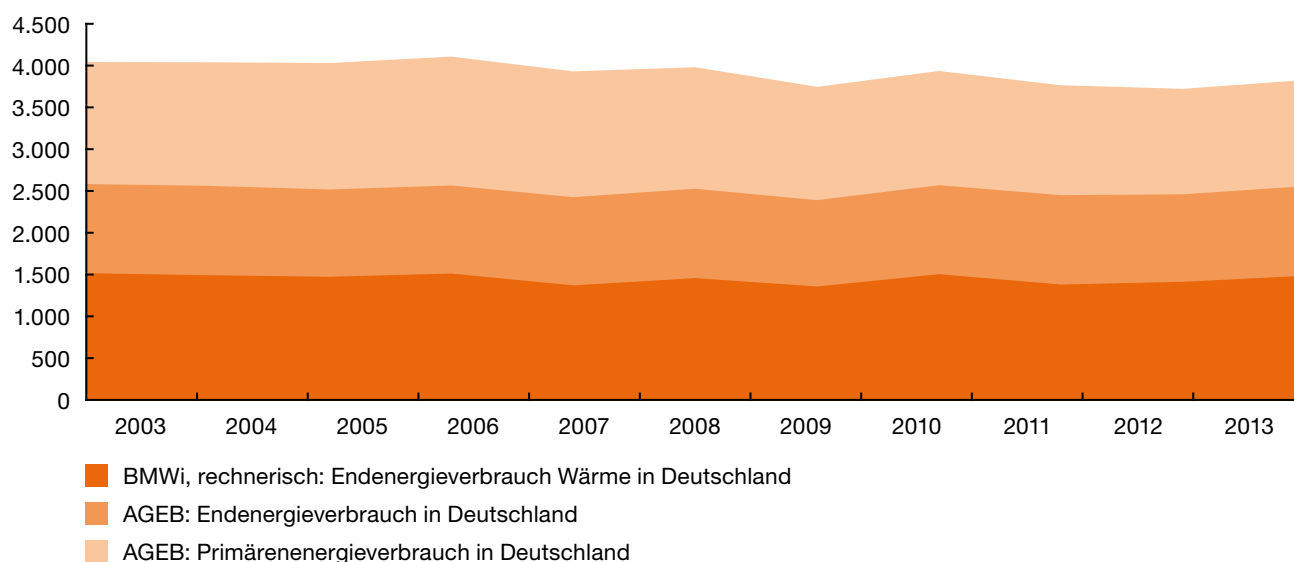
Ziel der vorliegenden Studie ist die Bewertung verschiedener Strategien zur Sicherstellung einer erfolgreichen Energiewende im Wärmebereich. Diese werden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Kriterien des energiepolitischen Dreiecks (Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit) im Rahmen von verschiedenen Szenarien analysiert.

Die Energiewende ist nur dann ein Erfolg, wenn jederzeit die Versorgungssicherheit und die Wirtschaftlichkeit auch unter Einhaltung der anspruchsvollen klimapolitischen Ziele gewährleistet werden. Kernelement der Studie ist daher die Frage, wie der Wärmebedarf reduziert und zukünftig effizient und klimaschonend gedeckt werden kann.

C Stand der Energiewende im Wärmebereich

In Deutschland wurden 2013 1.499 TWh Endenergie für die Wärmeerzeugung aufgewendet.¹ Damit stellt der Wärmesektor über 50 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland dar. Der Wärmebedarf ist dabei 2013 gegenüber 2012 um 5 % gestiegen (2012: 1.427 TWh). In 2014 zeichnet sich wieder ein Rückgang ab.² Der Verbrauch von Endenergie für Wärmezwecke stagniert demnach bzw. sinkt, nach einem Anstieg bis 2013, im Jahr 2014 wieder, was aber zu großen Teilen auf die relativ milden Temperaturen in 2014 zurückzuführen ist.

Abb. 3 Primär-, Endenergie- und Wärmeverbrauch in Deutschland in TWh



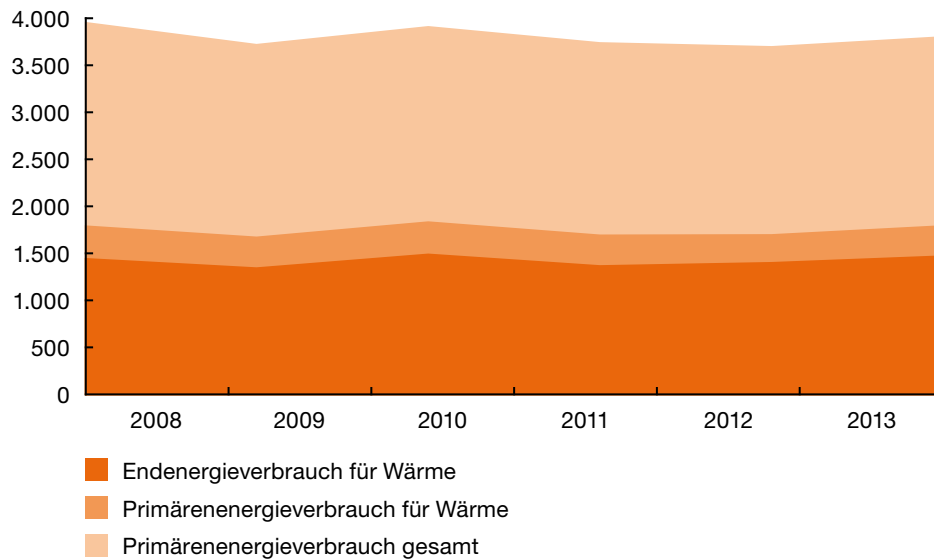
Die Bedeutung des Wärmesektors lässt sich mit einem Vergleich zum gesamten Primär- und Endenergieverbrauch in Deutschland verdeutlichen, wie das in der obigen Abbildung dargestellt ist. Der gesamte Primärenergieverbrauch betrug in den letzten 3–4 Jahren im Mittel etwa 3.850 TWh. Für energetische Zwecke, also für die Stromerzeugung, für die Wärmeerzeugung, für den Verkehr und für sonstige energetische Umwandlungen wurden rd. 3.550 TWh genutzt. Strom steht grundsätzlich erst nach der Umwandlung von Primärenergie in Kraftwerken als Endenergie zur Verfügung. Endenergie für Wärmezwecke kann hingegen zu einem großen Teil unmittelbar durch Verbrennung von Primärenergieträgern (z. B. Erdgas) erzeugt oder aber auch als Abwärme aus der Stromerzeugung nutzbar gemacht werden. Darüber hinaus erfolgt ein Teil der Wärmeerzeugung durch zentrale Heizkraftwerke oder dezentral durch Strom.

¹ Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage der AGEB und der BMWi Energiedaten.

² Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage der AGEB und der BMWi Energiedaten.

Abbildung 4 stellt den Aufwand an Primärenergie dar, der für die Bereitstellung der Endenergie für Wärme notwendig ist. Im Jahr 2013 wurden 1830 TWh Primärenergie aufgewendet um 1499 TWh Endenergie für Wärme zu erzeugen.³ Die Umwandlungsverluste von Primär- zu Endenergie im Wärmebereich sind somit deutlich geringer als zum Beispiel bei der Stromproduktion aus fossilen Energieträgern.

Abb. 4 Verhältnis Primärenergieverbrauch Wärme zu Endenergieverbrauch Wärme

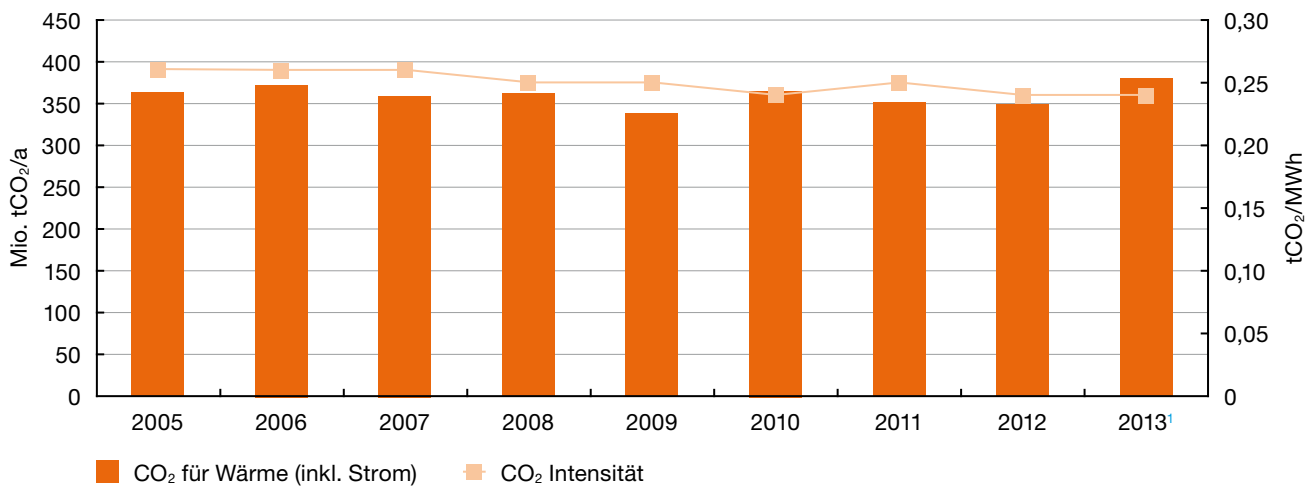


Als Maßstab für den Erfolg der Energiewende hinsichtlich der Umweltverträglichkeit gelten insbesondere die CO₂-Emissionen. Unter der Annahme, dass die „eigentliche“ Energiewende erst im Jahr 2010 eingeleitet wurde und die Umsetzung in ihrer heutigen Ausprägung im Wärmesektor erst in 2011 begann, muss die Bewertung der vergangenen 3 bis 4 Jahre im Vordergrund stehen. Aus diesen Überlegungen heraus findet im Folgenden eine Betrachtung der Entwicklung der CO₂-Emissionen im Wärmesektor statt.

Der Wärmesektor hat maßgeblichen Einfluss auf die CO₂-Emissionen.

³ Eine Berechnung des Primärenergieverbrauchs für Wärme erfolgte durch eine Hochrechnung der Endenergieverbrauchsdaten des BMWi mit Hilfe von Primärenergiefaktoren der EnEV. Die Berechnung des Primärenergiefaktors für Fernwärme erfolgte über die Anlagenstruktur zur Erzeugung der Fernwärme.

Abb. 5 CO₂-Emissionen im Wärmesektor



Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: Mai 2014).

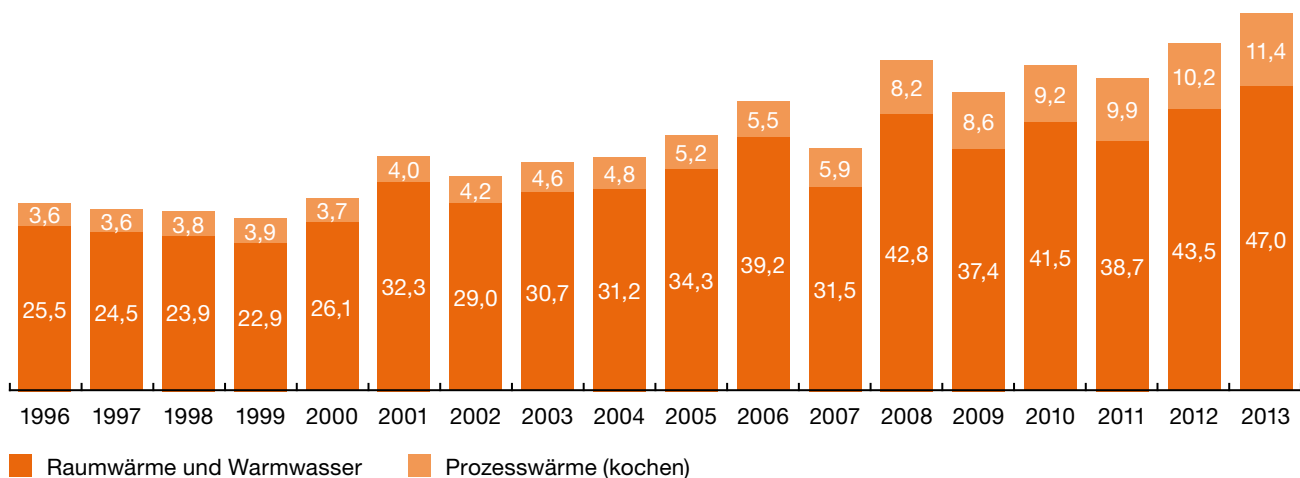
Die CO₂ Emissionen konnten seit 2010 nicht reduziert werden.

Im Jahr 2012 wurden durch den Wärmesektor 350,9 Mio. tCO₂ (inkl. Strom; ohne Strom: 254,0 Mio. tCO₂) erzeugt. Die CO₂-Emissionen sind dabei gegenüber 2011 um 0,6% gefallen (2011: 352,9 Mio. tCO₂ inkl. Strom). In 2013 ergab sich wiederum ein deutlicher Anstieg um 8,9% auf 382,1 Mio. tCO₂.⁴ Seit 2011 sind demnach die Emissionen gestiegen und es kann keine nennenswerte Reduzierung der im Wärmebereich emittierten CO₂-Emissionen festgestellt werden. Hinsichtlich des Kriteriums Umweltverträglichkeit im Sinne von reduzierten CO₂-Emissionen im Wärmesektor können somit bisher keine Erfolge vorgewiesen werden.

Was wiederum das Thema Wirtschaftlichkeit bzw. Bezahlbarkeit der Wärmeerzeugung betrifft, sind die Wärmekosten für Haushalte in den vergangenen Jahren bis 2013 deutlich gestiegen (vgl. Abbildung 6).

Abb. 6 Wärmekosten der privaten Haushalte

in Mrd. €



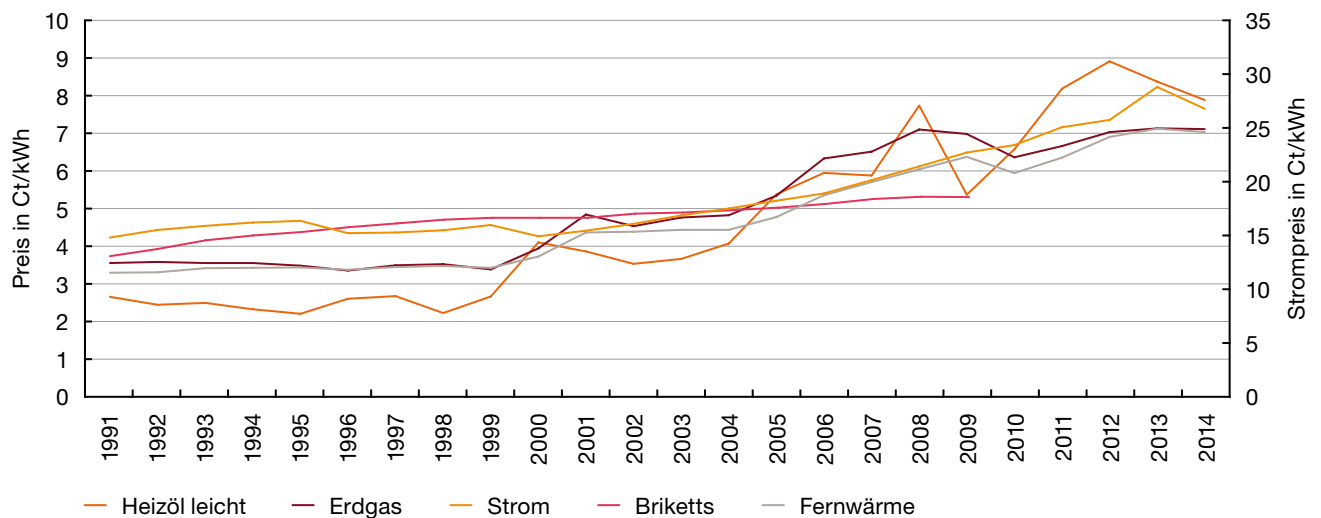
Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: Okt. 2014).

⁴ Emissionen anhand der Energieverbrauchsdaten des BMWi und energieträgerspezifischen Emissionsfaktoren berechnet.

Die privaten Haushalte allein zahlten in 2013 rd. 58 Mrd. € für Wärmezwecke (zum Vergleich: Für Strom waren es „nur“ rd. 39 Mrd. €).⁵ Bezieht man Prozesskälte mit in die Betrachtung ein, beläuft sich der Betrag sogar auf rd. 62 Mrd. €. Pro Kopf ergeben sich damit rd. 760 €.⁶ Die Ausgaben sind gegenüber 2011 um rd. 20% gestiegen.

Die Entwicklung der Wärmekosten wird vornehmlich durch die Preisentwicklung der für die Wärmeerzeugung verwendeten Energieträger und die Zusammensetzung des Energieträgermix zur Wärmeerzeugung bestimmt.

Abb. 7 Entwicklung Verbraucherpreise Haushalte



Quelle: 1991–2011: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: Jun. 2014); 2013–2014: Statista, Statistisches Bundesamt und WIBERA AG, 2014: Hochrechnungen.

Eine Betrachtung der Entwicklung der Preise der Wärmeerzeugung für private Haushalte zeigt einen deutlichen Anstieg seit 2010 und liefert somit eine Erklärung für den Anstieg der Gesamtwärmekosten. Seit Beginn des Jahres 2014 fallen die Preise aller Energieträger aber wieder.

Verbraucherpreise für Energieträger sinken seit 2013.

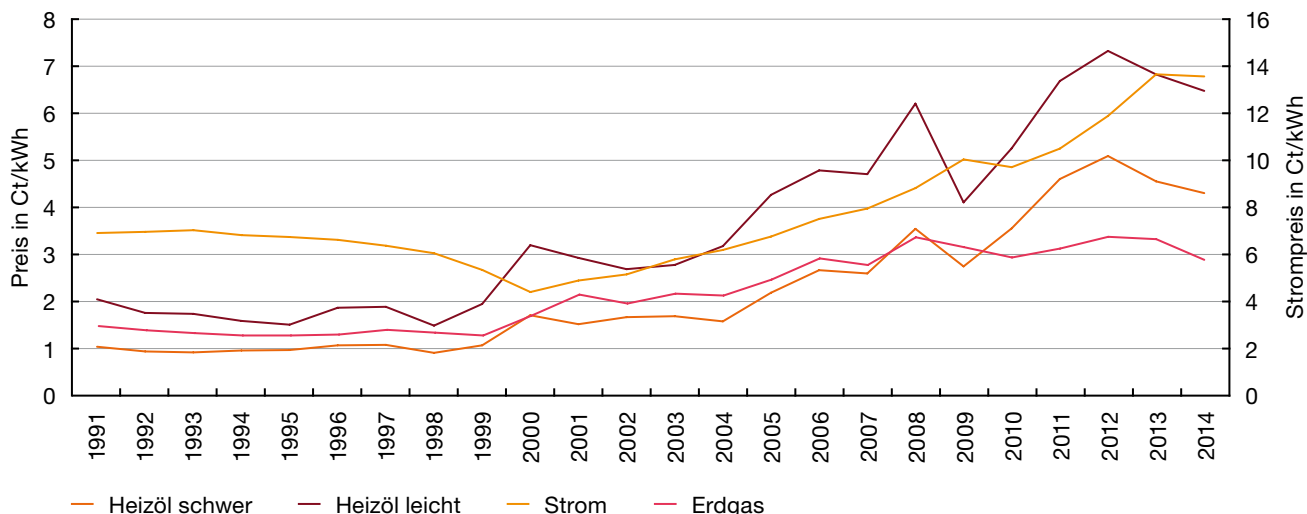
Eine ähnliche Entwicklung ist bei den Energiepreisen des industriellen Sektors zu erkennen. Bis zum Jahr 2012 stiegen die Energiepreise fast kontinuierlich an. Bis auf Strom (+14%) sinken jedoch bereits seit 2013 wieder die Energiepreise für die Industrie. Für 2014 wird ein Preisrückgang aller Endenergieträger im industriellen Sektor erwartet.

⁵ Eigene Hochrechnung auf Basis der Energiedaten des BMWi (Stand: Okt. 2014).

⁶ Bevölkerung 2013: 82,1 Mio.; Quelle: BMWi (2013).

Abb. 8 Entwicklung Energiepreise für die Industrie

(ohne MWSt)



Quelle: 1991–2011: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: Jun. 2014); 2013–2014: Statista, Statistisches Bundesamt und WIBERA AG, 2014: Hochrechnungen.

Starker Anstieg des Erdgasbedarfs im Bereich der Wärmeerzeugung.

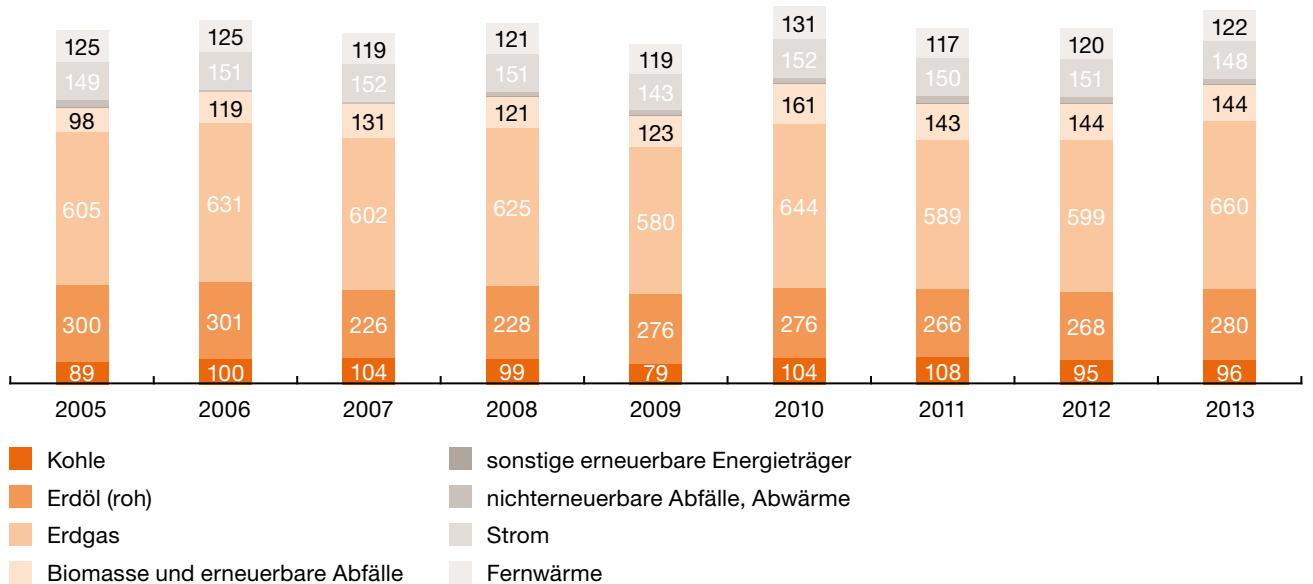
Zusammenfassend lässt sich zur Kostenentwicklung festhalten, dass seit dem Jahr 2000 deutliche Preissteigerungen aller für die Wärmebereitstellung relevanten Primärenergieträger beobachtet werden konnten. Diese Preissteigerungen haben seit dem Jahr 2000 im Ergebnis auch zu steigenden Verbrauchskosten für Wärme geführt. Seit 2013 sind jedoch sinkende Energiepreise zu verzeichnen. Grund dafür sind unter anderem die deutlich gestiegenen Fördermengen von Öl und Gas in den USA, die die Lage auf den Weltenergiemärkten entspannen.

Erdgas wichtigster Energieträger im Wärmebereich.

Bei einer Betrachtung der zur Wärmeerzeugung eingesetzten Energieträger wird deutlich, dass Erdöl und Erdgas die wichtigsten Primärenergieträger für die Wärmeerzeugung sind. Besonders Erdgas trägt mit einem Anteil von 45% (2013) am stärksten zur Deckung des Wärmebedarfs bei. Im Vergleich zum Vorjahr stieg 2013 der Erdgaseinsatz um 17,7% an. Aber auch die erneuerbaren Energieträger werden für die Wärmeerzeugung immer wichtiger. Seit 2008 ist der Anteil der erneuerbaren Energien für die Wärmeerzeugung um rd. 50% gestiegen.

Abb. 9 Entwicklung und Zusammensetzung der Erzeugung zur Deckung des Wärmebedarfs

Endenergieverbrauch in TWh



Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: 2013).

Es bleibt somit festzuhalten, dass die Energiewende im Wärmesektor in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit bzw. Bezahlbarkeit noch keine Erfolge vorweisen kann. Sowohl die insgesamt gesehene Preissteigerung der fossilen Energieträger in den letzten Jahren als auch der intensive Einsatz der fossilen Energieträger haben zu einer deutlichen Steigerung der Kosten im Wärmesektor geführt.

Doppelter Effekt führte zu Steigerung der Wärmekosten.

D Herausforderungen der Energiewende im Wärmebereich

Um das Energieziel „Umweltverträglichkeit“ im Wärmesektor erreichen zu können, müssen die zuletzt gestiegenen CO₂-Emissionen reduziert werden. Diese Herausforderung kann durch verschiedene Ansätze angegangen werden.

So kommt einer Senkung des Endenergieverbrauchs eine wichtige Bedeutung zu. Wenn von Endenergieverbrauch gesprochen wird, betrifft dies zunächst die Reduzierung des Wärmebedarfs, der im nächsten Abschnitt näher untersucht wird.

Aufgrund technischer Umwandlungsverluste ist die Nutzenergie meist geringer als die am Übergabepunkt gemessene Endenergie. Dabei wird die Höhe dieser Verluste durch die jeweils eingesetzte Technologie bestimmt. Ergänzend ist daher der Einsatz verschiedener Technologien bei der Wärmeerzeugung von hoher Relevanz.

Schließlich hängt die Höhe der CO₂-Emissionen des Wärmesektors auch von den CO₂-Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger ab.

Die Beurteilung von Maßnahmen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen erfolgt zudem in dieser Studie unter Berücksichtigung der Kosten und der Wirtschaftlichkeit in Bezug auf CO₂-Vermeidungskosten.⁷

1 Reduzierung des Wärmebedarfs

Wie bereits in Kapitel C aufgezeigt, hat der Wärmesektor aufgrund des hohen Anteils am gesamten Endenergiebedarf und den gleichzeitig hohen Einsparzielen bis 2050 im Rahmen der Energiewende eine Schlüsselrolle inne. Der Endenergieverbrauch für Wärme in Gebäuden soll nach dem Energiekonzept der Bundesregierung von 2011 bis 2020 gegenüber 2008 um 20 %, der Primärenergiebedarf bis 2050 um 80 % reduziert werden. Dafür soll u. a. die Sanierungsrate von Gebäuden von 1 % auf 2 % angehoben werden.⁸

Die Energieziele der Bundesregierung.

In den Koalitionsverhandlungen zwischen CDU/CSU und SPD 2013 war auch die Energiewende im Wärmesektor ein Thema. Das Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestandes in 2050 wurde trotz einiger Diskussionen über Zielanpassungen weiterhin bekräftigt. Wärmebedarfe sollen gesenkt und erneuerbare Energien einen größeren Anteil an der Wärmeerzeugung haben.

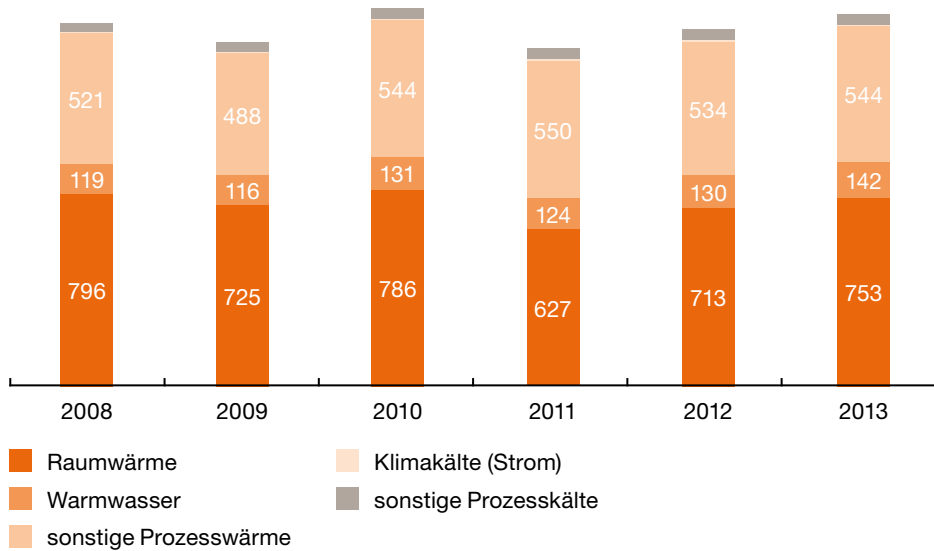
Im Folgenden wird der Wärmesektor in seine verschiedenen Anwendungsbereiche unterteilt. Der Wärmesektor umfasst die Anwendungsbereiche Raumwärme/ Klimakälte, Warmwasser und Prozesswärme/-kälte.

⁷ Der Aspekt der Versorgungssicherheit spielt im Rahmen der Wärmeversorgung eine nachrangige Rolle, da Wärme leichter bedarfsgerecht erzeugt und anders als Strom relativ gut gespeichert werden kann.

⁸ BMWi, Zweiter Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“ (2014).

Abb. 10 Entwicklung Wärmeverbrauch der verschiedenen Anwendungsbereiche

Endenergieverbrauch in TWh

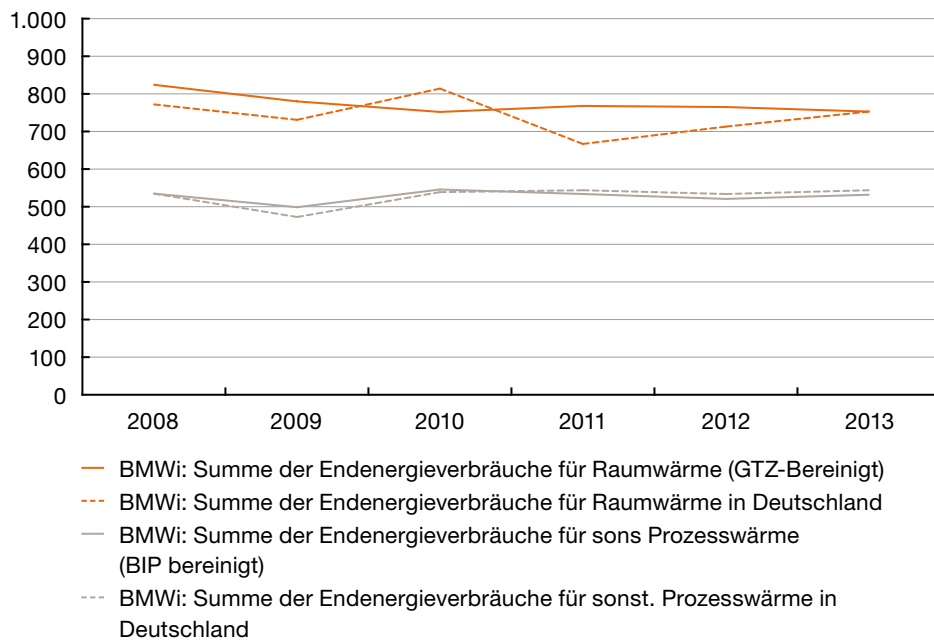


Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: Okt. 2014).

Der Endenergieverbrauch für Raumwärme stellt den größten Block des Endenergieverbrauchs für Wärme dar (50% in 2013; rd. 52% die Jahre zuvor). Der Endenergieverbrauch für sonstige Prozesswärme ist mit insgesamt 37% in 2013 und rd. 36% in den Jahren zuvor ebenfalls bedeutend.

Abb. 11 Endenergieverbrauch Raumwärme und Prozesswärme

Endenergieverbrauch in TWh



In Abbildung 11 ist die Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Wärme für verschiedene Anwendungsbereiche abgebildet. Die obere Zeitreihe zeigt die Entwicklung des gesamten Raumwärmebedarfs in Deutschland. Der Raumwärmebedarf ist von der „Jahrestemperatur“ abhängig und kann über die Gradtagszahlen temperaturbereinigt werden (durchgezogene Linie). Der temperaturbereinigte Endenergieeinsatz für Raumwärme zeigt eine abnehmende Tendenz.

Die zweite Zeitreihe von oben, zeigt den Verlauf des Endenergieverbrauchs für die Bereitstellung von Prozesswärme. Der Verlauf der BIP-bereinigten Zeitreihe deutet daraufhin, dass bei der Prozesswärme nur geringe Einsparungen realisiert worden sind.

Kälteanwendungen spielten bisher eine untergeordnete Rolle im Wärmesektor.

Der Endenergieverbrauch für Warmwasser zeigt einen konstanten Verlauf (nicht abgebildet). Einsparungen sind nicht erkennbar. Der Endenergieeinsatz für Klimakälte und sonstige Prozesskälte spielt bisher nur eine untergeordnete Rolle. Der Bedarf von Kälteanwendungen wird in Folge von Entwicklungen in der Nahrungsmittelindustrie, von Komfortansprüchen, der Klimatisierung hoch gedämmter Häuser und der allgemeinen Gewöhnung an klimatisierte Umgebungen (Auto, Einkaufszentrum, Büro) aber voraussichtlich steigen.

Lediglich beim Raumwärmebedarf ist ein Abwärtstrend erkennbar.

Bisher zeigt somit lediglich der Endenergieeinsatz zu Wärmezwecken bei der Raumwärme einen leichten Abwärtstrend. Bei allen anderen Anwendungsbereichen kann bisher keine Reduzierung des benötigten Endenergiebedarfs festgestellt werden.

Auf die Raum- und Prozesswärme entfallen mehr als 85% des Gesamtwärmebedarfs.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in den vergangenen Jahren ein eher konstanter Endenergieverbrauch für Wärme beobachtet werden konnte. Die beiden Treiber sind der Raumwärmebedarf und der Prozesswärmebedarf, die insgesamt mehr als 87% des Endenergieverbrauchs für Wärme verursachen.⁹

Haushalts- und Industrie-sektor haben den größten Wärmebedarf.

Endenergie für Wärme wird in den Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) und private Haushalte (HH) genutzt. Im Verkehrssektor ist der Wärmebedarf vernachlässigbar bzw. wird gegenüber dem Kraftstoffverbrauch nicht einzeln ausgewiesen. Den größten Bedarf an Endenergie für Wärme haben die privaten Haushalte mit rd. 45,3% in 2013. Es folgen die Industrie mit 36,3% und der Sektor GHD mit rd. 17% in 2013.

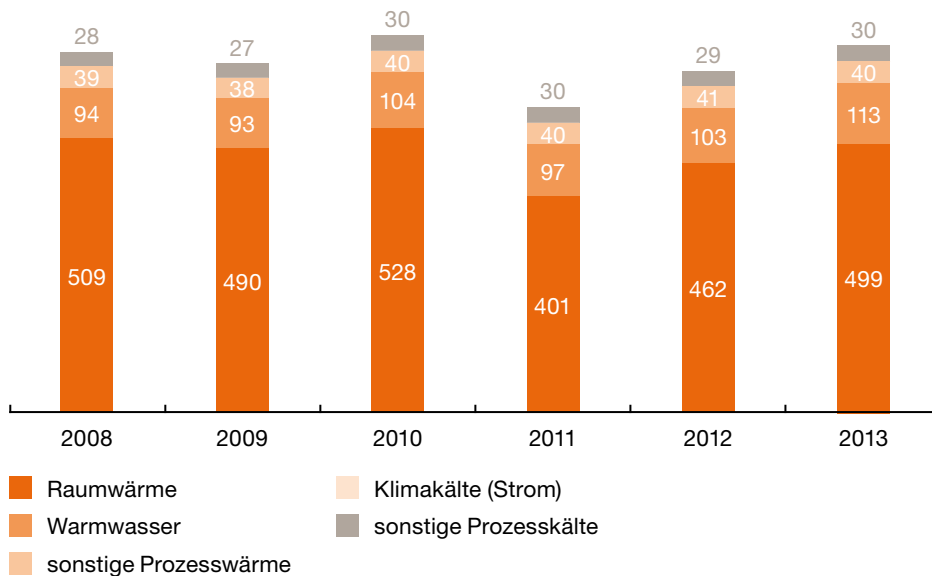
⁹ BMWi – Energiedaten Tabelle 7, 2011.

1.1 Analyse des Wärmebedarfs der privaten Haushalte

Nach einem Rückgang in 2011 konnten 2012 und 2013 wieder steigende Wärmebedarfe bei den privaten Haushalten beobachtet werden:

Abb. 12 Entwicklung Wärmeverbrauch private Haushalte nach Anwendungsbereichen

Endenergieverbrauch in TWh



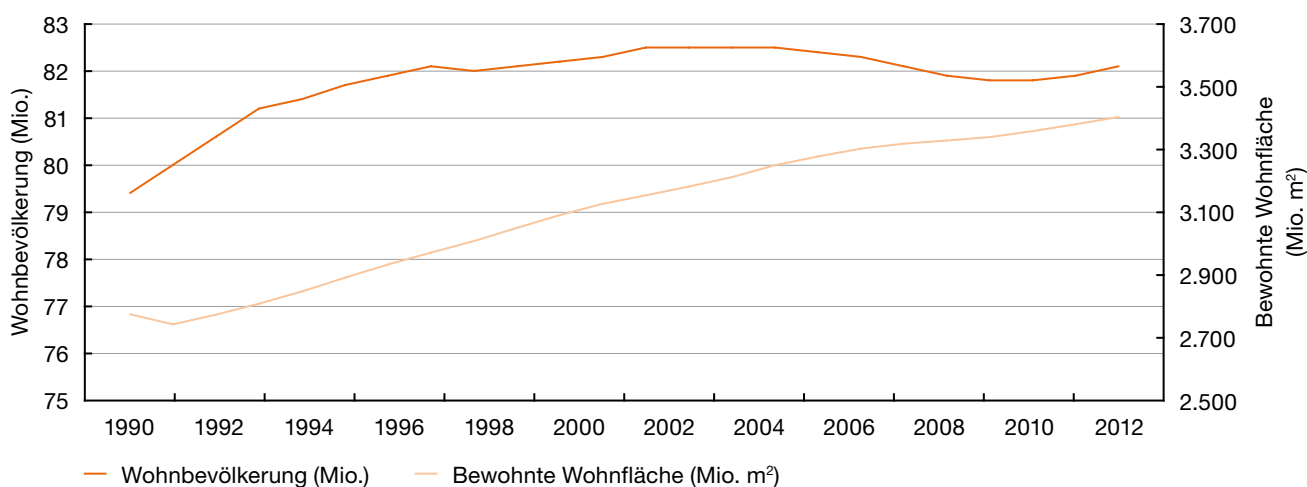
Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: Okt. 2014).

Bei der Betrachtung der Anwendungsbereiche für private Haushalte wird deutlich, dass die Raumwärme der mit Abstand größte Bereich ist. Der Bedarf für Raumwärme in privaten Haushalten ist 2012 und 2013 gestiegen. Ein Grund für den Anstieg ist der jährliche Temperaturverlauf. Wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, konnte zwar seit 2008 temperaturbereinigt ein Rückgang des Endenergieverbrauchs für Raumwärme beobachtet werden, in 2013 ist jedoch wieder ein marginaler Anstieg zu beobachten.

Ein weiterer Einflussfaktor ist die demografische Entwicklung. Die Zahl der Haushalte hat in den letzten Jahren stetig zugenommen (vgl. Abbildung 13). Steigende temperaturbereinigte Endenergieverbräuche für Raumwärme wären somit zu erwarten. Mit Ausnahme von 2013 gab es aber einen leichten Rückgang, so dass davon ausgegangen werden kann, dass andere Maßnahmen den durch gestiegene Wohnfläche wachsenden Wärmebedarf überkompensiert haben.

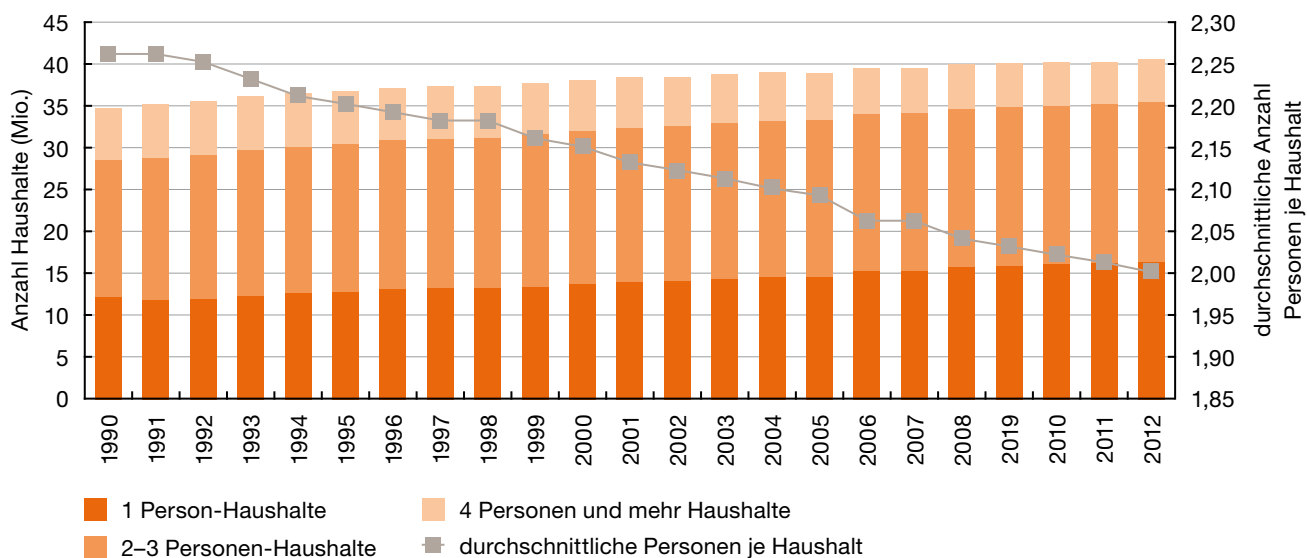
Der Wärmebedarf der Haushalte wird von verschiedenen Treibern beeinflusst.

Abb. 13 Entwicklung der Wohnfläche und Bevölkerung



Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: Okt. 2014).

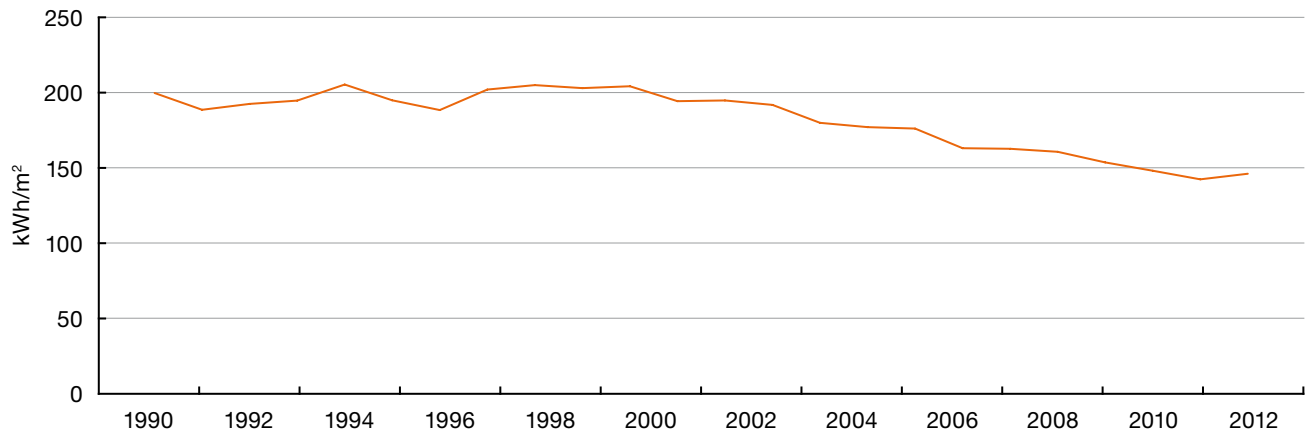
Abb. 14 Anzahl Haushalte und Bewohner je Haushalt



Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: März 2014).

In diesem Zusammenhang ist der spezifische Endenergieverbrauch für Raumwärme je m² zu betrachten. Dieser ist seit dem Jahr 2000 bei den privaten Haushalten stark gesunken (ca. 30%). Zuletzt ist jedoch wieder ein leichter Anstieg zu beobachten, der auch den Anstieg des Raumwärmebedarfs von 2013 erklärt.

Sinkende Verbrauchswerte je m² (vgl. Abbildung 15) und ein abgeschwächtes Wachstum der Wohnfläche haben aber in Summe dazu geführt, dass der absolute Endenergieverbrauch für Raumwärme der privaten Haushalte von 2002 bis 2012 um durchschnittlich 1,5% p. a. abgenommen hat.

Abb. 15 Entwicklung Endenergieverbrauch Raumwärme je m² der privaten Haushalte

Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: Okt. 2014).

Dabei spielen u. a. die Sanierung von Altbauten und die Dämmung von neuen Gebäuden eine wichtige Rolle.

Sanierungen tragen zum Erreichen der Energiewendeziele bei.

Neben dem Austausch von Fenstern als Teil der Gebäudehülle zählen zahlreiche weitere Maßnahmen im Bereich Dämmung zu der hier betrachteten energetischen Gebäudesanierung. Umstritten war zuletzt die Kosteneffizienz von Gebäudesanierungen.¹⁰

Die Bundesregierung geht davon aus, dass Gebäudesanierungen notwendig sind, um die Ziele der Energiewende zu erreichen. Dabei liegen die geforderten Sanierungsraten bei rd. 2%. Die Sanierungsintensität (Vollsanierung ggü. Einzelmaßnahmen unterschiedlicher energetischer Qualität) ist als zweite Dimension ebenfalls entscheidend,¹¹ wird jedoch häufig nicht betrachtet.

In den letzten Jahren wurden Sanierungsraten von 1% und Neubauraten von 0,5% erreicht. Bei der Sanierungsintensität zeigt sich, dass bei einem Großteil der sanierten Gebäude nur Einzelmaßnahmen und wenige Maßnahmen gleichzeitig durchgeführt wurden und damit keine umfassende energetische Sanierung stattfand.¹²

Einsparungen bei der Raumwärme durch Dämmung können nur durch Investitionen realisiert werden. Um diese Investitionen abzuschätzen, erfolgt in dieser Studie zunächst eine Differenzierung des bestehenden Gebäudebestandes, des Sanierungsgrads und der Sanierungsintensität. Aufgrund der verschiedenen Verbrauchscharakteristika wird dabei zwischen Ein-/Zweifamilien (EFH/ZFH)- und Mehrfamilienhäusern (MFH) unterschieden. Zusätzlich wird der Gebäudebestand nach un-, teil- und vollsaniert gruppiert.

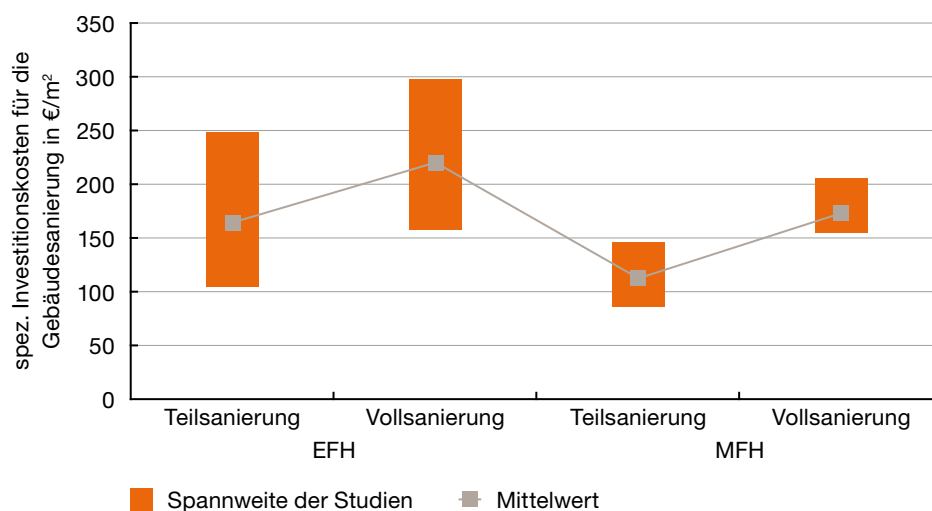
¹⁰ Prognos-Studie zur KfW-Bankengruppe, 08.03.2013.

¹¹ BMU (2012).

¹² Vgl. Institut der deutschen Wirtschaft Köln (2012), Quote ohne Aussagekraft, <http://www.iwkoeln.de/de/infodienste/immobilien-Monitor/beitrag/energetische-sanierung-quote-ohne-aussagekraft-69302>, abgerufen am 21.11.2013.

Ein wichtiger Faktor in diesem Zusammenhang sind insbesondere die energie-spezifischen Investitionskosten je m² Wohnfläche. Aus relevanten Studien haben wir folgende Kostenansätze für Sanierungsmaßnahmen entnommen:

Abb. 16 Studienvergleich für spezifische energiebedingte Investitionskosten der Gebäudehülle



Quelle: Eigene Auswertung auf Basis von IWU (2013), IWO (2013), Prognos (2013) und dena (2011/2012).

Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, unterscheiden sich die Angaben unterschiedlicher Studien teilweise deutlich, was zumindest zum Teil auch daran liegen könnte, dass die Abgrenzung zwischen den energiebedingten Sanierungskosten und Sowieso-Kosten für die Gesamtsanierungsmaßnahme nicht immer leicht zu treffen sein dürfte.

Die in jedem Fall erheblichen mit einer Sanierung verbundenen Kosten könnten ein Grund dafür sein, dass die von der Bundesregierung angestrebte Gebäudesanierungsrate von 2% (aktuell 1%) bisher tatsächlich noch nicht erreicht wurde.

Von politischer Seite gibt es zahlreiche Maßnahmen, die den Sanierungsprozess fördern sollen. Hier ist zum einen die Energieeinsparverordnung (EnEV) zu nennen, die zuletzt im Mai 2014 aktualisiert wurde. Die gestiegenen Anforderungen der EnEV an Neubauten reihen sich ein in die Entwicklung der vergangenen Jahre mit dem Ziel, die Energieeffizienz von Neubauten sukzessive zu erhöhen. Für den Gebäudebestand wurden mit der aktuellen EnEV aber keine nennenswerten Verschärfungen eingeführt.¹³

¹³ Deutsche Energie-Agentur, Pressemitteilung zur Novelle der Energieeinsparverordnung 2014 (18.11.2013).

Durch die Bundesregierung gefördert, bestehen des Weiteren zahlreiche Marktanzreizprogramme der KfW für Gebäudesanierungen. Mit den KfW-Zuschüssen werden sowohl Einzelmaßnahmen (bspw. Wärmedämmung verschiedener Gebäudeteile, Fensteraustausch, Maßnahmen an der Heizung), als auch Komplett-sanierungen gefördert, mit dem Ziel, die Energieeffizienz von Gebäuden zu erhöhen.

Ein aktueller Monitoringbericht im Auftrag der KfW-Bankengruppe zeigt hingegen eine wechselhafte Entwicklung im Detail.¹⁴ 2006 wurden etwa 70.000 Wohneinheiten mithilfe des Förderprogramms „Energieeffizient Sanieren“ modernisiert. Für 2009 stieg die Zahl auf ca. 363.000 geförderte Wohneinheiten an. Danach war bis 2012 ein Rückgang der jährlich geförderten Wohneinheiten zu beobachten. Die aktuelle Erhebung für das Jahr 2012 verzeichnet eine Sanierung von nur 242.000 Wohneinheiten. Positiv zu verzeichnen ist hingegen, dass mit Wirkung zum 1. März 2013 die jährlichen Bundeszuschüsse für das KfW-Programm Energieeffizient Sanieren um € 300 Mio. aufgestockt wurden.

Trend der Inanspruchnahme von Fördermitteln bei Sanierung ist rückläufig.

In Ergänzung zum Sanierungsprogramm der KfW wird weiterhin ein Förderprogramm für den Neubau „Energieeffizient Bauen“ angeboten. Die Auswertung dieses Programms zeigt einen steigenden Trend bei der Inanspruchnahme von Fördermitteln im Neubaubereich. Während 2006 55.000 Wohneinheiten gefördert wurden, waren es 2012 bereits 115.000 Wohneinheiten. Dieses Ergebnis deutet folglich auf ein erhöhtes Effizienzbewusstsein im Neubaubereich hin.

Trend der Inanspruchnahme von Fördermitteln im Neubaubereich ist ansteigend.

Mit Fortschreibung der bisherigen Sanierungspraxis können die Ziele der Bundesregierung nicht erreicht werden. Eine Erhöhung der Sanierungsrate oder Alternativmaßnahmen wären notwendig. Mit umfassenden Sanierungen könnten die größten Reduktionen von Energieverbrauch und Treibhausgasen erreicht werden. Mit schrittweisen und günstigen Sanierungen wird dagegen eine größere Fläche erreicht. Dadurch sinken die flächenspezifischen Investitionskosten. Somit wäre eine Erhöhung der Sanierungsrate sehr viel leichter zu realisieren.

Erhöhung der Sanierungsrate versus Erhöhung der Sanierungstiefe.

Der Endenergieverbrauch für den Anwendungsbereich Warmwasser im Haushalts-Sektor ist weitestgehend temperaturunabhängig und nur wenig durch äußere Faktoren zu beeinflussen. Insofern lässt sich ein relativ konstanter Warmwasserbedarf bei den Haushalten feststellen. Eine Herausforderung für weitere Reduzierungen sind steigende Komfortansprüche und das benötigte Temperaturniveau für Warmwasser.¹⁵ Die Nutzung von z. B. Umweltwärme, Abwärme und Wärmenetzen mit sehr geringen Temperaturen ist dadurch eingeschränkt.

Konstanter Warmwasserbedarf der Haushalte.

Die Prozesswärme im privaten Sektor umfasst die Anwendungen Kochen und Waschen. Hier werden mögliche Einsparungen durch den Einsatz innovativer Waschmittel und effizienter Waschmaschinen diskutiert, die ein geringeres Temperaturniveau oder weniger Wasser benötigen. Im Bereich Kochen sind die potenziellen Einsparungen vergleichsweise niedrig. Der Endenergieverbrauch für Prozesswärme war im Sektor private Haushalte in der Vergangenheit stabil.

Stabile Entwicklung des Prozesswärmebedarfs im Haushaltssektor.

¹⁴ IWU, Fraunhofer (2013).

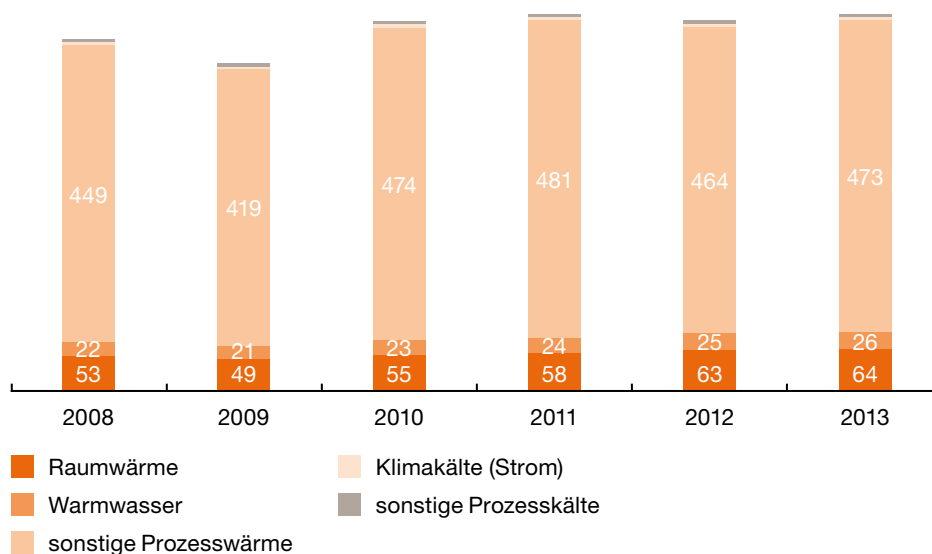
¹⁵ Vgl. Shell (2013), Wärmestudie, S. 21.

1.2 Analyse des Wärmebedarfs der Industrie

Analog zur Betrachtung des Endenergieverbrauchs im Haushaltssektor wird nun auf den industriellen Sektor eingegangen. Hier wurde in den letzten Jahren ein vergleichsweise konstanter Verlauf des Endenergieverbrauchs beobachtet. Prozesswärme hat dabei den mit Abstand größten Anteil. Raumwärme und Warmwasser machen hier nur geringe Anteile am gesamten Wärmebedarf aus.

Abb. 17 Entwicklung und Anwendungsbereiche Wärmeverbrauch Industrie

Endenergieverbrauch in TWh



Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: Okt. 2014).

Der Prozesswärmebedarf überwiegt im Industriesektor.

Während in den Sektoren private Haushalte und GHD Prozesswärme nur eine untergeordnete Rolle spielt, entfielen 2013 rund 39% des Endenergieverbrauchs (rd. 84% des Wärmeanteils) im Sektor Industrie auf Prozesswärme.

Übereinstimmend wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Prozesswärme im Industriesektor maßgeblich von den folgenden Faktoren abhängt:

- Entwicklung der Produktionstätigkeit
- Wärmeintensität der Produktionsprozesse
- Effizienz der Wärmebereitstellung

Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht anhand einiger Beispiele die Einsparpotenziale von Prozesswärme im industriellen Sektor. Je nach Temperaturniveau können hier unterschiedlich große Einsparungen realisiert werden.

Tab. 1 Einsparpotenzial für Prozesswärme in der Industrie

Verwendung	Branchen	Energiebedarf in PJ/a	Wirtschaftl. Einsparpotenzial
Dampf-/Heißwasser- erzeugung	z. B. Chemie, Papier, Nahrungsmittel	335	13 %
Brennöfen und Prozesse >200 °C	z. B. Metall, Zement, Glas	864	6 %
Trocknung und sonstige Prozesse <200 °C	z. B. Trocknung von Holz, Kohle, Ziegel	236	8 %

Quelle: Prognose.

Allgemein wird erwartet, dass die Produktion künftig weiter ansteigen wird. Dies führt tendenziell zu steigenden Endenergieverbräuchen für Prozesswärme.

*Steigender Prozesswärme-
bedarf durch steigende
Produktivität.*

Konsens ist auch, dass die Endenergieintensität für Wärme in der Produktion abnehmen kann, z. B. durch Umstellung von Produktionsprozessen auf Verfahren mit einem geringeren Wärmebedarf (z. B. Luftvorwärmer zur Abwärmenutzung von Kälteanlage, Drehzahlregelung bei Verbrennungsluftgebläsen).

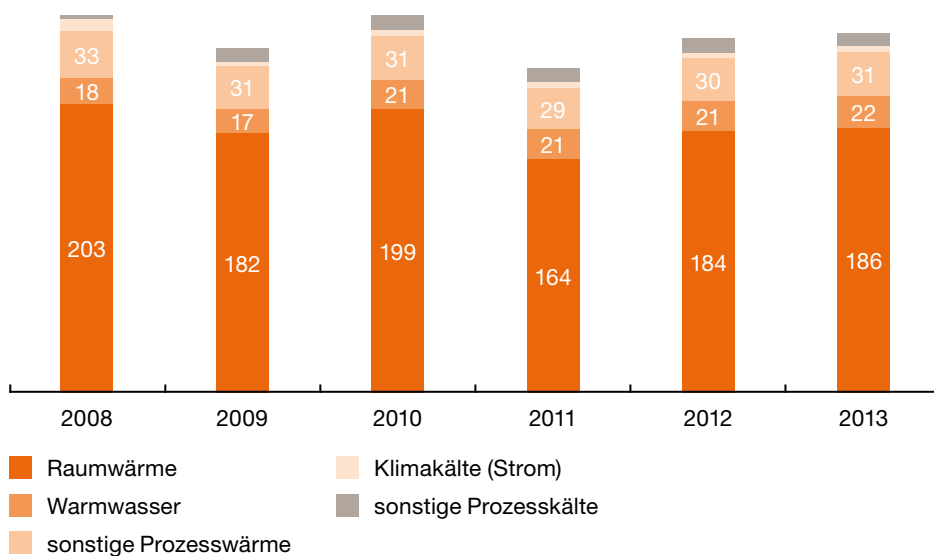
1.3 Analyse des Wärmebedarfs im GHD-Sektor

Wie auch im Sektor private Haushalte dominiert der Raumwärmebedarf den Endenergieverbrauch für Wärme im Sektor GHD. Die Entwicklung des gesamten Endenergieverbrauchs für Wärme ist daher vergleichbar zum Sektor privater Haushalte.

*Ähnliche Aufteilung des
Wärmebedarfs wie im
Haushaltssektor.*

Abb. 18 Entwicklung und Anwendungsbereich Wärmeverbrauch GHD

Endenergieverbrauch in TWh



Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt (Stand: Okt. 2014).

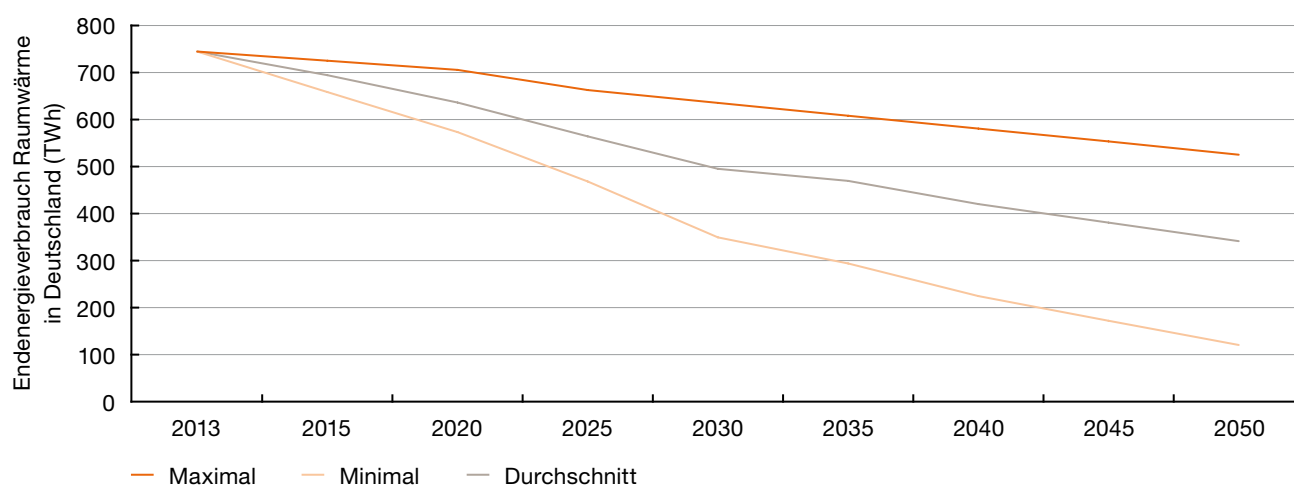
Nach einem deutlichen Rückgang des Endenergieverbrauchs für Raumwärme im Jahr 2011 ist der Endenergieverbrauch im GHD-Sektor seit 2012 relativ konstant geblieben. 2013 wurde rd. 7% mehr Warmwasser verbraucht als 2012. Der Verbrauch von Raumwärme und Prozesswärme stieg 2013 jedoch nur leicht an (1,3% und 2,4%). Für Klima- und Prozesskälte ist im Jahr 2013 sogar ein Rückgang zu verzeichnen.

1.4 Studienprognosen zur zukünftigen Entwicklung des Wärmebedarfs

In Kapitel E werden die Ergebnisse verschiedener Szenariobetrachtungen beschrieben. Dabei ermittelten wir den gesamten Wärmebedarf auf Grundlage von Annahmen im Rahmen unterschiedlicher Szenarien zur Entwicklung des Raumwärme-, Warmwasser- sowie Prozesswärmebedarfs.

Ergänzend zu dem für diese Studie definierten Referenz- und Alternativszenarien ist im Folgenden der aus der Analyse bestehender Studien hergeleitete Prognosekorridor für die künftige Entwicklung des Wärmebedarfs von 2010–2050 dargestellt (vgl. Abbildung 19). Dieser wird zur Plausibilisierung unserer Berechnungen herangezogen.

Abb. 19 Endenergieverbrauch Raumwärme in Deutschland¹



¹ In dem Diagramm wurde für das Jahr 2013 der tatsächliche Wärmebedarf nach den Energieverbrauchsdaten des BMWi eingetragen.

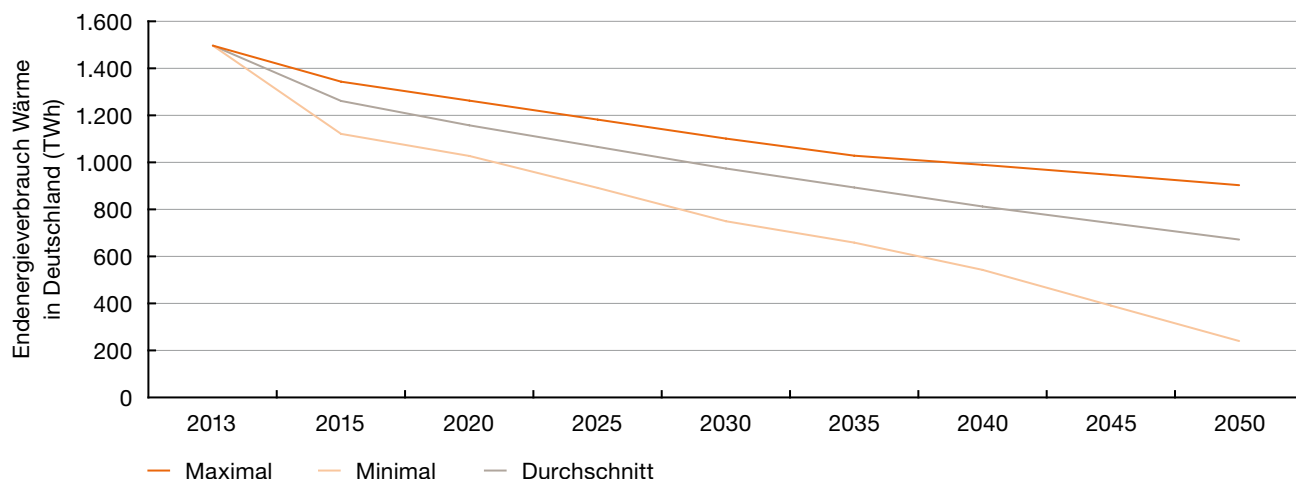
Quelle: PwC Research, EwO.

Der BDI (2013) geht in seiner Trendstudie von einer Reduktion des Raumwärmebedarfs bis 2030 um 15% aus. Bei linearer Fortschreibung ergibt sich eine 30%-ige Reduzierung bis 2050. Demgegenüber geht der WWF (2009) in seinem Szenario „Innovation“ von einer Reduktion um nahezu 85% bis 2050 aus. Der Mittelwert liegt nahe der Leitstudie des BMU (2012) mit ca. 55% Reduktion.

Die analysierten Studien gehen übereinstimmend von einem sinkenden Endenergieverbrauch für Wärme aus. Besonders deutlich sinkende Verbräuche werden dabei oft durch geänderte Rahmenbedingungen (Förderprogramme, Verpflichtungen) induziert.

In allen Szenarien, lässt sich feststellen dass der Warmwasser- und Prozesswärmebedarf weniger stark abnimmt als der Raumwärmebedarf. Einigkeit besteht daher darin, dass sich künftig auch die Wärmebedarfsstruktur glättet. Das heißt, dass die über das Jahr gleichbleibenden Bedarfe für Warmwasser und Prozesswärme (Grundlast) im Vergleich zur temperaturabhängigen Raumwärme (Spitzenbedarfe im Winter) an Bedeutung gewinnen. Trotzdem nimmt nach den zugrunde gelegten Szenarien auch der Wärmebedarf als Ganzes kontinuierlich ab.

Abb. 20 Endenergieverbrauch Wärme in Deutschland¹



¹ In dem Diagramm wurde für das Jahr 2013 der tatsächliche Wärmebedarf nach den Energieverbrauchsdaten des BMWi eingetragen. Der steile Übergang des Jahres 2013 auf das Jahr 2015 zeigt, dass die meisten Studien zumindest kurzfristig zu einer eher optimistischen Vorhersage tendierten und der erwartete Trend sich noch nicht abzeichnen konnte.

Quelle: PwC Research, EwO.

Aktuell befindet sich der Wärmesektor demgegenüber insgesamt noch nicht auf einem Pfad sinkender Endenergieverbräuche (vgl. vorherige Kapitel). Grund dafür ist u. a. die gestiegene Gesamtwohnfläche in Deutschland. Der fallende Verbrauch pro Quadratmeter und der insgesamt gesunkene temperaturbereinigte Verbrauch für Raumwärme deuten aber darauf hin, dass Sanierungsmaßnahmen den Effekt der gestiegenen Gesamtwohnfläche überkompensieren oder für 2013 zumindest abgeschwächt haben. Trotz erster Erfolge im Bereich Raumwärme wurde die Zielsanierungsrate von 2% mit aktuell unverändertem 1% aber nicht erreicht. Daneben ist auch der ausbleibende Einsparerfolg im Bereich Prozesswärme verantwortlich für den nicht eingetretenen Gesamterfolg.

Für die langfristig gewollte Entwicklung sind stabile und verlässliche Rahmenbedingungen notwendig, die ausreichend Anreize geben, den zukünftigen Wärmebedarf nachhaltig abzusenken.

2 Reduzierung des Primärenergieverbrauchs und Verbesserung der CO₂-Emissionsfaktoren

Unter Kapitel C haben wir bereits einen Überblick über die Struktur der Wärmeerzeugung von 2005–2013 dargestellt. Die Frage stellt sich, inwieweit eine Optimierung der Erzeugungsstruktur mit einer Reduzierung des Primärenergieeinsatzes bei der Wärmeerzeugung sowie dem Einsatz emissionsärmerer Technologien dazu geeignet ist, die Umweltverträglichkeit der Wärmeerzeugung zu verbessern. Folgende Möglichkeiten stehen dabei im Fokus:

- Verbesserung der technischen Wirkungsgrade der Wärmeerzeuger und Reduzierung des Primärenergieeinsatzes durch Kraft-Wärme-Kopplung
- Nutzung von Wärmeerzeugern auf Basis von Energieträgern mit niedrigeren Emissionsfaktoren (z. B. Gas statt Öl bzw. erneuerbare Energien)

2.1 Verbesserung der technischen Wirkungsgrade der Wärmeerzeuger

Im Folgenden beschreiben wir zunächst die einzelnen Gliederungsebenen der Energiebilanz, auf die sich Verbesserungen und Effizienzgewinne beziehen, bevor wir uns mit der Verbesserung der Effizienz einzelner Technologien beschäftigen.

2.1.1 Verbesserungen auf verschiedenen Ebenen der Energiebilanz (Endenergie- und Primärenergieverbrauch)

Neben der Entwicklung des Nutzenergieverbrauchs ist ein weiterer entscheidender Faktor für den Endenergieverbrauch die Effizienz der Wärmeerzeugungsanlagen. Je effizienter eine Wärmeerzeugungsanlage betrieben werden kann, desto weniger Endenergie muss für die Bereitstellung der benötigten Nutzenergie eingesetzt werden.

Der Endenergieverbrauch entspricht in der Regel auch dem Primärenergieverbrauch – Ausnahmen hiervon bilden lediglich die auf Strom basierenden Anwendungen sowie die Fernwärme.¹⁶ Strom ist Sekundärenergie, die durch die Umwandlung von Primärenergie in Kraftwerken, Windrädern etc. entsteht. Fernwärme ist ebenfalls ein Produkt aus der Umwandlung von Primärenergie. Dabei wird unter anderem die Abwärme der Stromerzeugung als Fernwärme genutzt (KWK, siehe auch Abschnitt D 2). Je nach Art der Stromerzeugung wird somit ein anderer Primärenergieträger genutzt. Fernwärme wird auch in reinen Heizwerken durch die direkte Verbrennung von Primärenergieträger produziert. Neben Gas, Öl und Kohle wird dabei auch Biomasse als Brennstoff genutzt. Der Anteil der bei der Fernwärme in Heizwerken erzeugten Wärmemenge ist mit ca. 10 % jedoch relativ gering im Vergleich zu dem KWK-Anteil mit 61 % (Stand 2008).^{17,18}

¹⁶ In Teilen auch die Refinement von Erdöl in Heizöl, jedoch werden die Umwandlungsverluste hier vernachlässigt.

¹⁷ Bundeskartellamt, Abschlussbericht Sektoruntersuchung Fernwärme.

¹⁸ Restliche 29 %: Entweder Sonderformen von Kraftwerken oder Fernwärmeversorger sind Zwischenhändler, für die die Umstände der Wärmeerzeugung unklar sind.

2.1.2 Verbesserung der Effizienz einzelner Technologien

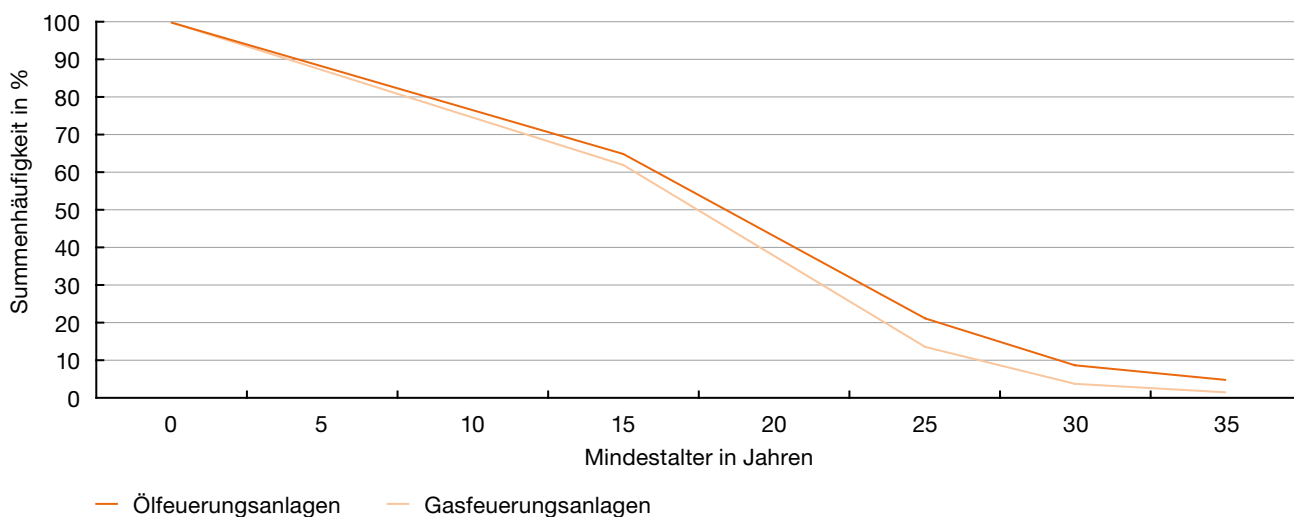
Effiziente Geräte zur Wärmeerzeugung mit einem Nutzungsgrad von deutlich über 100 % sind bspw. die Wärmepumpen. Der Nutzungsgrad wird dabei im Wesentlichen durch die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizung bestimmt. Der Nutzungsgrad der Wärmepumpe steigt, je kleiner die Temperaturdifferenz ist. Nutzungsgrade von über 100 % können erzielt werden, da der größte Teil der Energie der Umwelt entzogen wird (sog. Umweltenergie, z. B. in der Luft oder über Geothermiebohrungen). Dieser Teil wird nicht als aufgewendete Energie betrachtet, da er kostenlos zur Verfügung steht. Nur der elektrische Strom, mit dem die Pumpe betrieben wird, geht in die Nutzungsgradberechnung als Aufwand ein.

Wichtig unter Effizienzaspekten sind zudem die Geräte, die auf Brennwerttechnik beruhen. Hier kann für ölbetriebene Geräte ein Nutzungsgrad von 95 % und für gasbetriebene nahezu 100 % erreicht werden. Bei Kesselanlagen, die auf Brennwerttechnik beruhen, wird das im Abgas vorhandene Wasser auskondensiert und die dadurch freigegebene Wärme genutzt.

Geräte, die auf der Heizwerttechnik basieren werden nochmals in Nieder- (NT) und Kondensattemperaturkessel (KT) differenziert. KT-Kessel weisen einen Nutzungsgrad von bis zu 87 % (Öl und Gas) auf. Aufgrund der Heizlast angepassten Fahrweise und der gegenüber KT-Kesseln deutlich verbesserten Wärmedämmung, erzielen NT-Kessel Nutzungsgrade zwischen 87 % (Öl) und 92 % (Gas).¹⁹

Anhand der Altersstruktur der eingesetzten Geräte kann der Effizienzstand abgeschätzt werden. Die nachfolgende Grafik zeigt die Altersverteilung der Öl- und Gaskessel im Jahr 2013.

Abb. 21 Altersstruktur der Öl- und Gasbefeuerungsanlagen in Deutschland 2013



Quelle: Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks (Stand: Okt. 2014).

¹⁹ Eigene Berechnung auf Basis von: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/IWU_Anlagenkennwerte_Bestand.pdf.

Wie in Abbildung 22 zu sehen ist, wird der Großteil der Wärmeerzeuger mit fossilen Energieträgern betrieben (93%). Davon sind 43% Gaskessel (Heizwert), 26% Ölkessel (Heizwert), 20% Gasbrennwertkessel und 3% Ölbrennwertkessel.²⁰

Abb. 22 Bestand zentraler Wärmeerzeuger 2013



Quelle: Statista, das Statistik-Portal, (Stand: Okt. 2014).

Bei einer Betrachtung des Bestands zentraler Wärmeerzeuger wird deutlich, dass die weniger effiziente Heizwerttechnik aktuell noch mit annähernd 70% den Markt dominiert. Im Hinblick auf die CO₂-Ziele wäre ein stärkerer Einsatz der effizienteren Brennwerttechnik und von Wärmepumpen anzustreben.

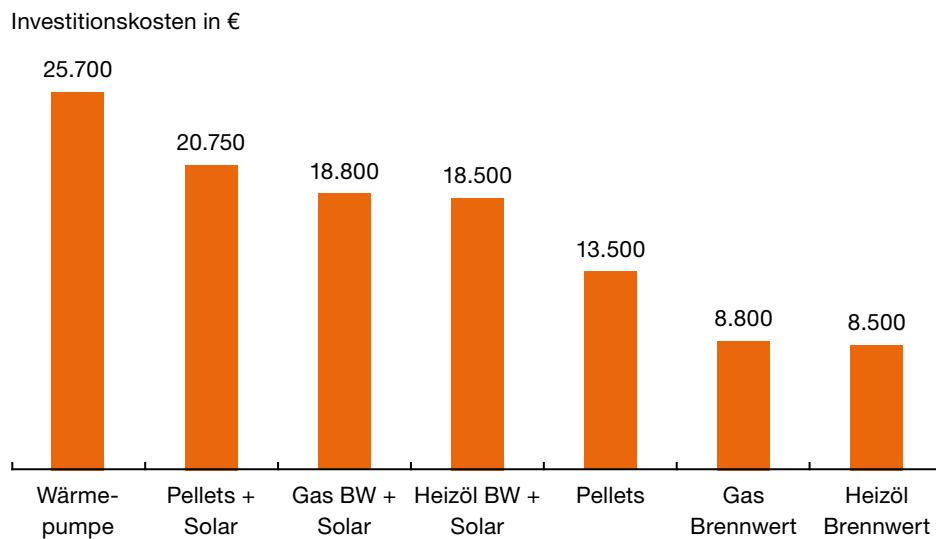
Die Austauschrate von Heizungen beträgt aber durchschnittlich nur ca. 3%.²¹ Das heißt, rechnerisch wird eine Heizung erst nach 33 Jahren ausgetauscht. Aktuell besteht oftmals kein ausreichender wirtschaftlicher Anreiz für den Austausch einer alten Heizung in kleineren Objekten. Im Mehrfamilienhaus existiert ein Vermieter (Investor) – Mieter (Profiteur) Dilemma. Der Vermieter profitiert nicht von sinkenden Nebenkosten einer effizienteren neuen Heizung.

Der Erfolg eines Förderprogramms hängt aber ebenfalls maßgeblich von den Investitionskosten der einzusetzenden Heiztechnologien ab. In Abbildung 23 sind die Investitionskosten für gängige Heiztechnologien dargestellt. Es wird deutlich, dass die als klimafreundlich identifizierten erneuerbare Energien Technologien auch die höchsten Investitionen erfordern. Demgegenüber zu stellen sind die Verbrauchs- und Betriebskosten. Diese sind gegenläufig zu den Investitionskosten. Technologien auf Basis erneuerbarer Energien, haben deutlich geringere laufende Kosten, da die Wärmequelle meist kostenlos zur Verfügung steht.²²

²⁰ Quelle: Statista, das Statistik-Portal, Stand: 29.10.2014.

²¹ Shell, BDH Hauswärme-Studie 2013, S. 62.

²² Agentur für Erneuerbare Energien, Renew's Kompakt (Stand: Nov. 2013).

Abb. 23 Investitionskosten verschiedener Heiztechnologien (am Beispiel EFH)

Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien, Renew's Kompakt (Stand: Nov. 2013).

Im Industriebereich ist Prozesswärme maßgeblich für den Endenergieverbrauch verantwortlich. Entscheidend für die Beurteilung möglicher Effizienzgewinne sind die Höhen der benötigten Temperaturniveaus.

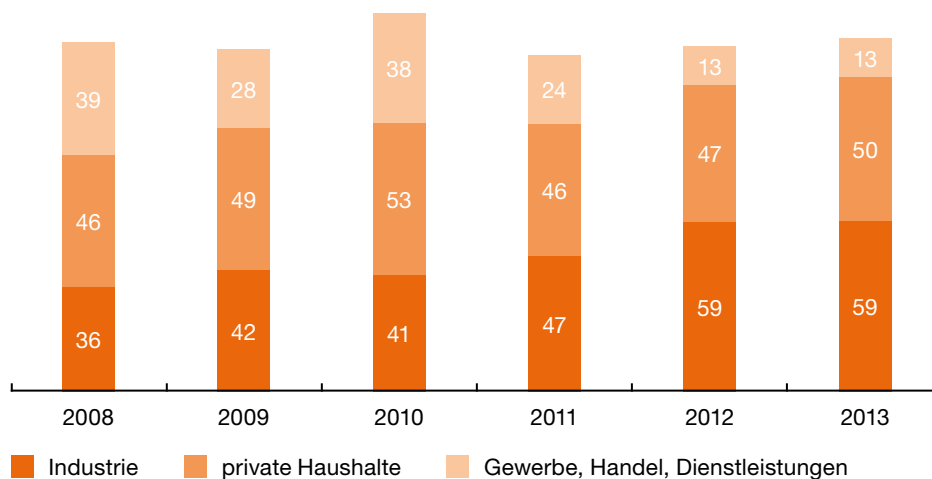
Insbesondere bei Prozessen mit hohen Temperaturniveaus fallen erhebliche Mengen an Abwärme an. Eine vermehrte Nutzung durch Rückgewinnung und Zuleitung zu anderen Prozessen würde die Effizienz des Endenergieeinsatzes deutlich erhöhen. Das Potenzial für diese Abwärmenutzung ist jedoch stark von den örtlichen Gegebenheiten und den vor Ort vorhandenen Nutzungspotenzialen abhängig.

Auch im Bereich Fernwärme kann ein Beitrag zur Effizienzsteigerung geleistet werden. Wärmenetze haben 2013 einen prognostizierten Anteil von 7,8% an der Wärmeversorgung²³ und sind in allen drei zuvor betrachteten Sektoren vertreten.

²³ Eigene Berechnung.

Abb. 24 Entwicklung Endenergieverbrauch Fernwärme nach Sektoren

Endenergieverbrauch an Fernwärme in TWh



Quelle: BMWi, Energiedaten Gesamt 2012 (Stand: Okt. 2014).

Im Segment Fernwärme hat in den letzten Jahren bereits ein Wandel hin zu effizienteren Technologien stattgefunden. In den vergangenen Jahren und gerade gegenwärtig ist ein Ausbau der Wärmenetze, Effizienzgewinne und ein verstärkter Einsatz von erneuerbaren Energien zu beobachten.²⁴

2.2 Optimierung der CO₂-Emissionsfaktoren

Die Höhe der CO₂-Belastung hängt neben den Wirkungsgraden wesentlich auch von den CO₂-Emissionsfaktoren ab, die die CO₂-Belastung eines bestimmten Energieträgers in Abhängigkeit vom Primärenergieeinsatz definieren.

Bei der Betrachtung der CO₂-Emissionsfaktoren der verschiedenen Energieträger wird deutlich, dass die fossilen Primärenergieträger wesentlich höhere CO₂-Emissionsfaktoren aufweisen als die erneuerbaren Energien, die in die Rechnung mit keinerlei CO₂-Emission eingehen. Die fossilen Energieträger unterscheiden sich untereinander ebenfalls stark. Braunkohle hat beispielsweise fast doppelt so hohe CO₂-Emission wie Erdgas, welches den geringsten CO₂-Wert der gebräuchlichen fossilen Energieträger aufweist.

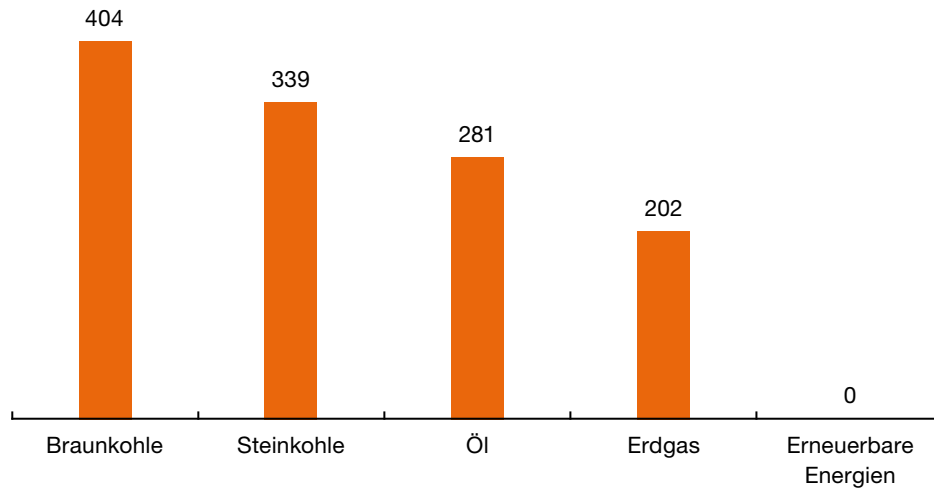
Die auf Holz basierenden Energieträger fallen unter die erneuerbaren Energien (Biomasse), da Holz ein nachwachsender Rohstoff ist.

²⁴ Bundeskartellamt, Abschlussbericht Sektoruntersuchung Fernwärme.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die CO₂-Emissionsfaktoren der wichtigsten Energieträger:

Abb. 25 CO₂-Äquivalente verschiedener Energieträger

CO₂-Emissionsfaktoren in g/kWh



Quelle: ewi (2013), bei Erneuerbare Energien eigene Annahme.

Unter Berücksichtigung der CO₂-Emissionsfaktoren der einzelnen Energieträger wird deutlich, dass Technologien die mit erneuerbaren Energien betrieben werden, einen deutlichen Vorteil gegenüber den fossilen Energieträgern in Bezug auf den Umweltschutz haben.

Die CO₂-Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme je kWh verändern sich im Zeitablauf. Je mehr erneuerbare Energien für die Produktion von Strom und Fernwärme eingesetzt wird, desto geringer fällt auch die CO₂-Bilanz für diese beiden Mixe aus.

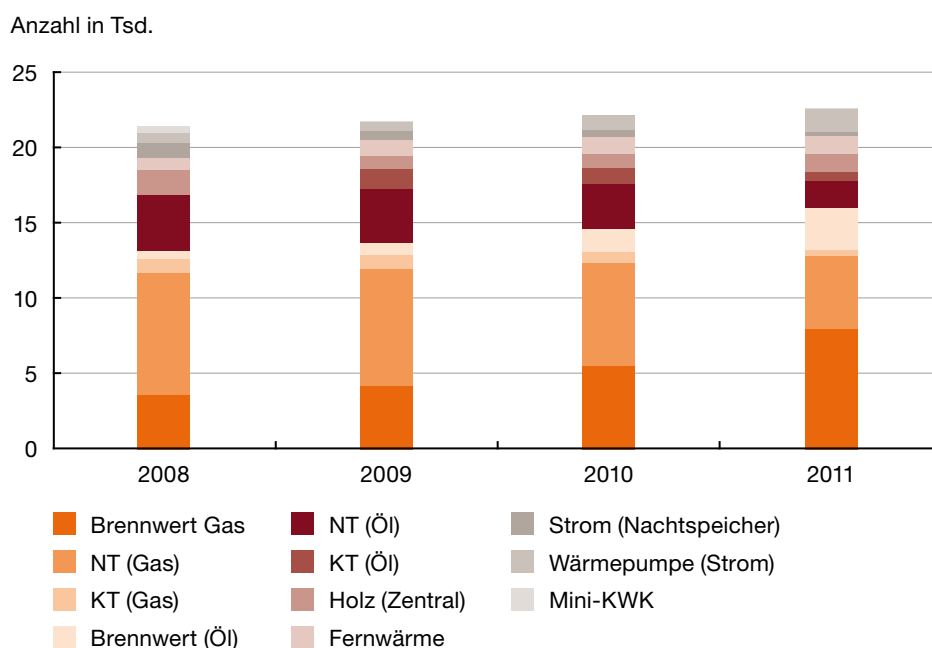
2.3 Entwicklungen und Trends im Wärmebereich

Das HWWI geht in einer Prognose davon aus, dass bis 2030 zunehmend Brennwerttechnik im Bestand vorzufinden sein wird. Zudem steigt der Anteil von Wärmepumpen.²⁵

Damit verbunden ist eine Veränderung der Anteile der verwendeten Energieträger. So wird in der HWWI-Prognose davon ausgegangen, dass die Anteile von Öl und Kohle weiter abnehmen. Erneuerbaren Energien, Fernwärme und Strom werden hingegen an Bedeutung gewinnen.

²⁵ Hamburgisches Weltwirtschafts Institut: http://www.hwwi.org/fileadmin/hwwi/Publikationen/hwwi-insights/ausgabe-4/pdfs/Insights2012_Hauswaermesektor.pdf.

Abb. 26 Szenario Anzahl und Struktur von installierten Heizungsanlagen



Quelle: Shell BDH Hauswärme-Studie 2013, S. 34.

Insgesamt wird mit einer in Zukunft größeren Vielfalt von Heizungstechniken gerechnet.²⁶ Dabei ist auch von einer Zunahme von Hybridsystemen auszugehen.²⁷ Die Kombination von Solarthermieanlagen mit Gasbrennwertgeräten ist beispielsweise bereits heute Standard im Neubaubereich. Weitere Beispiele sind Geräte, die eine elektrische Wärmepumpe mit einem Gasbrennwertgerät kombinieren, oder KWK-Systeme (siehe unten) mit Spitzenlastkesseln. Übereinstimmend wird davon ausgegangen, dass Wärmeerzeugungssysteme zunehmend effizienter werden bzw. erneuerbare Energien/Umweltwärme nutzen und dadurch der Endenergieverbrauch reduziert werden kann.

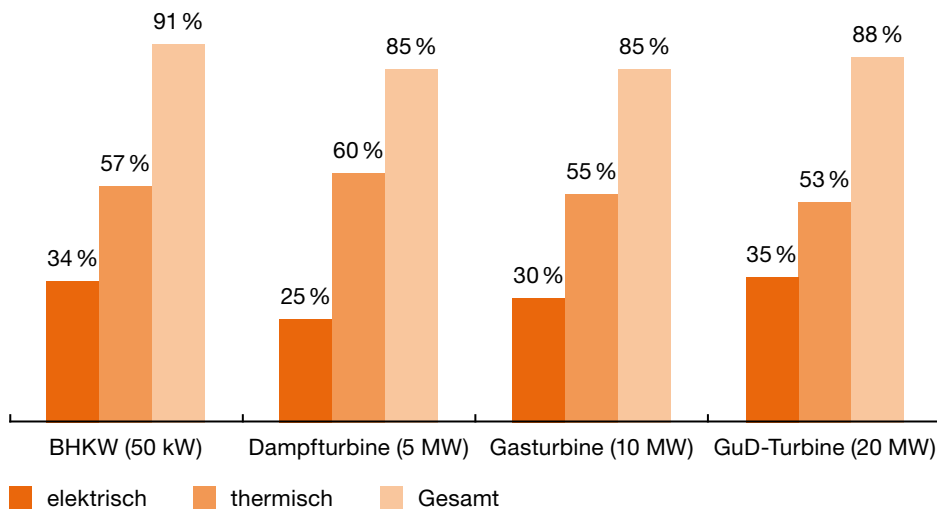
Aus dieser Entwicklung resultieren aber höhere Investitions- bzw. Kapitalkosten aufgrund der aufwendigeren Technik. Je nach zu erwartender Energiekosteneinsparung ist der Anreiz zum Einsatz sehr aufwendiger Systeme gering. Ein höherer Ertrag wäre möglich, wenn Solarthermie auch für die Deckung der Raumwärmebedarfe eingesetzt würde. Gleichzeitig wird jedoch auch darauf hingewiesen, dass diese Technologie in Konkurrenz zu anderen Technologien wie z. B. Mini-BHKW steht und daher eine deutliche Zunahme fraglich sei.²⁸

Zudem gewinnt die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) für den Strom- und Wärmemarkt zunehmend an Bedeutung. KWK ermöglicht die gleichzeitige Gewinnung elektrische Energie sowie Wärmeenergie. Die Attraktivität dieser Technologie ist durch hohe Gesamtwirkungsgrade von bis zu 91 % bedingt, die aus der Ausnutzung der thermischen zusätzlich zur elektrischen Energie resultieren.

²⁶ BCG Trendstudie BDI 2013, Seite 28.

²⁷ Exxon, Energieprognose 2012–2040, 2012, Seite 7.

²⁸ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen – Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 2 – Solarenergie, Seite 88.

Abb. 27 Wirkungsgrade verschiedener KWK-Anlagentypen

Quelle: BMWi: Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Okt. 2014).

KWK-Anlagen verbessern zudem die Einbindung der dezentral erzeugten erneuerbaren Energien, deren Bereitstellung kaum in Abhängigkeit des Strombedarfs geregelt werden kann. Insbesondere KWK-Anlagen, deren Verhältnis von erzeugtem Strom zu erzeugter Wärme flexibel regelbar ist, können bei einem erhöhten Strombedarf zur Versorgungssicherheit beitragen. In diesem Fall kann die notwendige Leistung, die von den erneuerbaren Energiequellen (EEG-Anlagen) nicht gedeckt werden kann, von einer flexiblen KWK-Anlage zur Verfügung gestellt werden. Auch im umgekehrten Fall kann die in den EEG-Anlagen erzeugte elektrische Energie mit einer flexibel regelbaren KWK-Anlage kombiniert werden, indem die Stromerzeugung der KWK-Anlage vorübergehend reduziert wird. KWK-Anlagen bieten sich auch in Kombination mit Power-to-heat-Anlagen an. Überschüssige elektrische Energie von EEG-Anlagen in Zeiten, in denen durch Windenergie und Photovoltaik große Strommengen erzeugt werden, könnten alternativ in Wärme umgewandelt werden (power-to-heat) und damit die Wärmeerzeugung von vorübergehend gedrosselten oder abgeschalteten KWK-Anlagen (da der Strom in dieser Zeit nicht benötigt wird) ausgleichen. Beides verhindert die Notwendigkeit zur Abregelung der EEG-Anlagen bei überschüssiger Energieerzeugung, was gemäß dem Gesetzgeber nur in Ausnahmefällen stattfinden soll.

KWK-Anlagen, die kein flexibel regelbares Strom- zu Wärmeverhältnis gewährleisten, bspw. Gegendruckmaschinen und BHKW, werden meist wärmegeführt betrieben. Mithilfe von Wärmespeichern oder Spitzenkesseln kann eine Orientierung der Anlagenfahrweise am Strommarkt realisiert werden, indem im Fall eines Energieüberschusses der EEG-Anlagen gespeicherte Wärme genutzt wird. Vor allem im industriellen Bereich, wo oft sehr hohe Temperaturen benötigt werden, sind Wärmespeicher jedoch aus wirtschaftlichen Gründen häufig nicht rentabel.

Ein weiterer Ausbau von KWK-Anlagen, insbesondere von stromgeführten bzw. solchen mit flexibel regelbarem Strom-zu-Wärmeverhältnis, ist daher zu erwarten. Konkret wird von der Bundesregierung angestrebt, bis zum Jahr 2025 eine Erhöhung des Anteils der KWK an der Stromerzeugung von derzeit ca. 15 % auf 25 % zu realisieren.²⁹

Zur Realisierung dieses Ziels kommen KWK-Anlagen insbesondere im Fernwärmebereich zum Einsatz. Doch auch zur Wärmeerzeugung für größere Gebäude werden kleinere KWK-Anlagen verwendet sowie zur Erzeugung von Prozesswärme im industriellen Bereich.

Im Sinne des Ziels der Ausweitung des Anteils von KWK weitete die Bundesregierung die Förderung für KWK-Anlagen aus. Zudem werden Wärmespeicher gefördert, indem diese mit Zuschüssen von bis zu 30 Prozent der Investitionskosten unterstützt werden. Darüber hinaus sind Maßnahmen zur KWK-Nachrüstung von konventionellen Kraftwerken und entsprechenden Industrieanlagen förderfähig, da hierdurch die Effizienz dieser Anlagen erheblich gesteigert wird.³⁰

Einem Bericht von Prognos zufolge wurde der jährliche Höchstbetrag der KWK-Förderung im Rahmen des KWKG in Höhe von 750 Millionen € jedoch in den letzten Jahren zu weniger als einem Drittel aufgebraucht. Dies zeigt, dass der KWK-Ausbau noch deutlich gesteigert werden muss, um die Ziele der Bundesregierung bis 2020 realisieren zu können.³¹

2.4 Rolle der Erneuerbaren Energien

Mit dem 2008 in Kraft getretenem Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) hat sich die Bundesregierung zum Ziel gesetzt, den Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis zum Jahr 2020 auf 14 % zu erhöhen.³²

Das EEWärmeG verpflichtet Eigentümer von neu zu errichteten Gebäuden grundsätzlich, den Wärmebedarf anteilig mit erneuerbaren Energien zu decken. Der erforderte Anteil ist abhängig davon, welche erneuerbare Energien eingesetzt werden. Wer hingegen keine erneuerbaren Energien nutzen möchte, kann dies vermeiden, wenn er stattdessen bestimmte Ersatzmaßnahmen wählt (z. B. Nutzung von Abwärme oder Wärme aus einer KWK-Anlage zu einem Anteil von 50 % des Wärmebedarfs).

²⁹ Presse- und Informationsamt der Bundesregierung – http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/EnergieErzeugen/EnergieSparenKWK/_node.html.

³⁰ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014.

³¹ KWKG §7 Abs. 2, 3 und 4 und Presse- und Informationsamt der Bundesregierung – http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/EnergieErzeugen/EnergieSparenKWK/_node.html.

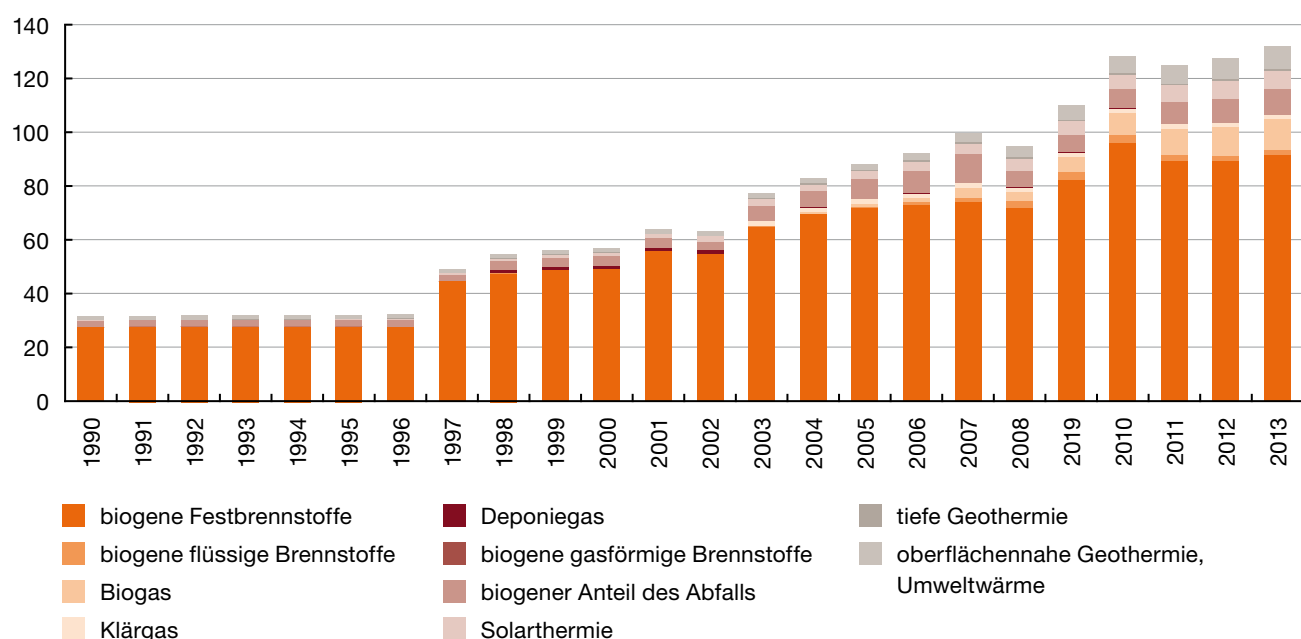
³² EEWärmeG, http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eew_rmeg/gesamt.pdf.

Zur Erreichung des Ziels von 14% hat die Bundesregierung zudem ein Marktanzreizprogramm ins Leben gerufen, mit dem der Ausbau der Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt mit 500 Mio. € jährlich gefördert wird.

Der Anteil Erneuerbarer Endenergien im Wärmesektor liegt mit aktuell ca. 9% noch etwas entfernt von der Zielmarke von 14% in 2020, konnte aber in den letzten Jahren spürbare Wachstumsraten verzeichnen. Seit dem Inkrafttreten des EEWärme Gesetzes konnte der Einsatz der Erneuerbaren Energien im Wärmebereich um insgesamt rd. 40% erhöht werden. Mit 70% haben die biogenen Festbrennstoffe den mit Abstand größten Anteil der Erneuerbaren Endenergien im Wärmebereich.

Abb. 28 Erneuerbarer Endenergieverbrauch für Wärme

Endenergieverbrauch in TWh

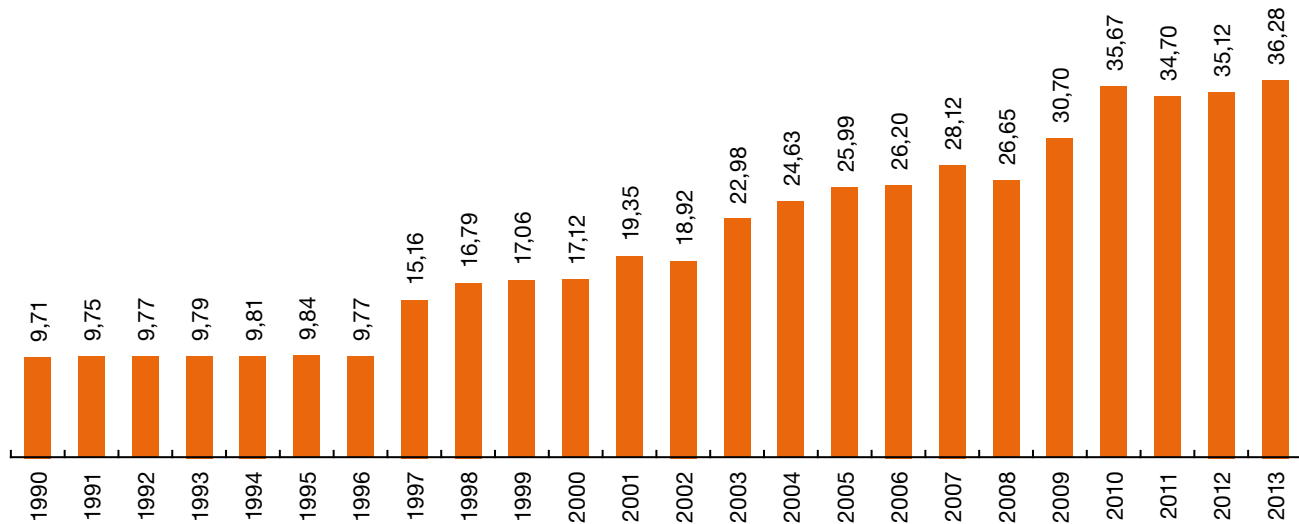


Quelle: BMWi, Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland (Stand: Aug. 2014).

Durch den starken Ausbau der Erneuerbaren Energien zur Deckung des Endenergieverbrauchs für Wärme konnte auch eine positive Entwicklung bei der Reduzierung von CO₂-Emissionen erreicht werden. Seit 2008 wurden die Einsparungen um 36% erhöht, wobei nach Zahlen des BMWi insgesamt knapp 200 Mio. Tonnen CO₂ eingespart werden konnten. Ob diese Entwicklung jedoch allein den Bemühungen der Bundesregierung zuzuschreiben sind, ist fraglich, da bereits seit 1996 kontinuierliche CO₂-Einsparungen durch Erneuerbare Energien im Wärmesektor realisiert wurden. Nichtsdestotrotz ist die politische Förderung des Ausbaus Erneuerbarer Energien im Wärmesektor zur Erreichung der Energieziele unumgänglich.

Abb. 29 Vermeidung von CO₂-Emissionen durch EE im Wärmesektor

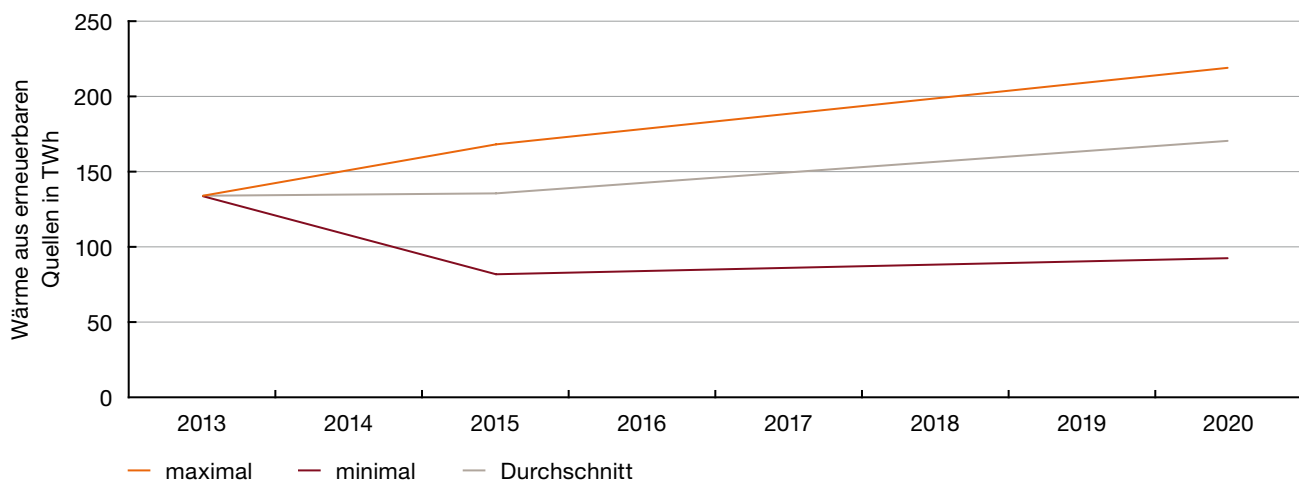
eingesparte Emissionen in Mio. tCO₂



Quelle: BMWi, Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland (Stand: Aug. 2014).

Im Folgenden werden die Prognosen verschiedener Studien in einem Korridor für die Entwicklung der erneuerbaren Wärme dargestellt. Aus der Leitstudie des Bundesministeriums für Umwelt (BMU) geht hervor, dass die Bereitstellung von erneuerbarer Wärme bis zum Jahr 2030 mit durchschnittlich 3,7% pro Jahr wächst. Als Grund für diese langsamere Entwicklung als bei der Stromerzeugung werden in der Studie weniger wirksame politische Förderinstrumente im Wärmebereich genannt. Insgesamt wird aber ein deutlicher Anstieg der Wärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energiequellen erwartet (vgl. Abbildung 30).

Abb. 30 Entwicklungskorridor für erneuerbare Wärme



E Szenarioberechnungen

Vor dem Hintergrund der unter Kapitel C beschriebenen Entwicklung bei den CO₂-Emissionen im Wärmebereich stellt sich die Frage, mit welchen Maßnahmen zukünftig eine signifikante Absenkung dieser erreicht werden kann.

Im Rahmen dieser Studie wird zunächst ein Referenzszenario für die Entwicklung des Wärmebereichs bis 2050 festgelegt, das aus unserer Sicht einer Fortschreibung der aktuellen Entwicklungen im Wärmebereich entspricht. Unser Modell bildet die Entwicklung in den verschiedenen Nutzergruppen Haushalte, Industrie und GHD ab.

Anschließend werden geeignete Abweichungsszenarien definiert, die im Vergleich zum Referenzszenario weitergehende Maßnahmen zur Erreichung unserer Umweltziele beinhalten. Die Annahmen zum Referenz- sowie zu den Abweichungsszenarien werden im Weiteren sowohl textlich erläutert als auch in einer Tabelle im Anhang zusammengefasst.

Mit unserem Wärmemodell werden schließlich sowohl für das Referenz- als auch die Abweichungsszenarien die Auswirkungen auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen und auf die Kosten berechnet.

1 Referenzszenario

Das Referenzszenario führt aktuelle Entwicklungen auf dem Wärmemarkt fort und ist somit als Business-as-usual Szenario zu verstehen.

1.1 Haushaltsbereich

1.1.1 Sanierung von Gebäuden zur Absenkung des Raumwärmebedarfs

Bei den privaten Haushalten wird eine **Sanierungsrate von 1 %** des **Gebäudebestands** und eine Abrissquote von 0,3 % angenommen. Insgesamt wächst der Gebäudebestand bis 2050 angelehnt an eine Abschätzung der Shell Wärmestudie um ca. 10 %. Der erforderliche **Neubau** berechnet sich dann aus der Abrissquote und der Zunahme des Gebäudebestands.

Neben der Sanierungsrate kommt der Sanierungstiefe eine wichtige Bedeutung zu, wobei wir eine Unterscheidung zwischen teil- und vollsanierten Gebäuden treffen. Von 2014 bis 2030 steigt in unserem Modell der Anteil der unsanierten Gebäude, die vollsaniert werden, von 25 % auf 50 % an. Bei den übrigen unsanierten Gebäuden wird angenommen, dass sie teilsaniert werden. Gleichzeitig werden teilsanierte Gebäude voll saniert.

Des Weiteren werden durchschnittliche auf die Gebäudefläche bezogene Raumwärmebedarfe, differenziert nach Sanierungstiefe, angenommen:

Tab. 2 Raumwärmebedarf nach Haustyp und Sanierungsstand

EFH (in kWh/m ²)			MFH (in kWh/m ²)		
unsaniert	teilsaniert	vollsaniiert	unsaniert	teilsaniert	vollsaniiert
152	87	57	127	77	47

Wie aus der Tabelle ersichtlich wird, beträgt der durchschnittliche Energiebedarf bei einem unsanierten EFH 152 kWh/m² im Jahr und bei einem MFH 127 kWh/m² im Jahr, wobei dieser bei einem teilsanierten gegenüber einem unsanierten EFH um rd. 43 % (bei MFH um rd. 39 %) und bei einem vollsanierten gegenüber einem teilsanierten EFH um 34 % sinkt (bei MFH um rd. 39 %). Der Endenergieverbrauch der Gebäude für Raumwärme ergibt sich aus den genannten Wärmebedarfen und einem heizungsanlagenspezifischen Nutzungsgrad.

Bei den zugrunde gelegten Kosten für die Sanierungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der Sanierungstiefe ermittelten wir Durchschnittswerte auf Grundlage verschiedener Studien.³³

1.1.2 Austausch von Wärmeerzeugern

Aufgrund der Altersstruktur der zentralen Wärmeerzeuger und verschärften Regelungen der EnEV 2014 auch für den Bestand erwarten wir einen Anstieg der Heizungsaustauschrate von derzeit 3 % auf zukünftig mindestens 4 %. Dabei werden die ineffizienten Wärmeerzeugungsanlagen nach Ablauf der unterstellten Lebensdauer durch moderne Technologien ersetzt – also beispielsweise ineffiziente Anlagen wie Konstant-Temperatur-Kessel oder Niedertemperaturkessel durch Brennwertkessel. Zu einem kleineren Anteil wird der Einsatz von modernen Technologien mit einer Solarthermieanlage kombiniert.

Beim Fuel-Switch von Bestandsanlagen stehen die konventionellen Energieerzeuger im Fokus, d. h. es erfolgt keine umfassende Verwendung erneuerbarer Energien. Gegenwärtig ist zwar davon auszugehen, dass deren Anteil an der Wärmeerzeugung von 9 % in 2013 weiter ansteigen wird, aber dass die Erneuerbaren Energien in absehbarer Zeit nicht die Bedeutung wie im Strombereich erlangen werden. Im Neubaubereich wird ein Trend hin zu Wärmepumpen unterstellt. Bis zum Jahr 2050 führen die getroffenen Annahmen im Vergleich zu 2014 zu einer Verdreifachung der Wärmebereitstellung aus Solar- und Umweltwärme im Haushaltssektor.

1.1.3 Prozesswärme und Warmwasser

Für die im Haushaltssektor weniger relevante Prozesswärme wurde im Referenzszenario ein stagnierender Verbrauch angenommen. Ebenfalls konstant gehalten wurde der Bedarf von Warmwasser.

³³ Vgl. Prognos (2013), TU-Darmstadt (2013) sowie IWU (2013).

1.2 Besonderheiten bei GHD und Industrie

Anders als im Haushaltssektor unterstellt unser Modell, dass der Flächenbedarf bei Gebäuden von Industrie und GHD unverändert bleibt. Weiter legen wir unserer Rechnung in diesen Sektoren eine erhöhte Abrissquote von 0,6% und eine Sanierungsrate von 2% zugrunde. Für die flächenspezifischen Raumwärmebedarfe der beiden Sektoren wurden sowohl für sog. wohnhausähnliche (WÄG) als auch wohnhausunähnliche (WUG) Gebäude deutlich niedrigere Werte angenommen als im Haushaltssektor, wobei die Werte bei WUGs besonders niedrig angesetzt wurden. Der Kältebedarf steigt dagegen bis 2050 signifikant an. Hierfür ist sowohl ein Anstieg der Prozess- als auch der Klimakälte verantwortlich.

Der Prozesswärmebedarf im GHD-Sektor entwickelt sich in Abhängigkeit der Wertschöpfung, welche im Referenzszenario bis 2050 um 43% ansteigt. Gleichzeitig erhöht sich die Industrieproduktion bis 2050 um 25%. Ein soweit erhöhter Wärmebedarf im GHD-Sektor wird jedoch durch eine verbesserte Effizienz und Wärmeintensität teilweise kompensiert. Im Industrie-Sektor unterstellen wir abweichend hiervon sogar eine leichte Überkompensation.

Schließlich werden im Referenzszenario auch Annahmen für Investitionskosten zur Senkung des Wärmebedarfs und zum Wechsel von Wärmeerzeugern sowie Brennstoff- und weiteren Betriebskosten bei der Erzeugung von Wärme getroffen.

2 Alternativszenarien

Wie bereits erwähnt, wurden abweichend vom Referenzszenario verschiedene Alternativszenarien entwickelt, die zum einen eine veränderte Reduktion des Nutzenergiebedarfs und zum anderen unterschiedliche Technologieoptionen zur Wärmeerzeugung berücksichtigen. Im Folgenden werden diese abweichenden Annahmen vorgestellt. Darüber hinaus wurden keine weiteren Parameter gegenüber dem Referenzszenario verändert.

2.1 Abweichung Sanierungsgrad & Sanierungstiefe

Seitens der Politik und Gesetzgebung werden Sanierungs- bzw. Dämmmaßnahmen an Gebäuden als zentrale Stellhebel zur Senkung des Wärmebedarfs angesehen, weshalb sie auch eine wichtige Rolle in dem jüngst von der Bundesregierung verabschiedeten Klimaprogramm spielen. Demgegenüber werden solche Maßnahmen gegenwärtig aber zunehmend kontrovers in den Medien als teuer und schädlich kritisiert und deren Sinnhaftigkeit insgesamt in Frage gestellt.³⁴ Im Rahmen dieser Studie werden die Wirksamkeit von beispielsweise Dämmmaßnahmen aus Studienanalysen hergeleitet und gehen mit diesen Annahmen in die Modellrechnungen ein.

³⁴ Vgl. z. B. Spiegel, Die Volksverdämmung – Energiewende: Wie Mieter und Hausbesitzer um Milliarden betrogen werden, Nr. 49/1.12.2014.

2.1.1 Ausweitung der Sanierungsmaßnahmen

In diesem Szenario wird die Sanierungsrate für private Gebäude von 1 % auf 2,5 % angehoben. Bei den unsanierten Gebäuden gehen wir von einer vollständigen Sanierung aus, d. h. Teilsanierungen kommen in diesem Szenario nicht mehr vor. Für den GHD und Industriesektor steigt die Sanierungsrate teilsanierter Gebäude zur Vollsanieung auf 5 % an. Für unsanierte Gebäude wird gegenüber dem Referenzszenario bei den Sanierungsraten keine Anpassung vorgenommen, da der Gebäudebestand des GHD- und Industriesektors bereits einen hohen Sanierungsstandard aufweisen. Allerdings unterstellen wir hier eine Vollsanieung dieser Gebäude.

2.1.2 Keine Sanierungsmaßnahmen

Um die Bedeutung von Sanierungsmaßnahmen besser zu verdeutlichen, stellen wir dem Referenzszenario auf der anderen Seite auch ein Szenario gegenüber, bei dem keine substanziellen Sanierungsmaßnahmen an den Gebäuden stattfinden. Unberührt bleiben jedoch weiterhin die Neubau- und Abrissraten im Gebäudebestand, so dass insoweit eine Verbesserung des energetischen Zustands des Gebäudebestandes stattfindet, wenn auch insgesamt nur in geringfügigem Ausmaß.

2.2 Stromszenario

Dieses Szenario ist zunächst auf den starken Ausbau von strombetriebenen Heizungstechnologien fokussiert. Dabei wird vor allem der Ausbau von Wärmepumpensystemen und Direktheizungen als Ersatz von weniger effizienten Technologien angenommen.

Hintergrund dieses Szenarios ist zum einen, dass durch Wärmepumpensysteme auch Umweltwärme zur Wärmebereitstellung genutzt werden kann. Zum anderen ist abzusehen, dass die CO₂-Belastung der Stromerzeugung zukünftig aufgrund des zunehmenden Einsatzes Erneuerbarer Energien kontinuierlich abnehmen wird (lediglich ab 2022 wird sie infolge des vollständigen Ausstiegs aus der Kernenergie kurzfristig zunehmen).

Dabei greifen wir, wie im Übrigen bei allen weiteren Szenarien auch, zunächst auf die Zahlen zur CO₂-Belastung aus dem Referenzszenario unseres Strommodells zurück (**Stromszenario Referenzfall**), das den Ausbau Erneuerbarer Energien an den im EEG 2014 enthaltenen Zielvorgaben orientiert. Wir gehen beim Stromszenario Referenzfall davon aus, dass der Zuwachs des eingesetzten Stroms zur Wärmeerzeugung gegenüber dem Wärme-Referenzszenario anteilig durch die einzelnen im Strommodell abgebildeten Energieträger abgedeckt wird. Darüber hinaus berechnen wir aber auch noch ein CO₂-Szenario, bei dem dieser Stromzuwachs zur Wärmeerzeugung vollständig durch Erneuerbare Energien abgedeckt wird (**Stromszenario Erneuerbare Energien**).

Die Unterschiede bei den aus beiden Szenarien resultierenden Gesamtkosten ermitteln wir in Abhängigkeit der Investitions-, Brennstoff- und Betriebskosten der jeweils zum Einsatz kommenden Energieträger. Bei beiden Stromszenarien schlagen wir Netzkosten den Erzeugungskosten auf.

Im Unterschied zum Referenzszenario erfolgt bei den Stromszenarien für Raumwärme der Austausch von kohlebetriebenen Feuerungsanlagen ausschließlich gegen Stromdirektheizungen. Erdgas- und Öl-betriebene Konstant- und Niedertemperaturkessel werden in 45 % der Fälle durch Wärmepumpensysteme ersetzt. Der Austausch von Nachtspeicherheizungen erfolgt zu 100 % gegen Direktheizungen. Heizungsanlagen im Neubau bestehen zu 75 % aus Wärmepumpen und 25 % aus Direktheizungen.

Dieses Szenario beinhaltet somit im Haushaltssektor zu einem großen Umfang Investitionen in Wärmepumpen und zu einem kleineren Umfang in Direktheizungen. Im Haushaltssektor lohnen sich Direktheizungen i. d. R. erst bei niedrigen Wärmebedarfen oder wenn ein umfangreicher Ausbau des Heizsystems (Leitungssystems) vermieden werden soll. Aus diesem Grund werden Direktheizungen im Vergleich zu Wärmepumpen weniger stark als Heizungssysteme in Betracht gezogen, oder dienen lediglich als Ergänzung.

Im Bereich der Prozesswärme werden zwar auch vermehrt Wärmepumpen eingesetzt, sofern nur vergleichsweise niedrige Temperaturniveaus benötigt werden. Darüber hinaus kommen aber bevorzugt Anlagen mit direkter Wärmeerzeugung aus Strom zum Einsatz. Im Industrie- und GHD-Bereich werden für die Prozesswärme und Prozesskälte gegenüber unserem Referenzszenario ebenfalls Anpassungen vorgenommen. So werden bis 2050 nur noch strombetriebene Kältemaschinen für die Kältebereitstellung eingesetzt. Neue Anlagen für Prozesswärmezwecke sind zu 20% Wärmepumpen und zu 80% Wärmeerzeuger auf Strombasis ohne Nutzung von Umweltwärme. Im Temperaturbereich bis 150°C werden jährlich 5 % der Gas- und Ölanlagen gegen Wärmepumpen ausgetauscht. Dagegen erfolgt im Temperaturbereich über 150°C der Austausch gegen Wärmeerzeuger auf Strombasis ohne Nutzung von Umweltwärme.

2.3 Gas- und KWK-Szenario

Das Gas- und KWK-Szenario ist durch einen konsequenten Ausbau von Erdgas und KWK Anlagen geprägt.

Bei diesem Szenario kommt Gas als fossiler Energieträger mit relativ geringen CO₂-Emissionsfaktoren noch stärker als im Referenzszenario zum Einsatz. Durch den Einsatz von KWK-Anlagen wird der Wirkungsgrad von Wärmeerzeugungsanlagen erhöht und damit der Endenergie- und Primärenergieverbrauch insoweit gesenkt. Unter Anwendung der sog. finnischen Methode ermitteln wir den der Wärmeerzeugung zuzurechnenden Endenergieverbrauch. Dabei ergibt sich, dass die aus KWK resultierende Nutzenergie etwas höher als der der Wärme zu zurechnende Endenergieverbrauch ist. Darüber hinaus teilen wir die Investitionskosten von KWK-Anlagen zwischen dem Wärme- und Strombereich ebenfalls entsprechend auf.

Bei diesem Szenario werden in Neubauten nur noch KWK- und Gasbrennwertanlagen (teilweise in Kombination mit Solarthermie) verbaut. In MFH und WUG ist der Anteil der KWK an der Wärmebereitstellung höher als in EFH und WÄG.

Ineffiziente ölbetriebene Konstant- und Niedertemperaturkessel werden nach Ablauf ihrer Lebensdauer weitgehend gegen Erdgas-Brennwertkessel anstatt Öl-Brennwertkessel ausgetauscht. Nachtspeicherheizungen werden im Austauschfall gegen KWK-Anlagen anstatt Wärmepumpenanlagen (bei EZFH) oder anstatt Fernwärme (bei MFH) ausgetauscht.

Darüber hinaus werden im Bereich Prozesswärme Öl-, Kohleanlagen in allen Temperaturbereichen durch Gasanlagen mit einer Wechselrate von 5 % p. a. ersetzt. Mit Strom angetriebene Anlagen werden für den Temperaturbereich bis 250°C mit einer Wechselrate von 5 % p. a. gegen KWK-Anlagen ausgetauscht.

Die Vorlauftemperatur bei KWK Anlagen ist nach oben hin begrenzt, was sich auf das Einsatzpotenzial für Prozesswärmezwecke auswirkt. Daher werden ab 250°C die Stromanlagen gegen Gasanlagen ausgetauscht.

Schließlich werden 40% aller Neuanlagen mit Erdgas-KWK und 60% mit reinen Erdgaskesseln betrieben.

2.4 Bio-Szenario

In diesem Szenario wird der Schwerpunkt auf die Nutzung von Bioenergie gelegt. Es erfolgt hierbei im Verhältnis zum Referenzszenario vor allem ein intensiver Austausch hin zu Holz und zur Nutzung von Biomethan bzw. erneuerbarem Methan.

Dabei werden Kohleanlagen zur Raumwärmebereitstellung sowie Nachtspeicherheizungen im Austauschfall vollständig sowie Erdgas- und Öl-betriebene Konstant- und Niedertemperaturkessel zu 45 % durch Holzanlagen ersetzt.

Schließlich steigt im Bio-Szenario die Nutzung von Biomethan kontinuierlich sektorenübergreifend bis 2050 auf 20 % an der allgemeinen Gasversorgung an. Dabei wird angenommen, dass in einem Fermenter gewonnenes Biogas zu Biomethan veredelt und ins allgemeine Gasnetz zur flexiblen Verwendung eingespeist wird. Bisher erfolgt eine solche Nutzung von Biogas noch auf niedrigem Niveau, allerdings mit ansteigender Tendenz. Während nach Informationen der Bundesnetzagentur 2011 das Einspeisevolumen von Biomethan noch 275 Mio. m³ betrug, lag es bei 2013 520 Mio. m³. Der erhöhte Anteil von Biomethan verbessert entsprechend den CO₂-Emissionsfaktor des Energieträgers Gas, da wir annehmen, dass Biomethan klimaneutral ist.

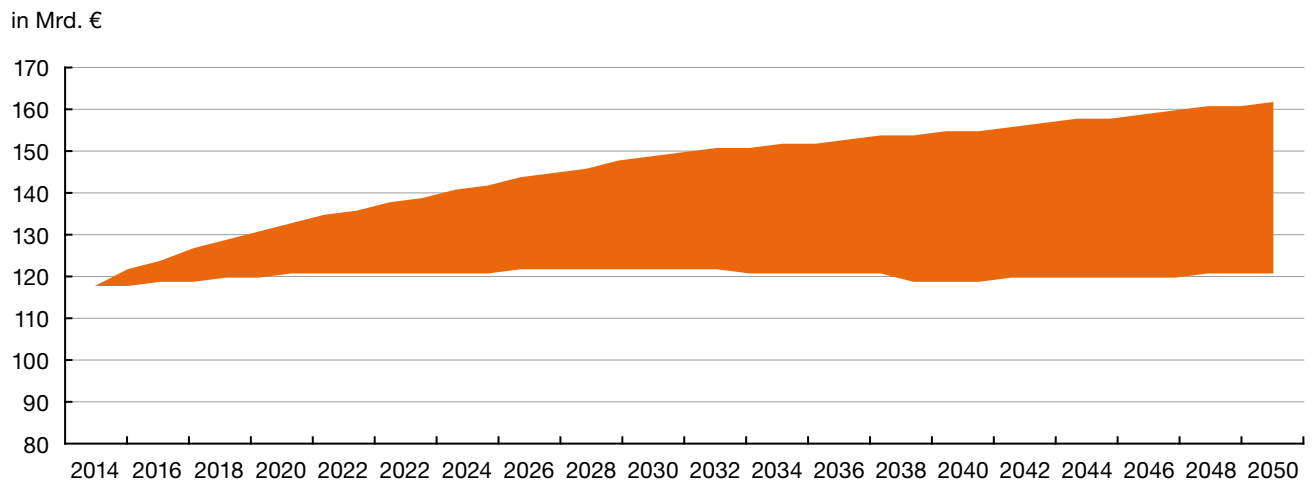
2.5 Bio + Sanierungsszenario

Für die Berechnung wird eine Kombination des Bio-Szenarios mit dem Sanierungsszenario und als Folge dessen niedrigeren Endenergieverbräuchen zugrunde gelegt. Es handelt sich folglich um ein sehr progressives Szenario.

3 Szenario übergreifende Ergebnisse

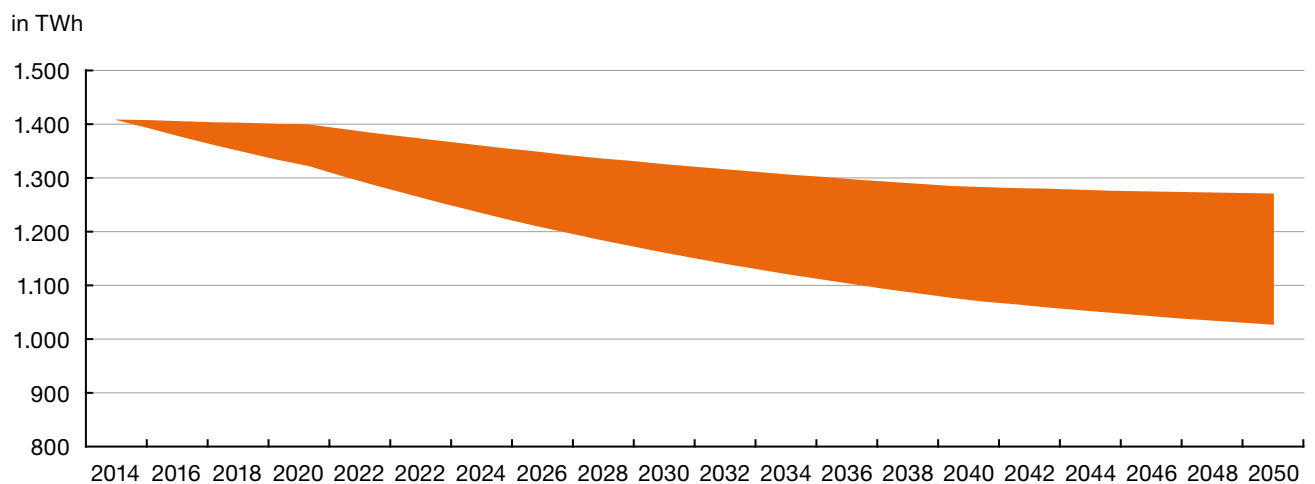
Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass die jährlichen Gesamtkosten der Wärmeerzeugung in allen berechneten Szenarien ansteigen. Die Spannweite der Ergebnisse bis 2050 ist mit 41 Mrd. € relativ groß. Am stärksten steigen die Kosten im Bio + Sanierungsszenario an (rd. 37 % ggü. dem Jahr 2014). Der geringste Anstieg der Gesamtkosten ergibt sich im Szenario ohne Sanierung.

Abb. 31 Kosten der Wärmeerzeugung



Der Endenergieverbrauch (EEV) für die Wärmeerzeugung fällt in allen berechneten Szenarien ab dem Jahr 2014 kontinuierlich ab. Je nach betrachtetem Szenario liegen die prognostizierten Verbrauchswerte im Jahr 2050 zwischen 1.274 (Szenario ohne Sanierung) und 1.029 TWh (Stromszenario), was einer Absenkung zwischen 10 % und 27 % gegenüber 2014 entspricht.

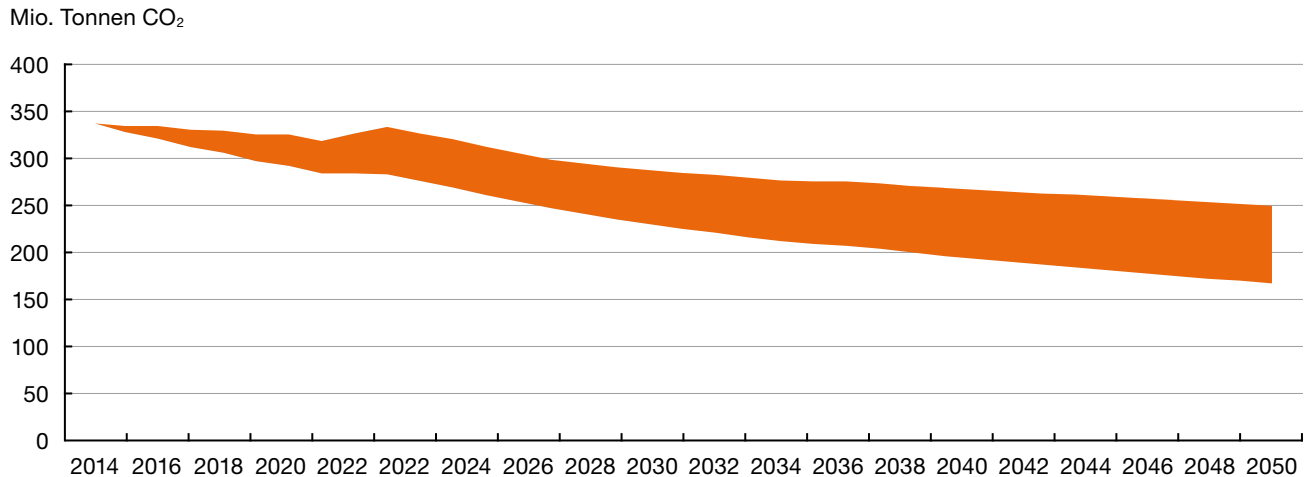
Abb. 32 Endenergieverbrauch für Wärme



Im Referenzszenario (EEV gesamt 2050: 1.167 TWh) sanken der Raumwärmebedarf von 2014 bis 2050 von 682 TWh auf 465 TWh um ca. 32 % und der Prozesswärme- und Kältebedarf leicht von 604 TWh auf 566 TWh. Der Warmwasserverbrauch blieb mit 125 TWh 2014 zu 122 TWh 2050 nahezu konstant.

Die aus der Wärmeerzeugung resultierenden jährlichen CO₂-Emissionen fallen nach unseren Berechnungen in alle Szenarien zunächst. Nach der Abschaltung der letzten Kernkraftwerke in 2022 ist dann auch für den Wärmebereich mit einem erneuten kurzfristigen Anstieg der Emissionen zu rechnen. Anschließend fallen die prognostizierten Emissionen in den Szenarien auf einen Wert zwischen 168 Mio. t (Bio + Sanierung) und 251 Mio. t CO₂ (ohne Sanierung) im Jahr 2050.

Abb. 33 CO₂-Emissionen



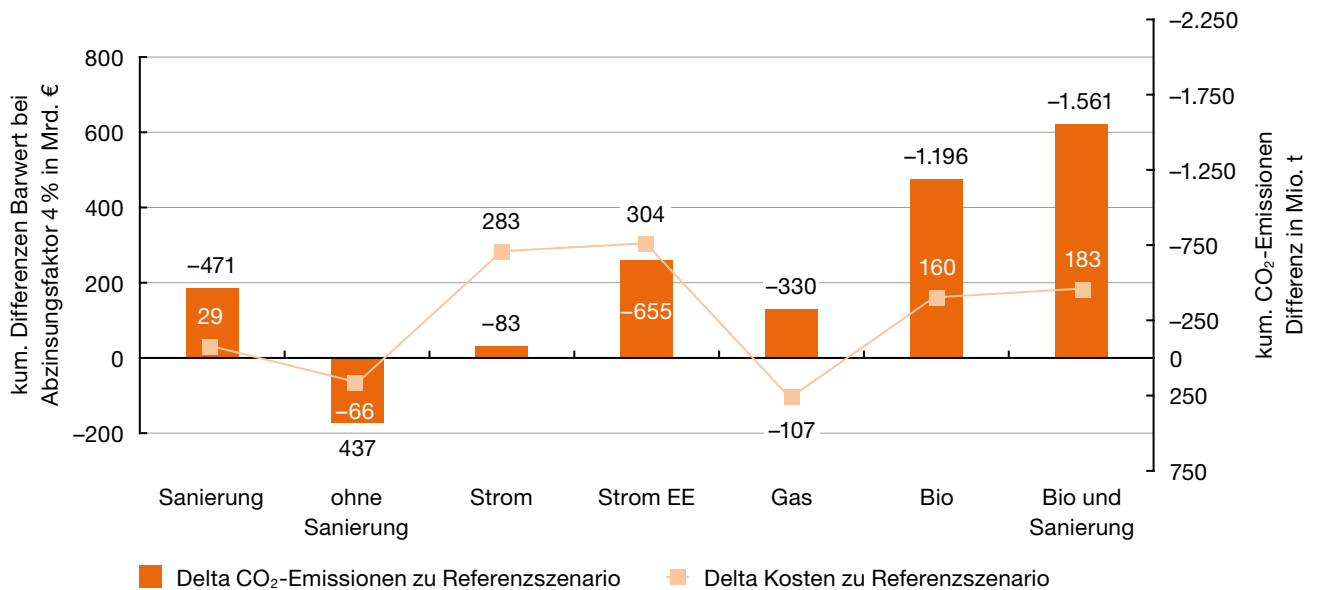
Vor dem Hintergrund des Ziels der Bundesregierung, den CO₂-Ausstoß bis 2050 gegenüber 1990 um 80–95 % zu senken, und der Bedeutung des Wärmesektors zur Erreichung dieses Ziels, ist der Rückgang der CO₂-Belastung in allen Szenarien nicht ausreichend. Diese betragen 1990 rd. 458 Mio. Tonnen.³⁵ Stellt man dem eine CO₂-Belastung von 230 Mio. Tonnen des Referenzszenarios im Jahre 2050 gegenüber, ergibt sich eine Absenkung von rd. 50 %, was angesichts der Bedeutung des Wärmebereichs dazu führen dürfte, dass die CO₂-Ziele der Bundesregierung in jedem Fall verfehlt werden. Doch selbst unter Zugrundelegung des progressivsten Szenarios – also bei einem niedrigeren Endenergieverbrauch aufgrund hoher Sanierungsraten sowie hohen Bioenergieanteilen – verbleibt 2050 noch eine CO₂-Belastung in Höhe von 168 Mio. Tonnen, was gegenüber 1990 einer Entlastung um rd. 64 % entspricht.

³⁵ Umweltbundesamt (April 2014):Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto Protokoll 2014: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2012.

4 Schlussfolgerungen für die einzelnen Szenarien

Die folgende Abbildung stellt die jeweiligen Unterschiede bei den Ergebnissen der einzelnen Szenarien im Hinblick auf die kumulierten Gesamtkosten und die kumulierten CO₂-Emissionen im Zeitraum 2014–2050 gegenüber dem Referenzszenario dar.

Abb. 34 Differenzen bei den Gesamtkosten und CO₂-Emissionen (2014–2050) gegenüber Referenzszenario

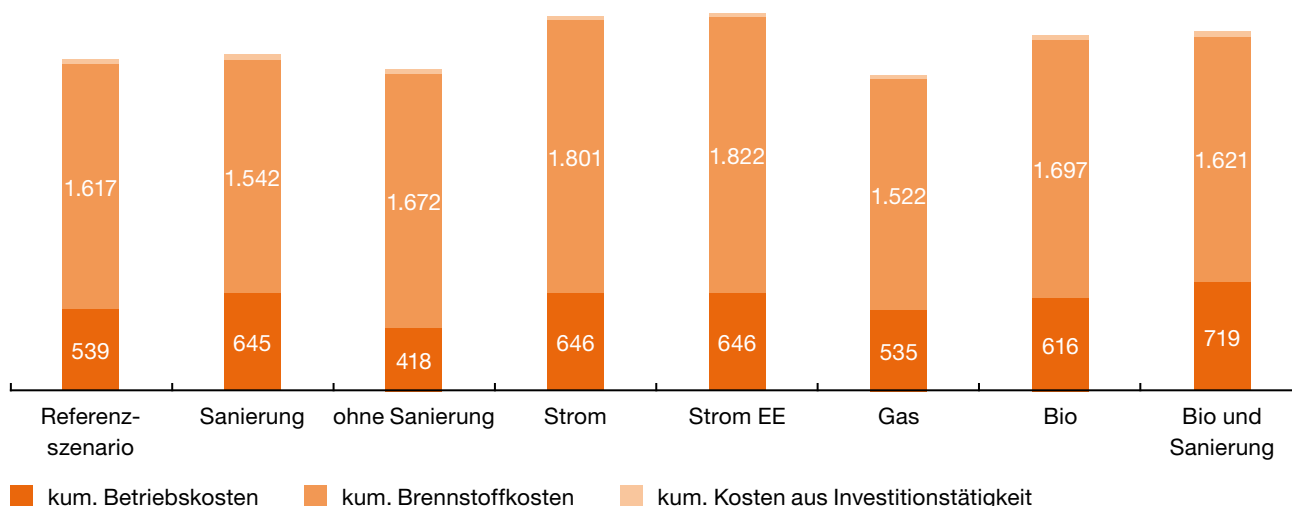


Die Grafik zeigt, dass die Szenarien mit hohen Anteilen Erneuerbaren Energien – das Bio-Szenario, das kombinierte Bio- und Sanierungsszenario sowie das Stromszenario Erneuerbare Energien im Hinblick auf die CO₂-Emissionen die günstigsten Szenarien darstellen. Sie sind aber auch, zusammen mit dem Stromszenario Referenzfall, die Szenarien mit den höchsten Gesamtkosten. Das Sanierungsszenario sowie das Gasszenario führen zu moderaten Abweichungen gegenüber dem Referenzszenario.

Betrachtet man die Zusammensetzung der Gesamtkosten in den einzelnen Szenarien wird deutlich, dass die Brennstoffkosten in allen Szenarien den größten Anteil haben, gefolgt von den Investitionskosten. Diese sonstigen Betriebskosten spielen demgegenüber eine eher untergeordnete Rolle.

Abb. 35 Zusammensetzung der Gesamtkosten

kumulierter Barwert (4 % Abzinsungsfaktor) in Mrd. € (2014–2050)



Bei den Stromszenarien haben insbesondere die Stromgestehungskosten für die benötigten Strommengen ein großes Gewicht – dabei spielen auch die angenommenen Kosten für das Stromnetz eine Rolle. Beim Bioszenario wirken sich die erhöhten Bezugskosten von Biomethan im Vergleich zu Erdgas deutlich aus (bei privaten Haushalten betragen diese € 84 gegenüber € 54 je MWh, bei GHD € 71 gegenüber € 41 je MWh sowie in der Industrie € 58 gegenüber € 28 je MWh). Die höchsten Investitionskosten treten im kombinierten Bio- und Sanierungsszenario auf.

Im Folgenden analysieren wir die in den Grafiken abgebildeten Ergebnisse der einzelnen Szenarien noch einmal gesondert:

Das Referenzszenario – wie oben ausführlich beschrieben und in unserer Tabelle zu den Szenarien im Anhang zusammengefasst – ist das Szenario, auf dessen Pfad wir uns im Rahmen der Energiewende gegenwärtig befinden. Es stellt also aus unserer Sicht kein negatives, sondern eine Fortschreibung der aktuellen Entwicklungen dar, bei dem einerseits – insbesondere bei der Raumwärme – Energieeinsparungen erreicht werden, und andererseits zunehmend effiziente Technologien – wie Brennwertkessel – mit hohen Nutzungsgraden verwendet werden. Bei Neubauten kommen zudem, wie auch im Erneuerbaren Wärmegesetz festgelegt, vermehrt Erneuerbare Energien zum Einsatz. Wie oben beschrieben, werden hiermit aber die CO₂-Ziele der Bundesregierung, zu dessen Erreichung der Wärmebereich mit ca. 45 % der energiebedingten CO₂-Emissionen im Jahre 2013 einen wesentlichen Beitrag leisten muss, nicht erreicht.

Insofern zielten die weiteren Szenarien (mit Ausnahme des Szenarios „ohne Sanierung“) darauf ab, zusätzliche Verbesserungen zu erreichen, die über das hinausgehen, was in der bisherigen Entwicklung angelegt ist.

Mit der beschriebenen verstärkten Durchführung von Sanierungsmaßnahmen ließe sich der Endenergieverbrauch im Jahre 2050 gegenüber 2014 um rd. 24 % absenken gegenüber nur rd. 17 % im Referenzszenario oder sogar nur rd. 10 % für den Fall, dass keine nennenswerten Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Die CO₂-Emissionen gehen im Sanierungsszenario bis 2050 gegenüber 1990 um rd. 54 % zurück (50 %-Rückgang im Referenzszenario). Dies setzt allerdings voraus, dass die Einspareffekte, die wir unserer Berechnung zugrunde gelegt haben, auch tatsächlich realisiert werden könnten. Werden überhaupt keine Sanierungsmaßnahmen durchgeführt, reduzieren sich die CO₂-Emissionen lediglich noch um rd. 45 %.

Während die gegenüber dem Referenzszenario zusätzlichen Sanierungsmaßnahmen zu Mehr-Investitionskosten in Höhe von € 106 Mrd. bis zum Jahre 2050 führen, stehen dem bedingt durch einen niedrigeren Energieverbrauch aber auch Einsparungen bei den Brennstoffkosten in Höhe von € 75 Mrd. gegenüber. Saldiert führt dies zu erhöhten Gesamtkosten des Sanierungsszenarios gegenüber dem Referenzszenario von rd. 1,3 %. Insgesamt resultieren daraus CO₂-Vermeidungskosten von ca. € 62 je Tonne CO₂-Belastung.

Gegenüber einem Szenario ohne Sanierung wiederum liegen die Investitionskosten für die Sanierungsmaßnahmen um € 227 Mrd. höher, aber die Brennstoffkosten um € 130 Mrd. niedriger. Saldiert führt dies zu erhöhten Gesamtkosten des Sanierungsszenarios gegenüber einem Szenario ohne jegliche Sanierungsmaßnahmen von rd. 4,5 % und zu CO₂-Vermeidungskosten von rd. € 105 je Tonne CO₂-Belastung.

Diese Zahlenverhältnisse verdeutlichen, dass Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebereich schon wegen der relativ niedrigen CO₂-Vermeidungskosten sinnvoll sein können. Sie sind darüber hinaus auch notwendig, um die gesteckten Ziele der Bundesregierung nicht noch deutlicher zu verfehlen, auch wenn ihre Gesamtauswirkungen überschaubar bleiben.

Was die Auswirkungen der beiden Stromszenarien – das Stromszenario Referenzfall und das Stromszenario Erneuerbare Energien – betrifft, zeigt sich, welche Bedeutung die Entwicklung der CO₂-Belastung je erzeugter kWh im Strombereich auch für andere Bereiche wie Wärme und Verkehr spielen kann. Legt man die gegenwärtige Entwicklung nach Inkrafttreten der EEG-Novelle 2014 zugrunde, fallen die Vorteile des Strom- gegenüber dem Referenzszenarios nur sehr schwach ins Gewicht.

Bei einem höheren Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung (vgl. Annahmen im Anhang) ergibt sich daraus aber ein Vorteil bei den CO₂-Emissionen von immerhin rd. 6 %. Allerdings liegen aufgrund der relativ hohen Stromgestehungskosten auch die CO₂-Vermeidungskosten gegenüber dem Referenzszenario mit ca. € 464 je Tonne CO₂-Belastung sehr hoch.

Zu beachten ist jedoch, dass sich bei den CO₂-Emissionen beide Stromszenarien gegenüber dem Referenzszenario im Zeitverlauf erheblich verbessern. Allein auf das Jahr 2050 bezogen beträgt der entsprechende Vorteil des Stromszenarios Erneuerbare Energien rd. 21 % und des Stromszenarios Referenzfall immerhin noch 13 %, was im Hinblick auf die Erreichung der CO₂-Ziele dafür spricht, mittel-langfristig auch Strom zur Wärmeerzeugung einzusetzen.

Was das Gasszenario betrifft, unterscheiden sich die Ergebnisse gegenüber unserem Referenzszenario nicht so stark wie in den zuvor beschriebenen Alternativszenarien (siehe ebenfalls Annahmen im Anhang). Das Gasszenario erzielt aber sowohl bei der CO₂-Belastung als auch bei den Kosten bessere Ergebnisse als das Referenzszenario. So entstünden keinerlei CO₂-Vermeidungskosten. Die Emissionen könnten im Betrachtungszeitraum 2014–2050 allerdings nur um 3,2% gegenüber dem Referenzszenario reduziert werden.

Gelänge es, den Anteil von Biomethan im Gas signifikant zu steigern, so könnte dies sogar zu einer erheblichen Verbesserung des Szenarios führen. Welche Auswirkungen dies haben kann, verdeutlicht das Bio-Szenario, wobei dort neben einem erhöhten Biomethananteil auch noch andere Maßnahmen, wie der vermehrte Einsatz von Holz bei der Wärmeerzeugung, zum Tragen kommen. Im Hinblick auf das Bio-Szenario ist hingegen festzustellen, dass der Gewinnung von Biomethan durch Ressourcenknappheit und Verwendungskonkurrenzen gewisse Grenzen gesetzt sind.

Beim Bio-Szenario kommt es zu einem signifikanten Rückgang der CO₂-Emissionen gegenüber dem Referenzszenario von ca. 10,8%. Allerdings liegen auch die entsprechenden Kosten dieses Szenarios um 7,5% höher, wobei sich aus diesen gegenläufigen Tendenzen CO₂-Vermeidungskosten von ca. € 133 je Tonne ergeben.

Schließlich führt das kombinierte positive Szenario Sanierung + Bioenergie zu einer Absenkung der CO₂-Belastung von 63,4% im Jahre 2050 gegenüber 1990 bei CO₂-Vermeidungskosten in Höhe von € 118 je Tonne. Obwohl die Annahmen dieses Szenarios extrem progressiv sind, ist selbst hier nicht zu erwarten, dass die Ziele der Bundesregierung eingehalten werden.

5 Handlungsempfehlungen

Eine Schlussfolgerung unserer Untersuchung ist, dass eine Reduzierung der CO₂-Emissionen bis 2050 um 80–95% gegenüber dem Jahr 1990 – wie von der Bundesregierung anvisiert – über den Wärmebereich jedenfalls kaum zu realisieren ist.

Um ambitionierte Ziele erreichen zu können, die über die Entwicklung im Rahmen des Referenzszenarios hinausgehen, ist eine tiefgreifende Energiewende – ähnlich wie im Strombereich – auch für den Wärmebereich notwendig. Im Fokus stehen dabei insbesondere die Raumwärme sowie Prozesswärme.

Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs über (wirksame) Sanierungsmaßnahmen sind nach unseren Berechnungen mit relativ moderaten CO₂-Vermeidungskosten verbunden (€ 62 je Tonne CO₂-Belastung gegenüber dem Referenzszenario). Zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen sind zwar Investitionen in signifikanten Größenordnungen notwendig, doch stehen solchen Investitionen als Vorteil sinkende Brennstoffkosten im Zeitverlauf gegenüber.

Zusätzlich empfiehlt es sich, die Entwicklung auch von der Wärmeerzeugungsseite her zu flankieren und über geeignete Maßnahmen die bisher moderate Austauschrate von ca. 3 % für alte Wärmeerzeuger zu steigern. Dabei sollten insbesondere Technologien mit hohen Wirkungsgraden – z. B. Gas-Brennwertkessel – und Energieträger mit niedrigen CO₂-Emissionsfaktoren gefördert werden. Eine wichtige Rolle können dabei auch KWK-Anlagen im Nah- und Fernbereich sowie insbesondere mittel- bis langfristig – wenn die CO₂-Vorteile eines Einsatzes von Strom zur Wärmeerzeugung mit der Zeit auf Grund steigender Anteile Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung besser zu Geltung kommen – Wärmepumpen (unter Nutzung von Umweltwärme) spielen.

Darüber hinaus sollte auch im Wärmebereich – wie bei Strom -in größerem Ausmaß Erneuerbare Energien zum Einsatz kommen. Aus verschiedenen Gründen, wie z. B. die Knappheit von Bio-Ressourcen oder ein nur eingeschränktes Einsatzspektrum für Solarthermieranlagen (weshalb sie i. d. R. mit anderen konventionellen Energieträgern kombiniert werden müssen), dürfte sich dies im Wärmebereich etwas schwieriger darstellen als im Strombereich. Trotzdem könnten hier bestehende Möglichkeiten besser genutzt werden. In diesem Zusammenhang wäre aus unserer Sicht beispielsweise ein flexibler Einsatz von Biomethan über das Gasnetz eine Option. Hierdurch könnten auch der Strom- und der Wärmemarkt besser miteinander verknüpft werden, z. B. über stromgeführte KWK-Anwendungen unter Einsatz von Wärmespeichern mit einem Energieträger Erdgas/Biomethan. Zudem sehen wir auch beim Einsatz von Holzkesseln noch Ausbaupotenzial.

Schließlich kommt neben der Verbesserung der CO₂-Bilanz für Raumwärme auch der Prozesswärme bzw. -kälte eine Schlüsselrolle zu – nicht zuletzt auch deshalb, weil hier aufgrund einer zu erwartenden Steigerung der Wertschöpfung in der Volkswirtschaft eine Reduzierung der CO₂-Belastung schwerer zu realisieren ist. Effizienzgewinne müssen zunächst einmal den CO₂-Anstieg infolge einer höheren Wertschöpfung kompensieren, bevor es im Prozesswärmebereich zu nennenswerten Einsparungen kommen kann. Dies spiegeln auch unsere Szenarioberechnungen wieder – während im Referenzszenario bei der Raumwärme noch ein Rückgang des Endenergieverbrauchs um ca. 32% erfolgt (siehe unter Abschnitt E 3), beträgt dieser bei der Prozesswärme nur rd. 6% (siehe unter Abschnitt E 3). In der Konsequenz würde eine solche Entwicklung dazu führen, dass der Endenergieverbrauch für Prozesswärme im Jahre 2050 um rd. 22% höher wäre als bei der Raumwärme – 2014 liegt hingegen noch der Raumwärmebedarf höher.

Vor diesem Hintergrund erscheint es notwendig, geeignete Anreize für die Industrie zu stellen, für den Prozesswärmebereich Effizienzmaßnahmen im bedeutsameren Ausmaß durchzuführen, um auch dort zu signifikanteren Einsparungen zu kommen.

Anhang

Tab. 3 Szenarienannahmen

Parameter	Referenz-szenario	Sanie-rungs-szenario	Szenario ohne Sanierung	Strom-szenario	Strom-szenario EE	Gas-szenario	Bio-szenario	Bio + Sanierung
Sanierungs-rate	1 % Haushalte, 2 % GHD und Industrie	Faktor 2,5 im Haushalts-, GHD- und Industrie-sektor	keine Sanierung der Gebäude in allen Sektoren	s. Ref.	s. Ref.	s. Ref.	s. Ref.	s. Sanierungs-szenario
Sanierungs-tiefe	bis 2030 steigt der Anteil vollsanierter Gebäude bei Sanie-rung auf 50 % an	alle Gebäude werden ab sofort vollsaniert	–	s. Ref.	s. Ref.	s. Ref.	s. Ref.	s. Sanierungs-szenario
Raumwärme (bei Haus-halten auch Warmwasser)								
Austausch von Kohle-öfen	EZFH + WÄG Gasbrennwertgeräte, 10 % mit Solarunterstützung MFH + WUG Gasbrennwertgeräte, 10 % mit Solarunterstützung			100 % Stromdirekt-heizungen		s. Ref.	100 % Holzöfen, 10 % mit Solarunterstützung	
Austausch von NT- und KT- Gas-kesseln	EZFH + WÄG 92 % Gasbrennwertgeräte, 10 % mit Solarunterstützung MFH + WUG 97 % Gasbrennwertgeräte, 10 % mit Solarunterstützung	s. Ref.		Anstieg Anteil WP um 45 %, Gas reduziert		s. Ref.	Anstieg Anteil Holz um 45 %, Gas reduziert	

Parameter	Referenz- szenario	Sanie- rungs- szenario	Szenario ohne Sanierung	Strom- szenario	Strom- szenario EE	Gas- szenario	Bio- szenario	Bio + Sanierung										
Austausch von NT- und KT- Ölkes- seln	EZFH + WÄG	82 % Ölbrenn- wertgeräte, 10 % mit Solarunter- stützung	s. Ref.		Anstieg Anteil WP um 45 %, Öl reduziert	Anstieg Anteil Gas auf 92 %, Öl reduziert	Anstieg Anteil Holz um 45 %, Öl reduziert											
	MFH + WUG	87 % Ölbrenn- wertgeräte, 10 % mit Solarunter- stützung				Anstieg Anteil Gas auf 97 %, Öl reduziert												
Austausch von Nacht- speicherheiz- ungen	EZFH + WÄG	53 % Gasbrenn- wertgeräte, 34 % Wärme- pumpen				s. Ref.			100 % Stromdirekt- heizungen		Anstieg Anteil KWK auf 34 %, WP reduziert	100% Holzöfen, 10% mit Solarunterstützung						
	MFH + WUG	77 % Gasbrenn- wertgeräte, 20 % Fernwärme									Anstieg Anteil KWK auf 22 %, Fern- wärme reduziert							
Anlagen im Neubau	EZFH + WÄG	52 % Gas, 35 % Wärme- pumpen									s. Ref.			25 % Direktheizungen, 75 % Wärmepumpen		KWK und Gas-BW Kombina- tion 100 %	100 % Holz	
	MFH + WUG	74 % Gasbrenn- wert, 16 % Ölbrennwert																
Prozess- wärme																		
Austausch von Öl- Anlagen	kein Fuel-Switch		s. Ref.		bis 150°C jährl. 5 % Wärmepumpen, darüber Stromheizer		jährl. Aus- tausch 5 % Gas	s. Ref.								s. Ref.		
Austausch von Gas- Anlagen	kein Fuel-Switch					jährl. Aus- tausch 5 % Gas												
Austausch von Kohle- anlagen	kein Fuel-Switch																	

Parameter	Referenz-szenario	Sanie-rungs-szenario	Szenario ohne Sanierung	Strom-szenario	Strom-szenario EE	Gas-szenario	Bio-szenario	Bio + Sanierung
Prozess-wärme								
Austausch von Strom-heizern	kein Fuel-Switch	s. Ref.		s. Ref.		jährl. Aus-tausch 5 % KWK	s. Ref.	
Neuanlagen	45 % Gas, 10 % Holz, 10 % Biogas	s. Ref.		80 % Stromheizer, 20 % Wärmepumpen		60 % Gas, 40 % KWK	s. Ref.	
Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung	entsprechend den Entwicklungen im Referenz-szenario der Stromstudie	s. Ref	s. Ref	s. Ref	Stromzu-wachs gegenüber Referenz-szenario wird vollständig durch Erneuer-bare Energien abgedeckt.	s. Ref.	s. Ref	s. Ref
Anteil Biomethan an der allgemeinen Gasver-sorgung	0,5 % bis 2050	s. Ref.					20 % bis 2050	

Ihre Ansprechpartner

Dr. Norbert Schwieters

Tel.: +49 211 981-2153
norbert.schwieters@de.pwc.com

Dr. Volker Breisig

Tel.: +49 211 981-4428
volker.breisig@de.pwc.com

Philipp Kohlmorgen

Tel.: +49 211 981-2208
philipp.kohlmorgen@de.pwc.com

Dr. Peter Claudy

Tel.: +49 40 6378-1455
peter.claudy@de.pwc.com

Über PwC

Unsere Mandanten stehen tagtäglich vor vielfältigen Aufgaben, möchten neue Ideen umsetzen und suchen Rat. Sie erwarten, dass wir sie ganzheitlich betreuen und praxisorientierte Lösungen mit größtmöglichem Nutzen entwickeln. Deshalb setzen wir für jeden Mandanten, ob Global Player, Familienunternehmen oder kommunaler Träger, unser gesamtes Potenzial ein: Erfahrung, Branchenkenntnis, Fachwissen, Qualitätsanspruch, Innovationskraft und die Ressourcen unseres Expertennetzwerks in 157 Ländern. Besonders wichtig ist uns die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit unseren Mandanten, denn je besser wir sie kennen und verstehen, umso gezielter können wir sie unterstützen.

PwC. 9.400 engagierte Menschen an 29 Standorten. 1,55 Mrd. Euro Gesamtleistung. Führende Wirtschaftsprüfungs- und Beratungsgesellschaft in Deutschland.

