





Sektorale Emissionspfade in Deutschland bis 2050 – Gebäudesektor und Stromverbrauch Privathaushalte

Arbeitspaket 1.2 im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Wissenschaftliche Unterstützung "Erstellung und Begleitung des Klimaschutzplans 2050" (FKZ UM 15 41 1860)

Freiburg, 15.06.2016

Autorinnen und Autoren

Dr. Tilman Hesse Dr. Veit Bürger Öko-Institut e.V.

Benjamin Fries Dr. Barbara Schlomann Fraunhofer ISI

Büro Freiburg

Merzhauser Straße 173 76100 Freiburg Telefon +49 761 45295-0 info@oeko.de www.oeko.de

Fraunhofer ISI

Breslauer Str. 48 76139 Karlsruhe Ansprechpartnerin Barbara Schlomann Telefon +49 721 6809-136 www.fraunhofer.de

IREES GmbH

Schönfeldstraße 8 D-76131 Karlsruhe Ansprechpartner: Felix Reitze Telefon +49 721 915696-0 www.irees.de



Inhaltsverzeichnis

Applidu	ngsverzeichnis	5
Tabeller	nverzeichnis	7
1.	Einleitung	9
2.	Vergleich verschiedener Szenarien für den Gebäudesektor	12
2.1.	Rahmenannahmen	12
2.2.	Entwicklung sektorspezifischer (z.B. energetischer) Indikatoren	15
2.2.1.	Entwicklung Wohngebäude	15
2.2.1.1.	Energetische Sanierungsrate	15
2.2.1.2.	Endenergieverbrauch	15
2.2.1.3.	Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch	17
2.2.1.4.	CO ₂ -Emissionen	20
2.2.2.	Entwicklung Nichtwohngebäude	23
2.2.2.1.	Energetische Sanierungsrate	23
2.2.2.2.	Endenergieverbrauch	24
2.2.2.3.	Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch	25
2.2.2.4.	CO ₂ -Emissionen	27
2.2.3.	Gesamter Gebäudesektor	28
2.2.3.1.	Endenergieverbrauch	29
2.2.3.2.	Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch	31
2.2.3.3.	CO ₂ -Emissionen	33
2.3.	Vergleichende Auswertung und Identifizierung robuster Strategien	34
3.	Ableitung struktureller Entwicklungsschritte (transformative Pfade)	39
3.1.	Energetische Sanierung des Gebäudebestands	39
3.1.1.	Erhöhung der Sanierungsrate	40
3.1.2.	Sicherstellung einer ausreichenden Sanierungstiefe	40
3.1.3.	Dekarbonisierung der Versorgungstechnik	41
3.2.	Energieeffiziente Neubaustandards	42
3.3.	Dekarbonisierung netzgestützter Versorgungsstrukturen	42
4.	Handlungsbedarf bis zum Jahr 2030	43
5.	Stromverbrauch der Privathaushalte	44
5.1.	Einleitung	44

5.2.	Vergleich verschiedener Szenarien für den Sektor Private Haushalte -	
	Strom	46
5.2.1.	Rahmenannahmen	46
5.2.1.1.	Klimaschutzszenarien 2050	46
5.2.1.2.	Modell Deutschland	47
5.2.1.3.	Energiereferenzprognose	48
5.2.1.4.	Energieszenarien 2010	48
5.2.1.5.	Projektionsbericht 2013	50
5.2.1.6.	Projektionsbericht 2015	51
5.2.1.7.	Übersicht ausgewählter Rahmendaten für alle Studien	51
5.2.2.	Entwicklung sektorspezifischer energetischer Indikatoren	53
5.2.3.	Vergleichende Auswertung und Identifizierung robuster Strategien	56
5.3.	Ableitung struktureller Entwicklungsschritte (transformative Pfade)	57
5.4.	Handlungsbedarf bis zum Jahr 2030	58
6.	Literaturverzeichnis	60



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Entwicklung ausgewählter Ranmenparameter	14
Abbildung 2-2:	Sanierungsrate Wohngebäude	15
Abbildung 2-3:	Endenergieverbrauch Wohngebäude	16
Abbildung 2-4:	Änderung Endenergieverbrauch Wohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	17
Abbildung 2-5:	Änderung Endenergieverbrauch Wohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	17
Abbildung 2-6:	Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Wohngebäude	18
Abbildung 2-7:	Wohnflächen-spezifischer nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Wohngebäude	19
Abbildung 2-8:	Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Wohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	19
Abbildung 2-9:	Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Wohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	20
Abbildung 2-10:	CO ₂ -Emissionen Wohngebäude (direkte und indirekte Emissionen)	21
Abbildung 2-11:	Änderung CO ₂ -Emissionen Wohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr (direkte und indirekte Emissionen)	22
Abbildung 2-12:	Änderung CO ₂ -Emissionen Wohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr (direkte und indirekte Emissionen)	22
Abbildung 2-13:	Änderung CO ₂ -Emissionen Wohngebäude 2050 ggü. 1990 (nur direkte Emissionen)	23
Abbildung 2-14:	Sanierungsrate Nichtwohngebäude	24
Abbildung 2-15:	Endenergieverbrauch Nichtwohngebäude	24
Abbildung 2-16:	Änderung Endenergieverbrauch Nichtwohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	25
Abbildung 2-17:	Änderung Endenergieverbrauch Nichtwohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	25
Abbildung 2-18:	Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Nichtwohngebäude	26
Abbildung 2-19:	Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Nichtwohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	26
Abbildung 2-20:	Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Nichtwohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	27
Abbildung 2-21:	CO ₂ -Emissionen Nichtwohngebäude	27
Abbildung 2-22:	Änderung CO ₂ -Emissionen Nichtwohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	28
Abbildung 2-23:	Änderung CO ₂ -Emissionen Nichtwohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	28
Abbildung 2-24:	Endenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor	29
Abbildung 2-25:	Änderung Endenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	29

Abbildung 2-26:	Änderung Endenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	30
Abbildung 2-27:	Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern für den gesamten Gebäudesektor im Jahr 2030	31
Abbildung 2-28:	Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern für den gesamten Gebäudesektor im Jahr 2050	31
Abbildung 2-29:	Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor	32
Abbildung 2-30:	Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	32
Abbildung 2-31:	Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	33
Abbildung 2-32:	CO ₂ -Emissionen gesamter Gebäudesektor	33
Abbildung 2-33:	Änderung CO ₂ -Emissionen gesamter Gebäudesektor 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	34
Abbildung 2-34:	Änderung CO ₂ -Emissionen gesamter Gebäudesektor 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr	34
Abbildung 2-35:	Zielkurve: EE-Anteil in Abhängigkeit von Endenergiereduktion	35
Abbildung 5-1:	Vergleich der Bevölkerungsentwicklung in den Szenarien	52
Abbildung 5-2:	Vergleich des Strombedarfs in den verschiedenen Szenarien	54
Abbildung 5-3:	Vergleich des Strombedarfs für Beleuchtung in den Szenarien	56



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Übersicht der untersuchten Szenarien	9
Tabelle 1-2:	Erfassungsgrad der untersuchten Szenarien	12
Tabelle 1-3:	Vergleich der Bilanzierungsmethoden nach Energiebilanz und EnEV für die Klimaschutzszenarien	12
Tabelle 2-1:	Primärenergie- und Emissionsfaktoren	20
Tabelle 5-1:	Überblick über die betrachteten Studien und Szenarien für den Sektor Private Haushalte - Strom	44
Tabelle 5-2:	Rahmenvorgaben für die Klimaschutzszenarien	47
Tabelle 5-3:	Eckpunkte der Szenarien	49
Tabelle 5-4:	Ausgewählte demographische und wirtschaftliche Rahmendaten, 2005-2030	50
Tabelle 5-5:	Bevölkerung im Szenarienvergleich	51
Tabelle 5-6:	Anzahl der Haushalte im Szenarienvergleich	52
Tabelle 5-7:	Strombedarf (ohne Heizen) privater Haushalte im Szenarienvergleich	53
Tabelle 5-8:	Strombedarf für Beleuchtung privater Haushalte im Szenarienvergleich	54



1. Einleitung

Das übergreifende Ziel für die Transformation des Gebäudesektors besteht darin, bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebereich zu erlangen. Eine Konkretisierung des Ziels liefert das Energiekonzept 2010 in folgender Form: "Klimaneutral heißt, dass die Gebäude nur noch einen sehr geringen Energiebedarf aufweisen und der verbleibende Energiebedarf zum überwiegenden Teil durch erneuerbare Energien gedeckt wird".

Als quantitatives Ziel nennt das Energiekonzept die Reduktion des sektoralen Primärenergiebedarfs bis 2050 um 80%. Bezugsjahr ist dabei das Jahr 2008. Der Primärenergiebedarf wird dabei anhand der Festlegungen in der EnEV, d.h. unter Verwendung der Primärenergiefaktoren aus der DIN-V 18599 definiert, es handelt sich also um den nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf PE-NE. Das quantitative Reduktionsziel bezieht sich dabei auf den absoluten Primärenergiebedarf, nicht auf den spezifischen sich auf die Wohn- bzw. Nutzfläche bezogenen Primärenergiebedarf. Eine Reduktion der Wohn- bzw. Nutzfläche bei gleichbleibendem spezifischen Bedarf würde also auch einen Zielbeitrag leisten.

Weitergehende Transformationsziele bestehen in

- der Verdopplung der energetischen Sanierungsrate auf 2%. Allerdings fehlt für diesen Indikator eine allgemein anerkannte Definition – insbesondere zur Sanierungstiefe. Mangels Definition und insbesondere aufgrund einer unzureichenden empirischen Datenlage wird der Indikator im Rahmen des bisherigen Energiewende-Monitorings (BMWI 2014) nicht quantifiziert.
- einer Reduktion des sektoralen Wärmebedarfs um 20% bis zum Jahr 2020 sowie einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis 2020 auf 14%.

In den letzten Jahren hat eine ganze Reihe von Studien mögliche Entwicklungspfade für die zielkonforme Transformation des Gebäudesektors aufgezeigt. Einige dieser Szenarien betrachten dabei isoliert den Gebäudesektor, andere Szenarien erfassen das gesamte Energiesystem. Im Folgenden wird eine Auswahl dieser Szenarien vorgestellt und verglichen, um daraus den möglichen Zielkorridor für die Sektortransformation abzuleiten. Eine Übersicht der untersuchten Szenarien zeigt Tabelle 1-1.

Tabelle 1-1: Übersicht der untersuchten Szenarien

Autor + Titel	Szenario + Kürzel	Erläuterung
Öko-Institut/ISI (2015): Klima- schutzszenario 2050, 2. Modellierungsrunde (Auftraggeber: BMUB)	KSZ - KS 80 KSZ - KS 95 (1. Modellie- rungsrunde KSZ-KS 90)	Sektorübergreifendes Zielszenario, im Rahmen dessen die im Energiekonzept festgelegten Ziele erreicht werden Zwei Zielszenarien mit sektorübergreifendem THG-Reduktionsziel von 80% bzw. 95% bis 2050 (bezogen auf das Ausgangsjahr 1990) Basisjahr der Szenarienberechnung: 2008
Prognos et al. (2014): Energiereferenzprog- nose (Auftraggeber: BMWi)	Zielszenario (ERP)	Normatives sektorübergreifendes Zielszenario, im Rahmen dessen die im Energiekonzept festgelegten Ziele erreicht werden Sektorübergreifend werden bis 2050 die energiebedingten THG-Emissionen bezogen auf das Ausgangsjahr 1990 um 80% reduziert.

DIN V 18599:2011, Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung

Leitstudie 2011 (Auftraggeber: BMU) Leitstudie 2011 (Auftraggeber: BMU) Leitstudie 2011 (Auftraggeber: BMU) Leitstudie 2011 (Auftraggeber: BMU) Leitstudie 2011 Leitstudie 2015 Leitstudie			Basisjahr der Szenarienberechnung: 2011
Sektorübergreifend werden bis 2050 die energiebedingten THG-Emissionen bezogen auf das Ausgangsjahr 1990 um 81% reduziert Basisjahr der Szenarienberechnung: 2010	DLR et al. (2012): Leitstudie 2011	LS 2011 - A	
Variante Debutsch- Debut	(Auftraggeber: BMU)		Sektorübergreifend werden bis 2050 die energiebedingten THG-
plade, in dem die energiebedingten THG-Emissionen bis 2050 auf null sinken. Die Wärmer und Kälteversorgung des Gebäudesektors erfolgt auf der Basis erneuerbaren Stroms sowie synthetischen Gases. Basisjahr der Szenarienberechnung: - BMUB (2015): Projektionsbericht 2015 MMS Exploratives sektorübergreifendes Szenario für die Entwicklung der THG-Emissionen im Zeitraum 2005 bis 2035; das MMS (Mit-Maßnahmen-Szenario) berücksichtigt dabei alle bis zum 31. August 2014 ergriften klima- und energiepolitischen Instrumente; noch nicht erfasst sind die Instrumente aus dem NAPE sowie dem KSAP 2050. Basisjahr der Szenarienberechnung: 2008 Öko-Institut/ISE (2016): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050 KilNeG 35 KilneG 40 KilneG 35 KilneG 60 KilneG 35 KilneG 35 KilneG 60 Kilne			Basisjahr der Szenarienberechnung: 2010
Emissionen im Zeitraum' 2005 bis 2035; das MMS (Mit-Maßnahmen-Szenario) berücksichtigt dabei alle bis zum 31. August 2014 ergriffenen klima- und energiepolitischen Instrumente, noch nicht erfasst sind die Instrumente aus dem NAPE sowie dem KSAP 2050. Basisjahr der Szenarienberechnung: 2008 Öko-Institut/ISE (2016): Klimaneutrale (2016): Klimaneutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleutraleu	UBA (2014): THG- neutrales Deutsch- land	"bedingt sa- nierbare Gebäude"	pfade), in dem die energiebedingten THG-Emissionen bis 2050 auf null sinken. Die Wärme- und Kälteversorgung des Gebäudesektors erfolgt auf der Basis erneuerbaren Stroms sowie synthetischen Gases.
KliNeG 50 KliNeG 35 KliN	BMUB (2015): Projektionsbericht 2015	MMS	Emissionen im Zeitraum 2005 bis 2035; das MMS (Mit-Maßnahmen-Szenario) berücksichtigt dabei alle bis zum 31. August 2014 ergriffenen klima- und energiepolitischen Instrumente; noch nicht erfasst sind die Instrumente aus dem NAPE sowie dem KSAP 2050.
Prognos et al. (2015): Wissenschaftliche Begleitforschung zur Erarbeitung einer Energieeffizienz- Strategie Gebäude (Auftraggeber: BMWI) Technologie- offener Fahr- plan, Szena- rio 2 (IBP 2) Ifeu et al. (2015): 100%-EEW Ifeu et al. (2015): 100%-EE-Wärme (Auftraggeber: BMWI) Tochnologie- (Auftraggeber: BMWI) Ifeu et al. (2015): 100%-EE-Wärme (Auftraggeber: BMW	Öko-Institut/ISE (2016): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050 (Auftraggeber: UBA)	KliNeG 50	Zielbildern, die sich insbesondere in den Zieldimensionen a) Reduktion des Endenergiebedarfs ("Effizienz der umbauten Technik") sowie b) Zusammensetzung des Endenergieträgermixes (v.a. der darin enthaltene EE-Anteil) unterscheiden; Zielmarke bis 2050 ist die Reduktion von PE _{NE} des Gebäudesektors um 80% (mit Bezugsjahr 2008) Studie erfasst nur den Gebäudesektor (keine sektorübergreifende Betrachtung) Keine Vorgabe eines sektorbezogenen CO ₂ -Minderungsziels
Wissenschaftliche Begleitforschung zur Erarbeitung einer Energieeffizienz- Strategie Gebäude (Auftraggeber: BMWI) IBP (2013): Energetische Gebäudesanierung in Deutschland (Auftraggeber: IWO²) IBP (2015): 100%-EEW Ifeu et al. (2015): 100%-EE-Wärme (Auftraggeber: BMWI) In Word EE-Wärme (Auftraggeber: BMWI) In Word EE-Anteil an der Wärmeversorgung en CO2-Minderungs			Basisjahr der Szenarienberechnung: 2013
offener Fahrplan, Szenario 2 (IBP 2) offener Fahrplan (IBP 2) offener Fahrplan, Szenario 2 (IBP 2) offener Fahrplan (IBP 2) offener	Prognos et al. (2015): Wissenschaftliche Begleitforschung zur Erarbeitung einer Energieeffizienz- Strategie Gebäude (Auftraggeber: BMWI)		sionen a) Reduktion des Endenergieverbrauchs und b) EE-Anteil an der Wärmeversorgung unterscheiden; Zielmarke bis 2050 ist die Reduktion von PE _{NE} des Gebäudesektors um 80% (mit Bezugsjahr 2008) Studie erfasst nur den Gebäudesektor (keine sektorübergreifende Betrachtung) Keine Vorgabe eines sektorbezogenen CO ₂ -Minderungsziels
offener Fahrplan, Szenario 2 (IBP 2) offener Fahrplan (IBP 2) offener Fahrplan, Szenario 2 (IBP 2) offener Fahrplan (IBP 2) offener	IBP (2013): Energeti-	Technologie-	·
Studie erfasst nur den Gebäudesektor (keine sektorübergreifende Betrachtung) Keine Vorgabe eines sektorbezogenen CO2-Minderungsziels Basisjahr der Szenarienberechnung: 2008 Ifeu et al. (2015): 100%-EEW 1-4 Fünf Transformationspfade (Szenarien), die sich im Grad des Wärmeschutzes (Effizienz Gebäudehülle) sowie dem EE-Anteil an der Wärmeversorgung unterscheiden (dabei Wärmeversorgung schwerpunktmäßig alternativ auf Basis von EE-Wärme oder EE-Strom); Zielmarke bis 2050 ist die Reduktion von PE _{NE} des Gebäudesektors um 80% Studie erfasst nur den Gebäudesektor (keine sektorübergreifende Betrachtung) Keine Vorgabe eines sektorbezogenen CO2-Minderungsziels Basisjahr der Szenarienberechnung: 2014	sche Gebäudesanierung in Deutschland (Auftraggeber: IWO ²)	offener Fahr- plan, Szena-	Energiekonzepts für den Gebäudesektor erreicht werden (bis 2050 Reduktion des nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarfs (PE _{NE}) des Gebäudesek-
Basisjahr der Szenarienberechnung: 2008 Ifeu et al. (2015): 100%-EEW 1-4 Fünf Transformationspfade (Szenarien), die sich im Grad des Wärmeschutzes (Effizienz Gebäudehülle) sowie dem EE-Anteil an der Wärmeversorgung unterscheiden (dabei Wärmeversorgung schwerpunktmäßig alternativ auf Basis von EE-Wärme oder EE-Strom); Zielmarke bis 2050 ist die Reduktion von PE _{NE} des Gebäudesektors um 80% Studie erfasst nur den Gebäudesektor (keine sektorübergreifende Betrachtung) Keine Vorgabe eines sektorbezogenen CO ₂ -Minderungsziels Basisjahr der Szenarienberechnung: 2014	,		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Ifeu et al. (2015): 100%-EEW 1-4 Fünf Transformationspfade (Szenarien), die sich im Grad des Wärmeschutzes (Effizienz Gebäudehülle) sowie dem EE-Anteil an der Wärmeversorgung unterscheiden (dabei Wärmeversorgung schwerpunktmäßig alternativ auf Basis von EE-Wärme oder EE-Strom); Zielmarke bis 2050 ist die Reduktion von PE _{NE} des Gebäudesektor (keine sektorübergreifende Betrachtung) Keine Vorgabe eines sektorbezogenen CO ₂ -Minderungsziels Basisjahr der Szenarienberechnung: 2014			Keine Vorgabe eines sektorbezogenen CO ₂ -Minderungsziels
1-4 zes (Effizienz Gebäudehülle) sowie dem EE-Anteil an der Wärmeversorgung unterscheiden (dabei Wärmeversorgung schwerpunktmäßig alternativ auf Basis von EE-Wärme oder EE-Strom); Zielmarke bis 2050 ist die Reduktion von PE _{NE} des Gebäudesektors um 80% Studie erfasst nur den Gebäudesektor (keine sektorübergreifende Betrachtung) Keine Vorgabe eines sektorbezogenen CO ₂ -Minderungsziels Basisjahr der Szenarienberechnung: 2014			Basisjahr der Szenarienberechnung: 2008
tung) Keine Vorgabe eines sektorbezogenen CO ₂ -Minderungsziels Basisjahr der Szenarienberechnung: 2014	Ifeu et al. (2015): 100% EE-Wärme (Auftraggeber: BMWI)		zes (Effizienz Gebäudehülle) sowie dem EE-Anteil an der Wärmeversorgung unterscheiden (dabei Wärmeversorgung schwerpunktmäßig alternativ auf Basis von EE-Wärme oder EE-Strom); Zielmarke bis 2050 ist die Re-
Basisjahr der Szenarienberechnung: 2014			tung)
	Quelle: Eigene Darstellung		Basisjanr der Szenarienberechnung: 2014

² Institut für Wärme und Öltechnik e. V. (IWO), eine Einrichtung der deutschen Mineralölwirtschaft.



Öko-Institut/ISI (2015), Prognos et al. (2014), DLR et al. (2012) sowie UBA (2014) entwickeln Zielszenarien für das gesamte Energiesystem. Dabei orientieren sie sich an einem übergeordneten Minderungsziel für die energiebedingten THG-Emissionen (bezogen auf das Ausgangsjahr 1990), das zwischen 80 und 100% liegt. Der Gebäudesektor ist integraler Bestandteil der Betrachtung. Sektorale Ziele, insbesondere das Ziel, den PE_{NE} des Gebäudesektors um 80% zu senken, werden teilweise gar nicht explizit adressiert (z.B. Prognos et al., 2014, DLR et al., 2012), teilweise werden sie aufgrund einer unterschiedlichen Lastenverschiebung hinsichtlich der THG-Minderungsbeiträge nicht unbedingt erreicht (z.B. Öko-Institut/ISI, 2015).

Das Szenario MMS aus BMUB (2015) erfasst ebenfalls das gesamte Energiesystem. Abweichend von den oben genannten Szenarien handelt es sich jedoch um ein exploratives Szenario, über das die Wirkung der bestehenden Politikinstrumente abgeschätzt werden soll. Das Szenario deckt den Zeitraum bis 2035 ab.

Die Szenarien in Öko-Institut/ISE (2016), Prognos et al. (2015), IBP (2013) und Ifeu et al. (2015) beschränken sich auf eine isolierte Betrachtung des Gebäudesektors. Dabei fungiert das sektorbezogene Ziel, den PE_{NE} bis 2050 um 80% zu reduzieren, als wichtigste Leitgröße.

Alle untersuchten Szenarien basieren auf Modellierungen über einen sogenannten Stock Exchange Ansatz. Dabei wird der heutige Gebäudebestand mit seinen aggregierten energetischen Kennwerten (z.B. sektoraler Endenergiebedarf) anhand einer mehr oder weniger ausdifferenzierten Typologie nachgebildet und über die Vorgabe einer Reihe exogener Treiber (z.B. Neubau- und Abgangrate, Sanierungsrate bezogen auf Wärmeschutz und Versorgungstechniken) in die Zukunft fortgeschrieben.

Wie aus Tabelle 1-2 ersichtlich, unterscheiden sich die untersuchten Szenarien im Erfassungsgrad und der Bilanzierungsmethode. Beim Erfassungsgrad geht es einerseits um die sektorale Abdeckung: Einige Szenarien betrachten nur den Bereich der Wohngebäude, andere erfassen auch die Nichtwohngebäude des GHD- und Industriesektors. Weitere Unterschiede betreffen die erfassten Anwendungen. Hier geht es im Wesentlichen um die Frage, inwiefern die Szenarien die Endenergieverbräuche (v.a. Strom) für die Klimatisierung, die Lüftung, die Beleuchtung (NWG) sowie den Hilfsstrombedarf z.B. für die Wärmeverteilung mit bilanzieren.

Der Endenergiebedarf lässt sich über zwei verschiedene Bilanzierungsmethoden darstellen. Bei der Berechnung der Endenergie nach den Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV) in Verbindung mit dem technischen Normenwerk werden die Endenergiebeiträge aus gebäudenah gewandelten Umweltenergien (z.B. solare Wärme, Umgebungswärme) per Definition mit Null bewertet. Je größer der Anteil, den Wärmepumpen und Solarthermie zur Wärmeversorgung eines Gebäudes beitragen, desto geringer fällt der Endenergiebedarf nach der Berechnungsmethode der EnEV aus. Die Berechnung des Endenergiebedarfs nach der Methode der Energiebilanz erfasst die gesamte dem Gebäude von außen zugeführte Energie. Solarthermische Wärme sowie Umgebungswärme, die mittels einer Wärmepumpe nutzbar gemacht wird, werden demnach auf den Endenergiebedarf angerechnet. Tabelle 1-3 zeigt die Unterschiede der beiden Bilanzierungsmethoden am Beispiel der Klimaschutzszenarien. Die starke Zunahme der gebäudenah umgewandelten Umweltenergien bis 2050 führt dazu, dass die Bilanzierung nach EnEV eine stärkere Reduktion des Endenergiebedarfs mit sich bringt, als die Bilanzierung nach Energiebilanz.

			Öko- Insti- tut/ISI (2015)	Prog- nos et al. (2014)	DLR et al. (2011)	UBA (2014)	BMUB (2015)	Öko- Insti- tut/ISE (2016)	Prog- nos et al. (2015)	IBP (2013)	Ifeu et al. (2015)
Sektorale	PHH	WG	Х	х	х	Х	х	х	х	х	Х
Abdeckung	GHD	NWG	х	х	х	-	х	х	х	-	Х
der Gebäude	IND	INVVG	-	х	х	-	-	х	х	-	Х
Erfasste	RW		х	х	х	Х	х	х	х	х	Х
Anwen-	WW		Х	Х	Х	Х	Х	х	х	Х	Х
dungen	Klimati- sierung		x	x	х	-	х	x	x	-	x
	Lüftung		х	х	?	-	-	х	х	х	Х
	Pumpen		-	Х	?	х	-	х	х	-	Х
	Beleuch- tung		x	x	?	?	?	x	х	-	?
Bilanzie-	EnEV		-	-	х	-	-	-	-	х	
rungs- methode	Energiebi- lanz		x	х	х	х	х	х	х	-	X*

^{*} Ifeu et al. (2015) bilanziert nach der europäischen Norm DIN EN ISO 13790, Umweltwärme wird nicht explizit ausgewiesen PHH – Private Haushalte; GHD – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen; IND – Industrie; RW – Raumwärme; WW – Warmwasser; WG – Wohngebäude; NWG – Nichtwohngebäude

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 1-3: Vergleich der Bilanzierungsmethoden nach Energiebilanz und EnEV für die Klimaschutzszenarien

	KSZ AMS		KSZ I	KS80	KSZ KS95		
	EBilanz	EnEV	EBilanz	EnEV	EBilanz	EnEV	
TWh	828,2	819,5	828,2	819,6	828,2	819,6	
TWh	626,9	553,0	570,1	496,8	495,3	409,1	
TWh	456,9	313,5	366,1	247,7	282,3	164,8	
. 2008	-24%	-33%	-31%	-39%	-40%	-50%	
Änderung 2050 ggü. 2008		-62%	-56%	-70%	-66%	-80%	
	TWh TWh 1. 2008	TWh 828,2 TWh 626,9 TWh 456,9 1. 2008 -24%	EBilanz EnEV TWh 828,2 819,5 TWh 626,9 553,0 TWh 456,9 313,5 1. 2008 -24% -33%	EBilanz EnEV EBilanz TWh 828,2 819,5 828,2 TWh 626,9 553,0 570,1 TWh 456,9 313,5 366,1 1. 2008 -24% -33% -31%	EBilanz EnEV EBilanz EnEV TWh 828,2 819,5 828,2 819,6 TWh 626,9 553,0 570,1 496,8 TWh 456,9 313,5 366,1 247,7 1. 2008 -24% -33% -31% -39%	EBilanz EnEV EBilanz EnEV EBilanz TWh 828,2 819,5 828,2 819,6 828,2 TWh 626,9 553,0 570,1 496,8 495,3 TWh 456,9 313,5 366,1 247,7 282,3 1. 2008 -24% -33% -31% -39% -40%	

Quelle: Eigene Darstellung

Der über die Rechenregeln der technischen Normen berechnete Endenergiebedarf eines Gebäudes (rechnerischer Endenergiebedarf) unterscheidet sich teilweise erheblich vom realen Endenergieverbrauch. Insbesondere bei unsanierten Gebäuden liegt der reale Verbrauch in der Regel weit unter dem rechnerischen Bedarf. Klimaschutzrelevant ist der reale Endenergieverbrauch. Zur Verdeutlichung dieses Unterschieds wird im Folgenden der Begriff des Endenergieverbrauchs verwendet, wenn Endenergie im Sinne des realen Verbrauchs ausgewiesen wird.

2. Vergleich verschiedener Szenarien für den Gebäudesektor

2.1. Rahmenannahmen

Eine der wichtigsten Rahmenannahmen für die Transformation des Gebäudesektors ist die Entwicklung der zu beheizenden und zu kühlenden Wohn- und Nutzfläche. Diese Entwicklung wird



durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst, insbesondere die Bevölkerungsentwicklung, die Entwicklung der Anzahl an Privathaushalten sowie Pro-Kopf-Wohnfläche oder die wirtschaftliche Entwicklung (als einer der Treiber für den Nutzflächenbedarf im GHD- und Industriesektor).

Abbildung 2-1 zeigt einen Vergleich, wie sich ausgewählte Rahmenparameter in den verschiedenen Szenarien entwickeln. Die Bevölkerungsentwicklung (Abbildung oben links) ist in allen betrachteten Szenarien rückläufig, allerdings in unterschiedlicher Dynamik. Während in Ökolnstitut/ISI (2015), Prognos et al. (2014), DLR et al. (2012), UBA (2014) und Prognos et al. (2015) die Bevölkerungszahl bis zum Jahr 2050 auf rund 72-74 Mio. sinkt, nimmt Ifeu et al. (2014) einen Rückgang auf etwa 68 Mio. Einwohner an. Die Szenarien Öko-Institut/ISE (2016) und IBP (2013) machen keine Aussagen zur Bevölkerungsentwicklung.

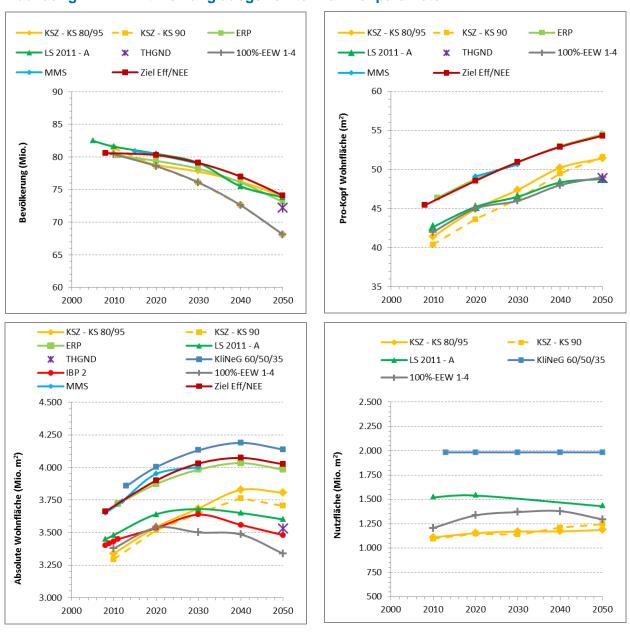
Alle untersuchten Szenarien zeigen einen vergleichbaren Verlauf der absoluten Wohnflächenentwicklung (Abbildung unten links). Die absolute Wohnfläche steigt in den kommenden Dekaden zunächst an und erreicht ein Maximum im Jahr 2020 (Ifeu et al. 2015), im Jahr 2030 (DLR et al. 2012, IBP 2013) bzw. im Jahr 2040 (Öko-Institut/ISI 2015, Prognos et al. 2014, Öko-Institut/ISE 2015, Prognos et al. 2015). Danach sinkt die Wohnfläche wieder ab. Trotz Abnahme erhöht sich die Wohnfläche in den Szenarien bezogen auf das jeweilige Ausgangsjahr um 1% (IBP 2013) bis hin zu 14% (Öko-Institut/ISI 2015). Lediglich in Ifeu et al. (2015) sinkt die absolute Wohnfläche bis 2050 um rund 1%. Unterschiede sind bezüglich des absoluten Wohnflächenniveaus im jeweiligen Ausgangsjahr erkennbar. Die Ursachen für diese Abweichungen lassen sich aus den Szenariendokumentationen nicht eindeutig herauslesen. Die Unterschiede beruhen aber wohl darauf, dass einige Szenarien die leerstehende Wohnfläche erfassen, während andere Szenarien diese nicht berücksichtigen. Da leerstehende Wohnungen oder Gebäude in der Regel teilbeheizt werden (Beheizung mindestens zur Vermeidung von Frostschäden), müssten die betroffenen Flächen zumindest anteilig berücksichtigt werden. Für das Zieljahr 2050 stellt Öko-Institut/ISE (2016) das Szenario mit der höchsten Wohnfläche in 2050 dar. Bezogen auf das Szenario mit der niedrigsten Wohnfläche (Ifeu et al. 2015) liegt die Wohnfläche fast 25% höher.

Bei der Entwicklung des Bedarfs an Wohnfläche pro Kopf gehen die Szenarien bis zum Jahr 2050 von einem Anstieg aus, der zwischen 14% und 24% liegt (Abbildung oben rechts). In den meisten Szenarien wird die Entwicklung der pro-Kopf-Wohnfläche exogen vorgegeben und bildet die Grundlage für die Entwicklung der Gesamtfläche. Einige Studien (z.B. IBP 2013) verweisen als Begründung für die Zunahme des Pro-Kopf-Flächenbedarfs auf Untersuchungen zur langfristigen Entwicklung sozioökonomischer Rahmendaten (z.B. Enquete 2000, Empirica 2005). Ifeu et al. (2015) verweist in Hinblick auf die Entwicklung des Pro-Kopf-Flächenbedarfs auf einen funktionalen Zusammenhang mit der prognostizierten Entwicklung des BIP.

Aussagen zur Entwicklung der Nutzfläche in Nichtwohngebäuden finden sich lediglich in Öko-Institut/ISI (2015), Öko-Institut/ISE (2016), DLR et al. (2012) und Ifeu et al. (2015) (Abbildung unten rechts). Die Abschätzungen unterscheiden sich dabei nicht nur in der absoluten Höhe der zu beheizenden Fläche sondern auch bezogen auf den relativen Verlauf. Auffällig ist schon die extrem große Abweichung der unterstellten NWG-Fläche im Ausgangsjahr. Auch hier lässt sich aus den jeweiligen Szenariendokumentationen nicht eindeutig herauslesen, welche Gründe hinter den unterschiedlichen Flächenannahmen stecken. Einer der Gründe mag in der Behandlung von Wohngebäuden mit Mischnutzung (Gebäude, in denen sich sowohl Gewerbeflächen als auch Wohnungen befinden), die die Szenarien möglicherweise unterschiedlich erfassen. Die Nutzflächen der KliNeG Szenarien (Öko-Institut/ISE 2015) ergeben sich aus einer Kombination der Flächenangaben aus BMVBS (2013) und einer anteiligen Zurechnung der Flächen aus Wohngebäuden mit Mischnutzung. Als Anteil der für GHD Zwecke genutzten Fläche dieser Gebäude wurde ein Faktor von 0,28 verwendet (Schlomann et al. 2015). Die Gebäudestrategie (Prognos et al. 2015)

hingegen beschränkt sich auf die Flächenangaben aus BMVBS (2013), wo von einer beheizten Nutzfläche von rund 1,5 Mrd m² ausgegangen wird. Bei den Klimaschutzszenarien (Öko-Institut/ISI 2015) wird die Nutzfläche über die Entwicklung der Beschäftigtenzahl sowie das Verhältnis von Beschäftigtem pro Fläche je Wirtschaftssektor abgeschätzt. Während der Bedarf an Nutzfläche in Öko-Institut/ISI (2015) sowie Ifeu et al. (2015) bis zum Jahr 2050 um rund 7% sinkt, nimmt er in DLR et al. (2012) um rund 6% ab. Prognos et al. (2014) gehen für den Zeitraum 2011-2050 von einer Abnahme der beheizten Nutzfläche im GHD-Sektor um 9,3% aus, ohne jedoch den Flächenbedarf in absoluten Zahlen auszuweisen. Aufgrund der uneinheitlichen Einschätzung, wie sich der Bedarf an beheizter Nutzfläche langfristig entwickeln wird, wurde in Öko-Institut/ISE (2016) ein konstanter Verlauf unterstellt.

Abbildung 2-1: Entwicklung ausgewählter Rahmenparameter



Quelle: Eigene Darstellung



2.2. Entwicklung sektorspezifischer (z.B. energetischer) Indikatoren

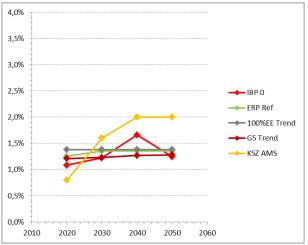
2.2.1. Entwicklung Wohngebäude

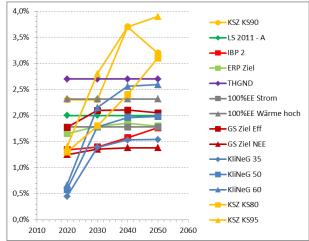
2.2.1.1. Energetische Sanierungsrate

Abbildung 2-2 zeigt die Sanierungsraten für Wohngebäude der unterschiedlichen Szenarien für die Jahre bis 2050. Je nach Zielbild kommen hierbei unterschiedlich ambitionierte Szenarien zur Geltung. So ist bei den jeweiligen Referenzszenarien aus IBP (2013), Prognos et al. (2014) und Öko-Institut/ISI (2015) eine niedrigere Sanierungsrate zu beobachten als bei den jeweiligen Zielszenarien dieser Studien. Bei Öko-Institut/ISE (2016) spiegelt die Sanierungsrate deutlich das Zielniveau wider: Das Szenario KliNeG 35 mit einem starken Fokus auf den Ausbau Erneuerbarer Energien und vergleichsweise niedrigem Fokus auf Effizienz hat eine deutlich geringere Sanierungsrate als das hinsichtlich Effizienz sehr ambitionierte Szenario KliNeG 60. Die meisten Szenarien nehmen eine über die Zeit ansteigenden Sanierungsrate an, nur DLR et al. (2012) sowie UBA (2014) gehen vereinfacht von einer konstanten Rate bis 2050 aus.

Ein isolierter Vergleich der Sanierungsraten ist jedoch nur eingeschränkt zielführend. Beispielsweise führen alle Sanierungen bei Öko-Institut/ISE (2016) auf sehr ambitionierte energetische Niveaus (mindestens 25% Unterschreitung der Anforderungen der EnEV 2009 an einen Neubau). Sie sind deswegen nur begrenzt mit den Sanierungsraten der Klimaschutzszenarien 2050 vergleichbar. Denn Letztere spiegeln Sanierungen wider, die auch auf weitaus anspruchslosere energetische Niveaus führen.

Abbildung 2-2: Sanierungsrate Wohngebäude





Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

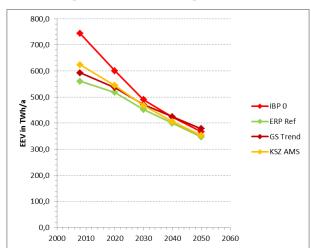
2.2.1.2. Endenergieverbrauch

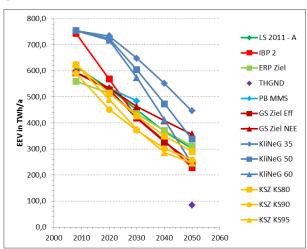
Der Endenergieverbrauch (EEV) der Szenarien wird in Abbildung 2-3 dargestellt. Eingeflossen in die Berechnung des EEV sind die Verbrauchswerte für die thermische Gebäudekonditionierung, also die Werte für Raumwärme und Warmwasser, Strom für die Klimatisierung, Lüftung und Betrieb von Pumpen (z.B. Heizungspumpen), insofern dieser explizit mit angegeben ist. Der Stromverbrauch für die Beleuchtung wurde nicht erfasst.

Auffällig ist die starke Variation des EEV im Ausgangsjahr. So reicht das Ausgangsniveau von 560 TWh/a bis 750 TWh/a, eine Spreizung von knapp 200 TWh/a. Die Ursache dafür liegt vermutlich darin, anhand welcher Referenzgröße die verschiedenen Gebäudemodelle den Ist-Zustand kalibrieren. Bei Öko-Institut/ISE (2016) ist dies der spezifische rechnerische Endenergiebedarf für die verschiedenen Gebäudetypen und Baualtersklassen (auf Basis der spezifischen Endenergiebedarfswerte aus dem dena Gebäudereport (dena 2015)). Die Umrechnung des rechnerischen Endenergiebedarfs in den realen Endenergieverbrauch führt in diesem Fall zu einem knapp 20% höheren gesamten Endenergieverbrauch im Vergleich zu den temperaturbereinigten Werten aus der Anwendungsbilanz (AGEB 2013).

Die Spreizung des EEV für die Zielszenarien beträgt 2050 gut 350 TWh. Abgesehen von Szenario THGND, welches eine komplette Klimaneutralität anstrebt und mit unter 100 TWh/a den niedrigsten EEV aufweist, erreichen die ambitionierteren Szenarien (KliNeG 60, KSZ KS95, IBP 2) einen EEV von unter 250 TWh im Jahr 2050. Die meisten anderen Szenarien erreichen einen EEV zwischen 290 und 380 TWh. Am höchsten bleibt der EEV mit ca. 450 TWh im KliNeG 35 Szenario. Der zunächst verzögerte Rückgang des EEV in den Szenarien in Öko-Institut/ISE (2016) ist auf die dort bis 2020 unterstellten niedrigeren Sanierungsraten zurückzuführen (siehe Abbildung 2-2).

Abbildung 2-3: Endenergieverbrauch Wohngebäude

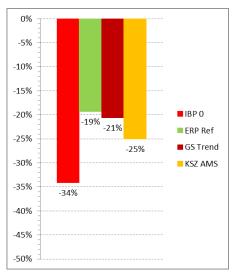




[,]

Bei einer Kalibrierung des Ist-Zustands in Öko-Institut/ISE (2016) anhand des spezifischen Endenergieverbrauchs (z.B. unter Rückgriff auf die spezifischen Verbrauchswerte aus dena (2015)) sinkt der EEV im Zielbild KliNeG 60 auf rund 235 und im Zielbild KliNeG 35 auf rund 430 TWh.

Abbildung 2-4: Änderung Endenergieverbrauch Wohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr



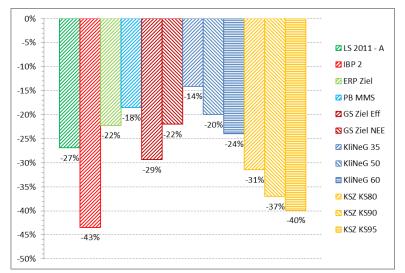
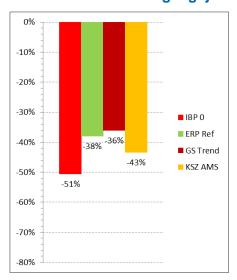
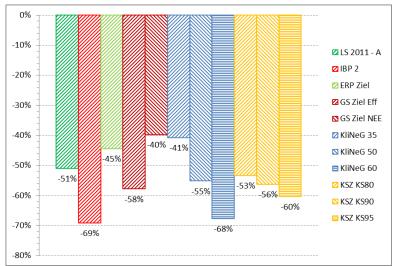


Abbildung 2-5: Änderung Endenergieverbrauch Wohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr





Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

2.2.1.3. Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch

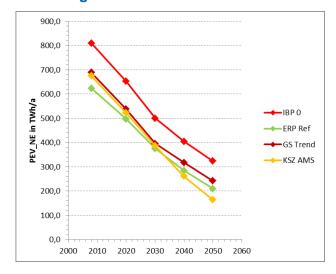
Für die Berechnung des nicht-erneuerbaren Primärenergieverbrauchs wurde die Energieträgerverteilung der Anwendungen Raumwärme, Warmwasser und Klimatisierung/Lüftung/Pumpen ermittelt und die Mengen der verschiedenen Energieträger mit den jeweiligen Primärenergiefaktoren (nichterneuerbarer Anteil) multipliziert. Dabei wurden die Primärenergiefaktoren aus der DIN-V 18599 herangezogen. Für die sich über die Jahre verändernden Primärenergiefaktoren des Stroms und der Fernwärme wurden die Werte aus dem Szenario KSZ KS80 aus Öko-Institut/ISI (2014) abge-

leitet (vgl. Tabelle 2-1). Die Verwendung identischer Primärenergiefaktoren ermöglicht einen besseren Vergleich der Szenarien.

Beim nicht-erneuerbaren Primärenergieverbrauch (PE_{NE}) ergibt sich insgesamt ein homogeneres Bild als beim Endenergieverbrauch. Die Trendszenarien weisen Reduktionen von 38 bis 43% für 2030 (Abbildung 2-8) und 60 bis 76% für 2050 aus (Abbildung 2-9). Bei den Zielszenarien gibt es für 2030 zwei Regime: der Projektionsbericht sowie die KliNeG Szenarien erreichen Reduktionen von um die 30%, wohingegen alle anderen Szenarien bei Reduktionswerten in der Größenordnung von etwa 50% liegen, mit Ausnahme des KSZ KS95 mit 60%. Im Zieljahr 2050 erreichen alle Szenarien Reduktionswerte in der Größenordnung von 80%. Im KSZ KS95 wird sogar ein Reduktionswert von 90% erreicht.

Die Betrachtung des Wohnflächen-spezifischen PE_{NE} in Abbildung 2-7 weist eine dem absoluten PE_{NE} sehr ähnliche Entwicklung auf. Hier machen sich allenfalls die unterschiedlichen Annahmen zur Wohnfläche bemerkbar. Dies führt beispielsweise bei den KliNeG Szenarien zu einer Annäherung an die übrigen Szenarien, da neben dem hohen absoluten Verbrauch dort auch die Wohnfläche größer als bei anderen Studien ist. Bei den Trendszenarien bewegt sich der spezifische PE_{NE} im Jahr 2030 zwischen 94 und 137 kWh/(m²a) und im Jahr 2050 zwischen 43 und 93 kWh/(m²a). Der Korridor für die Zielszenarien liegt hingegen zwischen 73 und 135 kWh/(m²a) im Jahr 2030 sowie 7 und 50 kWh/(m²a) im Jahr 2050. Das KSZ KS80 liegt sowohl 2030 als auch 2050 mit 92 respektive 32 kWh/(m²a) repräsentativ in der Mitte des Zielszenarienkorridors.

Abbildung 2-6: Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Wohngebäude



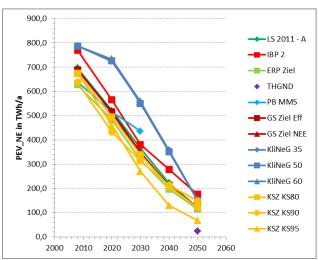
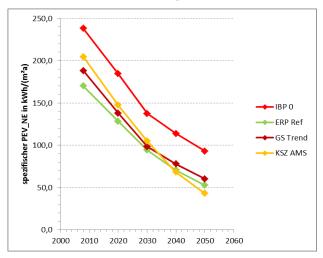


Abbildung 2-7: Wohnflächen-spezifischer nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Wohngebäude



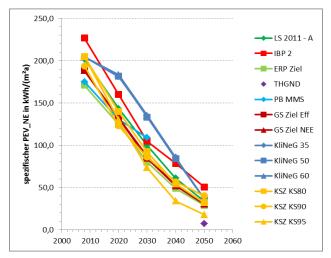
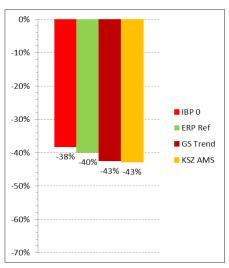


Abbildung 2-8: Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Wohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr



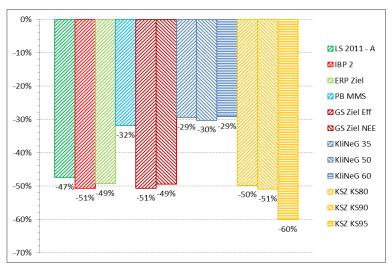
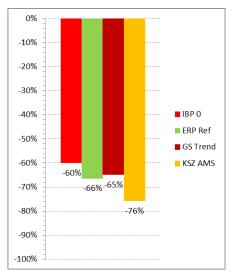
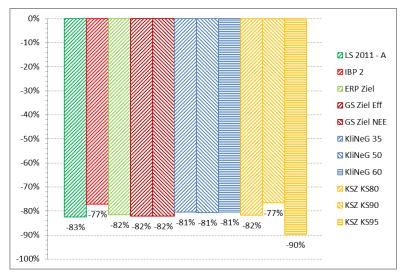


Abbildung 2-9: Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Wohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr





2.2.1.4. CO₂-Emissionen

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen wurde die Energieträgerverteilung der Anwendungen Raumwärme, Warmwasser und Klimatisierung/Lüftung/Pumpen ermittelt und die Mengen der verschiedenen Energieträger mit den jeweiligen Emissionsfaktoren multipliziert. Abweichend von der Emissionsallokation bei den Berechnungen des Inventars, bei der die Emissionen des Strom- und Fernwärmeverbrauchs dem Umwandlungssektor zugeordnet werden, repräsentieren die hier berechneten CO₂-Emissionen die durch die Wohngebäude verursachten Emissionen (direkte und indirekte Emissionen⁴).

Für die Emissionsberechnung dienen die Emissionsfaktoren aus UBA/DEHSt (2004) als Grundlage. Für die sich über die Jahre verändernden Emissionsfaktoren des Stroms und der Fernwärme wurden die für das Szenario KSZ KS80 aus Öko-Institut/ISI (2014) entwickelten Emissionsfaktoren herangezogen, um für alle Szenarien vergleichbare Werte darzustellen. Tabelle 2-1 zeigt die dabei verwendeten Emissionsfaktoren.

Tabelle 2-1: Primärenergie- und Emissionsfaktoren

Energieträger	Primärenergiefaktor (nicht-erneuerbarer Anteil)	Emissionsfaktor (g/kWh)	Quelle
Heizöl	1,1	266	DIN V 18599, UBA/DEHSt (2004)
Erdgas	1,1	200	DIN V 18599, UBA/DEHSt (2004)
Steinkohle	1,1	342	DIN V 18599, UBA/DEHSt (2004)
Braunkohle	1,2	391	DIN V 18599, UBA/DEHSt (2004)
Holz	0,2	0	DIN V 18599,
Biogas/Bioöl	0,5	0	DIN V 18599,

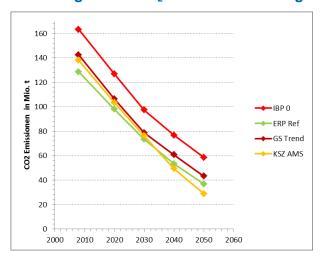
Im Falle des mittleren KliNeG Szenarios entwickelt sich bei Wohngebäuden der Anteil der direkten Emissionen von 87% im Basisjahr über 81% im Jahr 2030 zu 72% im Jahr 2050. Der Anteil der indirekten Emissionen (Basis: Strom und Fernwärme) steigt entsprechend von 13% (Basisjahr) über 19% (2030) auf 28% (2050). Die Verschiebung von direkten zu mehr indirekten Emissionen ist bei allen Szenarien zu beobachten.

20

Strom			
2008	2,83	612	Öko-Institut/ISI (2014)
2020	1,95	393	Öko-Institut/ISI (2014)
2030	1,25	274	Öko-Institut/ISI (2014)
2040	0,77	165	Öko-Institut/ISI (2014)
2050	0,44	79	Öko-Institut/ISI (2014)
Fernwärme			
2008	0,99	210	Öko-Institut/ISI (2014)
2020	0,92	203	Öko-Institut/ISI (2014)
2030	0,85	195	Öko-Institut/ISI (2014)
2040	0,72	145	Öko-Institut/ISI (2014)
2050	0,55	90	Öko-Institut/ISI (2014)
Quelle: Eigene Dars	tellung		'

Alle Zielszenarien liegen im Jahr 2050 bei CO₂-Emissionen von unter 32 Mio. t CO₂ (Abbildung 2-10). Am ambitioniertesten ist Szenario THGND mit "lediglich" 3 Mio. t CO₂, gefolgt von KSZ KS95 mit 11 Mio. t CO₂. Die weiteren Zielszenarien liegen in einem Wertekorridor von 17 bis 32 Mio. t CO₂, was einer Reduktion im Jahr 2050 gegenüber dem jeweiligen Ausgangsjahr um 80 bis 87% entspricht. Die Trend/Referenzszenarien (IBP 2, GS Trend, ERP Ref, KSZ AMS) erreichen Reduktionen von 64 bis 79% im Jahr 2050 (siehe Abbildung 2-12).

Abbildung 2-10: CO₂-Emissionen Wohngebäude (direkte und indirekte Emissionen)



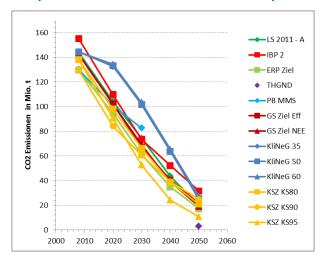
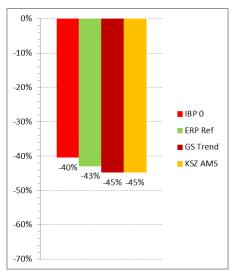


Abbildung 2-11: Änderung CO₂-Emissionen Wohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr (direkte und indirekte Emissionen)



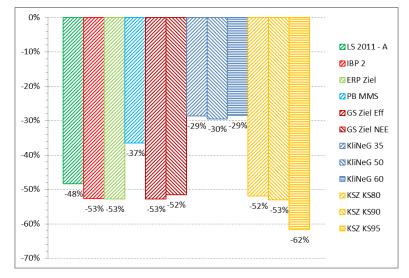
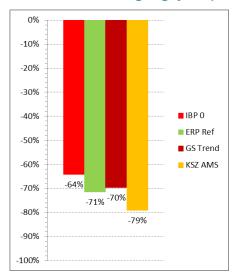
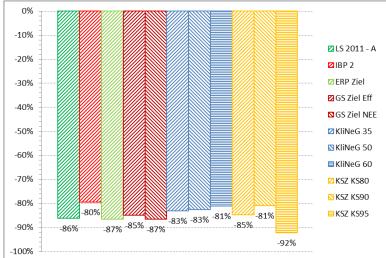


Abbildung 2-12: Änderung CO₂-Emissionen Wohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr (direkte und indirekte Emissionen)



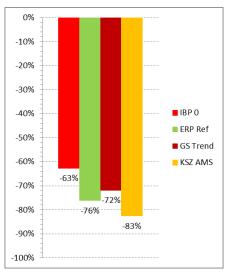


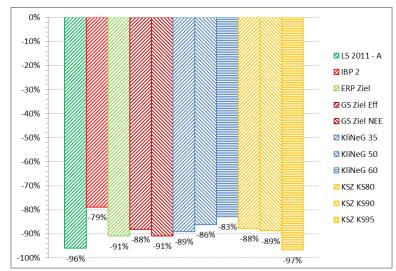
Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

Für die Betrachtung der CO₂-Emissionsreduktion gegenüber dem Jahr 1990 muss zunächst der relevante Emissionswert für das Ausgangsjahr abgeschätzt werden. In der oben verfolgten Emissionsallokation im Sinne einer Anwendungsbilanz (direkte und indirekte Emissionen) liegt dieser Emissionswert jedoch nicht vor. Die Inventarrechnungen für 1990 weisen einen Emissionswert für den Haushaltssektor auf (129 Mio. t), der jedoch nicht die Emissionen erfasst, die aus dem Stromund Fernwärmeverbrauch der Gebäude resultieren (und in der Inventarrechnung dem Umwandlungssektor zugeordnet werden). Um dennoch einen Vergleich mit dem Jahr 1990 zu ermöglichen, wurden für die untersuchten Szenarien die CO₂-Emissionen unter Herausrechnung der Emissionen für Strom und Fernwärme berechnet (Beschränkung auf die direkten Emissionen). Abbildung

2-13 zeigt die prozentualen CO₂-Reduktionen der verschiedenen Szenarien bezogen auf die gewählte Abgrenzung/Emissionsallokation. Diese unterscheiden sich nicht sonderlich von denen in Abbildung 2-12. Strom- bzw. Fernwärme-lastige Szenarien schneiden im Vergleich zu 1990 etwas besser ab, da Strom und Fernwärme hier nicht mit in die CO₂ Bilanz Eingang finden. Entsprechend verzeichnen diese Szenarien höhere CO₂ Reduktionen (z.B. KliNeG 35 im Verhältnis zu KliNeG 60, sowie LS 2011 – A als Szenario mit hohem Fernwärmeanteil).

Abbildung 2-13: Änderung CO₂-Emissionen Wohngebäude 2050 ggü. 1990 (nur direkte Emissionen)





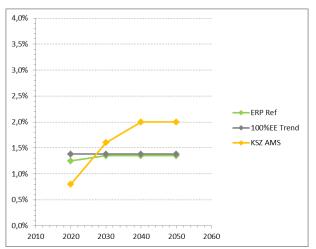
Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

2.2.2. Entwicklung Nichtwohngebäude

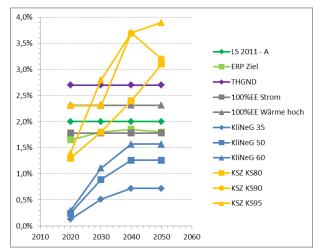
Für die Nichtwohngebäude (NWG) ist die Datenlage zum Teil erheblich schlechter als für die Wohngebäude. So werden beispielsweise nicht für jedes Szenario die Energieträgerverteilungen für die verschiedenen Anwendungen (Raumwärme, Warmwasser, etc.) angegeben. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, für jedes Szenario alle Werte zu berechnen. Die folgenden Abbildungen zeigen deshalb nur Szenarien, für die alle Daten zum jetzigen Zeitpunkt verfügbar waren.

2.2.2.1. Energetische Sanierungsrate

Die Sanierungsraten für die Nichtwohngebäude unterscheiden sich kaum von denen der Wohngebäude (siehe Abbildung 2-14). Die Szenarien LS 2011 – A und THGND gehen von konstanten Sanierungsraten aus. Nahezu konstant sind auch die Raten aus Prognos et al. (2014). Gut erkennbar sind die unterschiedlich stark ausgeprägten Sanierungsraten bei Öko-Institut/ISE (2016) und Öko-Institut/ISI (2015): In der ersten Studie wird die Sanierungsrate durch das Effizienzniveau im Zielzustand bestimmt, in der zweiten Studie ist das Minderungsniveau der CO₂-Emissionen für die Höhe der Sanierungsrate ausschlaggebend.







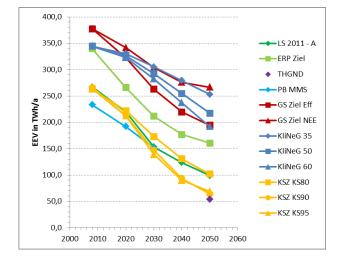
2.2.2.2. Endenergieverbrauch

Der Endenergieverbrauch der Nichtwohngebäude erfasst die Verbräuche für die thermische Gebäudekonditionierung (inkl. Kühlung) sowie – soweit aus den Studien ersichtlich – die Beleuchtung. Bei folgenden Studien wird die Beleuchtung nicht explizit ausgewiesen: Nitsch et al. (2012), Ifeu et al. (2015), BMUB (2015) sowie Öko-Institut/ISE (2016). Wir gehen davon aus, dass in diesen Studien die Beleuchtung bei der Angabe des Stromverbrauchs mit erfasst wird.

Die Reduktion des EEV bei Nichtwohngebäuden ist studienübergreifend betrachtet deutlich schwächer ausgeprägt als bei den Wohngebäuden. Wie Abbildung 2-15 zeigt, verlaufen die EEV-Pfade der Szenarien einer Studie meist entlang eines Korridors ohne dabei die Pfade der anderen Studien stark zu kreuzen. Die Höhe der Ausgangsniveaus innerhalb einer Studie spiegelt somit auch die Höhe des Zielniveaus wider, wenn auch mit einer größeren Spreizung. Die stark unterschiedlichen Verbräuche im Ausgangsjahr resultieren insbesondere daraus, dass die Klimaschutzszenarien (Öko-Institut/ISI 2015) sowie der Projektionsbericht (BMUB 2015) die Gebäude des Industriesektors nicht erfassen.

400,0
350,0
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0

Abbildung 2-15: Endenergieverbrauch Nichtwohngebäude



Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

2040

2050

2060

0.0

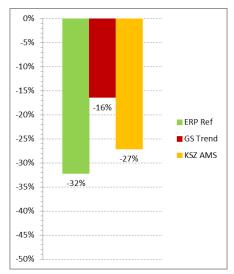
2000

2010

2020

2030

Abbildung 2-16: Änderung Endenergieverbrauch Nichtwohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr



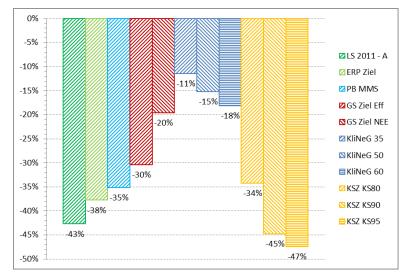
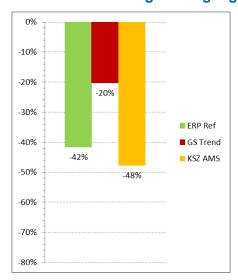
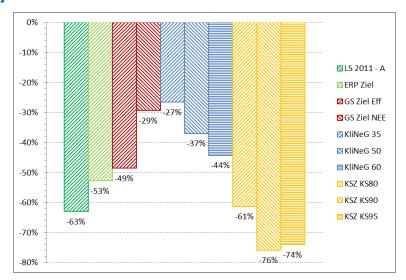


Abbildung 2-17: Änderung Endenergieverbrauch Nichtwohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr





Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

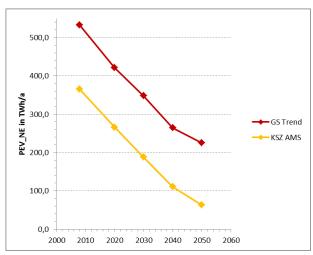
2.2.2.3. Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch

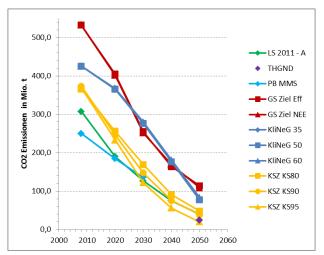
Analog zu den Wohngebäuden wurde der nicht-erneuerbare Primärenergieverbrauch anhand der Primärenergiefaktoren (nicht-erneuerbarer Anteil) aus der DIN V 18599 sowie dem KSZ KS80 (Öko-Institut/ISI 2014) berechnet (vgl. Tabelle 2-1).

Auch beim PE_{NE} sind die unterschiedlichen Flächenannahmen sowie der unterschiedliche Erfassungsgrad (NWG inkl./exkl. Industrie) maßgeblich für die starke Spreizung des Verbrauchs verantwortlich. Bis zum Jahr 2050 schaffen alle Szenarien mit Ausnahme der Gebäudestrategie (GS

Ziel Eff bzw. NEE) die PE_{NE} Reduktionsvorgabe von 80% (Abbildung 2-20). Dies schließt sogar das KSZ AMS Szenario mit ein.

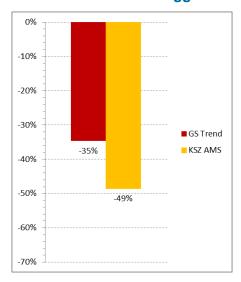
Abbildung 2-18: Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Nichtwohngebäude





Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

Abbildung 2-19: Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Nichtwohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr



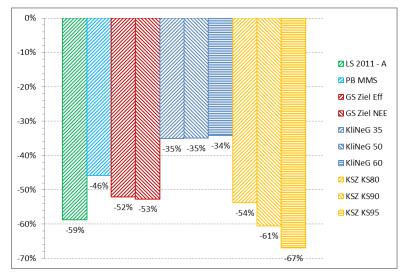
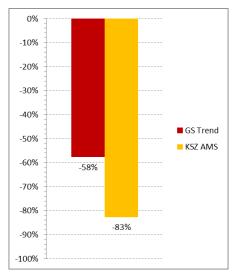
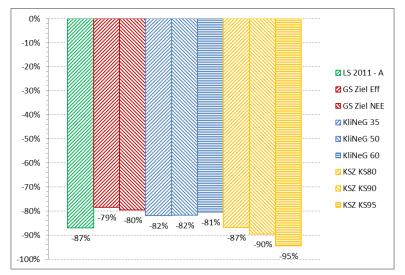


Abbildung 2-20: Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch Nichtwohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr

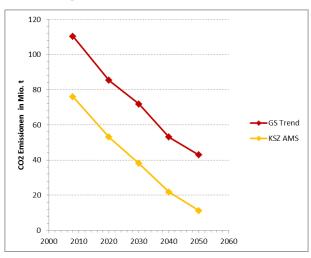




2.2.2.4. CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen der Nichtwohngebäude wurden – analog zu den Wohngebäuden – anhand der Emissionsfaktoren aus Tabelle 2-1 berechnet. Die Emissionen starten von einem vergleichsweise stark gespreizten Ausgangsniveau (51 bis 110 Mio. t CO₂) und erreichen 2050 Werte zwischen 2 und 20 Mio. t CO₂ (mit Ausnahme des Trendszenarios GS Trend, siehe Abbildung 2-21). Bei Prognos et al. (2015) und DLR et al. (2012) sind die Emissionsminderungen in den Jahrzehnten vor 2030 am größten, für Öko-Institut/ISE (2016) und Öko-Institut/ISI (2015) gilt dies für die Jahrzehnte nach 2030. Vermutlich ist hierfür die über die Jahrzehnte ansteigende Sanierungsrate dieser beiden Studien verantwortlich (siehe Abbildung 2-14).

Abbildung 2-21: CO₂-Emissionen Nichtwohngebäude



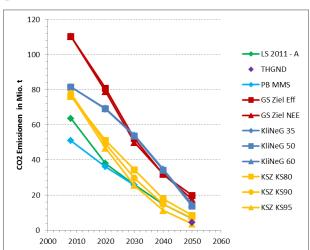
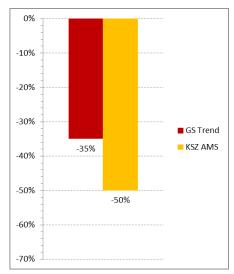


Abbildung 2-22: Änderung CO₂-Emissionen Nichtwohngebäude 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr



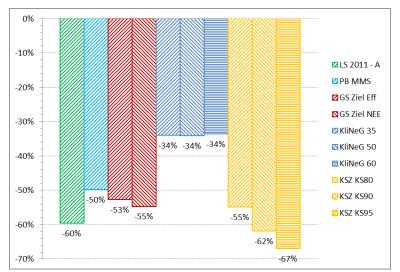
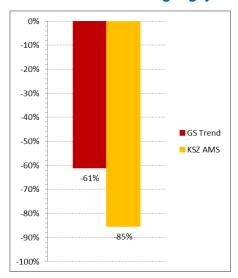
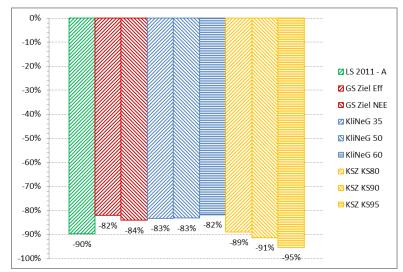


Abbildung 2-23: Änderung CO₂-Emissionen Nichtwohngebäude 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr





Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

2.2.3. Gesamter Gebäudesektor

In diesem Abschnitt werden Wohn- und Nichtwohngebäude zusammengefasst und die wichtigsten Indikatoren für den gesamten Gebäudebereich dargestellt. Auch hier sind nicht alle Studien vertreten, da beispielsweise IBP (2013) keine Berechnungen für den NWG-Bereich durchgeführt hat.



2.2.3.1. Endenergieverbrauch

Mit Ausnahme von Öko-Institut/ISE (2016) bewegen sich alle Zielszenarien im Ausgangsniveau bei einem EEV zwischen 700 und 1100 TWh/a (Abbildung 2-24). Im Zieljahr erreichen die Szenarien Verbrauchswerte zwischen 250 und 700 TWh (Ausnahme: THGND mit 120 TWh). Die große Spreizung ist in erster Linie den unterschiedlichen Aktivitätsraten (Sanierungsrate) und Ambitionsniveaus (Sanierungstiefe) geschuldet Die Szenarien aus Öko-Institut/ISE (2016) stechen mit einem hohen Ausgangsniveau hervor (Begründung s.o.), nähern sich allerdings bis zum Jahr 2050 an die anderen Szenarien an. Es liegt auf der Hand, dass Szenarien, die verstärkt auf Energieeffizient setzen, eine höhere EEV-Reduktion erreichen als solche, die den Fokus verstärkt auf den Ausbau erneuerbarer Energien legen. So erreichen beispielsweise das Energieeffizienzszenario der Gebäudestrategie (GS Ziel Eff) und KliNeG 60 höhere EEV Einsparungen 2030 und 2050 als die Szenarien GS Ziel NEE und KliNeG 35 (Abbildung 2-25 und Abbildung 2-26).

1.000

1.000

800

ERP Ref

100%EE Trend

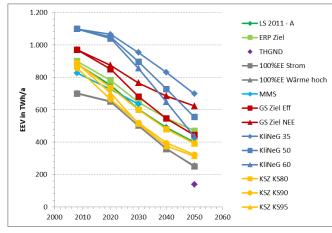
GS Trend

400

200

Abbildung 2-24: Endenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor

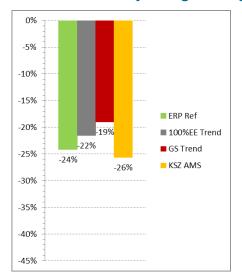
KSZ AMS



Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060

Abbildung 2-25: Änderung Endenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr



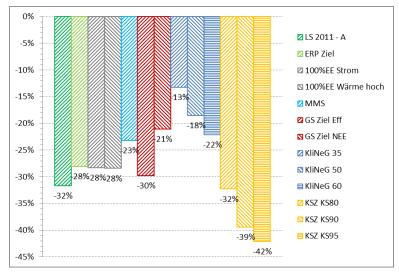
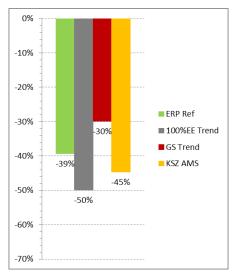


Abbildung 2-26: Änderung Endenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr



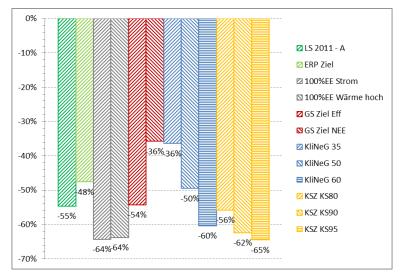
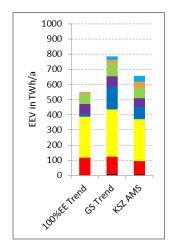


Abbildung 2-27 und Abbildung 2-28 zeigen die Aufteilung des EEV nach Energieträgern für die Jahre 2030 und 2050 getrennt nach Trend- und Zielszenarien. Der Anteil der fossilen Energieträger geht von 2030 bis 2050 nochmals deutlich zurück. Hingegen nehmen der Stromverbrauch und die Nutzung von Umweltwärme⁵ merklich zu, dies gilt insbesondere bei den Szenarien der Gebäudestrategie und bei KliNeG. Die Leitstudie 2011, das "100%EE Wärme hoch" Szenario aus Ifeu et al. (2015) sowie das KSZ KS90 Szenario decken 2050 einen hohen Anteil des verbleibenden EEV mit Fernwärme. Bei den Ifeu et al. (2015) Szenarien ist Umweltwärme nicht mitbilanziert, sondern nur der Strom für die Wärmepumpen. Die tatsächlichen EEV Werte (bilanziert im Sinne der Energiebilanz) dürften deshalb etwas höher liegen als angezeigt. Die KliNeG Szenarien (ökoInstitut/ISE 2015) weisen keinen Heizöl Anteil aus. Dies liegt an der dort gewählten Versorgungstechnologieverteilung, die keine Heizölkessel vorsieht.

-

⁵ Die hier ausgewiesene Umweltwärme erfasst die mit Hilfe von Strom verfügbar gemachte Anergie aus der Umgebung (Luft, Wasser, Erdreich). Der dafür benötigte Strom wird unter dem Energieträger Strom subsummiert.

Abbildung 2-27: Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern für den gesamten Gebäudesektor im Jahr 2030



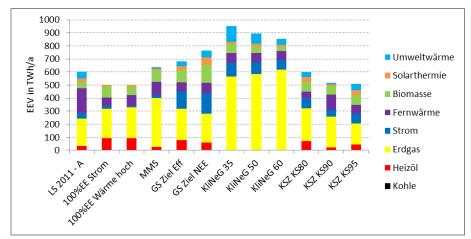
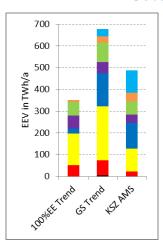
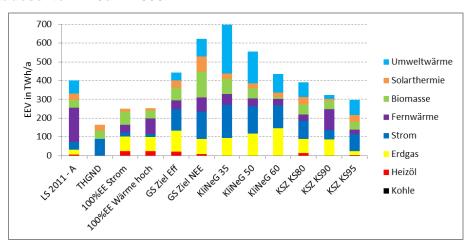


Abbildung 2-28: Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern für den gesamten Gebäudesektor im Jahr 2050



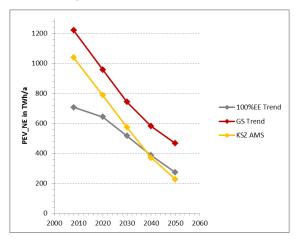


Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

2.2.3.2. Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch

Der nicht-erneuerbare PEV sinkt in allen Zielszenarien deutlich ab (siehe Abbildung 2-29), so dass fast alle das -80% Ziel erreichen. Eine Ausnahme bilden hierbei die 100% EE Wärme Szenarien, welche allerdings schon ein sehr niedriges PE_{NE} Ausgangsniveau haben und sich im Zielzustand unter die insgesamt niedrigsten PE_{NE} Verbräuche einordnen (Abbildung 2-31). Des Weiteren ist auffällig, dass die Leitstudie 2011, die Szenarien der Gebäudestrategie und die Klimaschutzszenarien alle schon für 2030 PE_{NE} Reduktionen von 50% und mehr aufweisen, wohingegen die Szenarien aus 100% EE Wärme, der Projektionsbericht und die KliNeG Szenarien "nur" Reduktionen zwischen 31% und 36% erreichen (Abbildung 2-30). Gründe hierfür sind hauptsächlich in der erst allmählich ansteigenden Sanierungsaktivität bei den letzteren Studien zu finden.

Abbildung 2-29: Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor



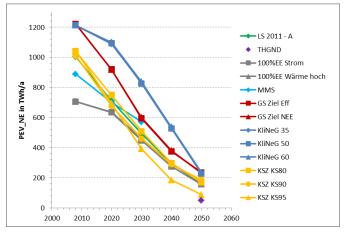
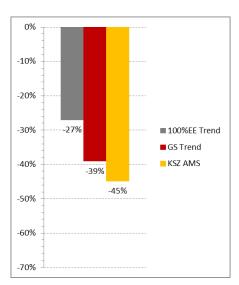


Abbildung 2-30: Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr



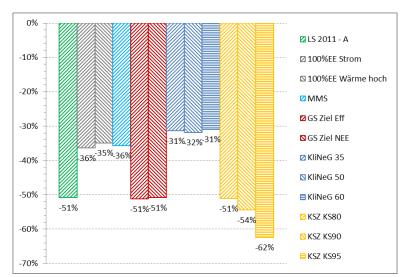
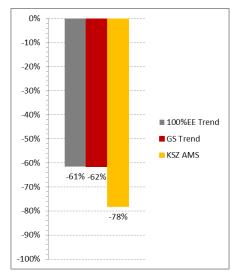
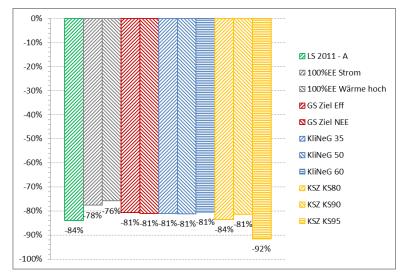


Abbildung 2-31: Änderung nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch gesamter Gebäudesektor 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr

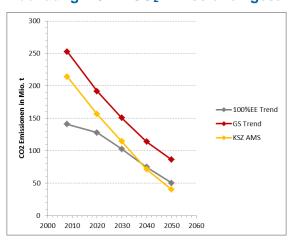




2.2.3.3. CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen für den gesamten Gebäudebereich liegen im jeweiligen Ausgangsjahr zwischen 140 und 253 Mio. t (Abbildung 2-32). Im Jahr 2050 erreichen die Zielszenarien Emissionswerte zwischen 7 und 41 Mio. t CO₂. Je nach Ausgestaltung der Szenarien werden die CO₂-Emissionen in den ersten Jahrzehnten langsamer (Öko-Institut/ISE, 2015) oder schneller (alle anderen) reduziert, was zum Zielzustand hin jedoch wieder ausgeglichen wird (vgl. Abbildung 2-33 und Abbildung 2-34).

Abbildung 2-32: CO₂-Emissionen gesamter Gebäudesektor



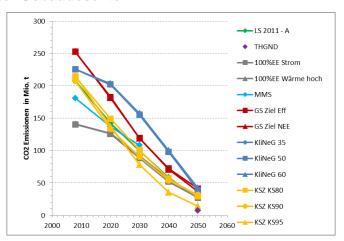
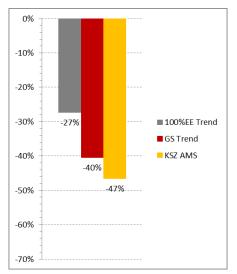


Abbildung 2-33: Änderung CO₂-Emissionen gesamter Gebäudesektor 2030 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr



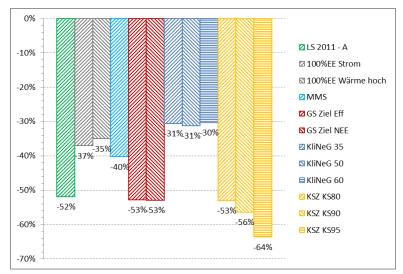
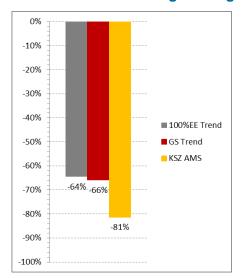
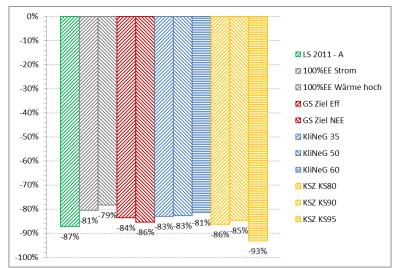


Abbildung 2-34: Änderung CO₂-Emissionen gesamter Gebäudesektor 2050 ggü. dem jeweiligen Ausgangsjahr





Quelle: Eigene Darstellung; Trendszenarien links, Zielszenarien rechts

2.3. Vergleichende Auswertung und Identifizierung robuster Strategien

Trotz der teilweise deutlichen Unterschiede in den Ergebnissen lassen sich aus den Szenarien einige Entwicklungen ableiten, die für mögliche Transformationsstrategien für den Gebäudesektor maßgebend sein sollten.

Die Szenarien zeigen, dass das übergreifende Ziel, den nicht erneuerbaren Anteil des Primärenergieverbrauchs des Gebäudesektors bis 2050 um 80% bezogen auf das Ausgangsjahr 2008 zu senken (PE_{NE} minus 80%), über verschiedene Zielbilder erreicht werden kann. Der Zielraum wird dabei vor allem über die zwei Dimensionen "Senkung des Endenergiebedarfs (Energieeffizienz)" und "Erhöhung des erneuerbaren Anteils am Endenergiebedarf" aufgespannt.

Nachfolgende Abbildung (Abbildung 2-35) zeigt die entsprechende Zielkurve. Aufgetragen ist der EE-Anteil am Endenergiebedarf (inkl. des EE-Anteils am Endenergieverbrauch Strom und Fernwärme), der notwendig ist, in Abhängigkeit vom Reduktionsgrad des Endenergiebedarfs (bezogen auf das Ausgangsjahr) das übergeordnete Ziel zu erreichen. Der EE-Anteil am Endenergiebedarf der Wärmeversorgung der Gebäude im Ausgangsjahr 2008 wurde dabei auf 9% abgeschätzt.⁶ Ebenfalls in der Abbildung eingetragen sind die Zielbilder aus den Klimaschutzszenarien 2050 (Öko-Institut/ISI 2015), dem Klimaneutralen Gebäudebestand 2050 (Öko-Institut/ISE 2015) sowie der Gebäudestrategie (Prognos et al. 2015).

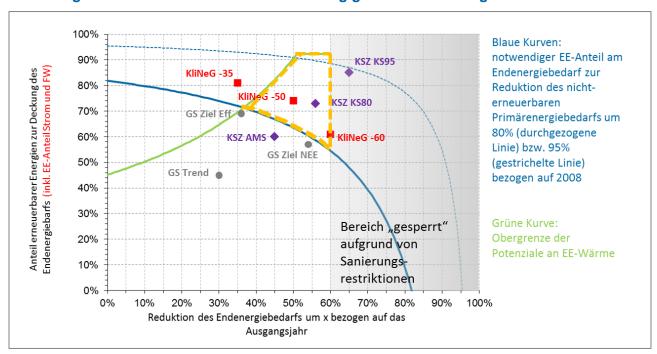


Abbildung 2-35: Zielkurve: EE-Anteil in Abhängigkeit von Endenergiereduktion

Quelle: Eigene Darstellung

Die blaue durchgezogene Linie zeigt die Zielkurve für das Ziel PE_{NE} minus 80% (in den Szenarien Öko-Institut/ISE 2015 führt dies zu einer sektoralen CO_2 -Einsparung zwischen 81 und 83%). Die blaue dünn gestrichelte Kurve stellt die Zielkurve für PE_{NE} minus 95% dar, was zu einer sektoralen CO_2 -Einsparung im Bereich von 95% führen würde.

Die grüne Kurve illustriert eine Obergrenze für das dem Gebäudesektor zur Verfügung stehende Potenzial an EE-Wärme. Der Bereich oberhalb der grünen Kurve kennzeichnet Zielzustände, für die kein ausreichendes EE-Wärmepotenzial zur Verfügung steht. Hierbei handelt es sich um keine "harte" Obergrenze. Vielmehr unterliegt diese einer Vielzahl von Annahmen:

Der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte lag im Referenzjahr 2008 laut Erfahrungsbericht EEWärmeG bei rund 7,6% (Bundesregierung 2012). Dieser Wert erfasst sowohl den EE-Einsatz für die thermische Konditionierung von Gebäuden wie auch den Einsatz für die Prozessenergieversorgung. Nach der Anwendungsbilanz (AGEB 2011) wurden in 2008 etwa 63% des gesamten Endenergiebedarfs für die Wärmeversorgung für die thermische Gebäudekonditionierung aufgebracht. Da der EE-Anteil an den Prozessenergien niedriger liegen dürfte als im Bereich der Wärmeversorgung der Gebäude, erscheint der unterstellte EE-Anteil von 9% als Referenzgröße plausibel.

 Beschränkung des Biomassepotenzials auf nachhaltige holzartige Reststoffe; nach UBA (2014) liegt das entsprechende Potenzial in 2050 bei rund 85 TWh/a (inkl. Industrierestholz und Altholz).

[Die in den vorangegangenen Kapiteln untersuchten Szenarien unterscheiden sich erheblich in der Menge an Biomasse, die im Jahr 2050 in den Gebäudesektor geht. Die Spannbreite liegt dabei zwischen 11 TWh (Szenario KliNeG 60) und 138 TWh (Szenario GS Ziel NEE). Nach der Anwendungsbilanz wurden im Gebäudesektor in 2012 rund 85 TWh (temperaturbereinigter Wert) an Biomasse für die thermische Gebäudekonditionierung verbraucht. Ein höherer als der angenommene Anteil an Biomasse würde implizieren, dass entweder auch weniger nachhaltige Potenziale im Bereich der holzartigen Biomassen erschlossen werden, die Nutzung nicht-holzartiger Biomassen oder den verstärkten Import von Biomassen. Darüber hinaus besteht die Frage, in welchen Sektoren die begrenzten Biomassepotenziale am sinnvollsten eingesetzt werden sollten. Je mehr Biomasse in den Gebäudesektor geht, desto kleiner sind die Anteile, die den anderen Sektoren zur Verfügung stehen. Szenarien mit einem kleinen Biomasseanteil im Gebäudesektor schaffen also Freiheitsgrade in Hinblick auf das Erreichen der Klimaschutzziele in den anderen Sektoren.]

- Auch wenn das Potenzial an Umweltwärme grundsätzlich unbeschränkt ist, wird analog Prognos et al. (2015) ein maximales Umweltwärmepotenzial von 100 TWh/a unterstellt.⁷
- Für die Solarthermie nehmen wir ein max. Potenzial in Höhe von 70 TWh/a an (Prognos et al. 2015).
- Der Stromverbrauch der Zielzustände wird in Anlehnung an Prognos et al. (2015) abgeschätzt. Für den EE-Anteil an der Stromversorgung wird für das Jahr 2050 ein Wert von 90% unterstellt. Dies hat zur Folge, dass beim Betrieb elektrischer Wärmepumpen oder infolge des Strombedarfs für Kühlung und Beleuchtung (NWG) ein nicht-erneuerbarer Sockel im Endenergieträgermix der Gebäudeversorgung verbleibt.⁸
- Ähnliches gilt für die netzgestützte Wärmeversorgung. Hier wird ein EE-Anteil von 70% unterstellt.

Die Darstellung der EE-Obergrenze ist insofern vereinfacht dargestellt, als die benötigten Anteile der verschiedenen EE stark davon abhängen, an welcher Stelle wir uns in der Abbildung auf der x-Achse befinden. Am linken Rand (geringe Effizienzanstrengungen) würde beispielsweise mehr Strom zur Gebäudekühlung benötigt, wohingegen am rechten Rand mehr Strom zur Gebäudebelüftung nötig ist. Auch würden unsanierte Gebäude mit Heizverteilsystemen auf Basis hoher Vorlauftemperaturen im Falle von Wärmepumpen am linken Rand der Abbildung unverhältnismäßig mehr Wärmepumpenstrom verbrauchen, verglichen mit gut gedämmten Gebäuden und auf Niedertemperatur umgestellten Heizungsverteilsystemen am rechten Schaubildrand.

Der grau schraffierte Bereich (Endenergiereduktion bezogen auf das Ausgangsjahr > 60%) kennzeichnet den Bereich, der infolge von Sanierungsrestriktionen mit den geläufigen Sanierungsverfahren und Dämmmaterialien eigentlich gar nicht erreicht werden kann (vgl. hierzu Bürger/Hesse 2015 auf der Basis von Jochum/Mellwig 2014). Dieser "gesperrte Bereich" beschränkt den Zielkorridor auf der rechten Seite. Die Begrenzung auf eine Endenergiereduktion von max. 60% stellt dabei keine harte Grenze dar. Bei Vorhandensein besserer Dämmstoffe bzw. -verfahren (z.B. sehr dünne Hochleistungsdämmstoffe) ließe sich der rechte Rand des Korridors durchaus weiter nach

.

Im Szenario KliNeG-35 wird ein wesentlich höheres Umweltwärmepotenzial unterstellt, deswegen liegt der entsprechende Zielpunkt oberhalb der durch die grünen Kurve gekennzeichneten Obergrenze.

⁸ Dieser fossile Sockel begründet den Knick in der grünen Kurve bei einer Endenergiereduktion von ca. 50%.



rechts verschieben, da dann auch Gebäude gedämmt werden könnten, die bislang z.B. geometrischen, ästhetischen oder ordnungsrechtlichen Dämmrestriktionen unterliegen.

Die Begrenzung der Endenergiereduktion aufgrund von Sanierungsrestriktionen bedeutet aber auch, dass der Übergang von einem Zielbild mit Minderung von PE_{NE} oder CO₂-Emissionen von 80% auf ein Zielbild mit Reduktion um 95% vor allem durch eine Änderung des Endenergieträgermixes erreicht werden muss. Befindet man sich beispielsweise am rechten Rand der x-Achse (Endenergiereduktion von 60%), wäre für das Zielbild PE_{NE} minus 80% ein EE-Anteil von rund 55% notwendig, wohingegen das Zielbild PE_{NE} minus 95 bei gleichem zu deckenden absoluten Endenergiebedarf einen EE-Anteil von knapp 90% erfordert.

Der in orangener Farbe eingefasste Bereich reflektiert den in Hinblick auf das übergeordnete Ziel " PE_{NE} minus 80%" möglichen Zielraum. Aus der Darstellung wird deutlich, dass sich der Zielraum bei einer Verschärfung des Ziels (PE_{NE} minus 95%) erheblich verkleinert und dabei eine Reduktion des Endenergiebedarfs um mind. 50% unerlässlich ist.

Infolge der beschränkten Potenziale an heimischer Biomasse sowie der begrenzten Deckungsraten bei der Solarthermie wird Wärmepumpen im zukünftigen Versorgungsmix eine Schlüsselrolle zukommen (wenn man sich nicht auf PtG bzw. Biomasseimporte verlassen möchte). Ein verstärkter Einsatz elektrischer Wärmepumpen erhöht die Interaktion des Gebäude- mit dem Stromsektor. Die Abschätzungen im Rahmen des Klimaneutralen Gebäudebestands zeigen beispielsweise, dass im Szenario KliNeG -35 rund 55 TWh mehr Strom erforderlich sind als im Szenario KliNeG -60. In den Szenarien der Gebäudestrategie liegt die Differenz bei rund 30 TWh. Der Großteil des Stromeinsatzes muss dabei aus EE kommen. Dies verdeutlicht den möglichen zusätzlichen Ausbaudruck auf die EE-Stromerzeugung.

Hinsichtlich der Wahl des Zielbildes (rechter Rand vs. linker Rand) sind überdies folgende Aspekte zu berücksichtigen

- Nahezu alle Szenarien unterstellen, dass sich bei den Wohngebäuden die Sanierungsrate bis spätestens zum Jahr 2030 verdoppelt, bei einigen Szenarien liegt die Sanierungsrate schon im Jahr 2020 doppelt so hoch wie im jeweiligen Ausgangsjahr (für die NWG kann aufgrund einer fehlenden Kenntnis über die heutige Sanierungsrate keine vergleichbare Aussage abgeleitet werden). Der Aufbau eines Sanierungsmarktes, der energetische Modernisierungen im erforderlichen Volumen und insbesondere der erforderlichen Tiefe leisten kann, benötigt einen verhältnismäßig langen zeitlichen Vorlauf.
- Infolge der sehr langen Reinvestitionszyklen bei den großflächigen Bauteilen der Gebäudehülle aber auch bei der Versorgungstechnik ist der Gebäudesektor sehr träge. Wird ein Bauteil renoviert bzw. auf ein energetisches Niveau saniert, das hinsichtlich des Zielkorridors nicht ausreicht, ist das Gebäude erst einmal einige Jahrzehnte "gesperrt" (Lock-in Effekt).

Der erforderliche Vorlauf zum Aufbau eines stark ausgeweiteten Sanierungsmarktes sowie die langen Reinvestitionszyklen bedeuten, dass die Entscheidung über das anzusteuernde Zielbild möglichst frühzeitig getroffen werden muss. Ein Abwarten der entsprechenden Entscheidung (d.h. Verharren auf dem Referenzpfad) führt zumindest bezogen auf den rechten Rand des Zielkorridors zu einem Lock-in: Je später die Steigerung der Sanierungsaktivität eingeleitet wird, desto größer sind die "verlorenen" Modernisierungspotenziale in den Gebäuden, die in den kommenden Jahren lediglich renoviert, dabei aber nicht gleichzeitig energetisch saniert werden. Mit anderen Worten: Ein Hinauszögern der Entscheidung über das anzusteuernde Zielbild bedeutet automatisch, dass sich der rechte Rand des Zielkorridors sukzessive nach links verschiebt. Die Trägheit des Sektors

bedeutet aber auch, dass die Zwischenziele für das Jahr 2030 nicht isoliert, also nicht unabhängig von den Zielen für das Jahr 2050 getroffen werden dürfen sondern sich vielmehr an dem langfristig anvisierten Zielbild orientieren müssen.

Bezogen auf die Frage, ob der Gebäudesektor hinsichtlich des CO₂-Reduktionskorridors den unteren (80% Reduktion) oder oberen Rand (95% Reduktion) anpeilen sollte, gelten die gleichen Argumente. Je später die Entscheidung über das Reduktionsziel getroffen wird, desto schwieriger wird es, den oberen Zielrand überhaupt noch zu erreichen. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass die zukünftigen Freiheitsgrade bei der Ausgestaltung der Sektortransformation umso größer sind, je früher ein zielkonformer Transformationspfad eingeschlagen wird.

Ferner ist zu bedenken, dass der notwendige EE-Anteil an der Deckung des Endenergiebedarfs steigt, je weiter links das Zielbild auf der x-Achse liegt. Dies hat insbesondere Implikationen für den notwendigen EE-Strombedarf zum Betrieb von Wärmepumpen (s.o.). Dieser Strombedarf steigt umso mehr, je weiter links das Zielbild auf der x-Achse verortet wird. Neben dem Strombedarf verbindet sich mit dem starken Wärmepumpenausbau noch eine Reihe weiterer Herausforderungen, nämlich

- die verstärkte Interaktion mit dem Stromsystem verbunden mit der Herausforderung, dass Wärmepumpen gerade dann viel Strom verbrauchen, wenn die Stromnachfrage in der Regel ohnehin schon hoch ist (kalte Jahreszeit),
- die aus Platzgründen (Gebäudebestand) sowie aktuell auch Kostengründen herrschende Dominanz von Luft/Wasser-Wärmepumpen mit ihren geringen Effizienzen gerade in der kalten Heizperiode,
- bei Erdsonden-Wärmepumpen die Potenzialeinschränkungen, die sich aus den Regenerationsgrenzen der Erdwärme in Hinblick auf den Wärmeentzug aus dem Boden ergeben.⁹
- die THG-Emissionen durch die F-Gase im Kühlmittel von Wärmepumpen. Hierfür gibt es allerdings Alternativtechnologien mit sehr viel geringerem Treibhausgaspotenzial im Vergleich zu den F-Gasen (z.B. WAM R-290, WAM R-744, WAM R-600a oder WAM R-1234yf¹⁰)

Andererseits

 sind Wärmepumpen bereits aus thermodynamischen Gründen für den Betrieb von Niedertemperaturheizungen eine geeignete Technologie und

 bieten aufgrund der möglichen Sektorkopplung (Strom- / Wärmemarkt) auch Flexibilitätsoptionen; insbesondere im Zusammenspiel mit Wärmespeichern.

Werden robuste Strategien als Entwicklungen verstanden, die die ausgewerteten Szenarien mittelbis langfristig übereinstimmend als notwendig ansehen, um die sektorspezifischen Ziele (insbesondere PE_{NE} minus 80%) zu erreichen, lassen sich zusammenfassend folgende Strategien identifizieren:

In einer Studie für die Stadt Zürich schätzen Wagner/Weisskopf (2014) ab, dass bei den gegebenen lokalen Voraussetzungen das maximal nachhaltig nutzbare Potential an Wärme aus Erdwärmesonden um etwa einen Faktor 10 bis 30 niedriger liegt als die Wärmedichte, die im Gebäudebestand mit seinen heutigen energetischen Standards anfällt. Ist die Regeneration der Erdwärme unzureichend, geht dies zu Lasten der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen.

Siehe Schwarz et al. (2011): Annexes to the final report of the preparatory study for a review of regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases, oder UBA (2015): Climate change 06/2015 Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006.



- Die energetische Sanierung des Gebäudebestands: Dies umfasst sowohl die Sanierung der Gebäudehülle als auch die Sanierung bzw. Umstellung der Versorgungstechnik zu Gunsten klimafreundlicherer Optionen. Bei den Nichtwohngebäuden muss auch die Beleuchtung mit berücksichtigt werden.
- 2. Die Gewährleistung energieeffizienter Neubaustandards (ebenfalls bezogen auf den Wärmeschutz sowie die Versorgungstechniken).
- 3. Die Dekarbonisierung der netzgestützten Versorgungsstrukturen; dies betrifft insbesondere die Stromversorgung sowie die Wärmeversorgung über Wärmenetze.

Hinweis: Die Stromversorgung wird im Folgenden nicht weiter behandelt, da dieser Bereich durch den Sektor Energiewirtschaft erfasst wird.

3. Ableitung struktureller Entwicklungsschritte (transformative Pfade)

Für die zuvor identifizierten "robusten" Strategien sind verschiedene strukturelle Entwicklungsschritte notwendig, die im Folgenden näher beschrieben werden.

3.1. Energetische Sanierung des Gebäudebestands

Das weitaus wichtigste Kernelement der Transformation des Gebäudesektors besteht in der energetischen Sanierung des heutigen Gebäudebestandes. Die Bedeutung der energetischen Sanierung lässt sich aus zwei Erwägungen ableiten:

- Im Jahr 2050 werden rund 80% der Wohngebäude "alt" sein, d.h. vier von fünf der Wohngebäude, in denen wir 2050 leben, existieren heute schon. Bei den Gebäuden des GHD-und Industriesektors ist die Umschlagrate zwar höher, aber auch hier wird der Gebäudebestand in 2050 durch Gebäude dominiert, die heute schon existieren.
- 2. Der durchschnittliche spezifische Energieverbrauch im Gebäudebestand ist deutlich höher als bei Neubauten (der spezifische Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser lag bei Wohngebäuden im Jahr 2012 bei rund 160 kWh/(m²a), Neubauten nach EnEV 2009 weisen einen spezifischen Endenergieverbrauch von rund 60 kWh/(m²a); zugleich werden rund 50% aller neuen Wohngebäude durch die KfW gefördert und erreichen damit noch niedrigere Verbrauchswerte).

Die ausgewerteten Szenarien skizzieren den Zielkorridor für die Sektortransformation. Wie oben dargestellt verhalten sich dabei die Effizienz (Senkung des Endenergiebedarfs) sowie die Dekarbonisierung des Versorgung (v.a. Erhöhung des erneuerbaren Anteils am Endenergiebedarf) wie kommunizierende Röhren. Bei der Wahl des Zielbilds spricht eine Reihe von Argumenten dafür, ein Zielbild anzusteuern, das sich möglichst weit rechts im Zielkorridor befindet, d.h. sehr stark auf die Reduktion des Endenergiebedarfs setzt:

- Je stärker es gelingt, den Endenergiebedarf des Gebäudesektors zu reduzieren, desto geringer ist der zusätzliche Ausbaudruck auf EE, der aus dem Wärmesektor resultiert. Dies gilt insbesondere für EE-Stromerzeugungskapazitäten (hier v.a. Wind und PV, also fluktuierende Quellen mit den damit verbundenen Herausforderungen an die Systemintegration) sowie die Biomasse.
- Ein Zielbild im linken Bereich des Zielkorridors, bei dem der Klimaschutzbeitrag des Gebäudesektors verstärkt durch Maßnahmen in der Versorgungstechnik/ Energieträgerwech-

sel erbracht wird, birgt das Risiko, zu einem späteren Zeitpunkt kostenintensiv umsteuern zu müssen, sollte sich herausstellen, dass der bei geringeren Wärmeschutzanstrengungen notwendige stärkere Ausbau der EE-Kapazitäten doch auf unüberwindbare Hindernisse stößt. Dann nämlich müsste der fehlende Klimaschutzbeitrag durch nachträgliche Wärmeschutzmaßnahmen geleistet werden, die dann größtenteils außerhalb des Reinvestitionszyklus erbracht werden müssten.

Die wichtigsten Stellschrauben bei der energetischen Gebäudesanierung sind die Sanierungsrate, die Sanierungstiefe sowie die Dekarbonisierung der Versorgungstechnik. Die Stellschrauben können dabei sowohl auf der Ebene des Einzelgebäudes angewendet werden wie auch auf einen größeren baulichen Zusammenhang (z.B. Quartiers-/Stadtteilbezug).

3.1.1. Erhöhung der Sanierungsrate

In allen ausgewerteten Szenarien werden die Sektorziele nur dann erreicht, wenn die Sanierungsrate deutlich ansteigt. Dies erfordert folgende Entwicklungsschritte:

- Verstärkte Anstrengungen, die darauf abzielen, die energetische Sanierungsrate signifikant zu erhöhen und hinsichtlich des Kopplungsprinzips eine sehr hohe Compliance-Rate sicherzustellen. Neben dem klassischen Vollzug ist hierzu u.a. auch das Entscheidungswissen auf Ebene der Gebäudeeigentümer und Investoren zu schärfen.
- Anstrengungen, die darauf abzielen, auf Ebene der Umsetzer die notwendige Dynamik zu entfachen, damit gewährleistet ist, dass das steigende Volumen an Sanierungsaktivität in hinreichend guter Qualität ausgeführt wird. Hierbei geht es insbesondere um Maßnahmen im Bereich Qualifikation und Qualitätssicherung.

3.1.2. Sicherstellung einer ausreichenden Sanierungstiefe

Die ausgewerteten Szenarien zeigen auch deutlich die Bedeutung der Sanierungstiefe, also des energetischen Niveaus, das mit einer Sanierung erreicht wird. In beiden Zielszenarien der Gebäudestrategie (Prognos et al. 2015) wird für den Gesamtbestand 2050 bezogen auf den Primärenergiekennwert ein energetisches Niveau erreicht, das einem heute von der KfW geförderten Effizienzhaus 55 entspricht; wobei bei dem Szenario GS Ziel NEE (linker Rand des Zielkorridors) nicht gewährleistet ist, dass damit auch die KfW-55 Nebenanforderung an den Transmissionswärmeverlust H_T' erreicht wird.

Bei dem Szenario KliNeG -60 (Öko-Institut/ISE 2015) erreicht der gesamte Wohngebäudebestand 2050 ebenfalls ein Durchschnittsniveau, das bezogen auf den Primärenergiekennwert dem Effizienzhaus 55 Standard entspricht. Dabei wird gleichzeitig die Nebenanforderung des KfW-55 Standards an H_T erreicht (gleichbedeutend mit dem rechten Rand des Zielkorridors). Da in diesem Szenario aber rund 5% der 2050 bewohnten Wohnfläche sich in Gebäuden befindet, die infolge von Sanierungsrestriktionen gar nicht saniert werden können, müssen die anderen Gebäude auf ein noch niedrigeres Niveau als KfW-55 saniert werden.

Eine Auswertung der KfW-Förderstatistik zeigt, dass im Jahr 2013 "nur" in etwa 5% aller Förderfälle, bei denen ein Gebäude auf eines der KfW-Effizienzhausniveaus saniert wurde, das Niveau KfW-55 erreicht wurde. ¹¹ Alle anderen Förderfälle fielen auf weniger ambitionierte Sanierungsni-

Bezogen auf die KfW-Förderung von Einzelmaßnahmen kann keine vergleichbare Aussage getroffen werden. Hierzu müsste geprüft werden, inwieweit eine Einzelmaßnahme (z.B. die Dämmung der Außenwände) kompatibel mit dem KfW-55 Standard ist.



veaus (Effizienzhausstandards 70, 85, 100 und 115). Da davon auszugehen ist, dass Sanierungen, die ohne KfW-Förderung durchgeführt werden, tendenziell eher weniger ambitionierte Sanierungsniveaus erreichen, ist dies ein eindrückliches Indiz dafür, dass die heutigen Sanierungsaktivitäten bezogen auf das dabei erreichte energetische Niveau bei Weitem nicht ausreichen, um eine Entwicklung des Sektors in Richtung des rechten Randes des Zielkorridors zu gewährleisten.

Die Sicherstellung ausreichend ambitionierter Sanierungsniveaus, sowohl bezogen auf den Primärenergiekennwert wie auch den Wärmeschutzstandard der Gebäudehülle, erfordert folgende Entwicklungsschritte:

- Ausreichend hohe Anreize oder regulatorische Vorgaben, die darauf abzielen, Investitionen in zielkonforme Sanierungsstandards zu stimulieren.
- Verstärkte Anstrengungen im Bereich F&E, die darauf abzielen, auch "restriktive" Gebäude zu sanieren (z.B. durch die Entwicklung von Hochleistungsdämmstoffen) bzw. die Kosten der energetischen Sanierung zu senken (z.B. durch die Entwicklung günstigerer Dämmmaterialien, die Vorfertigung von Dämmelementen, die Entwicklung innovativer Sanierungskonzepte, usw.).
- Und schließlich sollten insbesondere hinsichtlich der Dämmstoffe neben den Belangen des Klimaschutzes verstärkt weitere Nachhaltigkeitsdimensionen einbezogen werden, z.B. Fragen der Ressourceneffizienz, der Schadstoffbelastung bei der Herstellung, der Verwendung und der Entsorgung von Dämmmaterialien und der Wiederverwertbarkeit.

3.1.3. Dekarbonisierung der Versorgungstechnik

In allen ausgewerteten Zielszenarien steigt der EE-Anteil am Endenergieverbrauch bis 2050 erheblich. Ausgehend von einem EE-Anteil (inkl. EE-Anteil am Endenergieverbrauch Strom und Fernwärme) von rund 13% im Ausgangsjahr 2008 steigt der EE-Anteil auf 55-80% in 2050 (vgl. Abbildung 2-35). Da, wie oben dargestellt, der Gebäudesektor im Zieljahr 2050 von Gebäuden dominiert wird, die heute schon existieren, bedeutet dies, dass der EE-Ausbau insbesondere im Gebäudebestand erfolgen muss. In Hinblick auf dieses Ziel erscheinen folgende Entwicklungsschritte erforderlich:

- Ausreichend hohe Anreize oder regulatorische Vorgaben, die darauf abzielen, im Gebäudebestand Investitionen in den Umstieg der Heizsysteme zu Gunsten EE anzureizen.
- Die Entwicklung und politische Einigung auf eine langfristige Biomasse-Allokations-Strategie (Verteilung der Biomassepotenziale auf die Nachfragesektoren und den Umwandlungssektor). Diese sollte als Grundlage dafür dienen, in welche Sektoren die Biomasseströme innerhalb des Energiesystems langfristig fließen.
- Verstärkte Anreize, Heizsysteme in Gebäuden auf Niedertemperaturverteilsysteme umzustellen. Neben der Verringerung der Speicher- und Verteilverluste arbeiten viele Heizungstechniken bei niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen effizienter. Dies gilt z.B. für Brennwertkessel und insbesondere für Wärmepumpen, die umso effizienter arbeiten, je geringer der Temperaturhub zwischen externer Wärmequelle und Vorlauftemperatur ausfällt.
- Verstärkte Anstrengungen im Bereich F&E, z.B. die Weiterentwicklung dezentraler (thermischer und thermochemischer) Speicher (wichtig, für die Flexibilisierung des Betriebs von Wärmepumpen und für die Solarthermie), die Verbesserung der Effizienz insbesondere von Luft/Wasser Wärmepumpen, die signifikante Senkung der Systemkosten bei Solarkollektoren.

3.2. Energieeffiziente Neubaustandards

Auch wenn der Großteil der Wohn- und Nutzfläche im Jahr 2050 von Gebäuden bereitgestellt wird, die heute schon existieren, werden rund 20% der Wohnfläche bis dahin neu zugebaut. Bei den gewerblich genutzten Flächen wird der Anteil voraussichtlich wesentlich größer sein. Aus diesem Grund spielt auch der energetische Neubaustandard eine Rolle, da selbst die Gebäude, die in den kommenden Jahren errichtet werden, bis zum Jahr 2050 in aller Regel keine energetische Sanierung der Gebäudehülle durchlaufen dürften (Ausnahme sind ggf. die Fenster). Hingegen kann erwartet werden, dass bei den in den kommenden zehn Jahren neu gebauten Gebäuden zumindest die Heizungsanlage einmal erneuert wird.

Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, dass der Neubau ein energetisches Niveau erreicht, das bezogen auf den Zielkorridor zielkompatibel ist. Überdies ist es im Bereich des Neubaus im Vergleich zur Sanierung von Bestandsgebäuden technisch einfacher und insbesondere viel günstiger, einen sehr effizienten Standard zu realisieren. Dies spricht dafür, bei Neubauten ambitionierte Anforderungen an den Endenergiebedarf (Endenergie im Sinne der Energiebilanz) zu stellen, so dass der Klimaschutzbeitrag des Neubaubereichs vorwiegend durch Effizienz und nur nachgelagert durch den EE-Einsatz erbracht wird.

3.3. Dekarbonisierung netzgestützter Versorgungsstrukturen

Die zukünftige Rolle der netzgestützten Wärmeversorgung wird uneinheitlich bewertet. In den hier beschriebenen Szenarien geht nur Ifeu et al. (2014) verstärkt auf Wärmenetze ein. Vergleichbar den dezentralen Versorgungstechnologien muss auch die netzgestützte Wärmeversorgung sukzessive dekarbonisiert, d.h. auf erneuerbare Energien umgestellt werden.

Ein Ausbau von Wärmenetzen scheint gerade in urbanen, dichter besiedelten Räumen sinnvoll, da in diesen räumlichen Strukturen keine ausreichend großen gebäudenahen dezentralen EE-Wärmepotenziale zur Verfügung stehen. Wärmenetze bieten also die Möglichkeit, auch solche Gebiete mit Erneuerbaren Energien zu versorgen. Hinzu kommt der Vorteil, der aus der größeren Zentralität der Wärmeerzeugung entsteht: Wenige zentrale, das Wärmenetz speisende Erzeugungsanlagen lassen sich viel einfacher zu Gunsten anderer Technologien austauschen als viele dezentrale Heizanlagen.

Wärmenetze können auch in Hinblick auf die zunehmende Sektorkopplung eine wichtige Flexibilitätsoption darstellen (vgl. z.B. Lund et al. 2014). Wärmenetze in Verbindung mit großen Wärmespeichern bieten gerade in einer Zukunft mit hohem Anteil fluktuierenden EE-Stroms via PtH die Möglichkeit der Zwischenspeicherung und des Lastmanagements.

Die verstärkte Einbindung erneuerbarer Energien wie Umweltwärme (über Großwärmepumpen), Solarthermie als auch Abwärme aus industriellen und gewerblichen Prozessen in bestehende Wärmenetze setzt voraus, dass Wärmenetze auf niedrigere Temperaturniveaus (bezogen auf Vorund Rücklauf) gebracht werden. Konkret erfordert dies

- die Umstellung von Dampfnetzen auf Heißwassernetze,
- die Durchführung weiterer Maßnahmen zur Temperaturabsenkung (LowEx-Netze) und
- den Umstieg der angeschlossenen Gebäude auf NT-Heizverteilsysteme.

Ferner führt die heute angewendete Methodik zur primärenergetischen Bewertung der Fernwärme aus fossilen KWK Anlagen zu Primärenergiefaktoren, die für die Fernwärme sehr vorteilhaft sind. Dies mag sich als Hemmnis für die Umstellung auf Erneuerbare Energien erweisen. Es empfiehlt



sich eine Abkehr vom heute verwendeten Stromgutschriftverfahren gemäß AGFW-Arbeitsblatt FW 309-1 zu Gunsten einer Allokationsmethode, die eine ausgewogenere, die thermodynamische Güte berücksichtigende, Aufteilung des Primärenergieeinsatzes auf die jeweiligen Produktionsanteile von Wärme und Strom widerspiegelt.

4. Handlungsbedarf bis zum Jahr 2030

Der Handlungsbedarf in den kommenden 15 Jahren leitet sich aus den Zielen für das Jahr 2050 ab. Für die Identifizierung des kurz- bis mittelfristigen Handlungsbedarfs ist es folglich notwendig, das Zielbild zu kennen, welches für den Gebäudesektor angestrebt wird (Verortung des Zielbilds im Zielkorridor). Wie oben dargestellt, sprechen eine Reihe von Argumenten dafür, ein Zielbild anzusteuern, das sich möglichst weit rechts im Zielkorridor befindet, d.h. sehr stark auf die Reduktion des Endenergiebedarfs setzt. Bis zum Jahr 2030 sollten dabei folgende Meilensteine erreicht werden:

- Anhebung der Sanierungsrate bei Wohngebäuden auf mind. 2%/a
- Etablierung des Standards KfW Effizienzhaus 55 als Leitstandard der energetischen Gebäudesanierung
- Beschränkung auf den Einbau von Niedertemperaturheizsystemen (möglichst schon ab 2020)
- Etablierung einer Biomasse-Allokations-Strategie (möglichst schon bis 2025)
- Gewinnung von Erfahrung mit der Einbindung großer zentraler solarthermischer Anlagen sowie Großwärmepumpen in bestehende Wärmenetze
- Etablierung eines regelmäßigen Monitorings über die Sanierungsaktivität (Sanierungsrate, Sanierungsstandards, Teilsanierungen usw.) und die Entwicklung der energetischen Kenngrößen des Gebäudesektors (Wohn- und Nichtwohngebäude)
- Intensivierung der F&E-Anstrengungen in den oben genannten Bereichen

5. Stromverbrauch der Privathaushalte

5.1. Einleitung

in der Abgrenzung der Energiebilanz für Deutschland¹² beinhaltet der Endverbrauchssektor "Private Haushalte" sowohl den Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser als auch Strombedarf für elektrische Anwendungen (im Wesentlichen Beleuchtung, elektrische Haushaltsgeräte, Informations- und Kommunikationstechnologien IKT sowie Klimatisierung). In den hier betrachteten Studien und ihren Szenarien wird jedoch teilweise der gebäudebezogene Energiebedarf des Sektors separat ausgewiesen. Diese unterschiedliche Abgrenzung des Sektors Private Haushalte ist in den hier näher betrachteten Studien zu berücksichtigen (Tabelle 5-1). Diese unterschiedliche Abgrenzung des Sektors führt auch dazu, dass es für Deutschland keine Studien gibt, in denen ausschließlich die zukünftige Energienachfrage der Stromnachfrage in privaten Haushalten betrachtet wird. Der Sektor ist jeweils nur Bestandteil von übergreifenden Studien und Szenarien.

Die in diesem Forschungsvorhaben vorgenommene sektorale Abgrenzung, der auch die im Rahmen des Arbeitspaketes 1.2 erstellten Sektorpapiere folgen, betrachtet ebenfalls den gesamten Gebäudesektor (Wohn- und Nichtwohngebäude) separat. Der Strombedarf der privaten Haushalte wird hier im Rahmen des Sektorpapiers zu den Gebäuden behandelt.

Tabelle 5-1: Überblick über die betrachteten Studien und Szenarien für den Sektor Private Haushalte - Strom

Studie	normativ oder explorativ	Def. Sektor private Haushalte	Implementierung politischer Instrumente und Maßnahmen	Zeitho- rizont
Klimaschutzsze- nario 2050	Ziel 80% bzw. 95%	ohne Gebäudestrom	Maßnahmen: aktuelle (AMS) bzw. zusätzliche (KS80 / KS95)	2050
Energierefe- renzprognose	explorativ	Abgrenzung der Ener- giebilanz	zusätzliche Maßnahmen	2050
Energieszenari- en 2010	explorativ	Abgrenzung der Energiebilanz	zusätzliche Maßnahmen	2050
Modell D	normativ	Abgrenzung der Ener- giebilanz	zusätzliche Maßnahmen	2050
Projektionsbe- richte 2013/ 2015	explorativ	ohne Gebäudestrom	Instrumente: aktuelle (MMS) bzw. zusätzliche (MWMS)	2035
Quelle: Eigene Dars	stellung			

Im Folgenden werden die für den Sektor Private Haushalte - Strom berücksichtigten Studien und die dort unterschiedenen Szenarien kurz charakterisiert.

Klimaschutzszenario 2050

In dieser Studie des Öko-Institut und Fraunhofer ISI im Auftrag des BMUB werden drei Szenarien mit unterschiedlichen klimapolitischen Annahmen für den Zeithorizont bis 2050 analysiert: Das "Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (2012)" bildet den Ist-Stand der energie- und klimapolitischen Rahmensetzungen ab. Die langfristigen Klimaschutzziele werden in diesem Szenario nicht erreicht. Im "Klimaschutzszenario 80" wird bis zum Jahr 2050 eine Emissionsminderung um 80% gegenüber 1990 erreicht. Im ambitionierten "Klimaschutzszenario 95" wird bis zum Jahr 2050 eine

¹² www.ag-energiebilanzen.de



Emissionsminderung um 95% erreicht. Im Vergleich zur ersten Modellierungsrunde, in der 90% Minderung erreicht werden sollte, wird nun der ambitionierte Wert in Ansatz gebracht.

Im Gegensatz beispielsweise zum Projektionsbericht 2015 der Bundesregierung (2015) oder den Politikszenarien für den Klimaschutz VI (Öko-Institut et al., 2013) handelt es sich bei den Klimaschutzszenarien nicht um eine maßnahmenorientierte, sondern eine zielorientierte Modellierung, d.h. in welchen Sektoren welche Minderungsbeiträge erbracht werden müssten und welche Maßnahmen hierzu erforderlich wären.

Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) von Prognos AG, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln (EWI) und Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS) durchgeführt.

Kern der Studie stellt die Prognose der wahrscheinlichen energiewirtschaftlichen Entwicklung bis zum Jahr 2030 dar (Referenzszenario). Sie berücksichtigt eine weiter verschärfte Energie- und Klimaschutzpolitik ebenso wie (fort-)bestehende Hemmnisse (z.B. Informationsdefizite, individuelle Präferenzen, mangelnder Zugang zu Kapital, spezifische Investitionskalküle, irrationales Verhalten, Marktversagen, Beharrungskräfte und ungelöste Verteilungsfragen) für deren Umsetzung und zeichnet somit ein aus Sicht der Autoren der Studie wahrscheinliches Bild der energiewirtschaftlichen Entwicklung in Deutschland vor dem Hintergrund der erwarteten wirtschaftlichen, demografischen und politischen Veränderungen im nationalen und internationalen Umfeld. Es werden auch Maßnahmen berücksichtigt, die heute noch nicht beschlossen sind. Dieses Szenario wird ergänzt um ein Trendszenario, das bis ins Jahr 2050 reicht und um ein Zielszenario, neben dem Sensitivitätsrechnungen erstellt sowie mehrere Schwerpunktthemen behandelt werden. Das Zielszenario folgt der Annahme, dass die meisten langfristig formulierten Ziele der Bundesregierung erreicht werden, insbesondere in Bezug auf den Endenergieverbrauch. Damit stehen die Zielszenarien gegenüber der Referenz- und Trendszenarien, die eher business-as-usual-Entwicklungen darstellen.

Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken

Diese Studie entstand im Auftrag des WWF unter Bearbeitung durch die Prognos AG und dem Öko-Institut.

Die Studie untersucht mögliche Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, um technische Maßnahmen sowie politisch-strategische Empfehlungen abzuleiten. Hierzu werden zwei modellgestützte quantitative Szenarien entwickelt: Ein Szenario mit ambitionierter Fortsetzung heutiger Energieund Klimaschutzpolitik (Referenzszenario) und ein Innovationsszenario, das den Umbau zur emissionsarmen Gesellschaft vom Ziel der 95%-igen Emissionsreduktion (und anderen Leitlinien wie bspw. Restriktionen für den Einsatz von Biomasse) her untersucht.

Die demografische und wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands dienen als Ausgangspunkte der jeweiligen Szenarien. Dabei wird von einem Bevölkerungsrückgang um 12,5% (2005 bis 2050) ausgegangen. Das Bruttoinlandsprodukt liegt 2050 um etwa ein Drittel höher als 2005.

Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung (2010)

Diese Studie wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) beauftragt und von Prognos AG, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln (EWI) und Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS) durchgeführt.

Als Basis der Konzepte werden eine Referenzentwicklung, sowie vier unterschiedliche Szenarien entwickelt, die unterschiedliche Entwicklungen der Energieversorgung Deutschlands annehmen. Die zugrundeliegenden Annahmen wurden zwischen Auftraggeber und Gutachtern entwickelt. Die zentrale Frage ist auf technische Maßnahmen hin gerichtet, die geeignet sind, die formulierten Ziele zu erreichen und eine sachliche Grundlage für energie- und klimapolitische Entscheidungen zu liefern. Die Ergebnisse der Zielszenarien sind im Vergleich zum Referenzszenario zu beurteilen. Es werden folgende Szenarien unterschieden:

Das Referenzszenario beschreibt die Entwicklung, die sich darstellen könnte, wenn die bislang angelegten Politiken in die Zukunft fortgeschrieben werden. Dabei ist angenommen, dass die Politik nicht auf dem heutigen Stand verharrt, sondern auch hier Anpassungen vorgenommen werden, die die in der Vergangenheit beobachteten Trends fortschreiben.

Die Szenarien I bis IV beschreiben Zielszenarien, in denen Vorgaben für die Minderung der energiebedingten THG-Emissionen und für deren Anteil der erneuerbaren Energien zu erreichen sind.

Darüber hinaus wird angenommen, dass CCS ab 2025 zur Verfügung steht.

Projektionsbericht 2013/2015

Für den deutschen Projektionsbericht 2013 sowie den Projektionsbericht 2015 hat ein Forschungskonsortium im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland für den Zeitraum 2005 bis 2030 bzw. 2035 erarbeitet:

Im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) werden alle bis Oktober 2012 bzw. bis 31. August 2014 ergriffenen Maßnahmen berücksichtigt. Diese Maßnahmen werden mit einer (hypothetischen) Entwicklung verglichen, die den Verlauf ohne diese Maßnahmen bzw. ohne die entsprechende Novellierung bereits bestehender Politiken und Maßnahmen darstellt. Dabei wurden diejenigen Maßnahmen berücksichtigt, die vor dem jeweils beschriebenen Wirkungsbeginn der vom MMS erfassten Maßnahmen wirksam waren. Im Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) werden auch darüber hinausgehende, zusätzliche Maßnahmen mit jeweils definiertem Wirkungsbeginn untersucht. Die Wirkungsschätzung der Maßnahmen im MWMS erfolgt im Vergleich zum Mit-Maßnahmen-Szenario.

5.2. Vergleich verschiedener Szenarien für den Sektor Private Haushalte – Strom

5.2.1. Rahmenannahmen

5.2.1.1. Klimaschutzszenarien 2050

Kern und Grundlage der Szenarienentwicklung sowie der entsprechenden Analysen bildet ein System von Zielvorgaben für Deutschland, das mit dem Energiekonzept 2010/2011 auf die energieund klimapolitische Agenda gesetzt worden ist. Grundsätzlich erfolgt die Erstellung der Projektionen in den Szenarien auf der Basis von Annahmen für Bevölkerungsentwicklung, Wirtschafts- und Wirtschaftsstrukturentwicklung, Energiepreisentwicklungen und Politiken und Maßnahmen.



Tabelle 5-2: Rahmenvorgaben für die Klimaschutzszenarien

Zieldatensatz des Energiekonzepts 2010/2011 und Rahmenvorgaben für die Klimaschutzszenarien

	Treibhausgas-	Erneuerbar	e Energien		Steigerung			
	emissionen	Brutto-	Strom-	Primär-	Gebäude-	Endenergie	Strom-	Energie-
	Ciliosionen	Endenergie	erzeugung	energie	Wärme	Verkehr	verbrauch	produktivität
2020	-40%	18%	35%	-20%	-20%	-10%	-10%	
2030	-55%	30%	50%					2,1% p.a.
2040	-70%	45%	65%					2,1% p.a.
2050	-80%	60%	80%	-50%	-80%	-40%	-25%	
	-[bis -95%]							
Basis	1990			2008	2008	2005	2008	2008

Quelle: BMWi (2011)

Sektor Private Haushalte - Strom

Die Modellierung der Stromnachfrage (ohne Raumwärme, Warmwasser) erfolgte durch das Modul FORECAST-Residential. Bei manchen Gerätekategorien wie Spülmaschinen wird von einer Erhöhung der Ausstattungsrate ausgegangen. Ansonsten werden im Wesentlichen nur Geräte, die nach Ende der Lebensdauer ausfallen, durch neue Geräte ersetzt. Die Verbreitung von Effizienzmaßnahmen senkt den spezifischen Energieverbrauch einzelner Energiedienstleistungen und spiegelt so eine unterschiedliche Überwindung von Hemmnissen durch politische Instrumente zur Förderung der Energieeffizienz wieder bzw. variierende Energiepreise. Modelliert wird die Diffusion von Effizienzmaßnahmen als eine Summe von Investitionsentscheidungen der Haushalte.

5.2.1.2. Modell Deutschland

Zentrale Ausgangspunkte für die Szenarienentwicklung sind die demographische und die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland. Das Referenzszenario und das Innovationsszenario gehen grundsätzlich von identischen Annahmen für die Entwicklung der sozioökonomischen Parameter, der Energiepreise und der Klimafaktoren aus. Diese Annahmen basieren auf den aktuellen, regelmäßig wiederkehrenden Arbeiten der Prognos AG zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, wie dem Deutschland Report und dem Weltreport. Die Ausgangsdaten für die Bevölkerungsprognosen basieren auf der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamts [STaBu 11. Koord].

Die Bevölkerung nimmt trotz einer durchschnittlichen Nettozuwanderung von ca. 150.000 Personen jährlich im Zeitraum von 2005 bis 2050 um 12,5% ab. Die Haushaltsgrößen verkleinern sich, die durchschnittlichen Wohnflächen pro Kopf werden ausgeweitet, so dass die bewohnten Flächen insgesamt um knapp 9% zunehmen. Das reale Bruttoinlandsprodukt (BIP) liegt 2050 um rund ein Drittel über dem Niveau des Jahres 2005.

In den Szenarien wird der dargestellte wirtschaftliche Strukturwandel fortgesetzt. Es wird angenommen, dass Energie- und Klimaschutzpolitik weiterhin etwa im Rahmen der bisherigen Bemühungen angegangen und betrieben werden. Im energiewirtschaftlichen Zieldreieck zwischen Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit/ Nachhaltigkeit wird vor allem ersteren Beiden eine hohe Relevanz zugeschrieben. Entscheidungen zu Effizienzmaßnahmen werden nach Wirtschaftlichkeitsaspekten getroffen. Das Wirtschaftlichkeitsgebot wird als Konsens angenommen.

Sektor Private Haushalte - Strom

Die Modellierung der Haushaltsgeräte funktioniert hier ähnlich wie bei den Klimaschutzszenarien 2050 über Gerätebestände und spezifische Verbräuche. Referenzszenario und Innovationsszenario unterscheiden sich vor allem darin, dass in letzterem weniger Klimageräte nötig sind, weil Kühlbedarfe durch gebäudeintegrierte Technologien adressiert werden, etwa durch Verschattungselemente, wassergekühlte Baukerne und solare Kühlung. In beiden Szenarien werden im Jahr 2050 jeweils 20% des Stromverbrauchs der Haushalte durch Klimatisierung verursacht.

5.2.1.3. Energiereferenzprognose

In den Rahmendaten wird sowohl für Energiereferenzprognose wie auch für das Trendszenario davon ausgegangen, dass die Integration der Weltwirtschaft im Betrachtungszeitraum 2011-2050 weiter voran schreitet.

In Referenzprognose und Trendszenario werden die Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung überwiegend nicht erreicht. Das Zielszenario zeigt, was erforderlich wäre, um die im Energiekonzept definierten energie- und klimaschutzpolitischen Ziele zu erreichen. Als Zielwerte werden für die mittel- bis langfristigen nationalen Treibhausgasemissionen die Angaben des Energiekonzepts (gegenüber 1990 minus 55% bis 2030 und minus 80% bis 2050) definiert.

Dabei geht es von anderen Grundvoraussetzungen aus als Referenzprognose und Trendszenario. Es unterstellt, dass die energie- und klimapolitischen Ziele vorrangig verfolgt werden und es der Politik gelingt, in vielen Bereichen bestehende Hemmnisse zu überwinden. Aus Sicht der Autoren ist das nicht wahrscheinlich.

Sektor Private Haushalte – Strom

Die Studie betont insbesondere die Einsparungspotentiale bei Beleuchtung und Weißer Ware – Kühl-/Gefriergeräten sowie Waschmaschinen und Trockner. Vor allem Ökodesign und Energieverbrauchs-Labelling wirken auf die Ausnutzung dieser Potentiale hin. Die Ökodesign-Richtlinie legt insbesondere Maximal-Verbräuche für Elektrogeräte im Standby- und Off-Modus fest.

Das verwendete Modell berücksichtigt als Besonderheit auch das Nutzerverhalten der Verbraucher. Die Intensität der Nutzung von Geräten nimmt laut der Studie mit der Haushaltsgröße zu.

5.2.1.4. Energieszenarien 2010

Berechnungsgrundlagen der Szenarien sind Annahmen zur Entwicklung von Bevölkerung, Wirtschaft und Energiepreisen und zur Energie- und Klimaschutzpolitik. Die einzelnen Verbrauchssektoren werden dabei in ihren direkten energierelevanten Prozessen und Verwendungszwecken abgebildet. Hinzu kommen die Energieeinsätze für die Erzeugung von Strom und Fernwärme. Es handelt sich um bottom-up-Modelle für die einzelnen Sektoren auf Basis geeigneter Leitvariablen für Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Verwendungszwecken. Die Auswirkungen von Energiepreisveränderungen werden ökonometrisch abgeschätzt und integriert.

Die Bevölkerung in Deutschland wird zurückgehen und weiter altern. Das Bruttoinlandsprodukt steigt mit einer durchschnittlichen jährlichen Rate von 1%, die Wirtschaftsstruktur wird sich zugunsten der Dienstleistungen verschieben.

Die wichtigsten Eckpunkte, die den Szenarien zugrunde liegen, finden sich in nachfolgender Tabelle Tabelle 5-3.



Tabelle 5-3: Eckpunkte der Szenarien¹³

	Szenario I	Szenario II	Szenario III	Szenario IV	Trendent- wicklung
THG-Emissionen	- 40 % bis 2020	Vorschlag Gutachter			
	- 85 % bis 2050	- 85 % bis 2050	-85 % bis 2050	- 85 % bis 2050	
Kernenergie Laufzeitver- längerung	4 Jahre	12 Jahre	20 Jahre	28 Jahre	keine LZV
Energieeffizienz (Steigerung)	endogen bestimmt	2,3 – 2,5 % p.a.	2,3 – 2,5 % p.a.	endogen bestimmt	Business as usual (1,7 – 1,9 % p.a.)
Erneuerbare Energien Anteil am Bruttoendenergie- verbrauch 2020	≥ 18 %	≥ 18 %	≥ 18 %	≥ 18 %	≥ 16 %
Anteil am Primärenergie- verbrauch 2050	≥ 50 %	≥ 50 %	≥ 50 %	≥ 50 %	Vorschlag Gutachter

Prognos / EWI / GWS 2010

Quelle: Prognos/EWI/GWS (2010)

Sektor Private Haushalte – Strom

Die Modellierung des Stromverbrauchs der Haushalte ist hier nicht besonders detailliert, weil sich die Studie auf die Erzeugung von Endenergie sowie auf den Verbrauch in der Industrie konzentriert. Unter Entgegenwirkung von gleichzeitig steigender Geräte-Effizienz und Geräteausstattung wird insgesamt von 2008 bis 2050 eine Senkung des Strombedarfs um 30% in den Zielszenarien bzw. 10% im Referenzszenario gesehen. Genaue Verwendungszwecke des Stromverbrauchs in den Haushalten sind nicht aufgeschlüsselt.

Der Verbrauch von Beleuchtung und Brauner Ware nimmt sowohl im Referenzszenario als auch in den Zielszenarien auf gleiche Art ab: im Mittel um 85% (Beleuchtung) bzw. 75% (Braune Ware) im Zeitraum 2008 bis 2050. Bei Weißer Ware werden in den Zielszenarien zusätzliche Effizienzpotentiale genutzt und so der Verbrauch von 2008 bis 2050 um 63% gesenkt. Im Referenzszenario sinkt der Stromverbrauch von Weißer-Ware-Geräten um lediglich 44%. Vor allem bei Kühl- und Gefriergeräten werden große zusätzlich erschließbare Potentiale gesehen.

¹³ Energieeffizienz bezeichnet hier die Wirtschaftsleistung (BIP) pro Endenergieverbrauch (EEV-Produktivität).

5.2.1.5. Projektionsbericht 2013

Im Rahmen der Szenarienanalysen erfolgte eine detaillierte Analyse der bisher ergriffenen bzw. auch darüber hinausgehender klima- und energiepolitischen Maßnahmen hinsichtlich ihrer Effekte für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland.

Für die Entwicklung der Energiebedarfs- und Emissionsszenarien spielt eine Reihe wichtiger Rahmensetzungen eine entscheidende Rolle. Dies betrifft sowohl die demographischen und wirtschaftlichen Rahmendaten als auch die Entwicklung der Energiepreise. Es wurden Daten, die bis zum 30.6.2012 veröffentlicht wurden, verwendet. Daten die nach diesem Datum erschienen sind, konnten in der Modellierung nicht mehr berücksichtigt werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die wichtigsten Rahmendaten für die Szenarien im Überblick.

Der Szenarienentwicklung liegt eine demographische Entwicklung zugrunde, in der die deutsche Wohnbevölkerung um das Jahr 2008 herum ihr höchstes Niveau erreicht und in den folgenden Jahren leicht zurückgeht, so dass für das Jahr 2030 knapp 79 Millionen Einwohner erwartet werden. Trotzdem erhöht sich die Zahl der Privathaushalte durch den anhaltenden Trend zu kleineren Haushalten bis zum Jahr 2030 noch leicht.

Tabelle 5-4: Ausgewählte demographische und wirtschaftliche Rahmendaten, 2005-2030

	2008	2015	2020	2025	2030
Demographische Entwicklung					
Wohnbevölkerung (1.000 Einwohner)	81.856	80.929	80.625	80.020	79.046
Private Haushalte (1.000 Einwohner)	39.480	40.120	40.760	40.960	40.970
Wirtschaftliche Entwicklung					
Bruttoinlandsprodukt (Mrd. € 2010)	2.518	2.678	2.896	3.059	3.232
Bruttowertschöpfung des Produzierenden Gewerbes (Mrd. € 2010)	680	761	823	869	917
Beschäftigte im Produzierenden Gewerbe (1.000 Beschäftigte)	7.282	6.860	7.071	7.184	7.280
Beschäftigte im Dienstleistungssektor (1.000 Beschäftigte)	31.294	31.522	30.264	28.947	27.838
Primärenergieträgerpreise					
Rohöl (US-\$/bbl)	104	117	127	139	151
CO₂-Zertifikatspreise (€/EUA)	23	14	14	22	30

Quelle: Statistisches Bundesamt, Bafa, EIA, OECD, Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

<u>Sektor Private Haushalte – Strom</u>

Ins Modell einbezogene Politikinstrumente werden explizit genannt, das bedeutet europäische Maßnahmen wie Ökodesign und Energieffizienz-Labelling wie auch nationale Maßnahmen wie Nationale Top-Runner-Initiative (NTRI) und das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) werden bestehende Maßnahmen in die Modellierung einbezogen. Im Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) werden zusätzliche Politikinstrumente wie die geplante Top-Runner-Initiative dargestellt.

Die Modellierung der Stromnachfrage (ohne Raumwärme, Warmwasser) erfolgte durch das Modul FORECAST-Residential über Geräteausstattung und spezifische Verbräuche. Modelliert wird die Diffusion von Effizienzmaßnahmen als eine Summe von Investitionsentscheidungen der Haushalte.



5.2.1.6. Projektionsbericht 2015

Die Rahmendaten für den Bereich Demographie & Wirtschaft werden durch die Verzahnung der beiden Modelle FARM-EU sowie ASTRA-D generiert und betrifft die Größen: Bevölkerung (AST-RA-D), gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (BIP, auf Grundlage der Bevölkerungsentwicklung und aktueller wirtschaftlicher Gegebenheiten mit Hilfe von FARM-EU), sektoralen Bruttowertschöpfung (BWS, aus dem BIP in ASTRA-D) und Beschäftigungsergebnisse (basierend auf der BWS).

<u>Sektor Private Haushalte – Strom</u>

Ins Modell einbezogene Politikinstrumente werden explizit genannt, das bedeutet europäische Maßnahmen wie Ökodesign und Energieeffizienz-Labelling wie auch nationale Maßnahmen wie Nationale Top-Runner-Initiative (NTRI) und das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) werden bestehende Maßnahmen in die Modellierung einbezogen. Im Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) werden zusätzliche Politikinstrumente wie die geplante Top-Runner-Initiative dargestellt.

Die Modellierung der Stromnachfrage (ohne Raumwärme, Warmwasser) erfolgte durch das Modul FORECAST-Residential über Geräteausstattung und spezifische Verbräuche. Modelliert wird die Diffusion von Effizienzmaßnahmen als eine Summe von Investitionsentscheidungen der Haushalte.

5.2.1.7. Übersicht ausgewählter Rahmendaten für alle Studien

Im Folgenden werden ausgewählte Rahmendaten (Bevölkerung und Anzahl der Haushalte) der einzelnen Studien vergleichend dargestellt. Je nach Studie reichen die Prognosewerte nicht gleich weit in die Zukunft hinein.

Aktuell zeichnet sich ab, dass die hier zugrunde gelegten Prognosen für Bevölkerung und Haushalte korrigiert werden müssen, weil 2015 die Migration nach Deutschland im Rahmen der europäischen Flüchtlingskrise stärker als erwartet ausfällt. Die Minderung des Stromverbrauchs würde deshalb in zukünftigen Szenarien geringer ausfallen bei sonst gleichen Bedingungen.

Tabelle 5-5: Bevölkerung im Szenarienvergleich

Bevölkerung (Mio.)		2005	2008	2010	2011	2015	2020	2030	2040	2050	
Bezeichnung			Jahr					Prognosen			
Modell Deutschland	MD – Ref/Inno	82,51					79,79	78,57	75,96	72,17	
Klimaschutzszenarien	KSZ 1. Run- de			81,42			80,62	79,04	71,77		
	KSZ 2. Run- de			80,60			78,81	77,81	76,21	74,00	
Energieszenarien	EK			81,90			80,60	79,00	76,00	71,80	
Energiereferenz- prognose	ERP				80,20		79,40	78,20	76,10	73,10	
Projektionsbericht	PB - 2013		81,85				80,62	79,04			
	PB - 2015					80,90	80,40	79,00			

Quelle: Eigene Darstellung

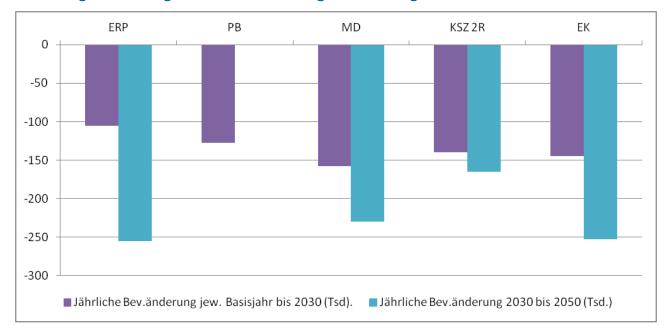


Abbildung 5-1: Vergleich der Bevölkerungsentwicklung in den Szenarien

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 5-6: Anzahl der Haushalte im Szenarienvergleich

Haushalte (Mio.)		2005	2008	2010	2011	2015	2020	2030	2040	2050	
Bezeichnung			Jahr					Prognosen			
Modell Deutschland	MD – Ref/Inno	39,27					40,32	40,71	40,61	38,82	
Klimaschutzszenarien	KSZ 1. Run- de		39,48				40,76	40,97	40,62	38,61	
	KSZ 2. Run- de		39,50				40,30	40,70	41,10	40,20	
Energieszenarien	EK		39,60				40,70	41,00	41,10	39,70	
Energiereferenz- prognose	ERP				39,70		40,70	41,40	41,30	40,20	
Projektionsbericht	PB - 2013		39,48				40,76	40,97			
	PB - 2015			39,59		40,12	40,12	40,76	40,96	40,90	

Quelle: Eigene Darstellung

Die Bevölkerung Deutschlands nimmt in allen Studien schon bis 2020 leicht ab, nach 2020 deutlich – etwa um 1 Mio. bis 2030. 2030 bis 2040 sinkt die Bevölkerung um 2 bis 8 Mio. 2050 leben ungefähr 10 Mio. Menschen weniger in Deutschland als im Jahr 2010. Die Grafik zeigt die durchschnittliche Änderung der Wohnbevölkerung pro Jahr.

Weil die durchschnittliche Haushaltsgröße fällt, steigt die Zahl der Haushalte zunächst trotz sinkender Bevölkerung noch leicht. Erst ab 2040 wirkt sich der Bevölkerungsschwund auch klar mindernd auf die Anzahl der Haushalte aus. Insgesamt bleibt die Anzahl der Haushalte aber auf einem nahezu konstanten Niveau.



Außer diesen demographischen Daten ist für die Energienachfragemodellierung entscheidend, welche Ausstattungsgrade und welches Nutzungsverhalten angenommen werden. Die Studien unterschieden sich hier teilweise deutlich bezüglich Modellierungsansatz, Geräteklassifizierung und exogener oder endogener Daten.

5.2.2. Entwicklung sektorspezifischer energetischer Indikatoren

Im Folgenden werden die Entwicklungen ausgewählter Indikatoren für die beschriebenen Studien verglichen.

Tabelle 5-7: Strombedarf (ohne Heizen) privater Haushalte im Szenarienvergleich^{14,15,16}

Endenergieverbrauch (TWh)		2005	2008	2010	2011	2012	2020	2030	2040	2050	
Bezeichnung		Jahr					Prognosen				
Modell Deutschland	MD - Ref	83,00					74,40	68,40	64,50	64,90	
	MD - Inno	83,00					73,50	62,20	53,50	49,10	
Klimaschutzszenarien	KSZ 1R - AMS			107,31			102,61	62,20	90,59	82,03	
	KSZ 1R - KS 80			107,31			99,56	88,22	81,14	77,42	
	KSZ 1R - KS 90			107,31			84,70	70,33	65,89	64,75	
	KSZ 2R - AMS			108,20			104,50	103,59	95,86	89,56	
	KSZ 2R – KS 80			108,20			102,00	91,20	86,14	85,03	
	KSZ 2R – KS 95			108,20			86,56	73,58	70,45	71,31	
Energieszenarien	EK - Ref			83,40			75,93	71,17	73,20	68,11	
2010	EK - I / IV			83,40			72,90	76,13	60,86	52,92	
	EK - II / III			83,40			73,60	64,50	60,49	53,74	
Energiereferenzprog-	ERP - Ref				89,20		78,30	69,20			
nose	ERP - Trend				89,20				65,10	65,00	
	ERP - Ziel				89,20		76,70	66,00	61,10	59,00	
Projektionsbericht	PB 2013 - MMS			107,31			102,59	100,16			
	PB 2013 - MWMS			107,31			99,55	88,20			
	PB 2015 - MMS			107,55		107,4 0	101,10	98,00			
	PB 2015 - MWMS			107,55		107,4 0	98,00	85,50			

Quelle: Eigene Darstellung

¹⁴ Modell Deutschland: Angaben exklusive elektrische Herde (konstant ca. 10 TWh)

¹⁵ Klimaschutzszenarien 1. Runde: Angaben exklusive Kochen; 2. Runde: inklusive ca. 3 TWh Gasherde

¹⁶ Energieszenarien 2010: Angaben exklusive elektrische Herde

Als Ausgangspunkt für die Szenarien wird ein Strombedarf von 83 bis 108 TWh p.a. verwendet. Raumwärme und Warmwasser sind im Sektor Private Haushalte – Strom in allen Studien nicht einbezogen. Bis 2050 wird in jedem Fall eine Abnahme des Strombedarfs erwartet, da keine neuen Verbraucher wie Wärmepumpen oder Elektroautos einbezogen sind. In den Grafiken sind Referenzszenarien rot und Zielszenarien grün markiert.

Gegenüber den Referenzszenarien werden im Jahr Potentiale gesehen für zusätzliche Verbrauchsminderungen um mindestens 20%. Abhängig vom jeweiligen Ausgangspunkt und dem Strombedarf im Jahr 2050 ergeben sich durchschnittliche Absenkungsraten (CAGR) wie in der Grafik gezeigt. Für die Referenzszenarien gibt es im Durchschnitt bis 2050 eine Absenkung des Strombedarfs der Haushalte um etwa 0,5% pro Jahr. In den Zielszenarien liegt die jährliche Absenkung dagegen meist um 1,0%.

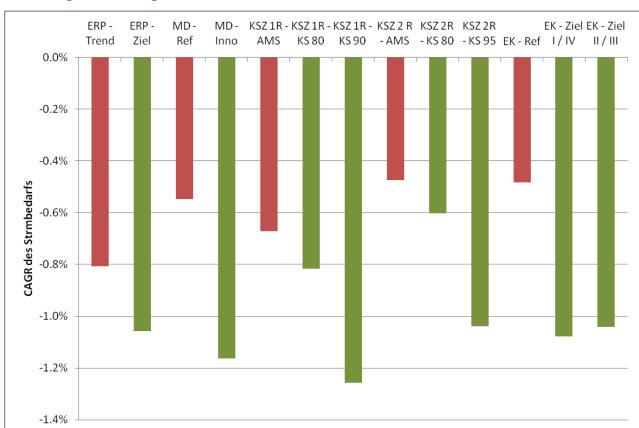


Abbildung 5-2: Vergleich des Strombedarfs in den verschiedenen Szenarien

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 5-8: Strombedarf für Beleuchtung privater Haushalte im Szenarienvergleich

Endenergieverbrauch (TWh)		2005	2008	2010	2011	2012	2020	2030	2040	2050
Bezeichnung	Jahr					Prognosen				
Modell Deutschland	MD - Ref	11,20					5,20	4,40	1,80	1,30
	MD - Inno	11,20					5,20	4,40	1,80	1,30
Klimaschutzszenarien	KSZ 1R - AMS		11,529				9,30	7,83	6,08	4,50



	KSZ 1R - KS 80	11,529				8,86	6,05	4,75	4,19
	KSZ 1R - KS 90	11,529				7,27	4,52	3,55	3,16
	KSZ 2R - AMS	11,52				9,33	7,97	6,33	4,83
	KSZ 2R – KS 80	11,52				8,94	6,16	4,97	4,52
	KSZ 2R – KS 95	11,52				7,30	4,63	3,72	3,41
Energiereferenzprog- nose	ERP Referenz			11,30		6,20	5,30		
	ERP - Trend			11,30				3,20	2,70
	ERP - Ziel			11,30		6,30	4,60	2,80	2,10
Projektionsbericht	PB 2013 - MMS		10,92			7,77	7,71		
	PB 2013 - MWMS		10,92			7,77	4,15		
	PB 2015 - MMS		10,40		9,72	8,93	7,73		
	PB 2015 - MWMS		10,40		9,70	8,40	4,90		

Quelle: Eigene Darstellung

Als Beispiel der Modellierung einer bestimmten Haushalts-Technologie soll die Beleuchtung betrachtet werden, weil hier ein Vergleich zwischen verschiedenen Studien gut möglich ist. Das ist bei anderen Technologien wie Weißer Ware durch unterschiedliche Klassifizierungen nicht problemlos möglich.

Die Tabelle und die Grafik zeigen, dass die Szenarien bei gleicher Ausgangs-Datenlage verschiedene Entwicklungen darstellen. Insbesondere sehen Energiereferenzprognose und Modell Deutschland ein deutlich stärkeres Absinken des Strombedarfs für Beleuchtung als die Klimaschutzszenarien es tun. Klimaschutzszenarien und Projektionsbericht erwarten gegenüber den Referenzszenarien ein Potential von 30-50% für zusätzliche Verbrauchseinsparungen im Bereich Beleuchtung bis 2050.

Dagegen wird im Modell Deutschland für Referenz- und Innovationsszenario derselbe sehr niedrige Wert verwendet. Das kann auf einen begrenzten Detailgrad des Modells hindeuten, möglich ist aber auch die Interpretation, dass sich hocheffiziente Beleuchtungstechnologien in privaten Haushalten in jedem Fall durchsetzen werden. Hierauf geht die Studie nicht ein. Für den Dienstleistungssektor andererseits gibt es im Modell Deutschland ein zusätzliches Einsparpotential von 50%.

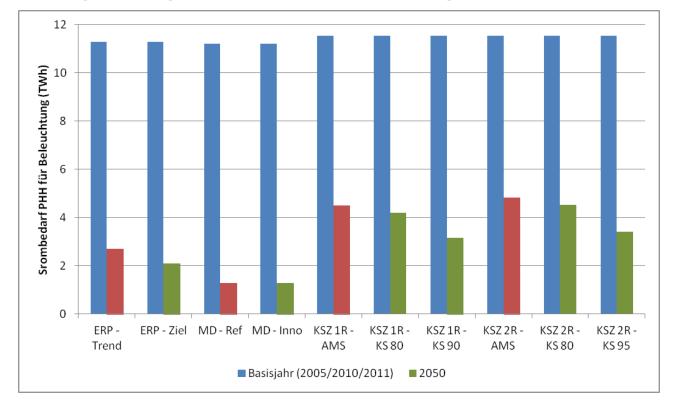


Abbildung 5-3: Vergleich des Strombedarfs für Beleuchtung in den Szenarien

Quelle: Eigene Darstellung

5.2.3. Vergleichende Auswertung und Identifizierung robuster Strategien

Die einzelnen Studien und die darin aufgeführten Szenarien unterscheiden sich in Rahmenbedingungen und Modellannahmen. Teils stammen Annahmen aus Modellberechnungen, teils werden diese Statistiken entnommen.

In allen Studien sinkt die Bevölkerung als treibender Faktor langfristig stark, während die Anzahl der Haushalte zunächst etwa konstant bleibt und ab 2040 langsam abnimmt. Elektronikprodukte in Haushalten haben einen zunehmenden Anteil am Stromverbrauch, weil Weiße Ware und Beleuchtung effizienter werden. Die Modellierung zukünftiger Verbraucherelektronik ist dabei eine schwierige Aufgabe, weil es hier sehr kurze Entwicklungs- und Lebenszyklen gibt. Grundsätzlich wird erwartet, dass energiesparende Mobiltechnik auch in stationären Geräten zu effizienterer Stromnutzung führt. Teilweise wird auch eine Einsparung durch kleinere, weil personenbezogene Bildschirme (VR-Brillen) erwartet.

In allen Studien gibt es bis 2040 einen starken Zuwachs an Klimageräten (bereits bis 2030 um den Faktor 7,6 laut KSZ 2R). Diese werden effizienter, ihr addierter Stromverbrauch steigt aber sehr stark. Spezifisch gesehen haben Klimageräte einen sehr hohen Stromverbrauch und eine relativ lange Lebensdauer von etwa 10 Jahren. Deshalb sollte sichergestellt werden, dass schon zu Beginn der Etablierung der Technik in deutschen Haushalten möglichst effiziente Geräte installiert werden. Zudem kann das Bewusstsein für den Effekt von Klimageräten auf die Erderwärmung verstärkt werden.



Zunehmend werden Raumwärme und Warmwasser elektrisch erzeugt, weil Wärmepumpen sehr effizient und damit zunehmend wirtschaftlich konkurrenzfähig arbeiten. Zudem erlauben Wärmepumpen die thermische Nutzung von erneuerbarem Strom, was immer wichtiger wird. Wärmeerzeugung durch Strom wird in diesem Bericht jedoch im Sektor Gebäude untersucht. In Bezug auf die Auslastung der Stromnetze muss der Strombedarf für Heizen also zu den hier dargestellten klassischen elektrischen Energiedienstleistungen in Haushalten addiert werden. Dasselbe gilt für den Strombedarf für das Laden von Elektrofahrzeugen in privaten Haushalten.

Die Ergebnisse der Szenarien sind als unterschiedlich realistisch einzuschätzen, jedoch muss dabei bedacht werden, dass einzelne Szenarien von vorneherein unter ambitionierten Zielparametern berechnet wurden und damit nicht den Anspruch erheben, eine wahrscheinliche Zukunftsentwicklung abzubilden, sondern eher Idealentwicklungen aufzeigen. Diesen Überlegungen kommen die einzelnen Studien durch die Darstellung der jeweils verschiedenen Szenarien nach, die verschiedene Entwicklungspfade vergleichbar gegenüberstellen. Betrachtet man die Entwicklung der Zielindikatoren innerhalb der einzelnen Studien, spiegeln sich ambitioniertere Vorgaben entsprechend in extremeren (negativen) Wachstumsraten wider. Zwischen den Studien unterscheiden sich diese jedoch teilweise deutlich im Niveau.

Als robuste Strategien im Bereich Private Haushalte – Strom sind die Weiterentwicklung mehrerer politischer Instrumente erkennbar: Mindesteffizienz-Standards im Rahmen der europäischen Ökodesign-Richtlinie sowie Energieverbrauchskennzeichnungen (evtl. erweitert auf Life Cycle Costs), die ebenfalls über eine EU-Richtlinie bestimmt wird. Die Weiterentwicklung besteht insbesondere auch in dynamischen Grenzwerten bzw. regelmäßiger Anpassung an den Stand der Technik.

Weil die meisten Haushaltsgeräte sowieso nach einigen Jahren wegen Defekt oder als veraltet ersetzt werden, braucht weniger der Bestand, sondern muss vor allem der Markt betrachtet werden. Sind effiziente Geräte verfügbar und werden gekauft, setzen sie sich schnell im Bestand durch. Zur besseren Evaluierung der oben genannten Instrumente wäre eine Produktdatenbank mit Verkaufszahlen aller Effizienzklassen verschiedener Gerätekategorien nötig.

5.3. Ableitung struktureller Entwicklungsschritte (transformative Pfade)

Alle betrachteten Studien nehmen ein starkes Schrumpfen der Bevölkerung Deutschlands an. Doch sie wurden vor der Flüchtlingskrise von 2015 erstellt, die das Absinken der Bevölkerungszahl zumindest kurzfristig abmildern wird. Bei mehr Menschen als in den Szenarien sinkt der Stromverbrauch langsamer, angenommen alle anderen Faktoren bleiben gleich (ceteris paribus).

Im Bereich der Elektronik (IKT) sind Entwicklungen zur Verbreitung, dem Stromverbrauch und der Nutzung von Endgeräten sehr schwierig vorherzusehen. Am Beispiel des Smartphones sieht man etwa, wie schnell eine neue Technologie den Markt durchdringen und das Nutzungsverhalten von mehreren Geräteklassen ändern kann.

Der Trend zu mobilen Geräten führt grundsätzlich zu mehr Energieeffizienz. Wenn stationäre Geräte vollständig durch mobile Geräte ersetzt werden, ergibt sich eine deutliche Energie-Einsparung. Denn mobile IKT-Geräte haben normalerweise einen kleineren Bildschirm und sind grundsätzlich durch ihren Akku im Stromverbrauch eingeschränkt. In Summe weniger hohe Einsparungen werden allerdings erreicht, falls mobile Geräte eher zusätzlich angeschafft und genutzt werden. Es ist also im Sinne des Klimaschutzes wünschenswert, wenn neue, mobile Geräteklassen wie Tablets stationäre Geräte wie Desktop-PCs vollständig ersetzen.

Bei der Beleuchtung ist die Etablierung der LED-Technik in vollem Gange. Durch die kürzliche Marktreife von LED-Lampen mit guter Lichtfarbe bei hoher Effizienz und angemessenen Kaufprei-

sen scheint die Energiesparlampe nur noch eine Übergangstechnologie zu sein. Letztere war durch das Verbot von klassischen Glühbirnen kurzzeitig sehr wichtig. Doch nach weiterer Entwicklung und Vergünstigung von LEDs haben diese für sehr viele Anwendungen die niedrigsten Lebenszyklus-Kosten bei hoher Lichtqualität. LEDs werden deshalb mittelfristig vermutlich zur Standardtechnologie für Beleuchtung, ohne dass weitere Politikmaßnahmen nötig zu sein scheinen. Mit fortschreitender Verbreitung von LED-Leuchten sollte allerdings ihre Energieverbrauchs-Kennzeichnung ausdifferenziert werden. Zur Zeit werden LED-Leuchtmittel oft nur pauschal als sehr effizient gekennzeichnet (Effizienzklassen A, A+ und A++ nicht differenziert).

5.4. Handlungsbedarf bis zum Jahr 2030

Maßgeblich sind für den Sektor Private Haushalte – Strom die etablierten Politikinstrumente Öko-Design (Mindesteffizienz-Standards für bestimmte Geräteklassen) und Energieeffizienz-Labelling. Beide Instrumente sind auf EU-Ebene geregelt und sollten aktuell gehalten sowie weiterentwickelt werden. Eine Überprüfungsperiode von 4 bis 5 Jahre ist sinnvoll.

Insbesondere beim Labelling gibt es die Option, den absoluten Verbrauch stärker zu betonen als die Effizienz bezogen auf die Maximalleistung des Geräts. Zur Zeit erscheinen oft überdimensionierte Geräte mit absolut gesehen hohem Verbrauch auf den ersten Blick vorteilhafter als kleinere Geräte mit schlechterer Effizienzklasse aber niedrigerem Verbrauch. So wirken etwa sehr große Kühlschränke oder Fernseher auf dem Label umweltfreundlicher als kleinere.

Zur Erreichung höherer THG-Einsparungen kann Ökodesign weitere ineffiziente Geräte verbieten, die meist auch höhere Lebenszyklus-Kosten haben.

Die betrachteten Studien erwarten bis 2030 einen deutlichen Zuwachs im Bestand an Klimageräten, weil von der Bevölkerung immer häufiger Extremsommer erwartet werden. Diese werden recht sicher auch immer häufiger auftreten. Spezifisch gesehen haben Klimageräte einen sehr hohen Stromverbrauch und eine relativ lange Lebensdauer von etwa 10 Jahren. Deshalb sollte im Fall, dass sich der Markt wie vorhergesagt entwickelt, die Zunahme des Stromverbrauchs beschränkt werden. Es sollte dazu sichergestellt werden, dass schon zu Beginn der Etablierung von Klimageräten in deutschen Haushalten möglichst effiziente Geräte installiert werden. Zudem kann das Bewusstsein für den Effekt von Klimageräten auf die Erderwärmung verstärkt werden.

Bei Weißer Ware wie bei Elektronik ist es wichtig, die europäische Ökodesign-Richtlinie regelmäßig (etwa alle 4 bis 5 Jahre) an die aktuelle Situation anzupassen. Die Regeln für bestehende Produktgruppen müssen gegebenenfalls angepasst werden. Und bei Bedarf müssen neue Produktgruppen reguliert werden, wenn freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie nicht ausreichen.

Ein Beispiel ist hier die neue Produktgruppe der vernetzten LED-Lampen. Als Beleuchtung sind sie sehr effizient, aber durch den ständigen Netzwerk-Stand-by ist der Stromverbrauch dieser Lampen nicht niedriger als etwa der von Energiesparlampen.

Werden Elektronik-Geräte immer energiesparsamer, gewinnt für den globalen THG-Ausstoß die Produktion der Geräte (im Ausland) an Bedeutung. Verbrauchern sollte klar sein, dass jeder Kauf eines neuen Geräts ebenso zur Umweltbelastung beiträgt wie der Strombedarf für die Verwendung.

Im Rahmen des Internet of Things wird der Stromverbrauch von Netzwerkgeräten immer wichtiger. Es muss sichergestellt werden, dass das Halten von Verbindungen nicht mehr Energie verbraucht als nötig. Hier kann die Entwicklung und Etablierung von energieeffizienteren Netzwerkstandards unterstützt werden.



Zur Verbesserung der Evaluierung von Politikinstrumenten sollte eine Produktdatenbank eingeführt werden. Hier kann im Detail erfasst werden, welche Effizienzklassen wie häufig verkauft werden. Mit diesen Daten wäre es möglich, Änderungen am politischen Rahmen genauer zu bewerten als bis jetzt.

Das Nutzungsverhalten der Haushalte kann durch Verbraucherinformationen positiv beeinflusst werden. Dabei sollten die Informationen immer an den aktuellen Stand der Technik sowie die Verbreitung bestimmter Geräteklassen angepasst sein.

6. Literaturverzeichnis

- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen) (2013): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2010 und 2011
- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen) (2011): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland im Jahr 2008
- AGFW (2015): AGFW Hauptbericht 2014
- BMUB (2013): Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EGBMUB (2015): Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung 525/2013/EU
- Bürger, V.; Hesse, T. (2015): Entwicklungsperspektiven des Gebäudesektors; Entwicklungsportfolio im Rahmen der Wissenschaftlichen Koordination des BMBF-Förderprogramms "Umwelt- und gesellschaftsverträgliche Transformation des Energiesystems"
- Bundesregierung (2012): Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)
- Dena (Deutsche Energie-Agentur) (2015): Der dena-Gebäudereport 2015; Statistiken und Analysen zu Energieeffizienz im Gebäudebestand
- DLR/IWES/IFNE (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global
- Empirica (2005): Wohnflächennachfrage in Deutschland; Studie im Auftrag der LBS Bundesgeschäftsstelle Berlin
- Enquete-Kommission (2002): Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung Zusammenfassung des Berichts. Deutscher Bundestag
- Fraunhofer IBP (2013): Energetische Gebäudesanierung in Deutschland Studie Teil I: Entwicklung und energetische Bewertung alternativer Sanierungsfahrpläne
- Ifeu/BUW/Ecofys/dena/TUD (2015): 100% Wärme aus erneuerbaren Energien? Auf dem Weg zum Niedrigstenergiehaus im Gebäudebestand, Band 2: Szenarien und Perspektiven des Gebäudebestandes
- Jochum, P.; Mellwig, P. (2014): Grenzen der Dämmung opaker Bauteile. In: Bauphysik 36 (6)
- Lund, H.; Werner, S.; Wiltshire, R.; Svendsen, S.; Thorsen, J.; Hvelplund, F.; Mathiesen, B. (2014): 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. In: Energy 68
- Öko-Institut/Fraunhofer ISE (2016): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050
- Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2014): Klimaschutzszenario 2050, 1. Modellierungsrunde
- Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015): Klimaschutzszenario 2050, 2. Modellierungsrunde
- Prognos/EWI/GWS (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung
- Prognos/EWI/GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte Energiereferenzprognose
- Prognos/Ifeu/IWU (2015): Wissenschaftliche Begleitforschung zur Erarbeitung einer Energieeffizienz-Strategie Gebäude



Prognos/Öko-Institut (2009): Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken

Schwarz et al. (2011): Annexes to the final report of the preparatory study for a review of regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases

UBA (Umweltbundesamt) (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050

UBA/DEHSt (2004): Emissionsfaktoren und Kohlenstoffgehalte

UBA (2015): Climate change 06/2015 Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006

Wagner, R.; Weisskopf, T. (2014): Erdsondenpotenzial in der Stadt Zürich (Hg. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik)