

6 Szenarienvergleich

Tabelle 6-1: Numerische Annahmen und Ergebnisse des Szenarienvergleichs 2005 - 2050, Varianten „ohne CCS“

	Einheit	2005	Referenzsz. (ohne CCS)					Innovationssz. (ohne CCS)				Inn / Ref Vergleich 2050
			2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050		
Ölpreis real (Preisbasis 2007)	USD (2007) / bbl	54	100	125	160	210	100	125	160	210		
Preis für CO ₂ -Zertifikate real (Preisbasis 2007)	EUR (2007) / t	-	20	30	40	50	20	30	40	50		
Sozioökonomische Rahmendaten Deutschland												
Bevölkerung	Mio	82,5	79,8	78,6	76,0	72,2	79,8	78,6	76,0	72,2		
Private Haushalte	Mio	39,3	40,3	40,7	40,6	38,8	40,3	40,7	40,6	38,8		
BIP real (Preisbasis 2000)	Mrd EUR (2000)	2.124	2.457	2.598	2.743	2.981	2.457	2.598	2.743	2.981		
Industrieproduktion real (Preisbasis 2000)	Mrd EUR (2000)	430	522	538	553	581	521	537	551	578		
PKW-Bestand	Mio	45,5	48,5	48,7	47,8	45,8	48,5	48,7	47,8	45,8		
Personenverkehrsleistung	Mrd Pkm	1.084	1.111	1.104	1.075	1.023	1.101	1.087	1.052	998	98%	
Güterverkehrsleistung	Mrd tkm	563	775	869	944	1.033	779	876	953	1.047	101%	
Preise Haushalte (inkl. MwSt), real (Preisbasis 2005)												
Heizöl leicht	Cent(2005) / l	53,6	92,5	131,3	191,9	287,3	92,5	131,3	191,9	287,3		
Erdgas	Cent(2005) / kWh	5,3	8,8	11,8	16,1	22,7	8,8	11,8	16,1	22,7		
Strom	Cent(2005) / kWh	18,2	28,9	34,3	41,8	50,3	28,9	34,3	41,8	50,3		
Normalbenzin	Cent(2005) / l	120,0	186,9	244,2	327,9	450,9	186,9	244,2	327,9	450,9		
Preise Großhandel (ohne MwSt), real (Preisbasis 2005)												
Heizöl leicht (Industrie)	EUR(2005) / t	499	884	1.244	1.802	2.694	884	1.244	1.802	2.694		
Erdgas (Industrie)	Cent(2005) / kWh	2,5	5,1	7,0	10,0	14,6	5,1	7,0	10,0	14,6		
Strom (Industrie)	Cent(2005) / kWh	6,8	13,2	15,6	19,5	23,9	13,2	15,6	19,5	23,9		
Primärenergieverbrauch	PJ	13.532	11.298	9.808	9.024	8.330	9.936	7.680	6.294	5.766	69%	
Mineralöl	%	32,6	29,2	28,1	25,4	22,4	28,3	21,0	13,8	6,7	30%	
Gase	%	23,9	24,9	23,6	21,4	21,5	22,8	21,0	18,3	15,2	71%	
Steinkohle	%	12,9	16,7	13,0	14,1	12,8	14,9	10,6	5,2	1,0	8%	
Braunkohle	%	12,3	8,9	12,8	13,2	14,6	8,4	5,8	3,7	0,4	3%	
Kernenergie	%	12,3	2,9	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0		
Biomassen	%	3,1	8,0	10,6	12,1	13,1	11,0	20,9	26,6	29,8	228%	
Sonstige Erneuerbare	%	3,1	9,3	11,9	13,8	15,6	11,3	20,7	32,4	46,8	300%	
Endenergieverbrauch	PJ	9.208	8.178	7.291	6.644	6.099	7.144	5.596	4.546	3.857	63%	
Private Haushalte	%	29,7	27,9	27,6	26,7	25,7	28,0	26,2	22,4	17,2	67%	
GHD	%	15,9	14,3	12,8	12,3	12,0	14,4	12,9	12,6	12,6	105%	
Industrie	%	26,3	28,1	28,7	29,5	31,3	24,8	24,9	26,4	29,8	95%	
Verkehr	%	28,1	29,7	30,9	31,5	31,0	32,8	36,1	38,6	40,4	130%	
Mineralölprodukte	%	41,2	37,6	35,2	32,3	28,6	36,8	26,9	17,8	9,4	33%	
Naturgase	%	27,0	26,2	24,1	22,5	22,7	23,9	20,4	19,4	19,9	88%	
Kohle	%	4,3	3,9	3,4	3,1	2,9	3,7	3,0	2,4	2,0	68%	
Strom	%	19,9	21,6	23,3	25,6	27,5	21,2	23,6	26,9	30,2	110%	
Fernwärme	%	3,3	3,2	3,1	2,9	2,7	3,2	2,9	2,5	1,9	70%	
Erneuerbare	%	4,3	7,5	10,9	13,7	15,6	11,3	23,2	31,0	36,6	235%	
Erneuerbare incl. Anteil Umwandlung	%	5,6	12,9	17,9	21,6	24,4	18,1	36,2	52,3	67,2	276%	
Nettostromerzeugung	TWh	583	554	530	529	520	485	428	403	405	78%	
Kernkraft	%	25,9	5,5	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0		
Steinkohle	%	21,9	30,6	22,8	25,8	21,0	26,5	15,9	5,5	0,0	0%	
Braunkohle	%	26,1	18,4	29,9	28,8	31,9	17,7	11,6	5,7	0,0	0%	
Erdgas	%	11,5	11,1	9,3	6,8	7,0	10,2	10,9	7,0	2,8	41%	
Erneuerbare Energien	%	9,8	29,5	32,6	33,1	34,4	33,7	53,3	70,1	81,1	236%	
Sonstige	%	4,8	4,9	5,3	5,4	5,7	5,6	8,3	11,7	16,1	283%	
Effizienzindikatoren												
PEV pro Kopf	GJ / Kopf	164	142	125	119	115	125	98	83	80	69%	
BIP real 2000 / PEV	EUR / GJ	157	217	265	304	358	247	338	436	517	144%	
Industrieprod. / EEV Ind.	EUR / GJ	177	227	257	282	305	295	386	460	503	165%	
Personen-km. / EEV Pers-verk.	Pkm / GJ	576	648	722	787	891	669	813	968	1.124	126%	
Tonnen-km. / EEV Güterverk.	tkm / GJ	800	1.088	1.204	1.303	1.391	1.121	1.282	1.424	1.557	112%	
THG-Emissionen												
Insgesamt THG-Emissionen	Mio t	1.042	888	785	717	658	709	447	276	157	24%	
Kumulierte THG-Emissionen ab 2005	Mio t	1.042	15.607	23.992	31.395	38.214	14.924	20.620	24.066	26.083	68%	
Insgesamt CO ₂ -Emissionen	Mio t	913	803	703	638	581	634	387	227	117	20%	
Kumulierte CO ₂ -Emissionen ab 2005	Mio t	913	13.988	21.539	28.140	34.176	12.796	17.828	20.737	22.318	65%	
Energiebedingte CO ₂ -Emissionen	Mio t	844	705	606	542	486	580	347	196	95	20%	
Energiebedingte THG-Emissionen	Mio t	852	714	614	549	492	588	352	199	97	20%	
Sonstige THG-Emissionen	Mio t	190	175	171	168	166	121	95	77	60	36%	
THG-Indikatoren												
THG-Emissionen / BIP real	g / EUR(2000)	490	362	302	261	221	289	172	101	53	24%	
CO ₂ -Emissionen / BIP real	g / EUR(2000)	430	327	271	232	195	258	149	83	39	20%	
Energiebed. THG-Emissionen / BIP real	g / EUR(2000)	401	290	236	200	165	239	136	73	32	20%	
THG-Emissionen / Einwohner	t / Kopf	12,6	11,1	10,0	9,4	9,1	8,9	5,7	3,6	2,2	24%	
CO ₂ -Emissionen / Einwohner	t / Kopf	11,1	10,1	8,9	8,4	8,0	7,9	4,9	3,0	1,6	20%	
Energiebed. THG-Emissionen / Einwohner	t / Kopf	10,3	8,9	7,8	7,2	6,8	7,4	4,5	2,6	1,3	20%	

Quelle: Prognos und Öko-Institut 2009

6.1 Endenergienachfrage

6.1.1 Die Endenergienachfrage der privaten Haushalte

6.1.1.1 Rahmendaten

Die Grundvoraussetzungen beider Szenarien im Sektor der privaten Haushalte sind identisch, wie in Kapitel 3 beschrieben. Der Energieverbrauch der privaten Haushalte hängt wesentlich von den Wohnflächen, der Wohnbevölkerung (und z. T. ihrer Altersverteilung), der Verteilung auf Größenklassen (Personen je Haushalt bzw. Wohnung) sowie der Verteilung auf Gebäudegrößen ab. Die Rahmendaten sollen hier nicht nochmals ausführlich referiert werden, wegen der Wichtigkeit als Basisgröße werden in Tabelle 3.1-3 die Zusammenfassung über die gesamte Wohnfläche sowie die Nettozugänge nochmals abgebildet:

Tabelle 6.1-1: Zugang an Wohnfläche (netto) und bewohnte Wohnfläche 2005 – 2050, in Mio. m²

	2005	2020	2030	2040	2050
Nettozugang Wohnfläche					
Insgesamt	54,8	11,5	3,2	-3,9	-6,6
Ein- und Zweifamilienhäuser (1+2)	45,2	10,6	8,4	2,6	0,5
Drei- und Mehrfamilienhäuser (3+)	9,1	0,9	-5,0	-6,3	-6,9
Nichtwohngebäude (NWG)	0,4	0,0	-0,1	-0,2	-0,2
Wohnfläche bewohnt					
Insgesamt	3.223	3.485	3.583	3.576	3.525
Ein- und Zweifamilienhäuser	1.856	2.069	2.171	2.220	2.235
Mehrfamilienhäuser/NWG	1.367	1.415	1.412	1.356	1.290
Leerwohnflächenquote	4,2%	3,6%	3,2%	3,1%	3,1%

Quelle: Prognos 2009

Aufgrund der abnehmenden Bevölkerung sind gegen Ende des Betrachtungszeitraums die Zugangsbilanzen negativ, d.h. es werden mehr Flächen stillgelegt oder abgerissen als neu gebaut. Dies ist für die Entwicklung des Wärmebedarfs unter Energie- und CO₂-Reduktionsgesichtspunkten nicht ungünstig, denn es bedeutet auch, dass mehr alte Gebäude mit tendenziell höheren spezifischen Wärmebedarfen aus dem Betrieb gehen.

Ebenfalls gleich sind die klimatischen Bedingungen (allmählich steigende Durchschnittstemperaturen mit Häufung von Extremereignissen) sowie das mittlere Nutzerverhalten, das sich in den Vollbenutzungsstunden der Heizsysteme quantifizieren lässt.

6.1.1.2 Der Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser in den privaten Haushalten

Bei gegebenen Wohnflächen, Gebäude- und Haushaltsstrukturen sind die folgenden Faktoren für den Raumwärmebedarf und den mit seiner Deckung verbundenen Energieverbrauch, dessen Struktur sowie CO₂-Emissionen maßgebend:

- die Beheizungsstruktur nach Energieträgern und Heizsystemen;
- der wärmetechnische Zustand der Gebäudehülle und die daraus resultierenden spezifischen Heizwärmebedarfe, bezogen auf die Wohnfläche;
- die Wirkungsgrade der Heizungssysteme.

Die beiden ersten Parameter werden in den beiden Szenarien unterschiedlich variiert. Bezüglich der Wirkungsgrade der Heizsysteme werden in beiden Szenarien über die Zeit gleiche Entwicklungen unterstellt: Bereits heute sind konventionelle Heizsysteme sehr nah an den Obergrenzen des möglichen Wirkungsgrades und Wärmepumpen stehen bereits heute unter starkem Druck, die Nutzungsgrade zu erhöhen. Wir gehen daher davon aus, dass bereits in der Referenz der politische Weg zu einer Optimierung der Heizsysteme führt.

Im Szenarienvergleich wird die Beheizungsstruktur im Innovationsszenario deutlich gegenüber der Referenz verändert: Nur noch „Restbestände“ an Wohnungen werden im Innovationsszenario mit Öl und Kohle beheizt. Mit diesen „Restbeständen“ muss vernünftigerweise gerechnet werden, sie finden sich z. B. bei Ferienwohnungen in entlegenen Gebieten, aber auch in Gebäuden mit gemischter gewerblicher und wohnlicher Nutzung. Der Rückgang im Innovationsszenario bei diesen Energieträgern gegenüber dem Referenzszenario ist nahezu 100 %, ebenso bei direkt strombeheizten Wohnungen. Der Rückgang bei gasbeheizten Wohnflächen beträgt 50 %. Die erneuerbaren Energieträger Holz, Umweltwärme und Solarwärme sind die Substitutionsgewinner (vgl. Tabelle 6.1-2).

Tabelle 6.1-2: Szenarienvergleich: Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes nach Wohnfläche 2005 – 2050, in Mio. m²

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Alle Wohnungen									
Fernwärme	307	358	391	410	425	381	441	486	524
Öl	1.082	1.010	959	895	829	833	569	288	13
Gas	1.537	1.733	1.765	1.732	1.677	1.500	1.309	1.078	842
Kohle	60	35	32	31	29	36	25	12	1
Holz	41	73	103	129	150	160	279	391	494
Elektroheizungen ohne WP	175	147	119	89	59	133	91	46	2
Wärmepumpen	18	114	181	238	286	142	248	348	440
Solar	2	15	32	51	70	300	621	926	1.207
Gesamt Wohnungsbestand	3.223	3.485	3.583	3.576	3.525	3.484	3.582	3.574	3.524
darunter Ein- / Zweifamilienhäuser									
Fernwärme	49	72	86	98	108	94	135	172	205
Öl	761	716	687	651	612	585	399	202	9
Gas	867	1.012	1.049	1.052	1.039	803	634	448	262
Kohle	33	20	18	18	17	21	14	7	0
Holz	29	58	84	107	127	134	239	339	430
Strom (ohne WP)	100	84	69	53	36	76	52	26	1
Wärmepumpen	15	97	155	204	246	119	208	292	369
Solar	1	11	23	37	50	237	491	733	957
Gesamt Ein- / Zweifamilienhäuser	1.856	2.069	2.171	2.220	2.235	2.069	2.171	2.220	2.235

Quelle: Prognos 2009

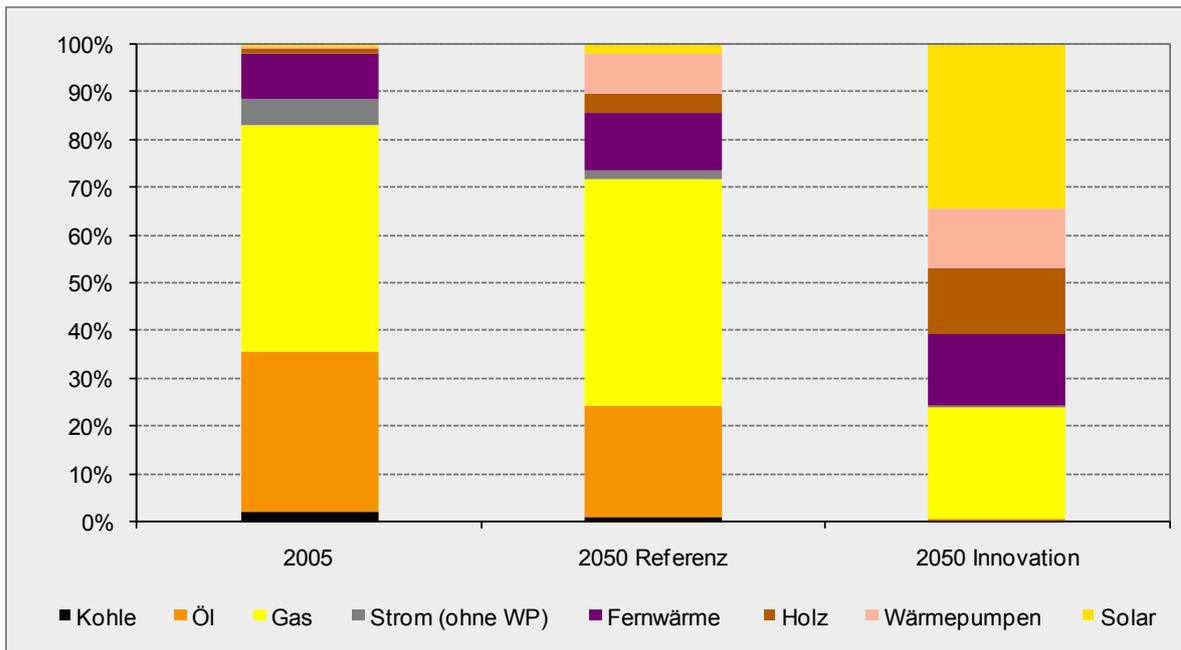
Diese Entwicklung wird im Innovationsszenario dadurch bewerkstelligt, dass bei bestehenden Gebäuden jeweils zum Zeitpunkt des Heizungsersatzes die Substitution vorgenommen wird und bei Neubauten von vornherein vor allem Heizsysteme auf der Basis erneuerbarer Energieträger sowie Fern- und Nahwärme eingesetzt werden. Die relative Beheizungsstruktur zeigen Tabelle 6.1-3 und Abbildung 6.1-1.

Tabelle 6.1-3: Szenarienvergleich: Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes nach Wohnfläche 2005 – 2050, in %

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Fernwärme	9,5%	10,3%	10,9%	11,5%	12,1%	10,9%	12,3%	13,6%	14,9%
Öl	33,6%	29,0%	26,8%	25,0%	23,5%	23,9%	15,9%	8,0%	0,4%
Gas	47,7%	49,7%	49,3%	48,4%	47,6%	43,0%	36,6%	30,1%	23,9%
Kohle	1,9%	1,0%	0,9%	0,9%	0,8%	1,0%	0,7%	0,3%	0,0%
Holz	1,3%	2,1%	2,9%	3,6%	4,3%	4,6%	7,8%	10,9%	14,0%
Strom (ohne WP)	5,4%	4,2%	3,3%	2,5%	1,7%	3,8%	2,5%	1,3%	0,1%
Wärmepumpen	0,5%	3,3%	5,1%	6,7%	8,1%	4,1%	6,9%	9,7%	12,5%
Solar	0,1%	0,4%	0,9%	1,4%	2,0%	8,6%	17,3%	25,9%	34,3%
Gesamt Wohnungsbestand	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-1: Szenarienvergleich: Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes nach Wohnflächen 2005 und 2050, in %



Quelle: Prognos 2009

Eine wesentliche Rolle bei der Reduktion der Raumwärmenachfrage spielt die energetische Qualität der Gebäudehülle. Hier wird im Innovationsszenario davon ausgegangen, dass sowohl in den Neubauten wie auch beim Bestand bis 2050 ein extrem hoher Qualitätsstandard (spezifischer Heizenergiebedarf von durchschnittlich 5 kWh/m²a) angestrebt wird, der den derzeitigen Passivhausstandard (15 kWh/m²a) noch übertrifft. Bei den Neubauten geschieht dies durch sukzessive verschärfte Standards, bei den Sanierungen müssen einerseits die Sanierungsraten erhöht (abhängig vom Gebäudealter werden sie bis 2050 z. T. mehr als verdoppelt) und andererseits die energetische Effizienz der Sanierung dramatisch verbessert werden: Nach zwei Zyklen müssen Häuser des heutigen Bestands den dann herrschenden Neubaustandard erreicht haben. Die Einzelheiten zu diesen zeitlichen Pfaden sind den jeweiligen Kapiteln zum Referenz- und Innovationsszenario zu entnehmen. Zusammengefasst wird der mittlere spezifische Heizenergiebedarf im Referenzszenario bis 2050 bereits um 50 % gegenüber dem Stand von 2005 abgesenkt, im Innovationsszenario um 86 %.

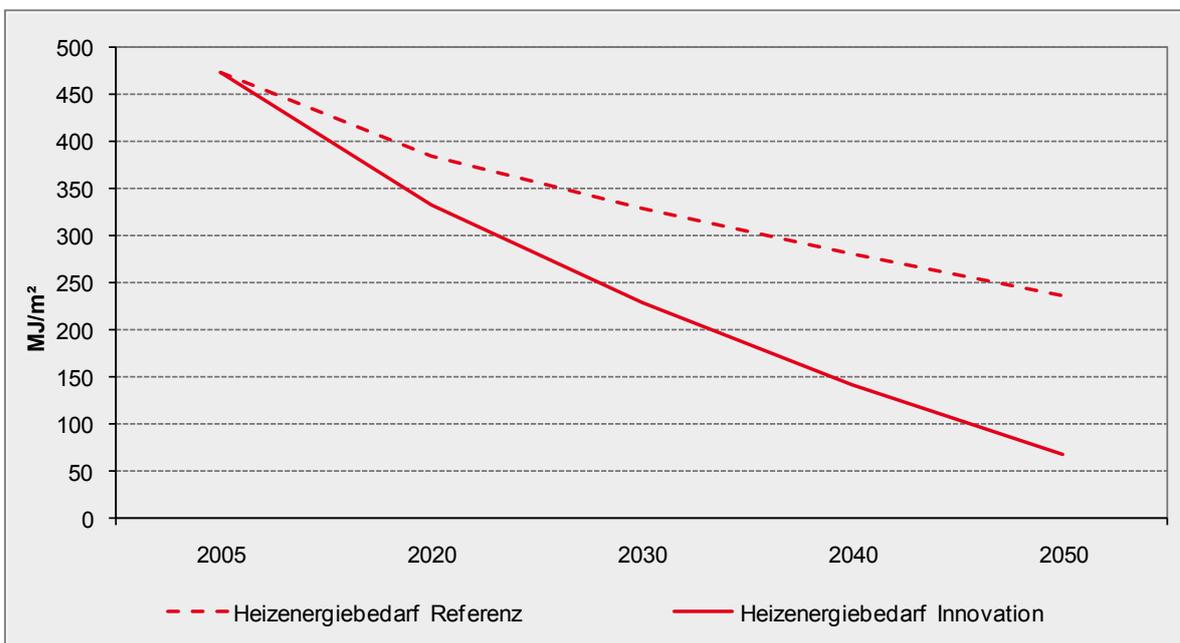
Aufgrund der veränderten Beheizungsstruktur mit einem höheren Anteil von Wärmepumpen und hocheffizienten Gasheizungen im Mix steigt der mittlere Nutzungsgrad der Heizsysteme im Innovationsszenario gegenüber der Referenz geringfügig an (vgl. Tabelle 6.1-4, Abbildung 6.1-2).

Tabelle 6.1-4: Szenarienvergleich: mittlerer spezifischer Heizenergiebedarf, mittlerer Nutzungsgrad der Heizsysteme, mittlerer spezifischer Endenergieverbrauch des Wohnungsbestandes 2005 – 2050

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Heizenergiebedarf (MJ/m ²)	473	385	328	280	236	333	229	141	67
Nutzungsgrad %	83	92	97	100	102	94	102	107	111
Endenergieverbrauch (MJ/m ²)	573	417	337	280	231	353	224	132	61

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-2: Szenarienvergleich: mittlerer spezifischer Heizenergiebedarf des Wohnflächenbestandes 2005 – 2050, in MJ/m²



Quelle: Prognos 2009

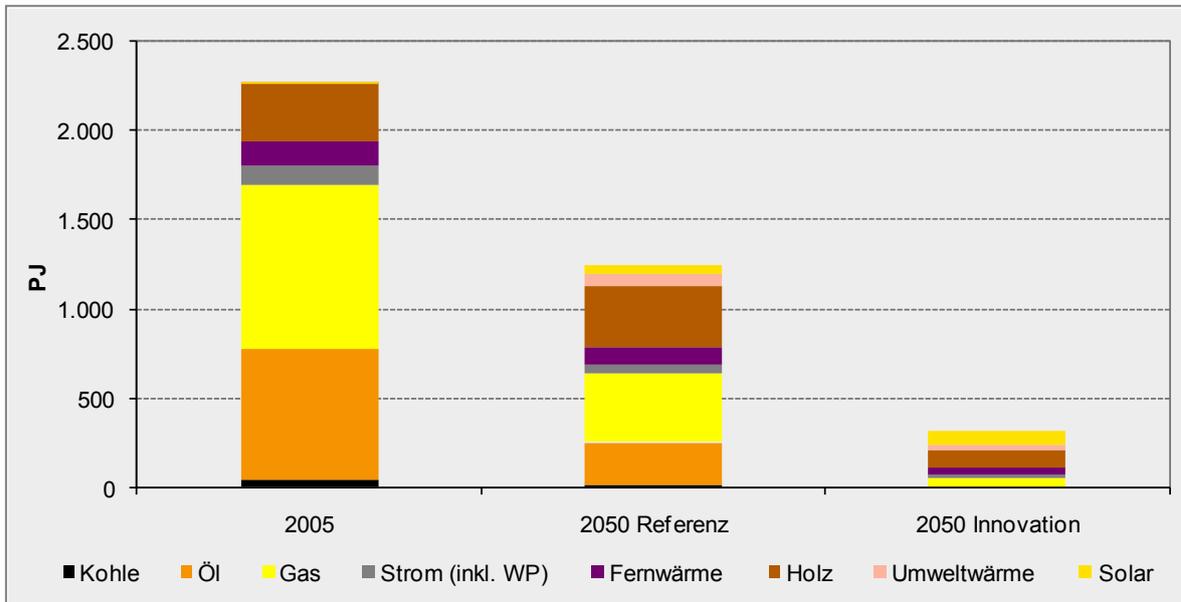
Damit resultiert insgesamt die in Tabelle 6.1-5 sowie Abbildung 6.1-3 dargestellte Endenergienachfrage für die Erzeugung von Raumwärme im Sektor private Haushalte. Der Endenergiebedarf im Innovationsszenario liegt im Jahr 2050 um 73 % niedriger als in der Referenz, den Ausgangswert des Jahres 2005 unterschreitet er (witterungsbereinigt) um 85 %.

Tabelle 6.1-5: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch für Raumwärme im Sektor private Haushalte, nach Energieträgern 2005 – 2050, in PJ

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Fernwärme	137	132	124	112	99	124	101	72	38
Öl	730	519	403	313	241	360	157	47	1
Gas	919	733	589	480	383	567	298	141	49
Kohle	38	19	14	12	9	17	8	2	0
Holz	326	333	339	342	342	298	245	171	90
Strom (inkl. WP)	113	97	81	67	54	85	59	36	23
Solar	1	12	38	49	53	87	149	135	83
Umweltwärme	4	24	44	54	61	36	54	49	31
Gesamt Endenergieverbrauch	2.268	1.869	1.632	1.429	1.242	1.573	1.070	653	315

Quelle: Prognos 2009

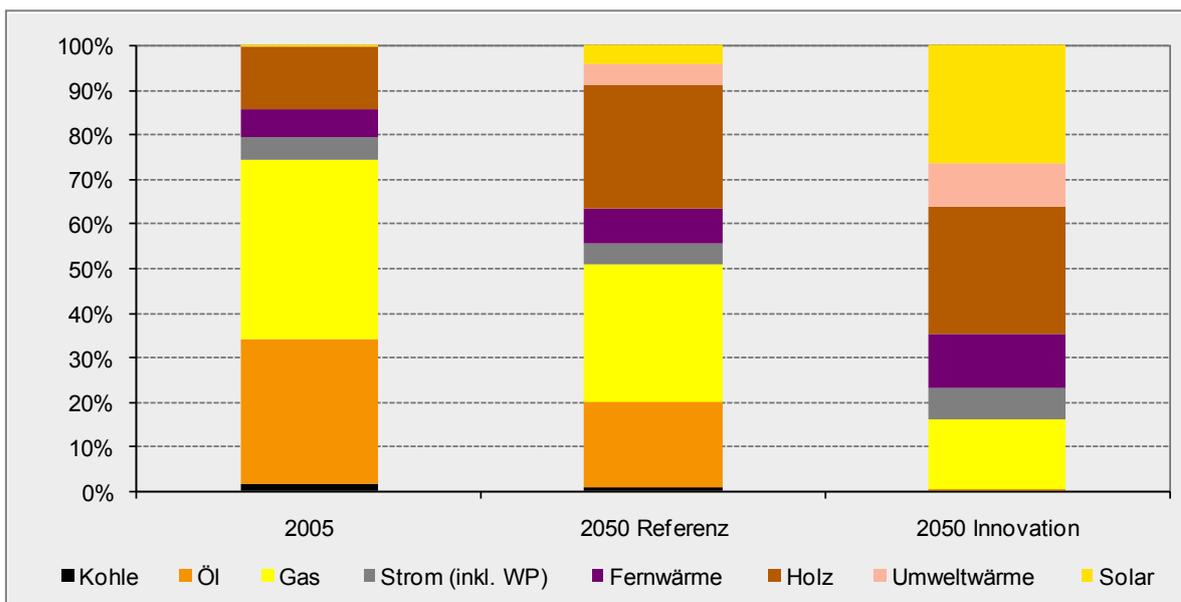
Abbildung 6.1-3: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch für Raumwärme im Sektor private Haushalte, nach Energieträgern 2005 – 2050, in PJ



Quelle: Prognos 2009

Die Energieträgerstruktur verändert sich stark, die Raumwärme wird zu 84 % durch erneuerbare Energien sowie Fernwärme und Strom (für Wärmepumpen) bereit gestellt (vgl. Abbildung 6.1-4).

Abbildung 6.1-4: Szenarienvergleich: Energieträgerstruktur Raumwärme im Sektor private Haushalte, in %



Quelle: Prognos 2009

Die im Innovationsszenario angenommene Struktur der Warmwasserversorgung der Bevölkerung unterscheidet sich im Innovationsszenario deutlich vom Referenzszenario (vgl. Tabelle 6.1-6):

- Die herkömmlichen zentralen Warmwassersysteme auf Basis von Fernwärme, Öl, Gas, Kohle und Holz und dezentrale Öl- und Gasanlagen verschwinden fast vollständig aus dem Bestand.
- Solaranlagen werden zum wichtigsten Erzeugungssystem. Der Marktanteil der Solaranlagen steigt von 3 % im Jahr 2005 auf 56 % im Jahr 2050. Es wird davon ausgegangen, dass hiermit der maximal mögliche Marktanteil erreicht ist. Die Versorgungsmöglichkeiten mit Solarwärme hängen von der Ausrichtung der Dachflächen sowie vom Verhältnis der Dachfläche zu den zu versorgenden Nutzflächen ab.
- Elektrobetriebene Warmwasseranlagen inklusive der Wärmepumpen gewinnen ebenfalls leichte Marktanteile dazu. Der Marktanteil der strombetriebenen Anlagen steigt im Betrachtungszeitraum von 27 % auf 43 %.

Tabelle 6.1-6: Szenarienvergleich: Struktur der Warmwasserversorgung der Bevölkerung 2005 – 2050, in Mio. Personen

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Warmwasserversorgung durch Zentrale heizungsgekop. Systeme									
Fernwärme	7,0	6,2	5,9	3,9	3,2	5,0	3,1	0,7	0,0
Öl	16,9	12,6	10,7	10,0	8,0	8,6	3,4	2,2	0,2
Gas	27,7	24,6	22,2	12,8	13,7	17,6	9,3	3,2	0,9
Kohle	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0
Holz	0,2	0,4	0,5	0,1	0,1	1,2	1,7	0,1	0,1
Zentrale ungekoppelte Systeme									
Solar*	2,6	8,0	13,9	22,3	26,8	10,5	21,6	31,8	40,2
Wärmepumpen	1,0	3,7	4,7	6,4	6,7	4,8	7,4	9,1	10,0
Dezentrale Systeme									
Strom	21,2	22,2	20,5	20,3	13,9	29,2	31,9	28,9	20,9
Gas	4,1	1,7	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0
Gesamt versorgte Personen	81,0	79,6	78,5	76,1	72,4	79,5	78,5	76,1	72,4
ohne eigene Warmwasserversorgung	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0

*umgerechnet auf Vollversorgung

Quelle: Prognos 2009

Aufgrund des höheren Anteils an elektrischen Wärmepumpen liegt im Innovationsszenario der durchschnittliche Gesamtwirkungsgrad der Warmwasseranlagen im Jahr 2050 mit 106 % über jenem im Referenzszenario (Tabelle 6.1-7).

Die beiden Szenarien unterscheiden sich ebenfalls in Bezug auf die nachgefragte Warmwassermenge. Im Innovationsszenario wird von einer Reduktion des Warmwasserverbrauchs pro Kopf auf knapp 40 l/Tag ausgegangen (gegenüber 51 l in der Referenz). Dies wird erreicht durch wassersparende Armaturen, die den Wasserdurchfluss reduzieren, ohne den Wasserdruck abzusenken.

Darüber hinaus wird im Innovationsszenario von einer verstärkten Umlagerung ausgegangen: Das von Waschmaschinen und Geschirrspülern benötigte Warmwasser wird

weitgehend durch die zentrale Warmwasserversorgung bereit gestellt und nicht durch Elektroheizungen in den Geräten selbst erzeugt. Dadurch verschiebt sich ein Teil des Energieverbrauchs von Elektrogeräten hin zum Energieverbrauch zur Bereitstellung von Warmwasser (+7 PJ im Jahr 2050).

Tabelle 6.1-7: Szenarienvergleich: Nutzungsgrade der Warmwasserversorgung der Bevölkerung 2005 – 2050, in %

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Zentrale heizungsgekop. Systeme									
Fernwärme	78	81	83	84	86	81	83	84	86
Öl	63	72	77	81	84	72	77	81	84
Gas	69	81	87	91	95	81	90	98	103
Kohle	52	56	58	61	64	56	58	61	64
Holz	57	63	64	66	67	63	64	66	67
Zentrale ungekoppelte Systeme									
Solar*	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Wärmepumpen	206	221	231	241	251	221	231	241	251
Dezentrale Systeme									
Strom	92	92	92	92	92	92	92	92	92
Gas	73	77	79	79	79	77	79	79	79
Gesamt	74	86	92	97	100	89	97	103	106

*umgerechnet auf Vollversorgung

Quelle: Prognos 2009

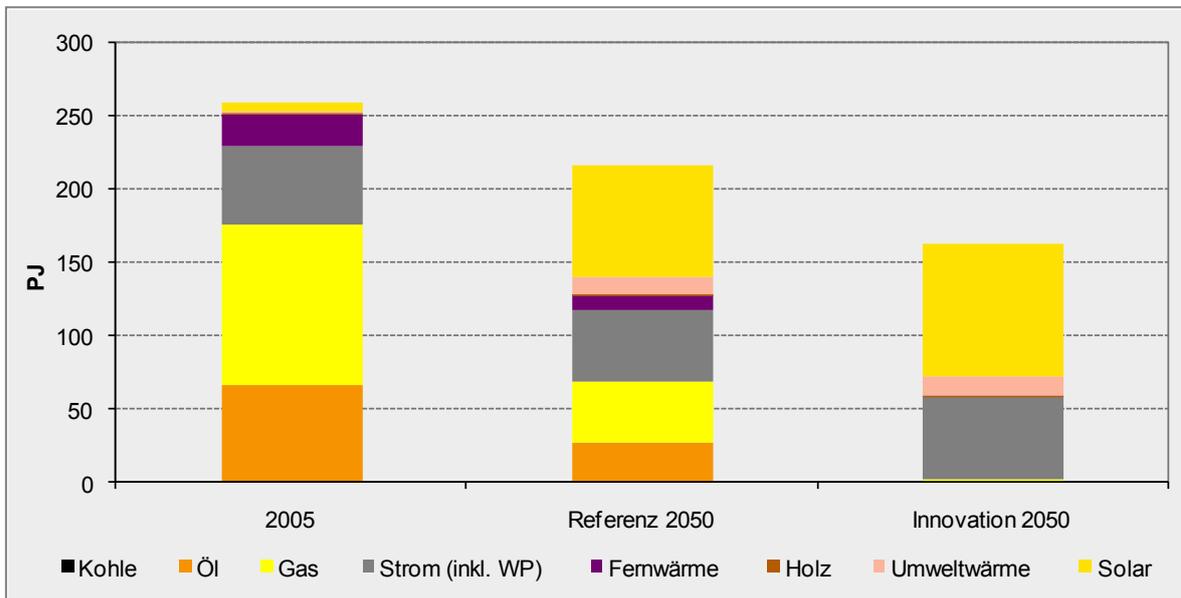
Somit kann der gesamte Endenergieverbrauch für die Erzeugung von Warmwasser im Sektor private Haushalte im Innovationsszenario bis 2050 um 52 % gegenüber dem Referenzszenario reduziert werden (Tabelle 6.1-8, Abbildung 6.1-5).

Tabelle 6.1-8: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch für die Erzeugung von Warmwasser 2005 – 2050, in PJ

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Fernwärme	21,8	20,1	20,2	13,4	10,7	15,8	9,6	2,1	0,0
Öl	64,8	45,9	39,7	35,4	27,0	30,4	11,5	6,5	0,4
Gas	109,1	85,3	72,6	40,7	41,3	62,5	26,8	7,9	2,0
Kohle	1,5	0,8	0,6	1,1	0,2	0,7	0,4	0,4	0,0
Holz	0,9	1,6	2,2	0,4	0,3	5,0	6,7	0,3	0,2
Strom (inkl. WP)	53,0	62,7	61,7	65,6	48,5	82,1	88,5	78,3	56,4
Zwischensumme	251,0	216,4	197,2	156,7	128,2	196,5	143,4	95,4	59,1
Solar	6,3	20,9	39,5	64,6	76,5	26,6	55,7	76,1	89,4
Umweltwärme	1,3	5,3	7,6	10,9	11,5	6,7	10,8	12,8	13,4
Gesamt Endenergieverbrauch	258,6	242,5	244,3	232,2	216,2	229,8	209,9	184,3	161,9

Quelle: Prognos 2009

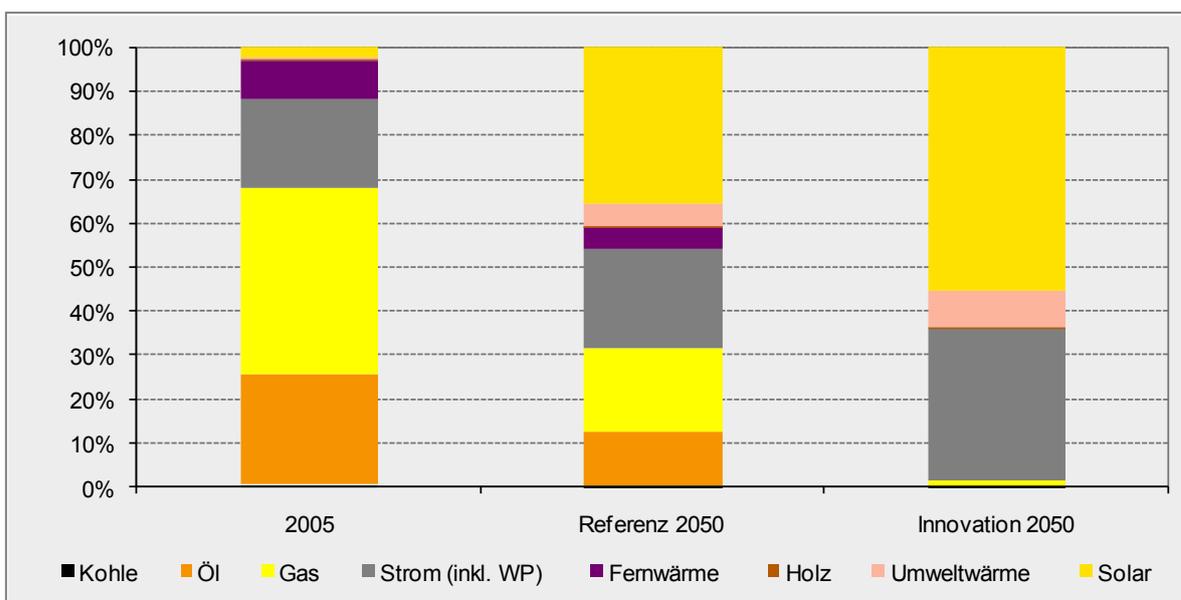
Abbildung 6.1-5: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch für die Erzeugung von Warmwasser nach Energieträgern, 2005 – 2050, in PJ



Quelle: Prognos 2009

Die Energieträgerstruktur verschiebt sich praktisch vollständig zu den erneuerbaren Energien, inkl. Betriebsstrom für Wärmepumpen sowie Betriebsgas für gasbetriebene Wärmepumpen oder Anteile an der zentralen Nutzung sonstiger hocheffizienter Gastechnologien (z. B. Stirling-Motoren) (Abbildung 6.1-6).

Abbildung 6.1-6: Szenarienvergleich: Endenergieträgerstruktur für die Erzeugung von Warmwasser 2005 – 2050, in %



Quelle: Prognos 2009

6.1.1.3 Kochen und elektrische Anwendungen

Beim Kochen werden in den Szenarien nur geringfügige Änderungen im Zeitverlauf durch eine etwas schnellere Durchdringung mit Induktionsherden erzielt. Gravierende Änderun-

gen in anderen Rahmenbedingungen (wie z. B. veränderte Kochgewohnheiten gegenüber dem Referenzszenario) werden nicht unterstellt. Im Jahr 2050 ist der Energieverbrauch für das Kochen in der hier vorgestellten Auflösung in beiden Szenarien gleich (Tabelle 6.1-9).

Tabelle 6.1-9: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch für das Kochen 2005 – 2050, in PJ

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2066	2076	2086	2096
Ausstattungsgrad mit Kochherden, in %	99,0%	98,0%	97,0%	96,0%	95,0%	98,0%	97,0%	96,0%	95,0%
Elektroherd	80,2%	84,6%	86,4%	88,0%	88,6%	82,9%	83,9%	84,4%	84,2%
Gasherd	18,9%	15,2%	13,5%	12,0%	11,4%	14,9%	13,1%	11,6%	10,8%
Holzherd /Kohleherd	0,8%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Genutzte Geräte, in Mio.									
Elektroherd	31,2	33,5	34,1	34,4	32,8	33,5	34,1	34,4	32,8
Gasherd	7,4	6,0	5,3	4,7	4,2	6,0	5,3	4,7	4,2
Holzherd /Kohleherd	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Spezifischer Verbrauch, in kWh pro Gerät und Jahr									
Elektroherd	383,2	328,7	285,3	251,3	230,7	327,0	283,6	250,4	230,7
Gasherd	576,4	479,8	408,1	352,3	317,1	477,3	405,8	351,2	317,1
Holzherd /Kohleherd	622,8	620,2	594,6	550,5	531,4	617,0	591,1	548,7	531,4
Endenergieverbrauch, in PJ									
Elektroherd	43,0	39,6	35,0	31,1	27,2	39,4	34,8	31,0	27,2
Gasherd	15,3	10,4	7,8	6,0	4,8	10,4	7,8	6,0	4,8
Holzherd /Kohleherd	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Gesamt Endenergieverbrauch	59,0	50,1	42,9	37,1	32,1	49,9	42,7	37,0	32,1

Quelle: Prognos 2009

Bei den sonstigen Elektrogeräten werden in beiden Szenarien die gleichen Ausstattungs-raten und grundsätzlichen Anwendungen unterstellt. Die einzige Ausnahme bilden hier die Anlagen zur Klimatisierung: Aufgrund der besseren energetischen Qualität der Gebäude-hüllen werden auch die sommerlichen Wärmegewinne geringer. Zudem werden vermehrt solare Kühlsysteme mit Hochleistungskollektoren eingesetzt. Dadurch steigt der Strom-verbrauch zur Raumklimatisierung im Innovationsszenario weniger stark an als im Refe-renzscenario. Bei den übrigen Stromnutzungen (für Unterhaltung/Kommunikation, Weiße und Braune Ware) werden im Innovationsszenario die Potenziale zur Steigerung der technischen Energieeffizienz besser ausgenutzt als im Referenzszenario, insbesondere in den Bereichen Kühlen und Gefrieren sowie Waschen und Trocknen. Dadurch sinken die entsprechenden mittleren spezifischen Geräteverbräuche stärker ab (Tabelle 6.1-10).

Die höhere Geräteeffizienz im Innovationsszenario wird unter anderem durch eine starke Marktdurchdringung mit wasserfreien Waschmaschinen, die keinen Trockner mehr benö-tigen und mit Magnet-Stromkühlschränken erreicht. Eine gewisse Bedeutung hat auch die Miniaturisierung von Geräten, beispielsweise die Verwendung von Visoren anstelle von Bildschirmen (beim Farb-TV „verbucht“).

Tabelle 6.1-10: Szenarienvergleich: Entwicklung der Technikkomponente des spezifischen Verbrauchs von Elektrogeräten 2005 – 2050, in kWh pro Gerät und Jahr (=mittlerer Geräte-Jahresverbrauch im Bestand)

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Licht	281	125	105	42	33	125	105	42	33
Kühlschrank	256	199	145	122	114	191	126	92	70
Kühl-Gefrier-Gerät	329	237	156	114	95	229	145	102	79
Gefrier-Gerät	299	225	170	141	127	218	152	114	89
Waschmaschine	223	171	143	128	117	163	113	76	42
Waschtrockner	613	495	422	379	348	480	340	232	147
Wäschetrockner	298	235	204	183	166	227	173	129	90
Geschirrspüler	243	202	184	169	156	200	176	153	133
Farb-TV	162	207	150	97	83	207	148	94	79
Radio-HiFi	51	48	46	44	42	48	46	44	42
Video / DVD	40	8	8	8	8	8	8	8	8
Bügeleisen	25	24	23	22	20	24	23	22	20
Staubsauger	24	23	22	21	20	23	22	21	20
Kaffeemaschine	85	85	68	68	68	85	68	68	68
Toaster	25	24	23	22	20	24	23	22	20
Fön	25	24	23	22	20	24	23	22	20
Dunstabzugshaube	45	43	41	39	37	43	41	39	37
Mikrowelle	35	33	32	30	29	33	32	30	29
PC (inkl. Nutzungskomponenten)	196	84	62	62	62	84	62	62	62
Gemeinschaftsbeleuchtung u.ä.	28	21	20	17	17	21	20	17	17

Quelle: Prognos 2009

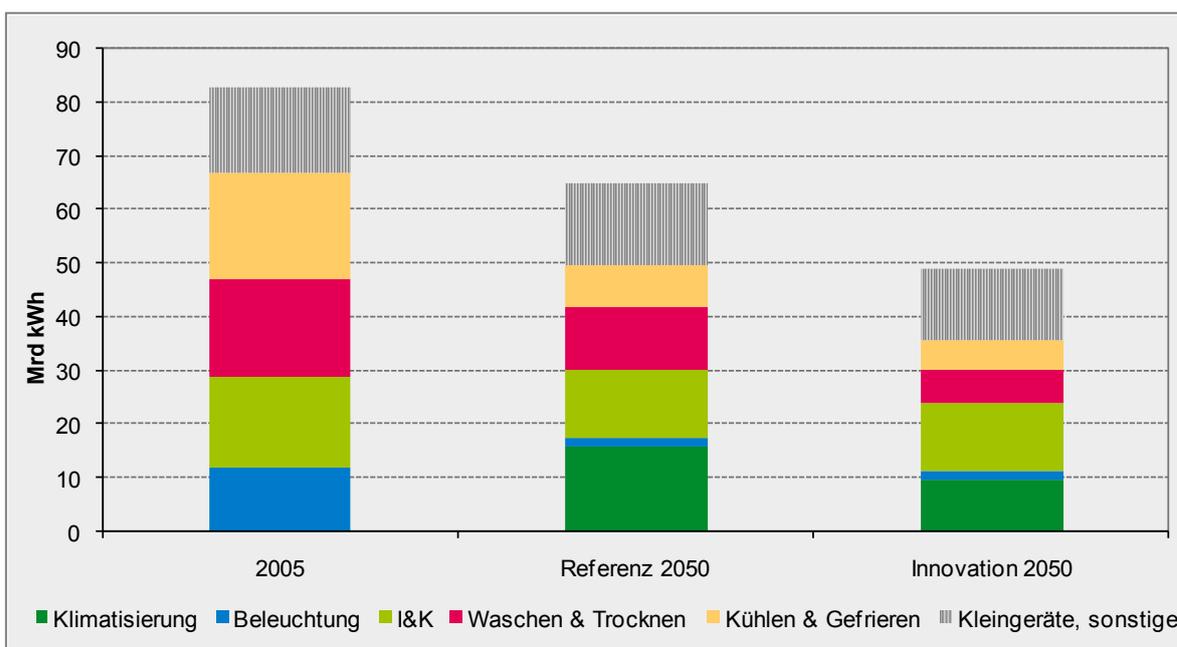
Damit liegt im Ergebnis der Stromverbrauch für Elektrogeräte in 2050 im Innovationsszenario gegenüber der Referenz um 20 % niedriger (gegenüber 2005 um 40 %), wobei die größten Beiträge hier von den Waschmaschinen (-60 %), Wäschetrocknern (-50 %), Kühlschränken (-40 %) und der Klimatisierung (-40 %) geleistet werden (vgl. Tabelle 5.3-12, Abbildung 6.1-7).

Tabelle 6.1-11: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch für Elektrogeräte in privaten Haushalten 2005 – 2050, in Mrd. kWh

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Licht	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Kühlschrank	68	62	60	52	47	62	60	52	47
Kühl-Gefrier-Gerät	32	38	40	48	53	38	40	48	53
Gefrier-Gerät	59	64	66	68	72	64	66	68	72
Waschmaschine	88	81	72	53	38	81	72	53	38
Waschtrockner	8	16	27	47	62	16	27	47	62
Wäschetrockner	38	41	40	33	25	41	40	33	25
Geschirrspüler	59	75	80	82	85	75	80	82	85
Farb-TV	94	94	94	94	94	94	94	94	94
Radio-HiFi	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Video / DVD	83	92	96	100	100	92	96	100	100
Bügeleisen	98	99	99	99	99	99	99	99	99
Staubsauger	99	99	99	99	99	99	99	99	99
Kaffeemaschine	95	98	100	100	100	98	100	100	100
Toaster	90	94	96	98	99	94	96	98	99
Fön	81	84	87	89	93	84	87	89	93
Dunstabzugshaube	59	66	69	70	73	66	69	70	73
Mikrowelle	65	84	94	97	100	84	94	97	100
PC (inkl. Nutzungskomponenten)	68	100	100	100	100	100	100	100	100

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-7: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch für Elektrogeräte(klassen) in privaten Haushalten 2005 und 2050, in Mrd. kWh



Quelle: Prognos 2009

6.1.1.4 Endenergienachfrage der privaten Haushalte insgesamt

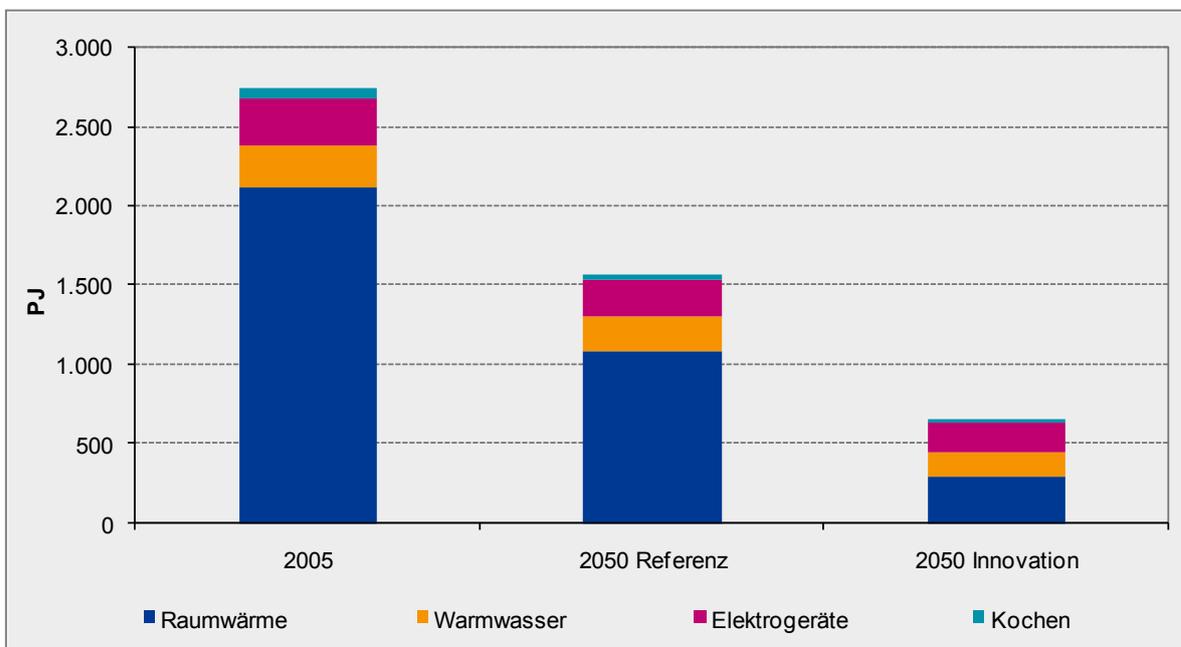
In der Summation unterschreitet die Endenergienachfrage der privaten Haushalte in 2050 im Innovationsszenario den Wert des Referenzszenarios 54 % gegenüber der Referenz und den Ausgangswert des Jahres 2005 um 75 %. Aufgrund der extremen Reduktion der Raumwärme verschieben sich die Anteile der Verwendungszwecke am Endenergiebedarf (Tabelle 6.1-12, Abbildung 6.1-8).

Tabelle 6.1-12: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte nach Verwendungszwecken 2005 – 2050, in PJ

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Verwendungszwecke									
Raumwärme	2.118	1.718	1.479	1.275	1.087	1.458	989	603	291
Warmwasser	259	243	244	232	216	230	210	184	162
Kochen	59	50	43	37	32	50	43	37	32
Elektrogeräte	299	271	246	232	234	265	224	193	177
Gesamt Endenergieverbrauch	2.735	2.282	2.013	1.777	1.569	2.003	1.465	1.017	662
Anteile, in %									
Raumwärme	77,5%	75,3%	73,5%	71,8%	69,3%	72,8%	67,5%	59,3%	44,0%
Warmwasser	9,5%	10,6%	12,1%	13,1%	13,8%	11,5%	14,3%	18,1%	24,5%
Kochen	2,2%	2,2%	2,1%	2,1%	2,0%	2,5%	2,9%	3,6%	4,8%
Elektrogeräte	10,9%	11,9%	12,2%	13,1%	14,9%	13,2%	15,3%	18,9%	26,7%

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-8: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte nach Verwendungszwecken, 2005 und 2050, in PJ



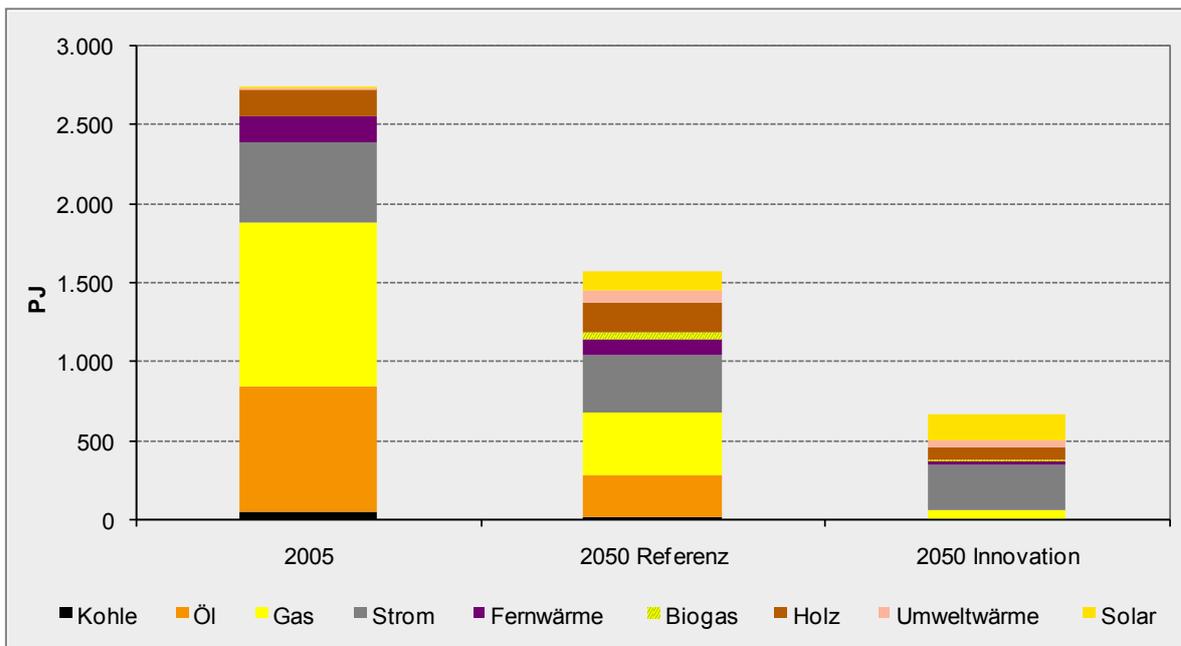
Quelle: Prognos 2009

Tabelle 6.1-13: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte nach Energieträgern, 2005 und 2050, in PJ

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Energieträger									
Fernwärme	158	153	144	126	110	140	111	74	38
Öl	795	565	442	348	268	390	168	54	1
Gas	1.043	819	638	489	389	633	316	144	51
Kohle	40	19	15	13	9	18	8	3	0
Holz	178	184	188	189	188	189	171	122	66
Strom	508	470	424	396	364	471	406	338	283
Umweltwärme	6	29	52	65	73	42	65	62	44
Solar	7	33	78	114	129	113	205	211	173
Biogas	0	9	32	38	40	7	16	11	5
Gesamt Endenergieverbrauch	2.735	2.282	2.013	1.777	1.569	2.003	1.465	1.017	662
Struktur in %									
Fernwärme	5,8%	6,7%	7,2%	7,1%	7,0%	7,0%	7,5%	7,2%	5,8%
Öl	29,1%	24,8%	22,0%	19,6%	17,1%	19,5%	11,5%	5,3%	0,2%
Gas	38,1%	35,9%	31,7%	27,5%	24,8%	31,6%	21,6%	14,1%	7,7%
Kohle	1,5%	0,9%	0,8%	0,7%	0,6%	0,9%	0,6%	0,3%	0,0%
Holz	6,5%	8,1%	9,4%	10,6%	12,0%	9,4%	11,6%	11,9%	10,0%
Strom	18,6%	20,6%	21,1%	22,3%	23,2%	23,5%	27,7%	33,2%	42,8%
Umweltwärme	0,2%	1,3%	2,6%	3,7%	4,6%	2,1%	4,4%	6,1%	6,7%
Solar	0,3%	1,5%	3,9%	6,4%	8,2%	5,7%	14,0%	20,7%	26,1%
Biogas	0,0%	0,4%	1,6%	2,1%	2,5%	0,3%	1,1%	1,1%	0,8%

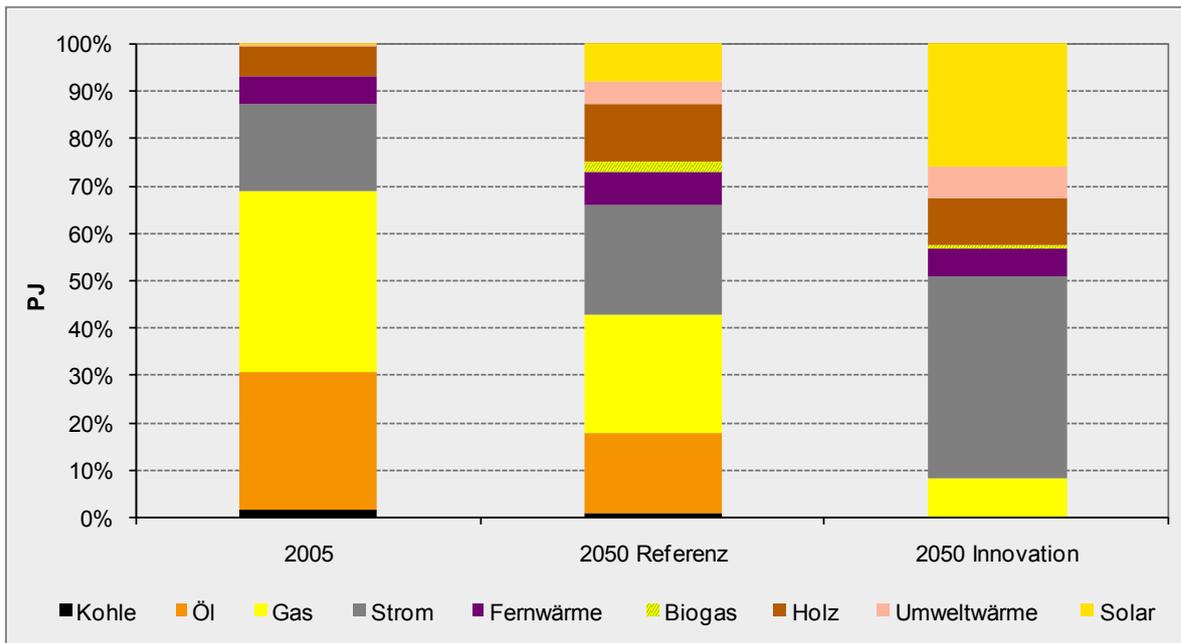
Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-9: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte nach Energieträgern, 2005 und 2050, in PJ



Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-10: Szenarienvergleich: Endenergieträgerstruktur der privaten Haushalte, 2005 und 2050, in PJ



Quelle: Prognos 2009

6.1.2 Die Endenergienachfrage des Dienstleistungssektors

6.1.2.1 Rahmendaten

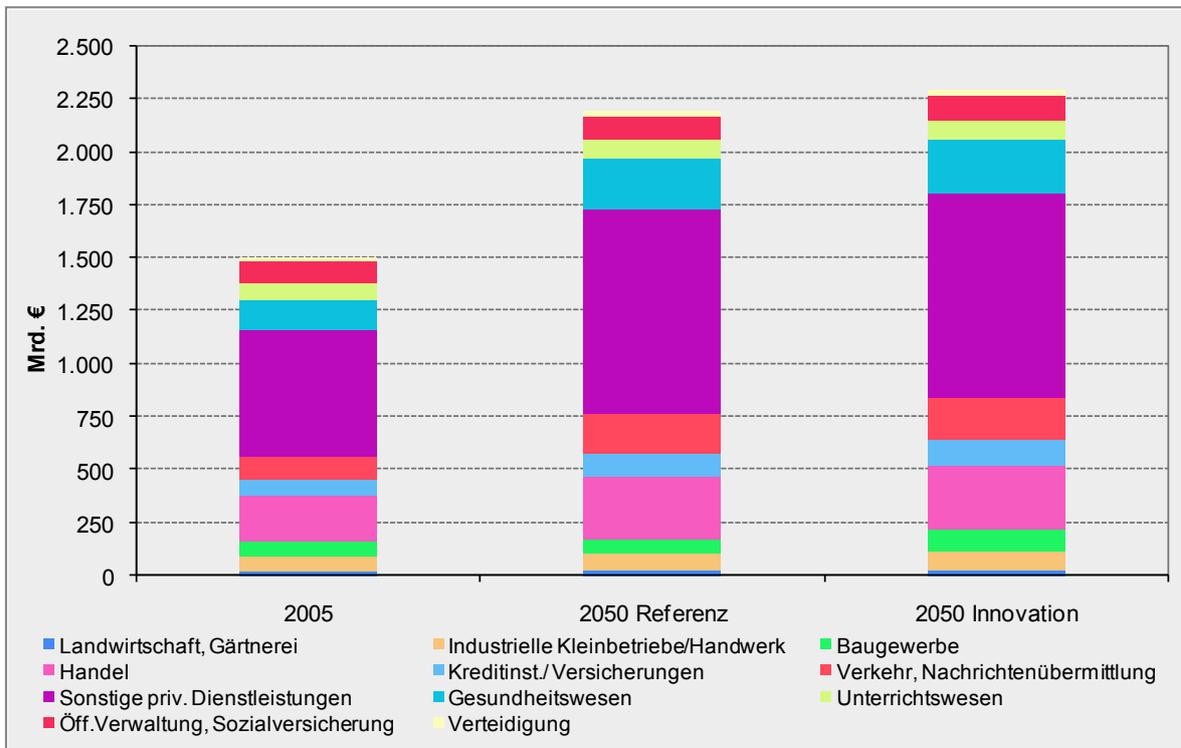
Die wesentlichen Unterschiede in der Entwicklung der Branchenstruktur im Dienstleistungssektor liegen in einer um 36,5 Mrd. € (55 %) erhöhten Wertschöpfung des Baugewerbes im Jahr 2050 im Innovationsszenario im Vergleich zum Referenzszenario sowie in einer um 20,6 Mrd. € (19 %) erhöhten Wertschöpfung des Kredit- und Versicherungsgewerbes. Diese stehen im unmittelbaren Zusammenhang mit den verstärkten Bauinvestitionen für verbesserte Neubaustandards und – weitaus stärker – der Totalsanierung des Gebäudebestandes auf energetisch höchstwertigem Standard. In den anderen Sektoren ergeben sich geringfügige Veränderungen in der Wertschöpfung – es wird zwar mit unterschiedlicher – energiesparender – Technologie gearbeitet, und die Dienstleistungen sind z.T. unterschiedlich, werden aber in denselben Branchen verbucht. Z.B. wird weniger physisch transportiert, dafür nimmt die Kommunikation zu (Virtualisierung des Austauschs) – beides wird in der Verkehr und Nachrichtenübermittlung verbucht und die Wertschöpfung bleibt in der Summe nahezu gleich. Insgesamt profitiert der Dienstleistungssektor von dem ambitionierten CO₂-Reduktionspfad, die Wertschöpfung liegt im Jahr 2050 im Innovationsszenario um 92,1 Mrd. € (4,2 %) höher als im Referenzszenario (vgl. Tabelle 6.1-14, Abbildung 6.1-11).

Tabelle 6.1-14: Szenarienvergleich: Erwerbstätige (in 1.000) und Bruttowertschöpfung (in Mrd. €) im Dienstleistungssektor nach Branchen, 2005 – 2050

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Erwerbstätige (in 1000)									
Landwirtschaft, Gärtnerei	853	702	611	533	464	728	649	580	516
Industrielle Kleinbetriebe/Handwerk	1.673	1.331	1.188	1.061	953	1.347	1.210	1.087	980
Baugewerbe	2.185	1.968	1.834	1.686	1.597	2.115	2.063	1.979	1.940
Handel	5.903	5.628	5.345	5.081	4.813	5.646	5.373	5.116	4.852
Kreditinst./ Versicherungen	1.239	1.127	1.082	1.037	1.005	1.181	1.164	1.141	1.120
Verkehr, Nachrichtenübermittlung	2.118	2.187	2.179	2.175	2.132	2.187	2.179	2.175	2.132
Sonstige priv. Dienstleistungen	9.675	11.089	10.478	9.834	9.574	11.097	10.490	9.848	9.590
Gesundheitswesen	4.036	4.830	4.655	4.504	4.625	4.930	4.806	4.693	4.849
Unterrichtswesen	2.281	2.521	2.403	2.298	2.282	2.522	2.404	2.300	2.284
Öff.Verwaltung, Sozialversicherung	2.298	2.059	1.857	1.676	1.534	2.060	1.858	1.677	1.535
Verteidigung	373	350	350	350	350	350	351	351	351
Gesamt Branchen	32.634	33.792	31.982	30.235	29.329	34.163	32.546	30.947	30.150
Bruttowertschöpfung (in Mrd. €)									
Landwirtschaft, Gärtnerei	23	23	23	23	23	25	25	26	27
Industrielle Kleinbetriebe/Handwerk	68	77	80	82	86	79	82	85	89
Baugewerbe	76	71	69	66	65	82	89	94	102
Handel	215	234	252	268	294	236	254	271	297
Kreditinst./ Versicherungen	69	85	90	95	107	91	101	111	128
Verkehr, Nachrichtenübermittlung	114	145	159	173	196	145	159	173	196
Sonstige priv. Dienstleistungen	598	704	776	853	963	704	778	855	966
Gesundheitswesen	141	178	192	209	233	184	204	225	253
Unterrichtswesen	84	91	92	93	97	91	92	93	97
Öff.Verwaltung, Sozialversicherung	99	111	108	107	108	111	108	107	108
Verteidigung	16	19	20	22	25	19	20	22	25
Gesamt Branchen	1.503	1.736	1.861	1.991	2.196	1.766	1.912	2.062	2.288

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-11: Szenarienvergleich: Bruttowertschöpfung (in Mrd. €) im Dienstleistungssektor nach Branchen, 2005 und 2050



Quelle: Prognos 2009

6.1.2.2 Endenergie

Die spezifische Endenergienachfrage verringert sich in allen Branchen im Innovations-szenario deutlich gegenüber dem Referenzszenario (vgl. Tabelle 6.1-15). Dabei ist zu berücksichtigen werden, dass bereits im Referenzszenario die spezifischen Energieverbräuche durchweg mehr als halbiert werden. Hierzu tragen vor allem die konsequente Reduktion des Raumwärmebedarfs sowie die hohen Effizienzsteigerungen bei der Beleuchtung bei, die bereits mit der derzeit in Entwicklung befindlichen Technik möglich sind. Die hohen Reduktionen im Raumwärmebedarf sind vor allem der Tatsache geschuldet, dass in diesem Sektor die mittlere Lebensdauer der Gebäude relativ gering ist, ein Gebäude wird eher ersetzt als aufwändig saniert. Dadurch ist ein Großteil des Gebäudebestands in diesem Sektor bis 2050 umgeschlagen. Ebenfalls wird bereits in der Referenz von einer hohen Effizienzsteigerung aller Bürogeräte sowie der IuK-Netzwerktechnologie (Stichwort „Green IT“) ausgegangen. Diese Entwicklung wird vor allem deshalb voran getrieben, weil die Kosten für Energieversorgung und Kühlung von Servern sowie den damit verbundenen Platzbedarf mittlerweile einen spürbaren Posten im Budget zahlreicher stark von IT abhängiger Branchen (wie z. B. Banken, Versicherungen) ausmachen.

Im Innovationsszenario werden weitere Einsparungen durch Prozessveränderungen, z. B. bei der Erzeugung von Prozesswärme und Kälte sowie durch effizientere Nutzung von mechanischer Energie (effizientere Motoren und Pumpen, Miniaturisierung von Prozessen), Steuerung und Regelung sowie veränderte Produkte, Werkstoffe und Dienstleistungen ermöglicht.

Tabelle 6.1-15: Szenarienvergleich: spezifischer Energieverbrauch im Dienstleistungssektor von 2005 – 2050, in PJ/Mrd. € sowie indexiert auf das Jahr 2005

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
spezifischer Verbrauch									
Landwirtschaft, Gärtnerei	5,48	4,09	3,38	2,92	2,44	3,62	2,69	2,10	1,63
Industrielle Kleinbetriebe/Handwerk	1,54	1,00	0,80	0,69	0,58	0,88	0,62	0,49	0,38
Baugewerbe	1,04	0,83	0,69	0,60	0,53	0,68	0,49	0,38	0,30
Handel	1,39	0,98	0,75	0,67	0,55	0,82	0,51	0,38	0,28
Kreditinst./ Versicherungen	0,65	0,43	0,34	0,29	0,24	0,36	0,24	0,19	0,15
Verkehr, Nachrichtenübermittlung	0,49	0,32	0,22	0,17	0,13	0,28	0,17	0,12	0,09
Sonstige priv. Dienstleistungen	0,53	0,39	0,30	0,26	0,22	0,35	0,23	0,18	0,14
Gesundheitswesen	1,34	0,89	0,59	0,41	0,33	0,76	0,44	0,29	0,23
Unterrichtswesen	1,02	0,70	0,45	0,32	0,25	0,60	0,31	0,20	0,15
Öff.Verwaltung, Sozialversicherung	1,34	0,90	0,67	0,52	0,42	0,78	0,50	0,35	0,27
Verteidigung	1,93	1,46	1,24	1,07	0,91	1,38	1,13	0,94	0,78
spezifischer Verbrauch, indexiert									
Landwirtschaft, Gärtnerei	100	75	62	53	45	66	49	38	30
Industrielle Kleinbetriebe/Handwerk	100	65	52	45	38	57	41	32	25
Baugewerbe	100	80	66	57	51	65	47	36	29
Handel	100	71	54	48	39	59	37	28	20
Kreditinst./ Versicherungen	100	66	52	45	37	55	37	29	23
Verkehr, Nachrichtenübermittlung	100	66	46	34	26	58	35	25	19
Sonstige priv. Dienstleistungen	100	75	58	49	42	66	44	34	27
Gesundheitswesen	100	67	44	31	25	57	33	22	17
Unterrichtswesen	100	69	45	31	24	59	31	19	14
Öff.Verwaltung, Sozialversicherung	100	67	50	39	31	58	37	26	20
Verteidigung	100	75	64	55	47	71	58	49	40

Quelle: Prognos 2009

Die integrierte Endenergienachfrage nach Branchen, Energieträgern sowie Verwendungszwecken in den beiden Szenarien ist in Tabelle 6.1-16 dargestellt. Bereits im Referenzszenario wird der Anstieg der Bruttowertschöpfung von ca. 46 % zwischen 2005 und 2050 durch eine überproportionale Erhöhung der Energieeffizienz überkompensiert – der Endenergieverbrauch des Jahres 2050 liegt im Referenzszenario um 50 % unter dem Energieverbrauch im Jahr 2005, im Innovationsszenario sind es 67 %.

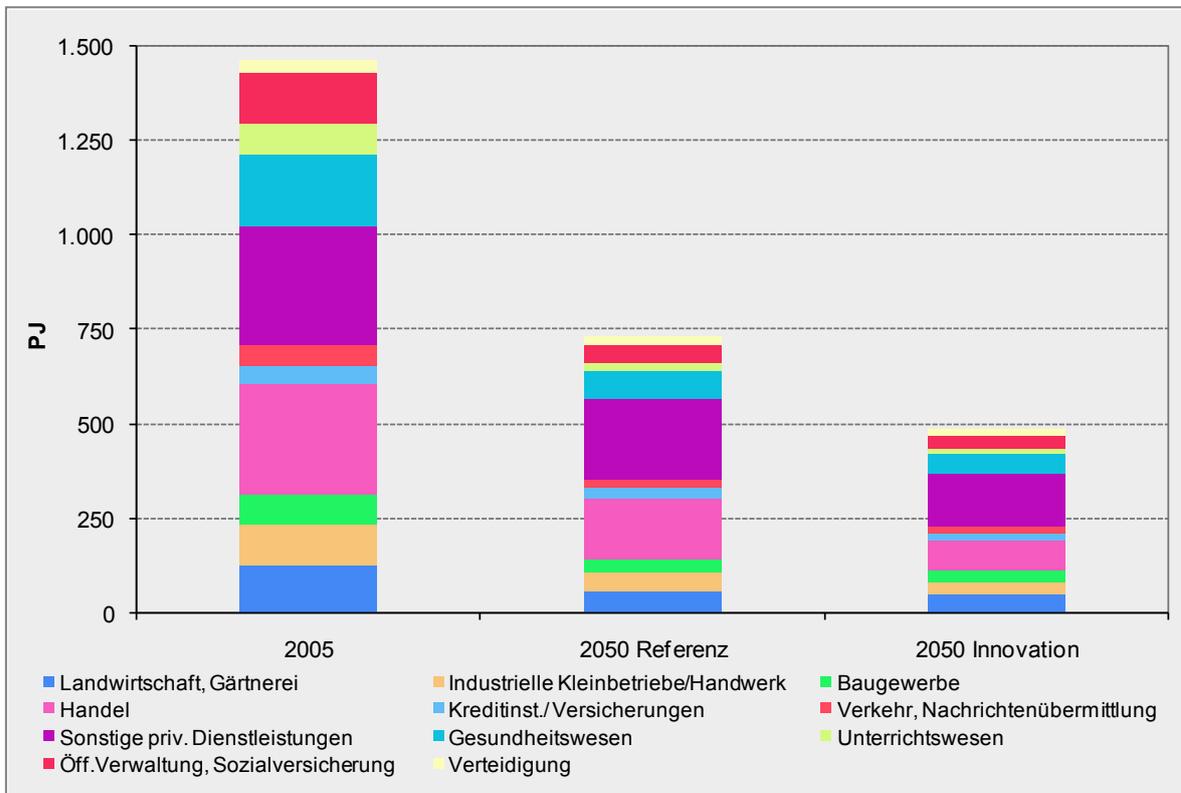
Zu den Reduktionen tragen alle Branchen bei, je nach Ausprägung der begrenzenden Faktoren Prozesswärme und mechanische Energie in unterschiedlichem Maße. Die nochmalige Verringerung der spezifischen Energieverbräuche variiert von ca. 15 % (Verteidigung) bis knapp 50 % (Handel), was sich bei der jeweiligen Wertschöpfungsentwicklung allerdings nicht in einer deutlichen Strukturverschiebung im Energieverbrauch nach Branchen auswirkt (vgl. Abbildung 6.1-12).

Tabelle 6.1-16: Szenarienvergleich: Energieverbrauch im Dienstleistungssektor 2005 – 2050, nach Branchen, Verwendungszwecken und Energieträgern, in PJ

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Branchen									
Landwirtschaft, Gärtnerei	127	95	78	67	57	89	68	55	45
Industrielle Kleinbetriebe/Handwerk	104	77	63	56	50	69	51	41	34
Baugewerbe	79	59	47	39	35	56	43	35	31
Handel	298	230	189	180	160	194	130	104	82
Kreditinst./ Versicherungen	45	36	30	28	25	32	25	21	19
Verkehr, Nachrichtenübermittlung	55	47	35	29	25	41	27	21	18
Sonstige priv. Dienstleistungen	315	277	236	222	211	243	181	153	136
Gesundheitswesen	189	158	114	86	76	141	89	66	59
Unterrichtswesen	85	63	42	30	24	54	29	18	14
Öff.Verwaltung, Sozialversicherung	133	100	73	56	45	86	54	38	29
Verteidigung	32	27	25	24	22	26	23	21	19
Gesamt Branchen	1.462	1.169	933	815	731	1.031	720	574	486
Verwendungszwecke									
Raumwärme	664	415	189	53	7	347	108	18	2
Prozesswärme	310	310	301	292	291	300	283	265	256
Kühlen und Lüften	65	85	137	213	215	63	79	96	75
Beleuchtung	148	119	97	80	66	95	64	43	30
Bürogeräte	56	52	45	36	28	46	36	26	18
Kraft	220	189	165	142	124	180	151	126	106
Gesamt Verwendungszwecke	1.462	1.169	933	815	731	1.031	720	574	486
Energieträger									
Kohle	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Öl	279	159	80	30	20	140	57	19	15
Gas	515	394	256	171	147	350	201	141	130
Strom	443	415	426	465	439	354	310	282	229
Fernwärme	96	69	43	28	22	61	34	22	19
Erneuerbare (ohne Biokraftstoffe)	10	34	41	44	35	32	37	39	32
Kraftstoffe (inkl. Biokraftstoffe)	114	98	87	76	67	94	82	70	60
Gesamt Energieträger	1.462	1.169	933	815	731	1.031	720	574	486

Quelle: Prognos 2009

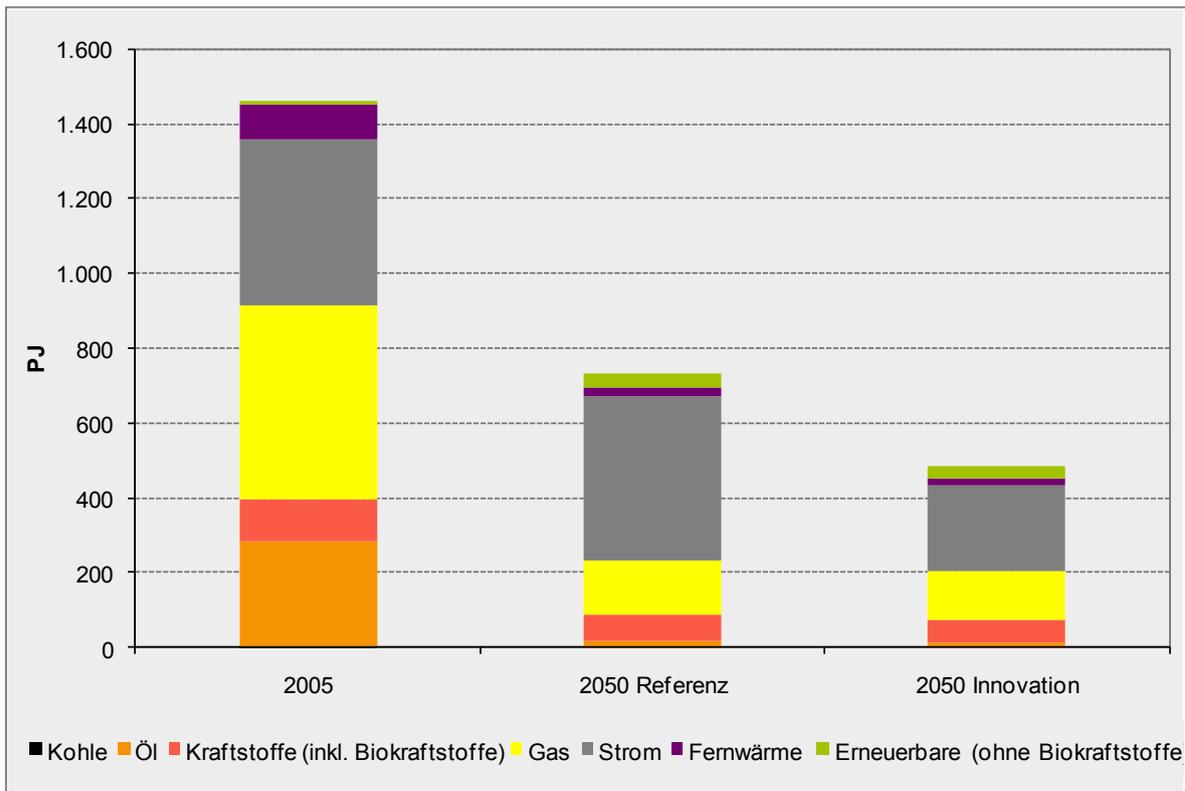
Abbildung 6.1-12: Szenarienvergleich: Energieverbrauch im Dienstleistungssektor 2005 und 2050, nach Branchen, in PJ



Quelle: Prognos 2009

Bezogen auf Energieträger und Verwendungszwecke ist die Reduktion im Innovations-szenario im Vergleich mit dem Referenzszenario hauptsächlich auf eine massive Absenkung des Stromverbrauchs für Beleuchtung, Lüftung und Kühlung zurückzuführen.

Abbildung 6.1-13: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch im Dienstleistungssektor im Jahr 2005 und 2050 nach Energieträgern, in PJ

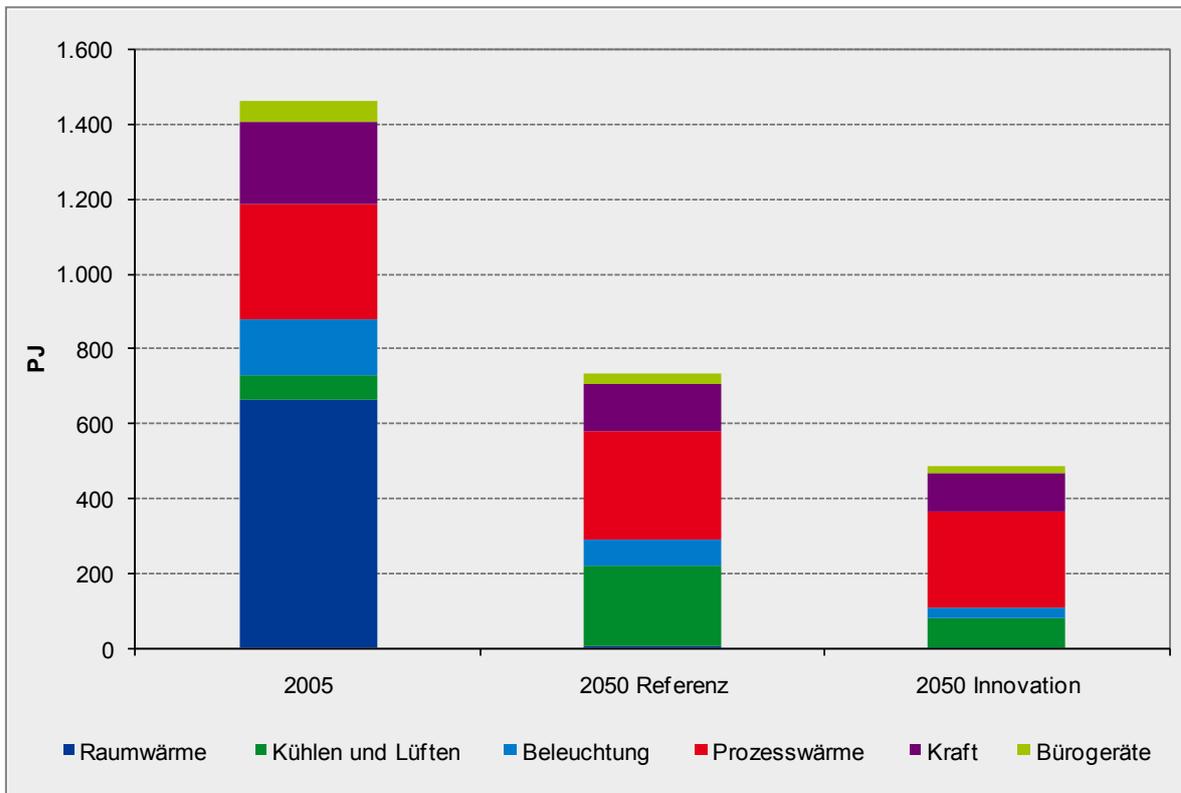


Quelle: Prognos 2009

Der „Sockel“ an Gas und Heizöl ist primär auf den Einsatz in der Prozesswärmeerzeugung zurückzuführen. Aufgrund der prioritären Nutzung der Bioenergieträger im Verkehr steht nicht genügend Biogas zur Verfügung, das hier vom technischen Standpunkt gesehen ebenfalls zum Einsatz kommen könnte. Eine Substitution in der Prozesswärmeerzeugung zu Strom wurde nur in sehr geringem Maße unterstellt (bei gleichzeitiger hoher Effizienzsteigerung). Bei den Erneuerbaren handelt es sich vornehmlich um solarthermische Warmwassererzeugung sowie Solar- und Umgebungswärme beim Einsatz von Wärmepumpen zur Erzeugung von Raum- sowie Warmwasserwärme und -kühlung.

Abbildung 6.1-14 zeigt die Aufteilung der Endenergienachfrage nach Verwendungszwecken. Deutlich wird die Reduktion der Raumwärmenachfrage auf nahezu Null in beiden Szenarien. Im Referenzszenario zeigt sich, dass die Klimaerwärmung einen deutlichen Anstieg des Bedarfs an Raumkühlung erwarten lässt, der künftig einen erheblichen Anteil am Energieverbrauch des Sektors ausmacht, sofern hier nicht alle verfügbaren Effizienzpotenziale konzertiert ausgeschöpft werden. Die Durchdringung mit Kühlungsoptionen im Jahr 2050 ist in beiden Szenarien gleich, technisch wird die Nutzenergie jedoch im Innovationsszenario durch innovative Technologien, insbesondere bivalente Wärmepumpen, z. T. gasbetrieben, die im Sommer kühlen und im Winter heizen sowie durch solare Kühlung, bereit gestellt. Die beiden Blöcke „Prozesswärme“ und „mechanische Energie“ sind durch Effizienzmaßnahmen nicht beliebig zu reduzieren, da es physikalische Untergrenzen gibt, die im realen Prozess nie erreicht werden können.

Abbildung 6.1-14: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch im Dienstleistungssektor nach Verwendungszwecken im Jahr 2005 und 2050, in PJ



Quelle: Prognos 2009

6.1.3 Die Endenergienachfrage des Sektors Industrie

6.1.3.1 Rahmendaten

Tabelle 6.1-17 weist die Industrieproduktion nach Branchen in den beiden Szenarien aus. Die Priorität auf CO₂-Reduktion und Energieeffizienz führt zu einer leichten Verschiebung der Branchenstruktur und letztlich zu einer geringfügigen Produktionseinschränkung in 2050 (0,7 %) im Industriesektor zugunsten einer verstärkten Wertschöpfung des Dienstleistungssektors (+ 4 %, vgl. Kap. 6.1.2.1). Innerhalb der Industrie profitiert insbesondere die Chemie- und Kunststoffbranche, aber auch Glas und Keramik von der Entwicklung neuer Werkstoffe sowie insbesondere der Nachfrage nach Hochleistungs-Wärmedämmstoffen, Hochleistungsfenstern etc. als Folge der energetisch hochwertigen Gebäudesanierung. Die energieintensive Metallerzeugung (sowohl ferröse als auch nonferröse Metalle) ist in dieser Materialrevolution der Substitutionsverlierer: Es kommen maßgeschneiderte Werkstoffe und Bautechniken auf den Markt, die Metalle ersetzen oder sie als Teil von Kompositen oder komplett neuartigen Verbindungen benötigen, so dass sowohl Mengen als auch Wertschöpfung in diesen Branchen zurück gehen. Es wird auch damit gerechnet, dass ein Teil der Produktion in Weltregionen verlagert wird, in denen die entsprechenden konzentrierten Energiepotenziale vorhanden sind.

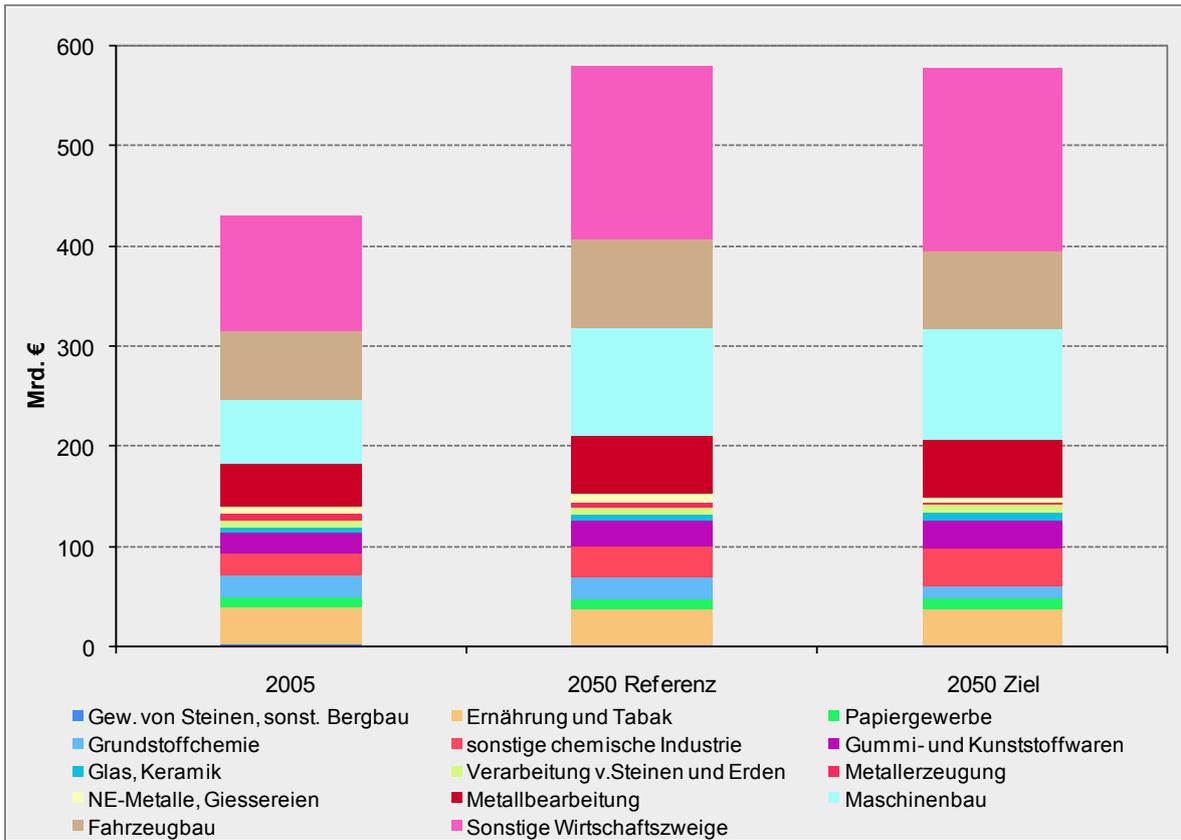
Der Fahrzeugbau produziert insgesamt weniger, kleinere und leichtere Fahrzeuge als im Referenzszenario und stemmt den Übergang zur weit gehenden Elektromobilität. In den sonstigen Wirtschaftszweigen ist u.a. die Energieindustrie samt Verteil- und Zulieferindustrien (Messelektronik etc.) enthalten, deren Produktion durch den Umbau des Elektrizitätssektors erheblich gewinnt. Der Maschinenbau bleibt trotz deutlicher Veränderungen in der Binnenstruktur (Effizienztechnologien, andere Arten von Maschinen, erhöhter Anteil an Steuerungselektronik) weiterhin die große Wachstumsbranche. Insgesamt ändert sich die Branchenstruktur nicht dramatisch. Es bricht keine „Schlüsselbranche“ weg, von der die Volkswirtschaft empfindlich abhängig wäre (vergl. auch Tabelle 6.1-17, Abbildung 6.1-15). Die unterschiedliche Entwicklung der energieintensiven und der anderen Branchen in den beiden Szenarien ist in Abbildung 6.1-16 abgebildet.

Tabelle 6.1-17: Szenarienvergleich: Industrieproduktion (Abgrenzung der Energiebilanz), 2005 – 2050, in Mrd. € (Preise von 2000)

	Referenzszenario					Innovationsszenario				
	2005	2020	2030	2040	2050	2005	2020	2030	2040	2050
Gew. von Steinen, sonst. Bergbau	1,9	1,3	1,1	1,0	0,9	1,9	1,2	1,0	0,9	0,8
Ernährung und Tabak	37,3	37,0	36,3	35,7	37,0	37,3	37,0	36,4	35,9	37,2
Papiergewerbe	10,4	11,1	10,6	10,5	10,7	10,4	11,1	10,7	10,6	10,9
Grundstoffchemie	20,7	20,1	19,1	19,0	19,8	20,7	17,6	14,9	13,0	12,0
sonstige chemische Industrie	23,0	29,0	29,7	30,4	32,0	23,0	30,7	32,7	34,6	37,4
Gummi- und Kunststoffwaren	20,6	24,0	24,2	24,5	25,5	20,6	25,0	26,0	27,1	28,9
Glas, Keramik	5,2	6,3	5,9	5,7	5,7	5,2	6,6	6,4	6,4	6,7
Verarbeitung v.Steinen und Erden	8,0	7,9	7,8	7,7	8,0	8,0	8,2	8,2	8,4	8,9
Metallerzeugung	6,0	5,9	4,9	4,4	4,4	6,0	5,2	3,8	2,8	2,2
NE-Metalle, Giessereien	8,3	8,9	8,8	8,8	8,9	8,3	7,5	6,4	5,4	4,5
Metallbearbeitung	41,3	51,5	53,1	54,6	57,3	41,3	51,6	53,4	55,1	57,9
Maschinenbau	64,0	91,9	97,9	102,4	108,7	64,0	91,9	98,0	102,4	108,8
Fahrzeugbau	68,0	77,8	80,7	84,3	89,3	68,0	74,4	75,0	76,3	78,8
Sonstige Wirtschaftszweige	115,5	149,6	158,1	164,5	173,2	115,5	152,9	163,7	172,4	183,5
Gesamt Industrieproduktion	430,3	522,0	538,1	553,4	581,3	430,3	521,1	536,6	551,2	578,4

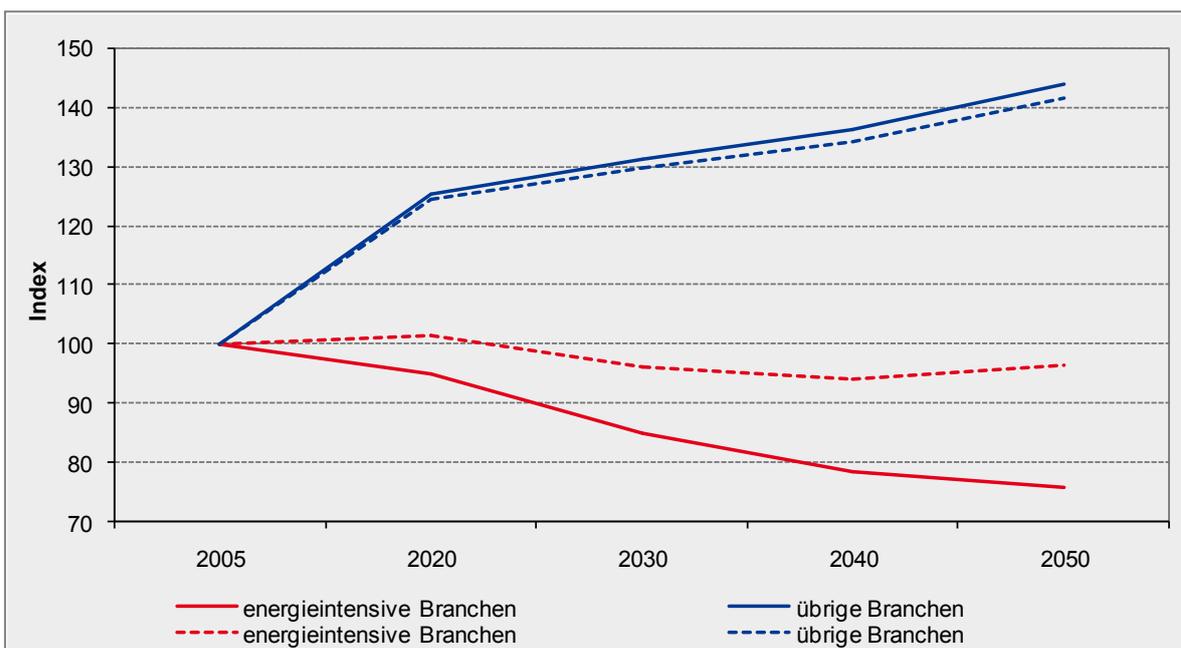
Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-15: Szenarienvergleich: Industrieproduktion nach Branchen 2005 und 2050, in Mrd. € (Preise von 2000)



Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-16: Szenarienvergleich: Industrieproduktion der energieintensiven Branchen und der übrigen Branchen, 2005 bis 2050, indiziert, Referenzszenario (gestrichelt), Innovationsszenario (durchgezogen)



Quelle: Prognos 2009

6.1.3.2 Endenergienachfrage

Der spezifische Energieverbrauch je Produktionswert sinkt in allen Branchen im Referenzszenario ab, im Durchschnitt liegt er 2050 bei 58 % des Wertes von 2005. Dies bedeutet eine durchschnittliche jährliche Effizienzsteigerung um ca. 1,2 %. Im Innovations-szenario sinkt der durchschnittliche spezifische Energieverbrauch bis 2050 auf 35 % des 2005er Wertes, das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Effizienzsteigerung um ca. 2,3 %.

Der spezifische Energieverbrauch verändert sich in den einzelnen Branchen unterschiedlich (vgl. Tabelle 6.1-18).

Tabelle 6.1-18: Szenarienvergleich: Spezifische Energieverbräuche in den Industriebranchen 2005 - 2050, in PJ/Mrd. €

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario				
		2020	2030	2040	2050	2005	2020	2030	2040	2050
Gew. von Steinen, sonst. Bergbau	10,3	7,5	6,8	6,1	5,5	10,3	5,7	4,5	3,7	3,4
Ernährung und Tabak	5,4	4,8	4,5	4,2	3,9	5,4	3,7	3,0	2,6	2,5
Papiergewerbe	21,1	20,2	19,4	18,7	18,0	21,1	16,2	14,1	13,1	12,9
Grundstoffchemie	17,5	14,3	13,6	13,0	12,5	17,5	11,4	9,9	9,1	9,0
sonstige chemische Industrie	3,4	3,1	2,8	2,6	2,4	3,4	2,3	1,9	1,7	1,6
Gummi- und Kunststoffwaren	3,7	3,4	3,2	3,0	2,9	3,7	2,6	2,2	2,0	1,9
Glas, Keramik	17,8	16,7	15,8	15,0	14,2	17,8	13,3	11,3	10,3	10,0
Verarbeitung v.Steinen und Erden	23,1	19,5	17,6	15,8	14,2	23,1	14,9	11,8	10,0	9,4
Metallerzeugung	89,0	80,0	76,1	73,3	69,6	89,0	71,7	65,2	61,8	59,4
NE-Metalle, Giessereien	16,8	14,2	13,5	12,8	12,1	16,8	11,4	9,8	8,9	8,7
Metallbearbeitung	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	2,5	1,8	1,5	1,3	1,3
Maschinenbau	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	1,2	0,8	0,7	0,6	0,6
Fahrzeugbau	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,9	1,2	1,0	0,9	0,9
Sonstige Wirtschaftszweige	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,8	1,2	1,0	0,9	0,9
Gesamt spez. Energieverbrauch	5,6	4,4	3,9	3,5	3,3	5,6	3,4	2,6	2,2	2,0

Quelle: Prognos 2009

In den energieintensiven Branchen sind die zusätzlichen spezifischen Einsparungen geringer als in den weniger energieintensiven Branchen. Dies liegt einerseits daran, dass es für Prozesse, die Prozesswärme und mechanische Energie benötigen, physikalische Untergrenzen gibt und weitere Effizienzsteigerungen vor allem in den Nebenprozessen „geholt“ werden müssen. Andererseits bedeutet Energie in den energieintensiven Branchen grundsätzlich einen spürbaren Kostenfaktor, an dem bereits seit einigen Jahren optimiert wird. Einsparungen im Kernprozess werden vor allem durch Prozess- und Materialinnovationen, weitere optimierte Steuerung und Miniaturisierung realisiert.

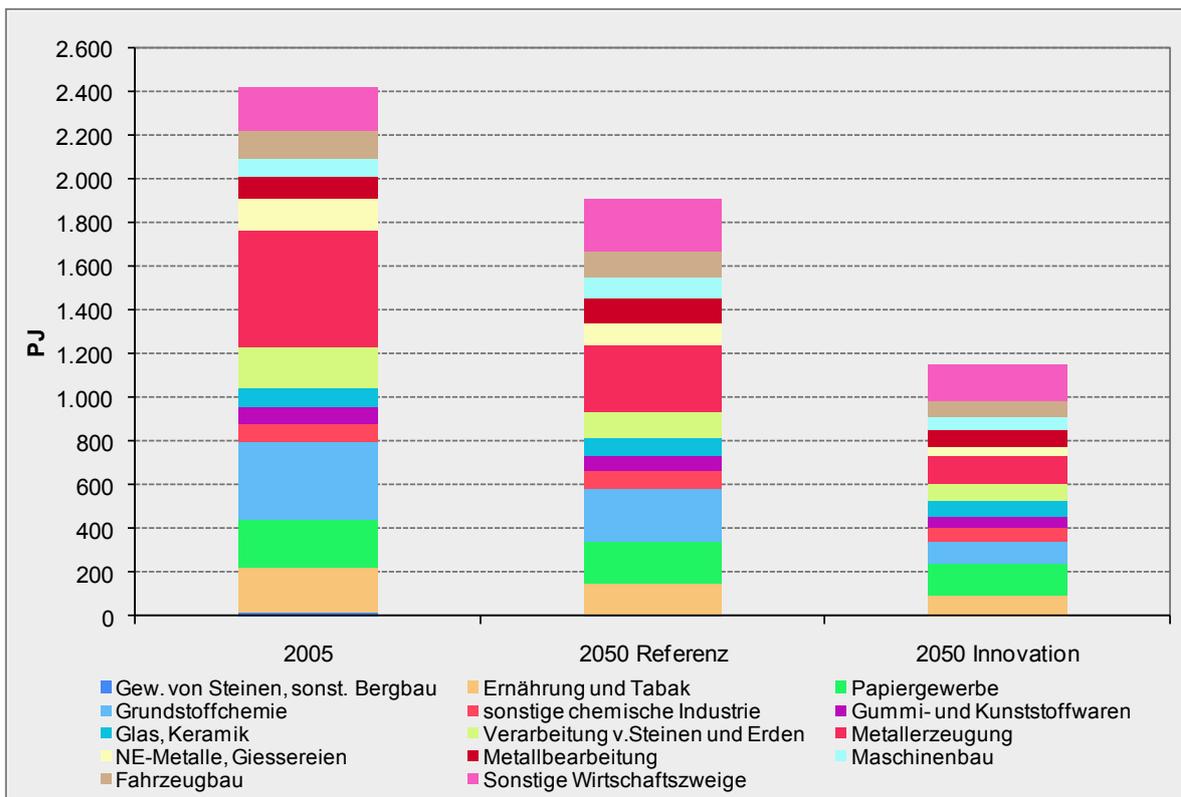
Damit ergibt sich der Endenergieverbrauch des Industriesektors nach Tabelle 6.1-19 und Abbildung 6.1-17:

Tabelle 6.1-19: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch im Sektor Industrie nach Branchen 2005 - 2050, in PJ

	Referenzszenario					Innovationsszenario				
	2005	2020	2030	2040	2050	2005	2020	2030	2040	2050
Gew. von Steinen, sonst. Bergbau	19	9	7	6	5	19	7	4	3	3
Ernährung und Tabak	201	179	163	149	143	201	136	109	95	94
Papiergewerbe	220	223	205	196	193	220	181	151	140	141
Grundstoffchemie	362	287	260	247	246	362	201	147	119	108
sonstige chemische Industrie	77	89	84	80	78	77	71	61	57	59
Gummi- und Kunststoffwaren	77	81	77	74	73	77	65	56	53	55
Glas, Keramik	92	105	94	85	81	92	87	73	66	67
Verarbeitung v.Steinen und Erden	185	154	136	122	113	185	122	97	84	83
Metallerzeugung	537	468	373	325	303	537	373	245	173	130
NE-Metalle, Giessereien	140	127	119	112	108	140	86	63	48	39
Metallbearbeitung	104	122	118	114	113	104	93	79	73	75
Maschinenbau	79	98	98	96	95	79	74	64	59	61
Fahrzeugbau	127	128	125	124	123	127	93	77	70	71
Sonstige Wirtschaftszweige	203	232	234	232	234	203	182	164	158	165
Gesamt Endenergienachfrage	2.424	2.301	2.094	1.961	1.909	2.424	1.769	1.391	1.199	1.149

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-17: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch des Industriesektors in den Jahren 2005 und 2050, nach Branchen, in PJ



Quelle: Prognos 2009

Im Referenzszenario wird die Endenergienachfrage insgesamt um 21 % gesenkt, während sie im Innovationsszenario um 53 % zurück geht. Das Gewicht der energieintensiven Branchen am Gesamtverbrauch nimmt insgesamt ab.

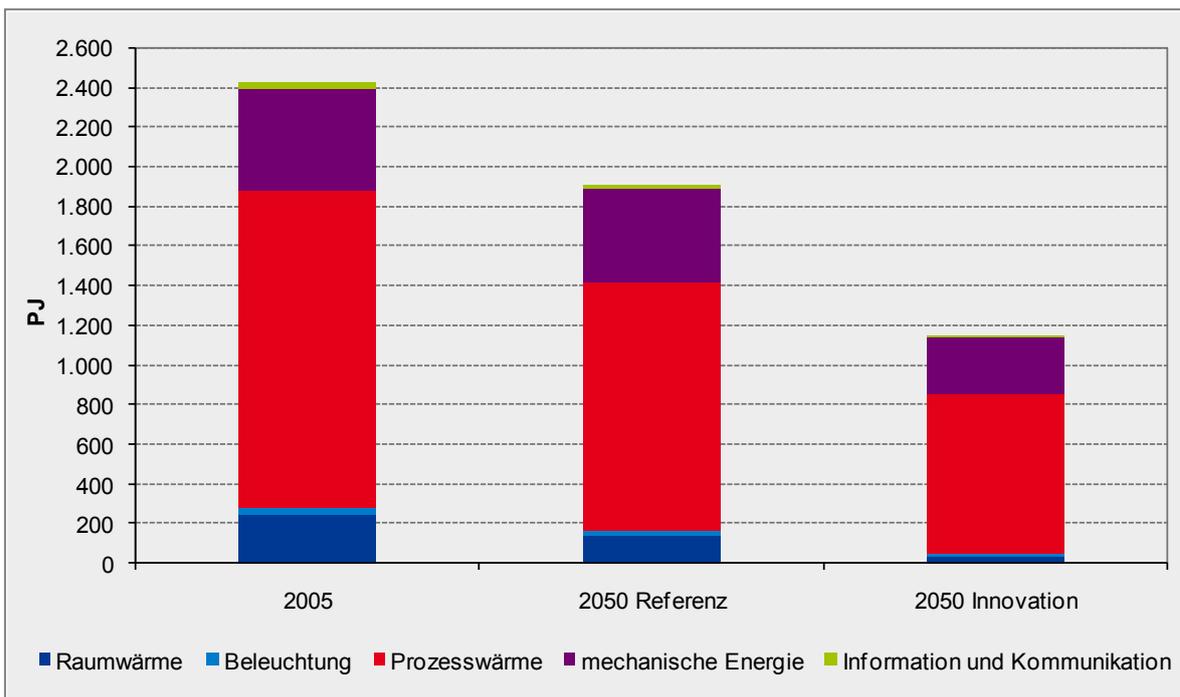
Der Vergleich der Endenergienachfrage im Industriesektor nach Verwendungszwecken ist in Tabelle 6.1-20 und Abbildung 6.1-18 dargestellt. Es dominieren weiterhin die Verwendungszwecke Prozesswärme sowie mechanische Energie, die benötigt werden, um materielle Dinge umzuwandeln sowie zu be- und verarbeiten. Der relative Anteil der Prozesswärme steigt im Innovationsszenario von 66 % im Jahr 2005 auf 70 % im Jahr 2050. Dies liegt daran, dass in allen anderen Bereichen, insbesondere Raumwärme, Beleuchtung und Hilfsenergie (Motoren, Pumpen, Druckluft) die Einsparpotenziale größer sind.

Tabelle 6.1-20: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch im Sektor Industrie nach Verwendungszwecken 2005 - 2050, in PJ

	Referenzszenario					Innovationsszenario				
	2005	2020	2030	2040	2050	2005	2020	2030	2040	2050
Raumwärme	240	182	162	147	138	240	89	53	38	35
Prozesswärme	1.597	1.524	1.376	1.283	1.248	1.597	1.239	983	844	801
mechanische Energie	516	527	496	475	469	516	403	329	295	293
Information und Kommunikation	33	31	27	24	23	33	18	12	10	10
Beleuchtung	39	37	34	31	30	39	20	14	11	11
Gesamt Endenergienachfrage	2.424	2.301	2.094	1.961	1.909	2.424	1.769	1.391	1.199	1.149

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.1-18: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch des Industriesektors nach Verwendungszwecken, in den Jahren 2005 und 2050, in PJ



Quelle: Prognos 2009

Der Endenergieverbrauch des Industriesektors nach Energieträgern ist in Tabelle 6.1-21 und Abbildung 6.1-19 dargestellt. Insbesondere in der Metallurgie bleibt auch im Innovationsszenario ein Anteil an Kohlen zum Einsatz für die direkte Produktion von Hochtemperatur-Prozesswärme sowie Reduktionsprozesse im Mix erhalten. Hauptenergieträger in der Prozesswärmeproduktion ist Gas, das hocheffizient genutzt wird.

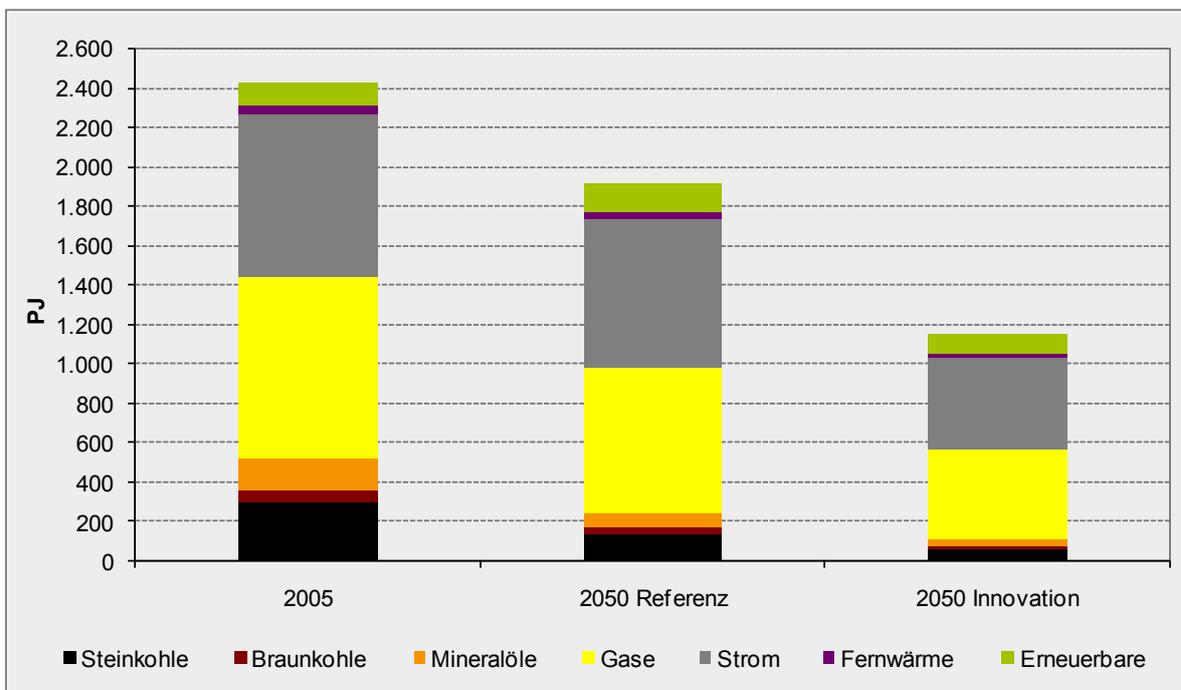
Tabelle 6.1-21: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch im Sektor Industrie nach Energieträgern 2005 - 2050, in PJ

	Referenzszenario					Innovationsszenario				
	2005	2020	2030	2040	2050	2005	2020	2030	2040	2050
Steinkohle	296	252	193	158	137	296	206	130	83	55
Braunkohle	59	48	41	35	32	59	38	29	24	22
Mineralöle	162	132	107	87	72	162	93	61	43	35
darunter: Heizöl leicht	77	63	54	45	38	77	44	31	23	20
Heizöl schwer	67	55	42	33	27	67	39	24	16	11
übrige Mineralölprodukte	19	14	11	9	7	19	10	7	5	4
Gase	921	883	807	759	742	921	677	536	467	451
darunter: Naturgase	800	780	724	687	674	800	597	484	429	422
Flüssiggas, Raffineriegas	11	13	11	9	8	11	9	6	4	3
Kokereigas	33	27	22	19	18	33	21	14	10	8
Gichtgas	77	63	50	44	42	77	49	33	24	18
Erneuerbare	118	129	132	137	144	118	103	96	97	104
Strom	823	814	773	748	746	823	623	517	467	466
Fernwärme	45	43	40	37	35	45	28	21	17	16
Gesamt Endenergienachfrage	2.424	2.301	2.094	1.961	1.909	2.424	1.769	1.391	1.199	1.149

Quelle: Prognos 2009

Die Bedeutung des Stroms im gesamten Energieträgermix nimmt geringfügig zu – von 34 % im Jahr 2005 auf 39 % im Jahr 2050 im Referenzszenario und auf 41 % im Innovationsszenario. Dieser vergleichsweise moderate Anstieg hat seinen Grund in konsequenten Effizienzmaßnahmen bei den Hilfsenergien sowie in der Reduktion des Niedertemperaturwärmebedarfs, so dass kaum Substitutionen in den Strom hinein erfolgen.

Abbildung 6.1-19: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch des Industriesektors nach Energieträgern in den Jahren 2005 und 2050, in PJ



Quelle: Prognos 2009

Die Möglichkeiten zum direkten Einsatz von erneuerbaren Energien sind in der Industrie beschränkt: Hauptsächlich kommen Solarwärme, Umgebungswärme und Geothermie zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme und in standortgünstigen Ausnahmefällen

Geothermie zur Erzeugung höhergradiger Wärme oder in der KWK in Frage. Insbesondere im Innovationsszenario werden die anfallenden Abfälle und biogenen Reststoffe bewusst nicht im Industriesektor energetisch verwertet, sondern im Verkehrssektor genutzt. Daher steigt der Anteil Erneuerbarer zwar von 5 % im Jahr 2005 auf 8 % im Jahr 2050 im Referenzszenario und auf 9 % im Innovationsszenario, bleibt aber aus technischen Gründen begrenzt.

6.1.4 Die Endenergienachfrage des Verkehrssektors

6.1.4.1 Rahmendaten, Verkehrsleistungen

Die Verkehrsleistungen unterschieden sich in den beiden Szenarien nur marginal. Deutschland bleibt ein Transitland für den internationalen Handel und nimmt als weiterhin exportorientiertes Land aktiv daran teil. Die Güterverkehrsleistungen wächst zwischen 2005 und 2050 in beiden Szenarien um über 80 %.

Die Personenverkehrsleistung hängt vor allem von Pendel- und Freizeitverkehren ab und entwickelt sich in der weiterhin unterstellten Situation einer Sättigung mit Fahrzeugen und Zeitbudgets für Mobilität in Relation zur erwachsenen Bevölkerung. Im Innovationszenario wird die Personenverkehrsleistung zwischen 2005 und 2050 um ca. 8 % verringert, während sie im Referenzszenario nur um 6 % abnimmt. Hierbei werden im Innovationsszenario geringfügig verringerte Pendelverkehre, ein bewussteres Freizeitverkehrsverhalten sowie ein Umstieg auf Langsamverkehr bei Kurzstrecken unterstellt.

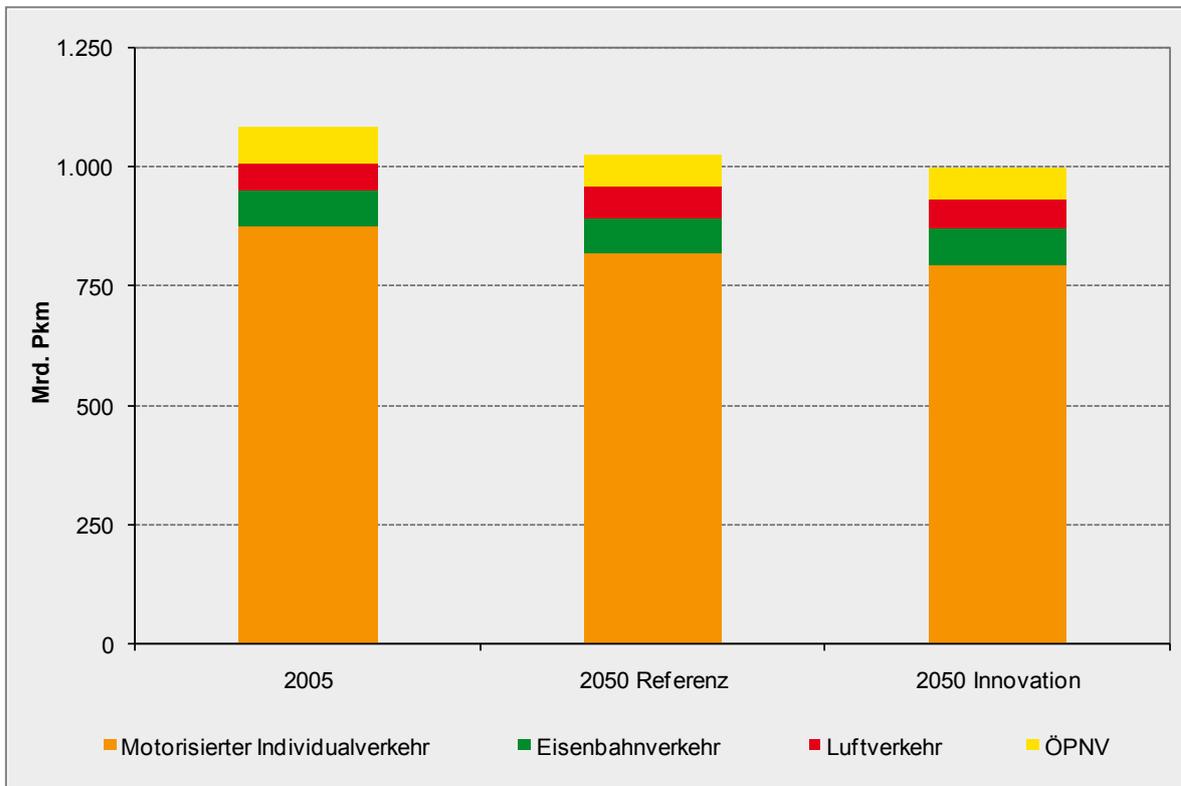
Verändert wird in den Szenarien der Mix der Verkehrsträger: Beim Personenverkehr erscheint die Verlagerung auf die Schiene in signifikantem Ausmaß Fachleuten – auch angesichts der demographischen Entwicklung – nahezu unmöglich. Bis 2050 werden ca. 0.5 % Verringerung des Anteils der Straße an den Personenverkehrsleistungen im Szenarienvergleich als realistisch angenommen. Tabelle 6.1-22 weist die Personenverkehrsleistungen im Szenarienvergleich aus, Tabelle 6.1-23 die Güterverkehrsleistungen.

Tabelle 6.1-22: Szenarienvergleich: Personenverkehrsleistungen nach Verkehrsträgern, in Mrd. Personenkilometern, 2005 – 2050

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Motorisierter Individualverkehr	876	889	884	860	819	880	867	839	793
PKW	857	871	867	845	805	862	851	824	781
Zweiräder	19	18	17	16	14	18	16	14	13
Eisenbahnverkehr	77	81	81	78	74	81	81	79	76
Schienennahverkehr	43	44	43	42	40	44	44	43	41
Schienenfernverkehr	34	37	37	36	34	36	37	36	35
ÖPNV	79	74	70	68	64	74	70	68	66
Strassen-, Stadt-, U-Bahnen	15	16	15	15	14	16	15	15	14
Busse	63	58	55	53	50	58	55	53	51
Luftverkehr	53	68	69	68	66	67	68	66	63
Insgesamt Personenverkehrslstg.	1.084	1.111	1.104	1.075	1.023	1.101	1.087	1.052	998
Anteile in %									
Motorisierter Individualverkehr	80,8	80,0	80,0	80,0	80,0	79,9	79,8	79,7	79,5
Eisenbahnverkehr	7,1	7,3	7,3	7,3	7,2	7,3	7,5	7,5	7,6
ÖPNV	7,2	6,6	6,4	6,3	6,3	6,7	6,5	6,5	6,6
Luftverkehr	4,9	6,1	6,3	6,4	6,4	6,1	6,2	6,3	6,3

Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Abbildung 6.1-20: Szenarienvergleich: Personenverkehrsleistungen nach Verkehrsträgern, 2005 und 2050, in Mrd. Personenkilometern



Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

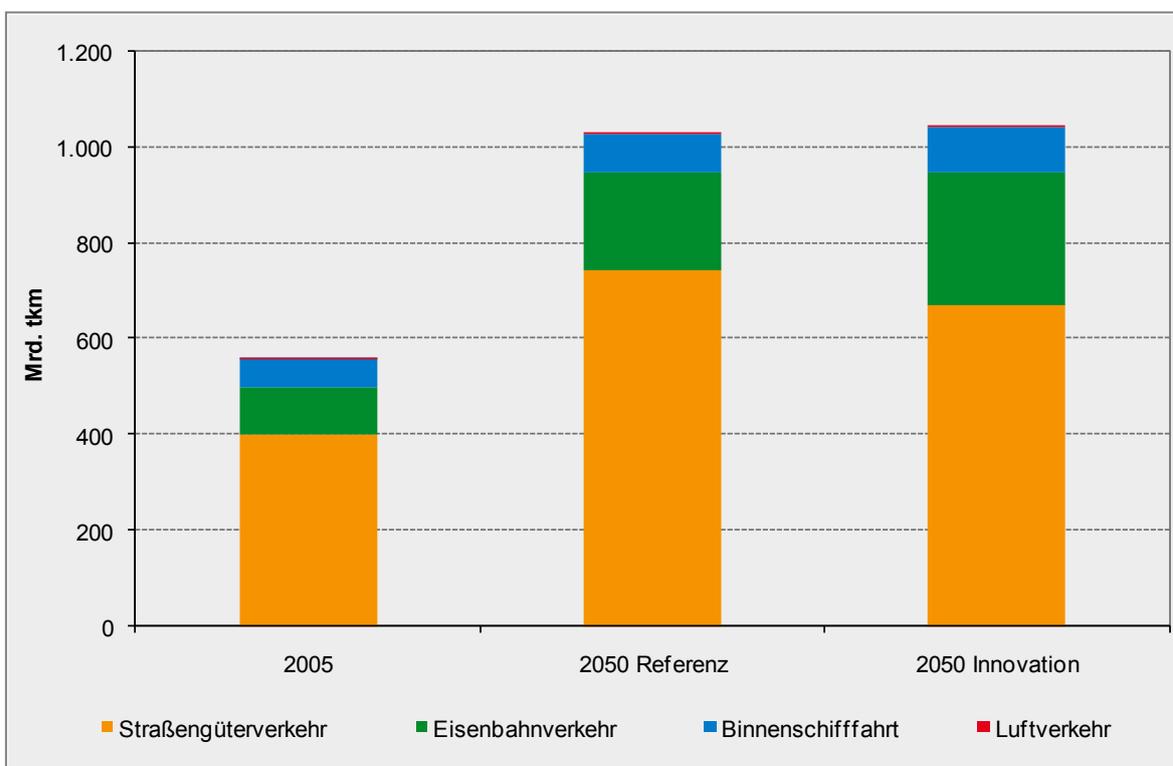
Im Innovationsszenario wird insbesondere im Güterverkehr der Anteil der Schiene an den Verkehrsleistungen im Vergleich zum Referenzszenario in 2050 um gut ein Drittel erhöht. Dies erfolgt unter der Annahme deutlich verbesserter Auslastungen des vorhandenen Netzes. Eine Ergänzung der Schieneninfrastruktur um ein „drittes Gleis“ wird nicht unterstellt. Die Verlagerung auf die Schiene zieht allerdings neue Verteilverkehre, v.a. auf der Straße nach sich, so dass die Güterverkehrsleistungen im Innovationsszenario 2050 im Vergleich zum Referenzszenario geringfügig (ca. 1,3 %) höher liegen. Neben der Schiene profitiert die Binnenschifffahrt von einer Verlagerung: Wachsen die Verkehrsleistungen auf dem Wasser im Referenzszenario zwischen 2005 und 2050 um ca. 20 %, so nehmen sie im Innovationsszenario um 48 % zu.

Tabelle 6.1-23: Szenarienvergleich: Güterverkehrsleistungen, in Mrd. Tonnenkilometern, 2005 – 2050

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Straßengüterverkehr	403	565	634	684	744	550	604	635	671
deutsche Lkw/Sattelzugmaschinen	272	365	406	441	533	355	387	409	434
Fernverkehr	196	285	326	360	452	275	307	328	353
Nah-/Regionalverkehr	75	80	80	80	81	80	80	80	81
ausländische Lkw/Sattelzugmaschinen	131	199	228	243	211	195	217	226	237
Eisenbahnverkehr	95	141	162	182	206	156	192	232	278
Binnenschifffahrt	64	67	72	75	79	71	78	85	95
Luftverkehr	1	2	2	3	4	2	2	3	3
Insgesamt Güterverkehrsleistungen	563	775	869	944	1.033	779	876	953	1.047
Anteile in %									
Straßenverkehr	71,5	72,9	72,9	72,4	72,1	70,6	69,0	66,6	64,1
Eisenbahnverkehr	16,9	18,2	18,6	19,3	19,9	20,1	21,9	24,3	26,5
Binnenschifffahrt	11,4	8,7	8,3	8,0	7,6	9,1	8,9	8,9	9,1
Luftverkehr	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3

Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Abbildung 6.1-21: Szenarienvergleich: Güterverkehrsleistungen nach Verkehrsträgern, 2005 und 2050, in Mrd. Tonnenkilometern



Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

6.1.4.2 Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs

Die wesentlichen den Energieverbrauch bestimmenden Faktoren im Verkehrssektor sind die Fahrzeugflotte mit dem Technologishift zur Elektrifizierung im motorisierten Personenverkehr sowie die sukzessive Substitution von fossilen durch biogene Kraftstoffe, insbesondere im Güterverkehr.

Im **Personenverkehr** wird im Referenzszenario vor allem der konventionelle Fahrzeugpark weiterhin moderat verbessert, die Substitution von Benzin- und Diesel-PKW nimmt zu. Gasantriebe sowie teil- und später vollelektrische Antriebe werden allmählich eingeführt, machen aber insgesamt deutlich weniger als 50 % des gesamten Fahrzeugbestandes aus. Im Innovationsszenario hingegen wird die Einführung von Elektro-PKW und das Verschwinden von reinen benzin- oder dieselpetriebenen PKW als energie- und verkehrspolitische Strategie umgesetzt. Damit sind 2050 zwar noch einige Dieselfahrzeuge (aufgrund ihrer Langlebigkeit) im Park, die mit Biokraftstoffen betrieben werden. Sie machen aber weniger als 20 % des Bestandes im Referenzszenario aus. Den Hauptanteil stellen Hybridantriebe, mit Biokraftstoffen betrieben, reine Elektrofahrzeuge und Plug-In-Hybride. Reine wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-PKW haben 2050 keinen signifikanten Anteil im Mix. Es ist unwahrscheinlich, dass bis dahin die Probleme der Wasserstoffinfrastruktur gelöst sind, der Aufbau einer Strom-Infrastruktur erscheint heute realistischer. Die Bestimmungsgrößen für den Energieverbrauch von PKW und Kombis sind in Tabelle 6.1-24 zusammen gefasst.

Tabelle 6.1-24: Szenarienvergleich: Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs von PKW und Kombifahrzeugen, 2005 – 2050

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Fahrzeugbestand (Tsd.)	45.521	48.491	48.739	47.835	45.828	48.491	48.739	47.835	45.828
Benzin, ohne Hybrid	36.050	29.078	24.025	16.382	7.915	26.999	14.624	5.253	0
Benzin, Hybrid	25	784	4.057	8.197	10.593	4.134	17.033	19.223	16.288
Dieselantrieb	9.392	17.314	17.560	15.239	10.823	15.840	10.255	5.401	1.739
Erdgasantrieb	20	493	815	1.091	1.640	507	1.330	2.429	2.805
Flüssiggasantrieb	32	457	710	1.064	1.570	510	1.312	2.423	2.800
Elektroantrieb	2	158	624	2.659	6.020	212	1.824	5.456	8.401
Plug-in Hybridantrieb	0	204	944	3.070	6.113	287	2.358	7.519	12.640
Brennstoffzellenantrieb	0	2	3	132	1.154	2	3	132	1.154
Jahresfahrleistung (Tsd. Fzkm/Fz)	12,8	12,4	12,4	12,4	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9
Benzin, ohne Hybrid	10,9	9,4	9,9	10,8	11,6	9,7	11,1	11,5	11,8
Benzin, Hybrid	8,1	8,4	9,8	10,8	11,6	8,6	11,0	11,5	11,8
Dieselantrieb	19,9	17,6	16,5	15,4	14,4	17,5	16,3	14,7	13,2
Erdgasantrieb	15,7	16,6	16,5	15,4	14,4	16,5	16,3	14,7	13,2
Flüssiggasantrieb	15,7	16,6	16,5	15,4	14,4	16,5	16,3	14,7	13,2
Elektroantrieb	3,2	4,6	7,3	10,2	11,5	4,7	8,2	10,9	11,7
Plug-in Hybridantrieb	0,0	4,6	7,3	10,2	11,5	4,7	8,2	10,9	11,7
Brennstoffzellenantrieb	1,5	2,7	3,9	5,3	6,8	2,8	4,3	5,6	7,0
Gesamtfahrleistung (Mrd. Fzkm)	581,7	602,0	605,5	591,3	564,7	595,0	592,5	573,8	543,4
Benzin, ohne Hybrid	393,9	272,9	238,3	176,4	91,8	262,4	161,9	60,3	0,0
Benzin, Hybrid	0,2	6,5	39,8	88,3	122,8	35,8	186,7	220,7	191,9
Dieselantrieb	186,7	305,1	290,6	234,6	156,0	277,8	166,8	79,7	22,9
Erdgasantrieb	0,3	8,2	13,5	16,8	23,6	8,4	21,6	35,8	37,0
Flüssiggasantrieb	0,5	7,6	11,8	16,4	22,6	8,4	21,3	35,7	37,0
Elektroantrieb	0,0	0,7	4,6	27,0	69,4	1,0	14,9	59,2	98,5
Plug-in Hybridantrieb	0,0	0,9	6,9	31,2	70,5	1,4	19,2	81,6	148,1
Brennstoffzellenantrieb	0,0	0,0	0,0	0,7	7,9	0,0	0,0	0,7	8,0
Spezifischer Verbrauch									
PKW (Benzin, Diesel, Hybrid; l/100 km)	7,8	6,0	5,2	4,9	4,6	5,8	4,6	4,1	3,9
Benzin, ohne Hybrid (l/100 km)	8,3	6,7	5,8	5,4	5,0	6,4	5,2	4,7	4,2
Benzin, Hybrid (l/100 km)	6,2	5,0	4,4	4,0	3,8	4,8	3,9	3,5	3,2
Dieselantrieb (l/100 km)	6,8	5,4	4,9	4,7	4,5	5,4	4,8	4,4	4,3
Erdgasantrieb (kg/100km)	5,6	4,5	3,9	3,7	3,4	4,3	3,5	3,2	2,9
Flüssiggasantrieb (kg/100km)	6,1	4,9	4,3	4,0	3,7	4,7	3,8	3,4	3,1
Elektroantrieb (kWh / 100 km)	20,6	17,0	15,0	14,2	14,0	16,5	14,5	14,0	13,9
Plug-in Hybridantrieb (kWh / 100 km)		24,5	21,5	20,1	19,2	23,5	20,0	18,6	17,7
Brennstoffzelle (kg H2 / 100 km)	1,8	1,4	1,2	1,2	1,1	1,4	1,2	1,2	1,1
Besetzungsgrad (Pkm/Fzkm)	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4

Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Die Jahresfahrleistungen im Innovationsszenario liegen als Folge des reduzierten individuellen motorisierten Personenverkehrs geringfügig niedriger als im Referenzszenario (um ca. ein halbes Prozent). Daraus folgen ebenfalls geringfügig verringerte Gesamtfahrleistungen.

Die spezifischen Verbräuche sind im Innovationsszenario gegenüber dem Referenzszenario deutlich durchweg niedriger – bei den verbrennungsmotorisch betriebenen Fahrzeugen als Folge verschärfter verkehrspolitischer Strategien, bei den teil- oder vollelektrisch betriebenen Fahrzeugen als Folge von Marktentwicklung und Skaleneffekten. Hierbei ist zu beachten, dass es sich um den aggregierten Durchschnittsverbrauch der jeweiligen

Flotten handelt, nicht nur um Verbräuche von Neuwagen. Im Durchschnitt über die gesamte Flotte sinkt der Energieverbrauch je Fahrzeugkilometer im Referenzszenario um 51 %, im Innovationsszenario um 65 %. Umgerechnet auf das derzeit für die EU als Effizienzstandard bei PKW festgelegte Maß der CO₂-Emissionen je Fahrzeugkilometer sinken die mittleren Emissionen von 190 g/Fzkm im Jahr 2005 bis 2050 auf 82 g/Fzkm im Referenzszenario und auf 48 g/Fzkm im Innovationsszenario. Hierbei wurden die Biokraftstoffe mit dem CO₂-Faktor der fossilen Kraftstoffe bewertet.

Tabelle 6.1-25: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch der PKW und Kombis nach Antriebsarten, in PJ, 2005 – 2050

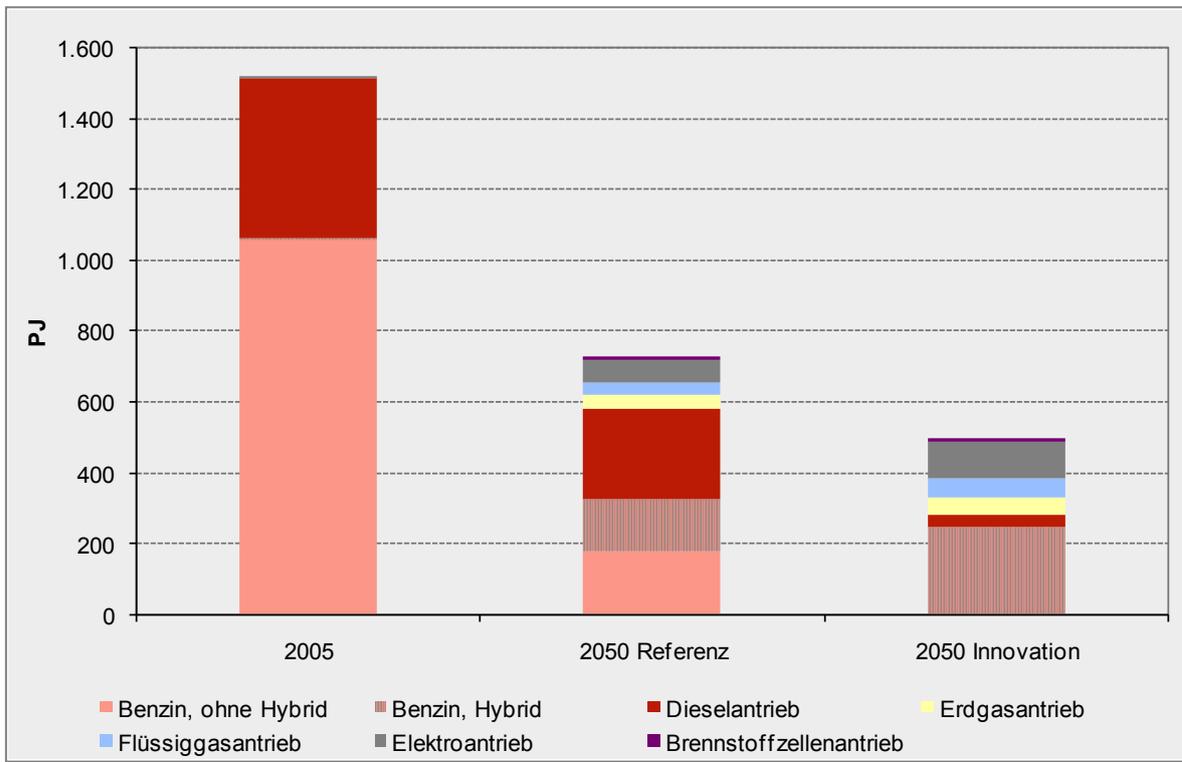
	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Benzin, ohne Hybrid	1.062	598	456	322	174	546	276	92	0
Benzin, Hybrid	0	11	57	116	150	56	245	278	242
Dieselantrieb	457	590	507	398	253	538	286	126	35
Erdgasantrieb	1	19	27	31	40	18	38	57	53
Flüssiggasantrieb	1	17	23	30	38	18	38	56	53
Elektroantrieb	0	1	5	25	60	1	15	59	101
Brennstoffzellenantrieb	0	0	0	1	10	0	0	1	10
Gesamt Endenergieverbrauch	1.521	1.235	1.074	923	726	1.177	898	669	495
Veränderung in % p.a.		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Benzin, ohne Hybrid		-3,4	-2,6	-3,4	-6,0	-4,5	-7,7	-10,4	-100,0
Benzin, Hybrid		25,9	15,5	7,5	2,6	52,6	9,7	1,3	-1,4
Dieselantrieb		-0,3	-1,6	-2,4	-4,4	-2,1	-6,8	-7,9	-11,9
Erdgasantrieb		10,1	1,8	1,5	2,7	9,8	7,2	4,0	-0,6
Flüssiggasantrieb		4,4	2,1	2,6	2,5	5,9	7,1	4,1	-0,6
Elektroantrieb		-	16,3	17,3	9,1	-	26,4	14,8	5,6
Brennstoffzellenantrieb		-	-	-	26,5	-	5,0	48,9	25,9
Gesamt Endenergieverbrauch		-1,6	-1,2	-1,5	-2,4	-2,2	-2,7	-2,9	-3,0

Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Damit folgt der nach Antriebsarten aufgeschlüsselte Endenergieverbrauch für die PKW- und Kombiflotte, der in Tabelle 6.1-25 und Abbildung 6.1-22 gezeigt ist. Hier lässt sich ablesen, dass die „Hybridisierung“, Teil- und Vollelektrifizierung im Innovationsszenario 2050 insgesamt zu einer Verringerung des Energieverbrauchs um 31 % gegenüber dem Referenzszenario führt, obgleich die Fahrleistungen deutlich weniger abnehmen (nur um 3 %).

Im **Güterverkehr** liegen die Gesamtfahrleistungen im Innovationsszenario 2050 um 5 % tiefer als im Referenzszenario, bei gleichzeitig um 8 % verringerten Fahrzeugbeständen. Die spezifischen Verbräuche liegen 2050 in allen Fahrzeug- und Antriebsklassen im Innovationsszenario gegenüber der Referenz im Mittel um 7 % niedriger (Tabelle 6.1-26).

Abbildung 6.1-22: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch der PKW und Kombis nach Antriebsarten, 2005 und 2050, in PJ



Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Tabelle 6.1-26: Szenarienvergleich: Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs von Güterfahrzeugen, 2005 – 2050

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Fahrzeugbestand (Tsd.)	4.424	4.872	5.108	5.272	5.496	4.742	4.873	4.936	5.053
Benzinantrieb	308	144	105	79	53	139	100	74	50
Dieselantrieb	4.107	4.648	4.880	5.026	5.228	4.499	4.603	4.652	4.753
Erdgasantrieb	6	62	93	125	160	86	141	171	201
Flüssiggasantrieb	2	12	19	26	33	11	17	24	30
Elektroantrieb	2	7	12	16	21	7	11	15	20
Jahresfahrleistung (Tsd. Fzkm/Fz)	19,3	20,2	20,0	19,9	19,8	20,4	20,5	20,5	20,5
Benzinantrieb	10,4	10,3	9,9	8,8	6,8	10,6	10,4	9,4	7,3
Dieselantrieb	20,0	20,6	20,5	20,4	20,3	20,9	21,0	21,1	21,1
Erdgasantrieb	10,9	11,7	11,6	11,4	11,3	12,0	12,1	12,1	12,2
Flüssiggasantrieb	9,5	11,1	11,1	11,1	11,0	11,4	11,7	11,9	12,0
Elektroantrieb	8,6	8,8	8,8	8,7	8,6	9,0	9,2	9,2	9,2
Gesamtfahrleistung (Mrd. Fzkm)	85,5	98,2	102,3	105,2	109,0	96,8	99,9	101,4	103,7
Benzinantrieb	3,2	1,5	1,0	0,7	0,4	1,5	1,0	0,7	0,4
Dieselantrieb	82,2	95,8	99,8	102,6	106,3	94,1	96,9	98,2	100,4
Erdgasantrieb	0,1	0,7	1,1	1,4	1,8	1,0	1,7	2,1	2,5
Flüssiggasantrieb	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4
Elektroantrieb	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
Spezifischer Verbrauch (PJ/ Mrd. km)	8,3	7,3	6,9	6,6	6,4	7,1	6,6	6,2	6,0
Benzinantrieb (l/100 km)	13,7	11,7	10,7	10,6	11,0	11,4	10,0	9,4	9,5
Dieselantrieb (l/100 km)	23,5	20,4	19,4	18,4	18,0	20,1	18,6	17,5	16,8
Erdgasantrieb (kg/100 km)	15,8	14,2	13,3	12,9	12,8	13,8	12,4	11,5	11,1
Flüssiggasantrieb (kg/100 km)	16,6	15,4	14,5	14,1	14,0	14,9	13,5	12,5	12,2
Elektroantrieb (kWh/100 km)	56,0	50,4	47,5	44,3	42,8	49,6	46,1	43,0	41,2
mittlerer Ladefaktor (tkm/Fzkm)	4,3	5,1	5,5	5,9	7,0	5,0	5,4	5,7	6,0

Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Damit folgt für den Straßengüterverkehr im Innovationsszenario in 2050 gegenüber dem Referenzszenario eine Absenkung des Endenergieverbrauchs um 11 %. Dieser Effekt ist hauptsächlich auf die verbesserte Effizienz der Antriebe zurückzuführen; in den Anteilen der Antriebsarten am Fahrzeugpark verändert sich nur sehr wenig (Tabelle 6.1-27).

Tabelle 6.1-27: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch des Straßengüterverkehrs, 2005 – 2050, in PJ

	2005	Referenzszenario				Referenzszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Benzinantrieb	13,8	5,4	3,5	2,4	1,3	5,2	3,3	2,1	1,1
Dieselantrieb	660,6	667,7	674,6	673,4	687,2	646,2	629,0	610,5	606,4
Erdgasantrieb	0,5	4,7	6,6	8,5	10,6	6,5	9,7	10,9	12,5
Flüssiggasantrieb	0,1	1,0	1,5	2,0	2,6	1,0	1,4	1,8	2,2
Elektroantrieb	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3
Brennstoffzellenantrieb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt Endenergieverbrauch	675,0	678,9	686,4	686,6	702,0	659,0	643,6	625,5	622,5
Veränderung in % p.a.		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Benzinantrieb		-6,0	-3,3	-3,8	-6,0	-6,3	-3,6	-4,3	-6,1
Dieselantrieb		0,2	-0,2	0,0	0,2	0,0	-0,5	-0,3	-0,1
Erdgasantrieb		5,5	2,9	2,6	2,3	7,9	3,1	1,1	1,4
Flüssiggasantrieb		7,0	3,6	3,0	2,5	6,4	3,2	2,4	2,2
Elektroantrieb		-	3,2	2,6	2,3	-	3,3	2,5	2,2
Brennstoffzellenantrieb		-	-	-	-	-	-	-	-
Gesamt Endenergieverbrauch		0,2	-0,2	0,0	0,2	0,0	-0,5	-0,3	0,0

Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Im Straßenverkehr insgesamt weist das Innovationszenario einen um 21 % geringeren Verbrauch aus als das Referenzszenario. Hierzu tragen vor allem die strategische Veränderung der PKW-Flotte sowie die zusätzlichen Effizienzsteigerungen bei. Auf der Ebene der Kraftstoffe werden Benzin und Diesel im Referenzszenario bis 2050 zu ca. 25 % durch Biokraftstoffe ersetzt, im Innovationsszenario vollständig (Tabelle 6.1-28).

Tabelle 6.1-28: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch des gesamten Straßenverkehrs, 2005 – 2050, in PJ

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Benzin	1.025	614	513	435	316	609	524	368	236
Dieselantrieb	1.124	1.281	1.204	1.094	962	1.207	937	757	661
Erdgasantrieb	2	24	34	41	52	26	50	69	68
Flüssiggasantrieb	2	18	25	32	41	19	39	59	56
Elektroantrieb	0	1	5	25	60	1	15	59	101
Brennstoffzellenantrieb	0	0	0	1	10	0	0	1	10
Gesamt Endenergieverbrauch	2.152	1.939	1.782	1.628	1.442	1.862	1.565	1.313	1.133
nachrichtlich: Biokraftstoff	69	181	251	300	317	255	494	617	732
Veränderung in % p.a.		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Benzin		-3,2	-1,3	-1,6	-3,1	-2,8	-1,7	-3,5	-4,3
Dieselantrieb		0,0	-0,8	-1,0	-1,3	-1,0	-2,7	-2,1	-1,3
Erdgasantrieb		8,7	2,0	1,7	2,6	9,0	6,1	3,4	-0,2
Flüssiggasantrieb		-	1,8	2,6	2,7	-	6,7	2,1	-1,4
Elektroantrieb		-	14,7	16,2	6,6	-	25,2	10,5	4,0
Brennstoffzellenantrieb		-	5,8	62,2	16,4	-	5,6	62,0	15,8
Gesamt Endenergieverbrauch		-1,0	-0,8	-0,9	-1,2	-1,5	-1,8	-1,7	-1,4

Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

6.1.4.3 Endenergieverbrauch des Gesamtverkehrs

Der Endenergieverbrauch des Gesamtverkehrs wird in beiden Szenarien bis 2050 durch den Straßenverkehr dominiert. Daher wird der Schienen-, Binnenschiffs- und Güterverkehr für den Szenarienvergleich im Gesamtzusammenhang dargestellt.

Der Endenergieverbrauch nach Verkehrs- und Energieträgern ist in Tabelle 6.1-29 dargestellt.

Tabelle 6.1-29: Szenarienvergleich: Endenergieverbrauch des gesamten Verkehrssektors von 2005 – 2050, nach Verkehrsträgern und Energieträgern, in PJ

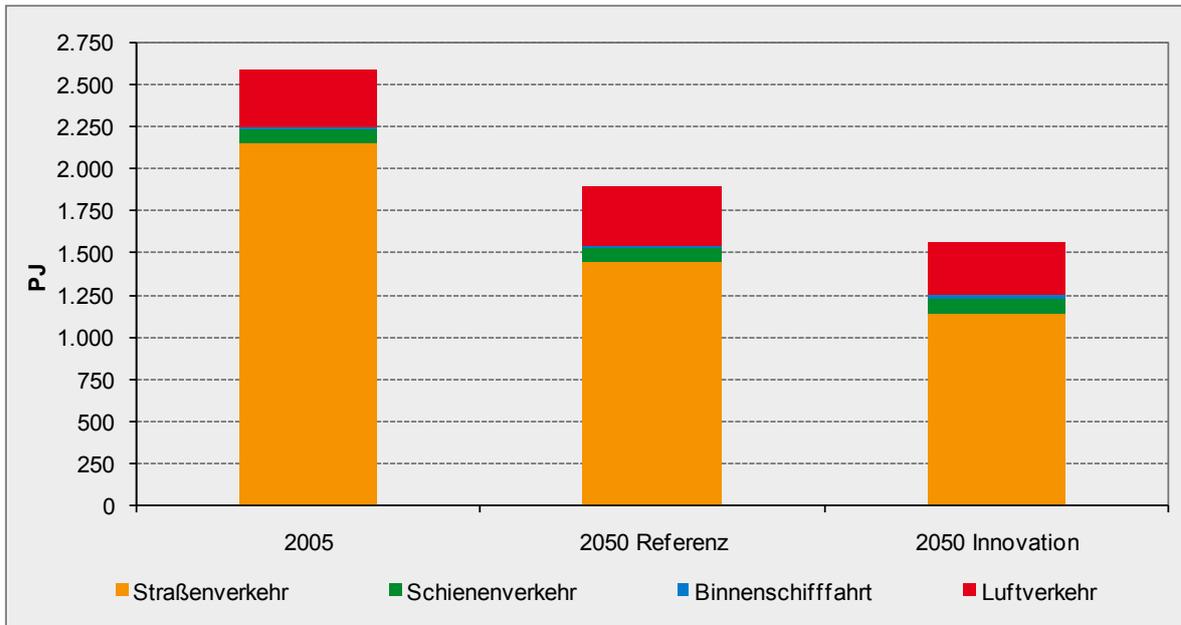
	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Straßenverkehr									
Benzin	1.025	614	513	435	316	609	524	368	236
Benzinersatz aus Biomasse	9	46	64	76	71	87	228	257	236
Benzin aus Mineralöl	1.015	568	449	359	245	521	296	112	0
Diesel	1.124	1.281	1.204	1.094	962	1.207	937	757	661
Dieselersatz aus Biomasse	60	135	187	224	245	209	430	540	661
Diesel aus Mineralöl	1.064	1.147	1.017	869	717	998	507	217	0
Erdgas	2	24	34	41	52	26	50	69	68
Flüssiggas	2	18	25	32	41	19	39	59	56
Wasserstoff	0	0	0	1	10	0	0	1	10
Strom	0	1	5	25	60	1	15	59	101
Motorenöl	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt Straßenverkehr	2.152	1.940	1.782	1.628	1.443	1.862	1.565	1.314	1.133
Schieneverkehr									
Strom	58	64	67	69	71	67	72	78	86
Diesel (inkl. Biokraftstoff)	19	14	14	13	13	14	13	12	11
Gesamt Schienenverkehr	77	78	80	82	83	81	85	90	97
Binnenschifffahrt									
Diesel (inkl. Biokraftstoff)	13	14	14	15	15	15	15	16	18
Luftverkehr									
Flugtreibstoffe	345	394	374	365	350	383	354	336	312
Insgesamt Verkehr	2.587	2.426	2.251	2.090	1.891	2.341	2.019	1.756	1.560
Benzin (inkl. Biokraftstoff)	1.025	614	513	435	316	609	524	368	236
Benzinersatz aus Biomasse	9	46	64	76	71	87	228	257	236
Benzin aus Mineralöl	1.015	568	449	359	245	521	296	112	0
Diesel (inkl. Biokraftstoff)	1.155	1.310	1.232	1.122	990	1.236	965	786	691
Dieselersatz aus Biomasse	62	138	191	230	252	214	443	561	691
Diesel aus Mineralöl	1.093	1.172	1.041	892	738	1.021	522	225	0
Flugtreibstoffe	345	394	374	365	350	383	354	336	312
Erdgas	2	24	34	41	52	26	50	69	68
Flüssiggas	2	18	25	32	41	19	39	59	56
Wasserstoff	0	0	0	1	10	0	0	1	10
Strom	58	65	72	94	131	68	87	137	187
Motorenöl	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Die Abbildung 6.1-23 zeigt den Endenergieverbrauch des gesamten Verkehrssektors nach Verkehrsträgern. Hier zeigt sich eindrucksvoll, dass trotz stark steigendem Güterverkehrswachstum durch die Kombination der Effekte Modal Split, Effizienz der Fahrzeug-

technologie und Energieträgershift („Elektrifizierung“ des individuellen Personenverkehrs) der Gesamtenergieverbrauch im Innovationsszenario im Jahr 2050 um 27 % unter dem Referenzszenario liegt.

Abbildung 6.1-23: Szenarienvergleich: Endenergienachfrage des Verkehrssektors nach Verkehrsträgern 2005 und 2050, in PJ



Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Der Energieverbrauch des Schienenverkehrs insgesamt übersteigt 2050 im Innovationsszenario den Wert des Referenzszenarios um 8 %. Sein Anteil am Endenergieverbrauch in 2050 beträgt im Innovationsszenario 6,2 %, im Referenzszenario 4,4 %.

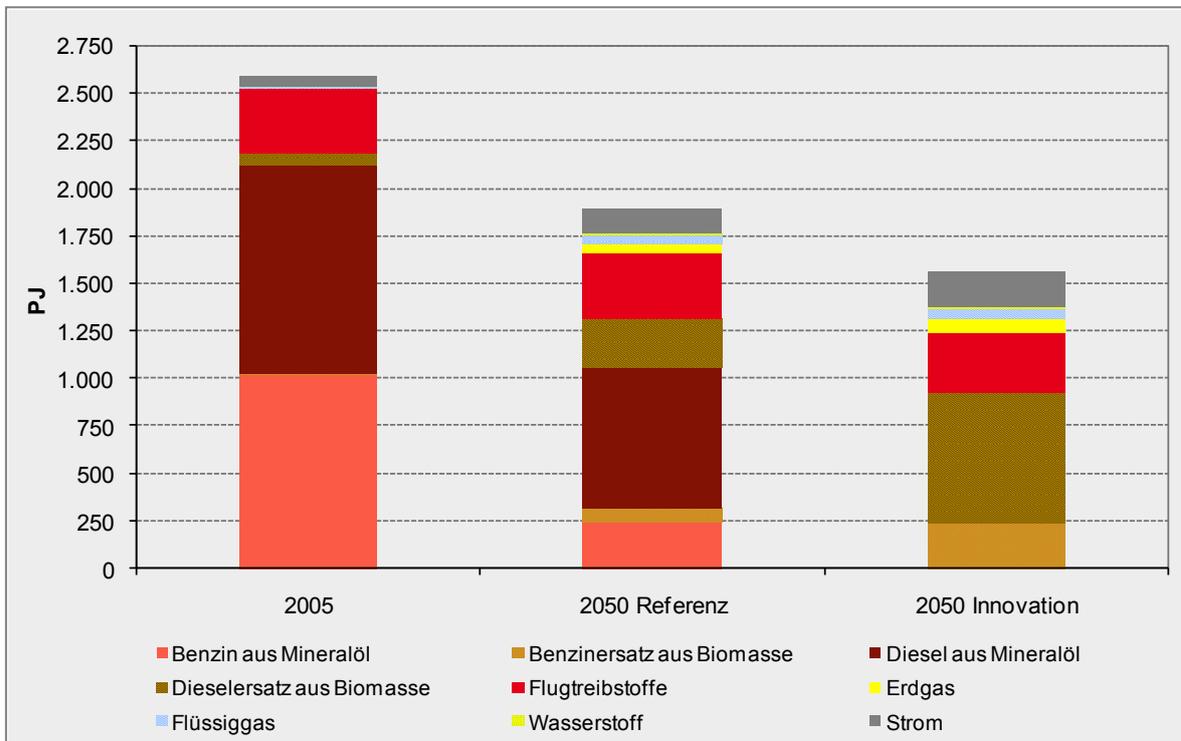
Der Energieverbrauch des Flugverkehrs unterschreitet 2050 vor allem aufgrund von Effizienzmaßnahmen bei den Flugzeugen im Innovationsszenario das Niveau des Referenzszenarios um 11 %. Für den Energieverbrauch des Gesamtverkehrs hat dies nur geringe Bedeutung.

In der Endenergiebilanz des gesamten Verkehrssektors zeigt sich die folgende Energieträgerstruktur (Abbildung 6.1-24):

Die flüssigen biogenen Kraftstoffe stellen aufgrund der weiterhin hohen Dominanz im Innovationsszenario mit knapp 60 % den Hauptteil der Energieträger. Wegen der Begrenztheit der biogenen Energieträger und der Internationalität des Flugverkehrs gehen wir davon aus, dass dort weiterhin fossile Flugtreibstoffe (2050 rund 350 PJ in der Referenz und 312 PJ im Innovationsszenario) eingesetzt werden.

Aufgrund der Elektrifizierung des individuellen Personenverkehrs und der Verlagerung eines Großteils der Güter auf die Bahn steigt der Elektrizitätsanteil am gesamten Endenergiebedarf von knapp 8 % auf 13 %.

Abbildung 6.1-24: Szenarienvergleich: Endenergienachfrage im gesamten Verkehrssektor nach Energieträgern in den Jahren 2005 und 2050, in PJ



Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Die wesentlichen Bestimmungsgründe für diese Entwicklung, die auch eine Reduzierung der direkten, diesem Sektor anzurechnenden CO₂-Emissionen (ohne Stromerzeugung) um 71 % bedeuten, sind zusammengefasst:

- die deutliche Veränderung des Modal Split im Güterverkehr zugunsten der Schiene,
- die Substitution fossiler durch biogene Kraftstoffe (außer im Flugverkehr),
- die systematische Veränderung der PKW-Flotte zu Hybrid- und Elektrofahrzeugen und
- die systematische Effizienzsteigerung im gesamten Fahrzeugpark.

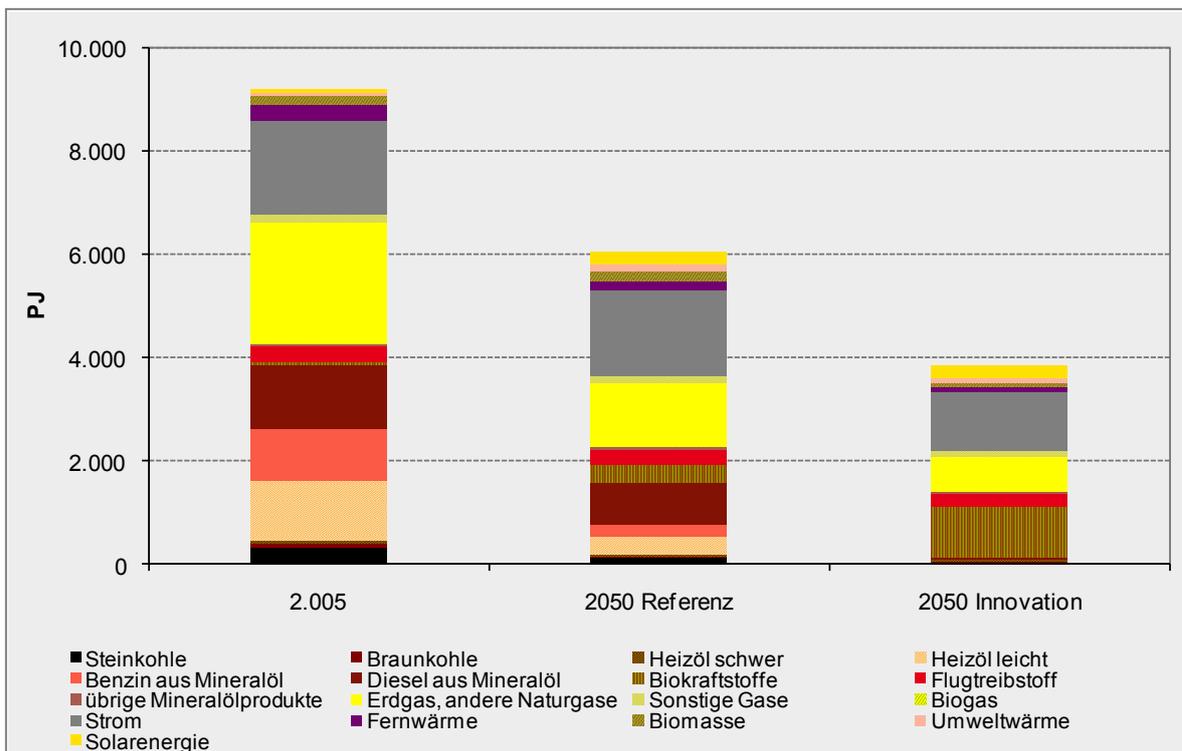
Diese Maßnahmen erfordern eine konsequente politische Strategie mit frühzeitiger Umsetzung neuer Formen der Energieeffizienz in allen Mobilitätsbereichen, insbesondere die Entwicklungsförderung der Elektromobilität sowie die Unterstützung des zugehörigen Infrastrukturaufbaus.

6.1.5 Die Endenergienachfrage gesamt

Die Endenergienachfrage aller Sektoren verringert sich zwischen 2005 und 2050 im Referenzszenario um 33,8 %, im Innovationsszenario um 58,1 %. Damit liegt der Wert im Innovationsszenario 2050 um knapp 37 % niedriger als in der Referenz. Tabelle 6.1-30 zeigt die Endenergienachfrage über alle Nachfragesektoren und Energieträger in zusammengefasster Form.

Abbildung 6.1-25 zeigt die Nachfrage nach Energieträgern, Abbildung 6.1-26 nach Energieträgergruppen. Die fossilen Energieträger werden im Innovationsszenario gegenüber der Referenz durchweg, z. T. stark, reduziert. Kohle, Mineralölprodukte und Gase werden praktisch nur noch dort, wo es unverzichtbar ist, im Industriesektor zur Erzeugung von Prozesswärme (Gas auch im Kraft-Wärme-gekoppelten Betrieb) eingesetzt. Fossile Kraftstoffe werden nur noch im Flugverkehr genutzt, für den motorisierten Güterverkehr und in kleinen Teilen des Personenverkehrs werden Biokraftstoffe eingesetzt. Die Nutzung der erneuerbaren Energieträger feste Biomasse, thermische Solarenergie und Umweltwärme werden gegenüber dem Referenzszenario reduziert. Sie werden vor allem zur Deckung des Raumwärmebedarfs eingesetzt, der im Innovationsszenario aufgrund von Effizienz- und Wärmeschutzmaßnahmen extrem abgesenkt wird.

Abbildung 6.1-25: Szenarienvergleich: Endenergienachfrage insgesamt nach Energieträgern in den Jahren 2005 und 2050, in PJ



Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Tabelle 6.1-30: Szenarienvergleich: Endenergienachfrage nach Energieträgern und Verbrauchssektoren in den Jahren 2005 - 2050, in PJ

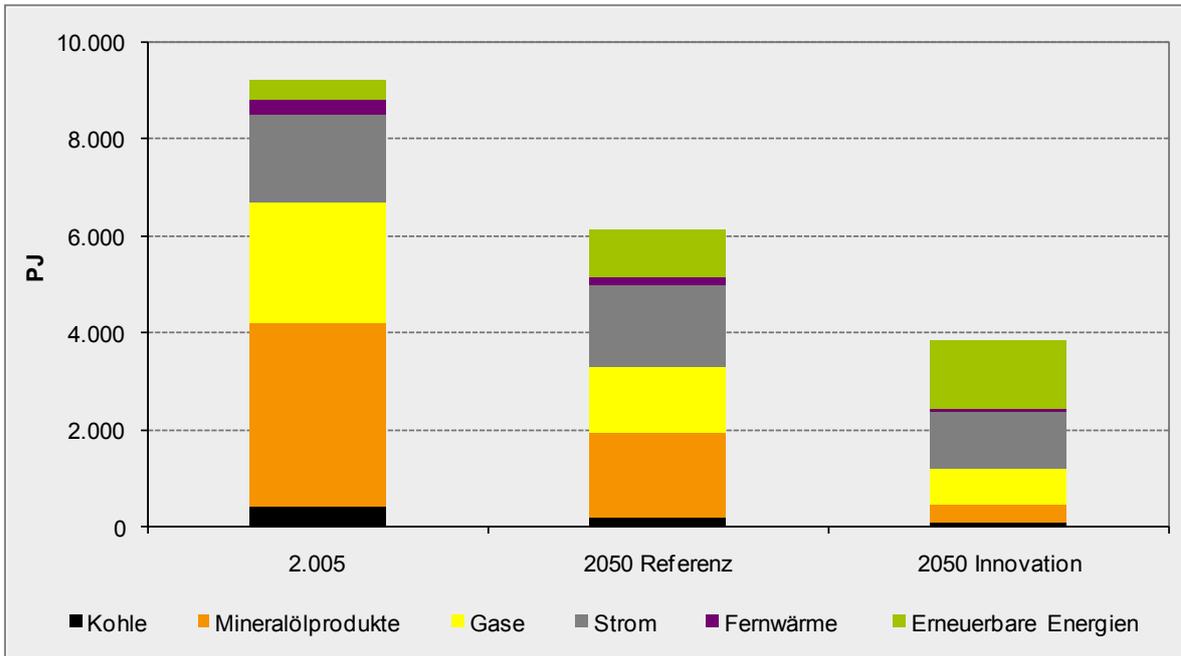
	Referenzszenario					Innovationsszenario			
	2005	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
nach Energieträgern									
Kohle	400	319	249	206	179	262	168	110	77
Steinkohle	341	272	208	170	146	224	138	86	55
Braunkohle	59	48	41	35	32	38	29	24	22
Mineralölprodukte	3.798	3.079	2.568	2.143	1.743	2.627	1.504	809	363
Heizöl leicht	1.151	787	576	423	325	574	256	96	36
Heizöl schwer	67	55	42	33	27	39	24	16	11
Benzin aus Mineralöl	1.033	583	461	369	254	534	303	115	0
Diesel aus Mineralöl	1.202	1.260	1.114	952	787	1.097	566	246	4
Flugtreibstoff	345	394	374	365	350	383	354	336	312
übrige Mineralölprodukte	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Gase	2.482	2.139	1.760	1.493	1.382	1.705	1.142	880	766
Erdgas, andere Naturgase	2.359	2.018	1.652	1.387	1.263	1.606	1.050	783	671
Sonstige Gase	123	121	108	106	119	99	92	97	95
darunter Gichtgas	77	63	50	44	42	49	33	24	18
Erneuerbare Energien	396	612	791	908	949	804	1.297	1.409	1.412
Biomasse	178	184	188	189	188	189	171	122	66
Umweltwärme	68	104	130	147	155	104	124	122	106
Solarenergie	73	122	173	213	226	187	279	287	247
Biokraftstoff	77	193	268	321	340	318	708	867	987
Biogas	0	9	32	38	40	7	16	11	5
Strom	1.832	1.764	1.695	1.704	1.680	1.517	1.320	1.224	1.165
Fernwärme	300	265	227	190	167	229	165	113	74
Insgesamt Endenergienachfrage	9.208	8.178	7.291	6.644	6.099	7.144	5.596	4.546	3.857
nach Verbrauchssektoren									
Private Haushalte	2.735	2.282	2.013	1.777	1.569	2.003	1.465	1.017	662
Dienstleistungen	1.462	1.169	933	815	731	1.031	720	574	486
Industrie	2.424	2.301	2.094	1.961	1.909	1.769	1.391	1.199	1.149
Verkehr	2.587	2.426	2.251	2.090	1.891	2.341	2.019	1.756	1.560

Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Bemerkenswert ist, dass die Nachfrage nach Strom im Innovationsszenario im Jahr 2050 im Vergleich zur Referenz um 30 % niedriger liegt, trotz des signifikanten Energieträgershifts zum Strom im Verkehrssektor (Güter auf die Schiene, PKW mit Elektroantrieb). Der Grund hierfür ist die Effizienzerhöhung in allen Sektoren und bei allen Verwendungszwecken, vor allem bei Beleuchtung, Lüften/Kühlen, IKT und Hilfsenergien bei Prozessen (Motoren, Pumpen, Druckluft etc.), durch intelligente Steuerungen und Regelungen sowie durch Prozessveränderungen und Miniaturisierung.

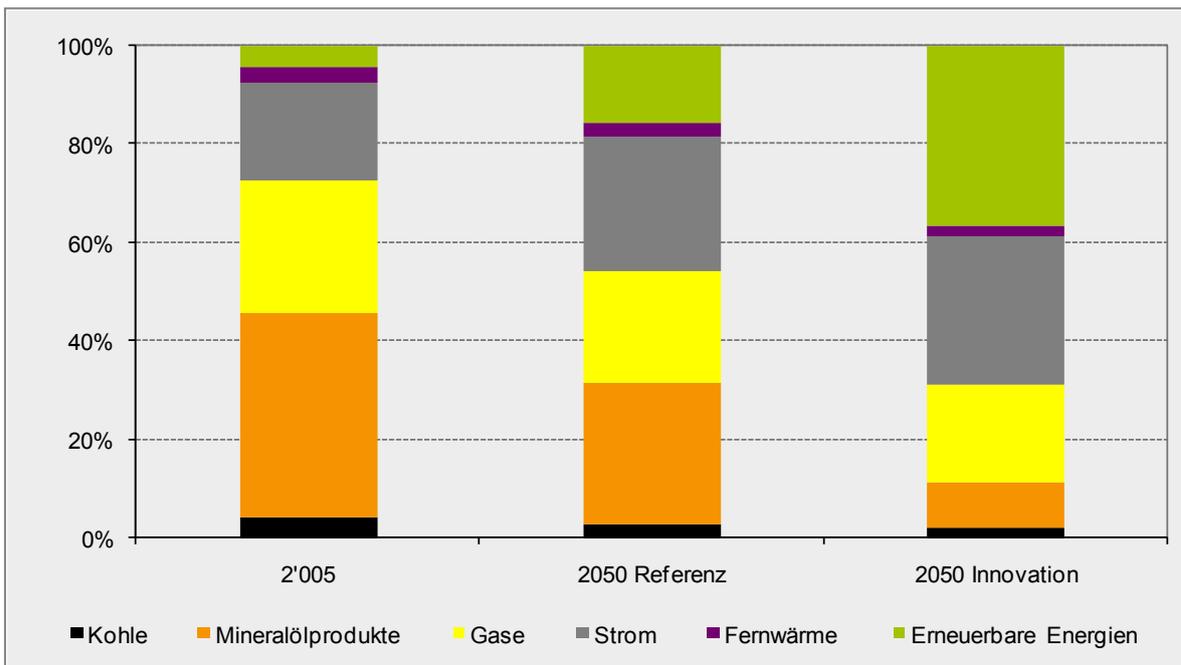
Die in Abbildung 6.1-27 dargestellten Anteile der Energieträgergruppen am Endenergieverbrauch zeigen deutlich, dass trotz der „Elektrifizierung“ der Systeme der Anteil des Stroms am gesamten Endenergieverbrauch im Innovationsszenario im Vergleich zum Referenzszenario nahezu konstant ist. Dies ist hauptsächlich den oben genannten Struktur- und Effizienzeffekten zuzuschreiben. Daneben wird deutlich, dass ein erheblicher Teil der fossilen Energieträger durch Erneuerbare ersetzt wird.

Abbildung 6.1-26: Szenarienvergleich: Endenergienachfrage insgesamt nach Energieträgergruppen, in den Jahren 2005 und 2050, in PJ



Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

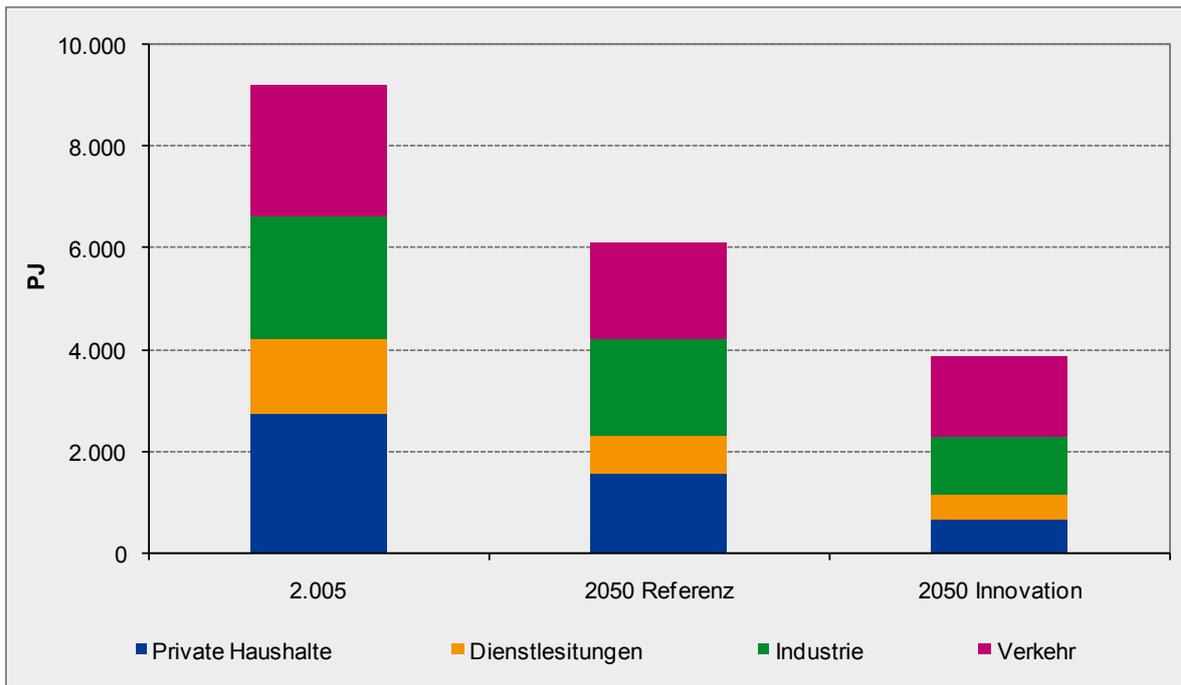
Abbildung 6.1-27: Szenarienvergleich: Endenergienachfrage insgesamt nach Energieträgergruppen in den Jahren 2005 und 2050, Anteile in %



Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Die Betrachtung nach Sektoren zeigt, dass alle Sektoren im Vergleich von Referenz und Innovationsszenario erheblich zur Einsparung beitragen (Abbildung 6.1-28), jedoch unterschiedlich stark. Im Sektor private Haushalte unterschreitet der Verbrauch im Jahr 2050 im Innovationsszenario den Referenzwert um 60 %.

Abbildung 6.1-28: Szenarienvergleich: Endenergienachfrage nach Sektoren in den Jahren 2005 und 2050, in PJ



Quelle: ProgTrans / Prognos 2009

Dies liegt einerseits an der radikalen Verringerung des Raumwärmebedarfs, andererseits an massiven Effizienzerhöhungen bei der Beleuchtung und der Raumklimatisierung.

Im Sektor Dienstleistungen liegt der Verbrauch 2050 im Innovationsszenario um 33 % unter der Referenz, im Sektor Industrie um 40 %. Diese Einsparungen sind sowohl auf Strukturwandeleffekte (weniger energieintensive Industrieproduktion, mehr Dienstleistungen) als auch auf technologische Effizienzeffekte analog zu denen im Haushaltssektor zurückzuführen. Der Bedarf an Prozesswärme und Kraft lässt sich jedoch bei gegebener Produktion nicht beliebig reduzieren, weder im Bereich der Kernprozesse noch bei den Hilfsprozessen, hier bestehen physikalische Untergrenzen.

Im Verkehrssektor wird 2050 im Innovationsszenario „nur“ 17 % weniger Energie verbraucht als im Referenzszenario. Diese Reduktion ist vor allem auf die Veränderung des Modal Split im Güterverkehr, die geringeren spezifischen Verbräuche der Elektrofahrzeuge und die insgesamt verschärfte Entwicklung der Effizienz der Fahrzeugflotten zurückzuführen. Eine deutliche Veränderung zeigt die Energieträgerstruktur, was auch stark zur Reduktion der CO₂-Emissionen beiträgt.

Der relative Anteil der Sektoren am gesamten Energieverbrauch verschiebt sich aufgrund dieser strukturellen Veränderungen leicht: Durch die starke Reduktion der Raumwärmenachfrage und des Gesamtverbrauchs im Haushaltssektor sinkt dessen Anteil an der Gesamtnachfrage in 2050 von 25,7 % im Referenzszenario auf 17,2 % im Innovationsszenario.

Die anderen Sektoren „gewinnen“ dadurch Anteile, insbesondere nimmt das Gewicht des Verkehrssektors von 31,0 % in der Referenz auf 40,4 % im Innovationsszenario zu.

6.2 Kraftwerkspark, Umwandlungssektoren

6.2.1 Varianten ohne CCS

6.2.1.1 Nachfrage und Nettostromerzeugung

Die Nachfrage ist einer der wesentlichen Treiber für den Kraftwerkzubau und -einsatz. Als Resultat der konsequenten Effizienzstrategie auf der Nachfrageseite liegt trotz der ambitionierten Einführung der Elektromobilität die Stromnachfrage im Innovationsszenario im Jahr 2050 um 30 % niedriger als im Referenzszenario, und um 36 % niedriger als im Jahr 2005. Aufgrund des hohen Einsatzes an Erneuerbaren und zu einem großen Teil stochastischen Quellen für die Stromerzeugung im Innovationsszenario muss ein erheblicher Anteil der produzierten Energie zwischengespeichert werden. Hieraus resultiert ein Zusatzbedarf an Speicherstrom (Arbeit und Leistung). Der Speicherbedarf im Jahr 2050 ist im Innovationsszenario ohne CCS um einen Faktor 3,6 höher als in der Referenz. Die Nettostromerzeugung liegt um 22 % unter der des Referenzszenarios (Tabelle 6.2-1).

Tabelle 6.2-1: Szenarienvergleich: Varianten „ohne CCS“, Nettostromverbrauch und –erzeugung, 2005 – 2050, in TWh

	2005	Referenzszenario ohne CCS				Innovationsszenario ohne CCS			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Endenergieverbrauch Strom	517	492	474	478	472	423	370	345	330
Verbrauch im Umwandlungsbereich	16	14	13	10	8	14	13	10	8
Leistungsverluste	29	26	25	25	25	26	25	25	25
Speicherstromverbrauch (Pump. etc.)	11	21	22	24	25	21	35	56	90
Nettostromverbrauch	573	554	534	536	530	485	443	436	453
Importsaldo*	-9	0	5	8	10	0	15	33	48
Nettostromerzeugung	583	554	530	529	520	485	428	403	405

*Ab 2021 Import von erneuerbar erzeugtem Strom

Quelle: Prognos 2009

Die Spitzenlast unterschreitet im Innovationsszenario mit 54 GW den Referenzwert um 28 %. Die erneuerbaren Energien tragen trotz hoher installierter Leistung mit 27 GW nur weniger als die Hälfte zur Deckung dieser Spitzenlast bei. Das sind 81 % mehr als in der Referenz. Den restlichen Anteil liefern die verbleibenden Gaskraftwerke sowie Speicher (Tabelle 6.2-2).

Tabelle 6.2-2: Szenarienvergleich: Varianten „ohne CCS“, Spitzenlast und gesicherte Leistung, 2005 – 2050, in GW

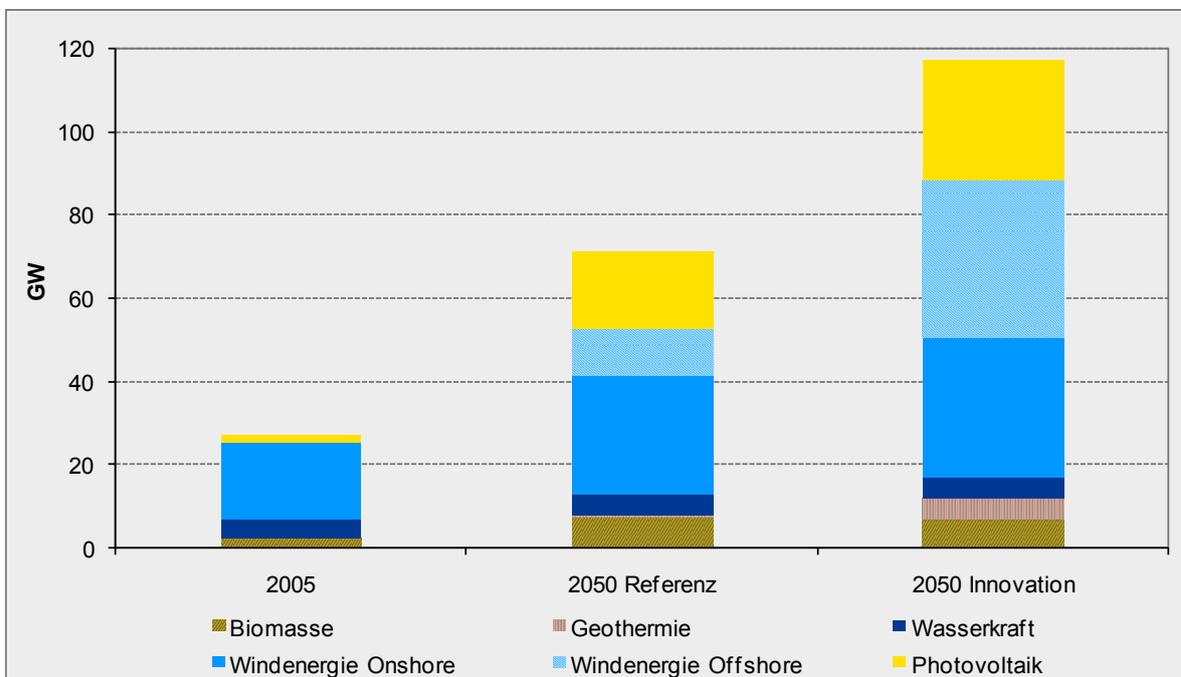
	2005	Referenzszenario ohne CCS				Innovationsszenario ohne CCS			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Spitzenlast	84	76	74	75	74	68	60	56	54
Gesicherte Leistung	96	80	79	79	78	80	69	69	61
Erneuerbare (inkl. Import)	6	13	14	14	15	13	17	22	27
Konventionell und Speicher	89	67	65	64	64	67	52	47	34

Quelle: Prognos 2009

6.2.1.2 Kraftwerkspark

Das Innovationsszenario ist stark durch den vorgegeben Ausbaupfad der erneuerbaren Energien definiert. Die „Lücke“ in Arbeit und Leistung zwischen diesem Ausbaupfad, dem abalternden konventionellen Kraftwerkspark und der Nachfrage wird nach der Grenzkostenlogik mit den jeweils „erlaubten“ konventionellen Kraftwerken geschlossen. Definitionsgemäß wird angenommen, dass (in den hier verglichenen Varianten ohne CCS) CCS als Option nicht zur Verfügung steht. Der Pfad der (neuen) erneuerbaren Energien führt im Jahr 2050 im Innovationsszenario zu einer um ca. 70 % höheren installierten Leistung im Vergleich zur Referenz (Abbildung 6.2-1) sowie zu ca. 52 % erhöhter Arbeit (Abbildung 6.2-2).

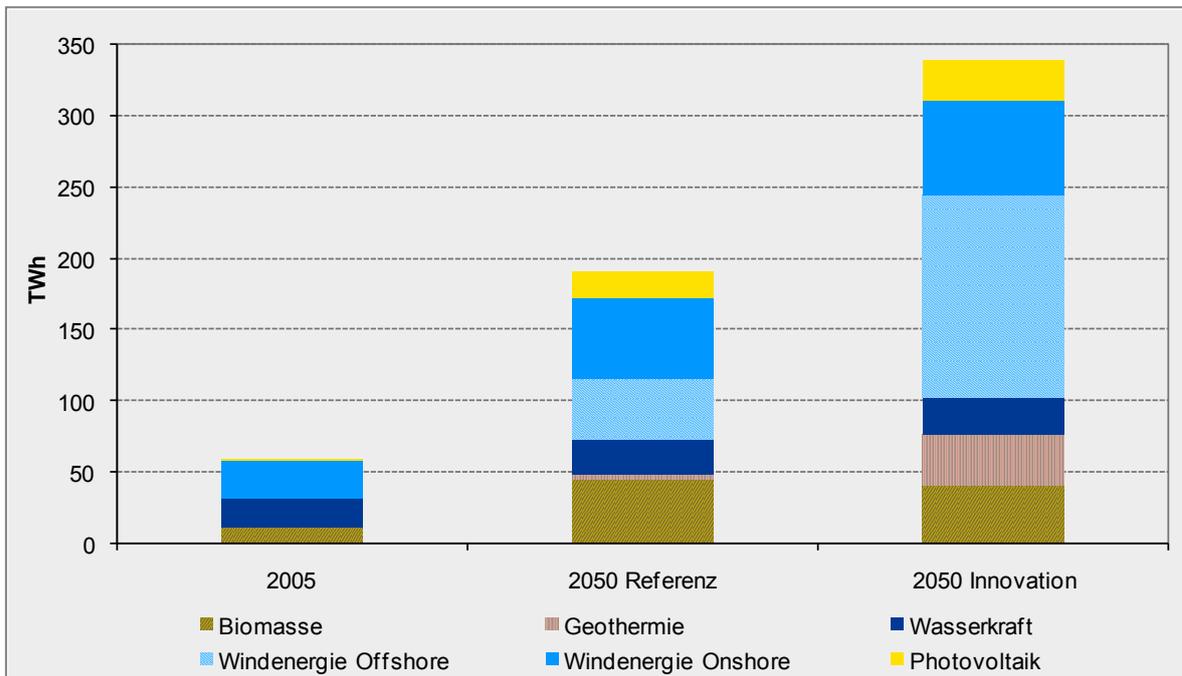
Abbildung 6.2-1: Szenarienvergleich: Varianten „ohne CCS“, installierte Leistung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung, in 2005 und 2050, in GW



Quelle: Prognos 2009

In der Referenz werden bei gegebenem CO₂-Preis, aber ohne die CCS-Alternative gemäß Grenzkostenlogik die abalternden Kohlekraftwerke durch neue ersetzt und weitere hinzu gebaut. Insgesamt werden bis 2050 rund 38,5 GW Kohlekraftwerksleistung über diejenigen hinaus zugebaut, die bereits jetzt im Bau sind, davon 20,4 GW Braunkohlekraftwerke.

Abbildung 6.2-2: Szenarienvergleich: Varianten „ohne CCS“, Nettoproduktion auf Basis erneuerbarer Stromerzeugung, in 2005 und 2050, in TWh



Quelle: Prognos 2009

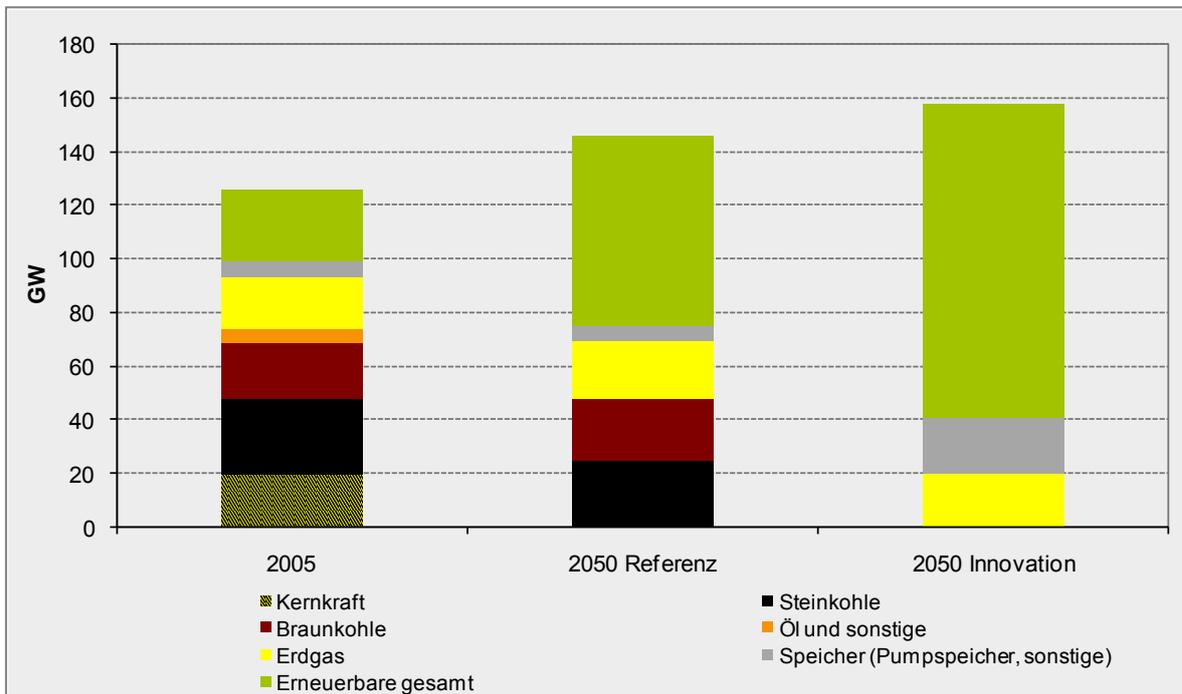
Im Innovationsszenario werden vor allem Gaskraftwerke zugebaut; diejenigen Kohlekraftwerke, die derzeit im Bau sind, gehen ans Netz, außerdem werden weitere 4,3 GW Braunkohlekraftwerke (gem. Grenzkostenlogik) zugebaut. In 2045 geht das letzte Braunkohlekraftwerk aus dem Park (Abbildung 6.2-3, Abbildung 6.2-4, Tabelle 6.2-3), da durch die Erzeugung der erneuerbaren Energien und den Einsatz der Speicherkapazitäten die Vollaststunden allmählich so stark reduziert werden, dass sich der Betrieb nicht mehr lohnt. Alle konventionellen Kraftwerke sind zu diesem Zeitpunkt bereits betriebswirtschaftlich abgeschrieben (die Abschreibungszeit wird im Modell mit 15 Jahren angenommen). Allerdings sind die zum jüngsten Zeitpunkt in Betrieb genommenen Kraftwerke noch „recht jung“.

**Tabelle 6.2-3: Szenarienvergleich: Varianten „ohne CCS“, Nettoleistung, Netto-
 stromerzeugung und Jahresvolllaststunden nach Einsatz Energieträ-
 gern 2005 – 2050**

	2005	Referenzszenario ohne CCS				Innovationszenario ohne CCS			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Nettoleistung, in GW									
Kernkraft	19,9	4,1	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0
Steinkohle	27,9	28,1	21,4	22,8	24,8	28,1	14,7	7,5	0,0
Steinkohle mit CCS		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Braunkohle	20,8	16,8	25,0	24,3	23,2	16,8	11,4	9,7	0,0
Braunkohle mit CCS		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erdgas	19,6	22,6	23,9	23,0	21,3	22,6	23,9	23,0	19,8
Öl und sonstige	5,2	1,7	0,7	0,0	0,0	1,7	0,7	0,0	0,0
Speicher (Pumpspeicher, sonstige)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	10,4	15,4	20,4
Wasserkraft	4,6	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,2	5,2	5,2
Windenergie insgesamt	18,4	38,1	38,8	39,4	39,7	38,1	52,8	65,3	71,0
Windenergie Onshore	18,4	28,1	28,1	28,2	28,3	28,1	28,9	31,9	33,5
Windenergie Offshore		10,0	10,7	11,2	11,4	10,0	23,2	33,5	37,6
Photovoltaik	1,9	17,9	18,2	18,4	18,5	17,9	24,0	27,1	29,0
Biomasse	2,2	7,1	7,2	7,2	7,2	7,1	6,9	6,7	6,7
Geothermie		0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,9	2,1	5,1
Gesamt Nettoleistung	125,9	147,2	146,0	146,1	145,8	147,2	150,3	162,1	157,3
Nettostromerzeugung, in TWh									
Kernkraft	151,0	30,2	0,0	0,0	0,0	30,2	0,0	0,0	0,0
Steinkohle	128,0	169,6	120,9	136,7	109,1	128,6	68,1	22,0	0,0
Steinkohle mit CCS		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Braunkohle	152,0	101,8	158,6	152,4	166,0	85,9	49,6	23,0	0,0
Braunkohle mit CCS		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erdgas	67,0	61,5	49,1	35,8	36,3	49,3	46,9	28,2	11,5
Öl und sonstige	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Speicher (Pumpspeicher, sonstige)	7,1	15,8	16,6	17,4	18,3	15,8	24,4	36,9	54,7
Wasserkraft	19,6	24,3	24,3	24,4	24,4	24,3	24,6	24,8	24,8
Windenergie insgesamt	27,2	87,2	95,0	97,6	99,8	87,2	142,2	186,7	209,3
Windenergie Onshore	27,2	53,5	56,4	56,5	56,6	53,5	58,1	63,7	66,9
Windenergie Offshore		33,7	38,6	41,1	43,1	33,7	84,1	123,0	142,4
Photovoltaik	1,2	15,5	16,6	17,1	17,6	15,5	21,9	25,3	27,7
Biomasse	12,0	46,2	46,5	44,7	44,7	46,2	44,7	41,3	41,3
Geothermie		1,8	2,1	2,6	3,6	1,8	6,0	14,7	35,7
Gesamt Nettostromerzeugung	583,2	554,0	529,7	528,7	520,0	484,9	428,4	402,9	405,1
Jahresvolllaststunden, in h/a									
Kernkraft	7.588	7.435	-	-	-	7.428	-	-	-
Steinkohle	4.588	6.024	5.653	5.982	4.400	4.572	4.626	2.923	-
Steinkohle mit CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Braunkohle	7.308	6.067	6.342	6.271	7.168	5.116	4.370	2.373	-
Braunkohle mit CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	3.418	2.722	2.056	1.553	1.701	2.183	1.962	1.222	581
Öl und sonstige	3.481	8	3	-	-	3	3	-	-
Speicher (Pumpspeicher, sonstige)	1.315	2.912	3.061	3.217	3.382	2.912	2.338	2.392	2.679
Wasserkraft	4.261	4.758	4.737	4.769	4.769	4.758	4.737	4.769	4.769
Windenergie insgesamt	1.478	2.293	2.452	2.475	2.514	2.293	2.694	2.859	2.948
Onshore	1.478	1.909	2.009	2.000	2.000	1.909	2.009	2.000	2.000
Offshore	-	3.370	3.620	3.677	3.792	3.370	3.620	3.677	3.792
Photovoltaik	632	867	913	934	955	867	913	934	955
Biomasse	5.455	6.465	6.470	6.184	6.184	6.465	6.470	6.184	6.184
Geothermie	-	6.575	6.687	7.000	7.000	6.575	6.687	7.000	7.000
Durchschnitt	4.632	3.763	3.628	3.619	3.568	3.294	2.851	2.486	2.576

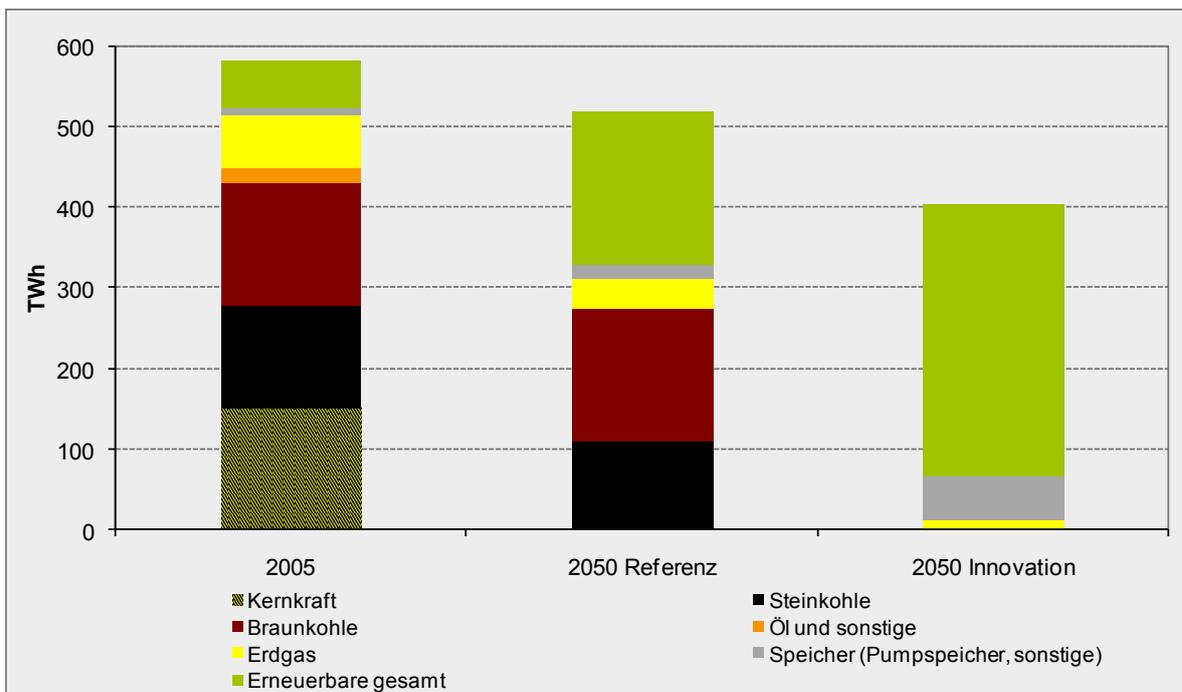
Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.2-3: Szenarienvergleich: Varianten „ohne CCS“, installierte Leistung des Kraftwerksparks in 2005 und 2050, in GW



Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.2-4: Szenarienvergleich: Varianten „ohne CCS“, Stromerzeugung nach Energieträgern in 2005 und 2050, in TWh



Quelle: Prognos 2009

6.2.1.3 CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung sinken in der Referenz auf ca. 66 % des Wertes von 2005 ab, im Innovationsszenario auf 2 % (Tabelle 6.2-4).

Tabelle 6.2-4: Szenarienvergleich: Varianten „ohne CCS“, Brennstoffeinsatz, CO₂-Faktoren und CO₂-Emissionen der Stromerzeugung 2005 – 2050, in Mio. t

	2005	Referenzszenario ohne CCS				Innovationsszenario ohne CCS			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Brennstoffeinsatz, in PJ									
Steinkohle	1.182	1.461	971	1.004	840	1.128	615	219	-
Steinkohle mit CCS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	1.537	932	1.189	1.130	1.162	776	409	205	-
Braunkohle mit CCS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdgas	571	473	371	271	281	380	356	221	95
Öl und sonstige	314	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasse	136	486	468	432	415	486	444	394	379
CO₂-Emissionsfaktoren, in kg/GJ									
Steinkohle	94	94	94	94	94	94	94	94	94
Steinkohle mit CCS	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Braunkohle	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Braunkohle mit CCS	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Erdgas	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Öl und sonstige	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Biomasse	23	23	23	23	23	23	23	23	23
CO₂-Emissionen, in Mio. t									
Steinkohle	111	137	91	94	79	106	58	21	-
Steinkohle mit CCS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	172	104	133	127	130	87	46	23	-
Braunkohle mit CCS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdgas	32	27	21	15	16	21	20	12	5
Öl und sonstige	25	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasse	3	11	11	10	9	11	10	9	9
Gesamt CO₂-Emissionen	344	279	256	246	234	225	134	65	14

*Emissionen ohne Anteile der Rauchgasentschwefelung

Quelle: Prognos 2009

Falls die „jüngsten“ (ab 2016 gebauten) Braunkohlekraftwerke noch mit veränderter Fahrweise am Netz blieben (was als Konsequenz auch eine veränderte Fahrweise der Erneuerbaren mit geringerer Einspeisung zur Folge hätte), würde ein zusätzlicher Emissionssockel von 8 - 11 Mio. t CO₂ resultieren.

6.2.1.4 Kosten

Die durchschnittlichen jährlichen Gesteungskosten und die jährlichen Gesamtkosten der Stromerzeugung berechnen sich aus den Investitionen (Kapitalkosten), den Brennstoffkosten, fixen und variablen Betriebskosten (Wartung etc.) sowie CO₂-Kosten und Speicherkosten. Für letztere werden als Kostenobergrenze die Kosten eines Gasturbinenkraftwerks angesetzt (Opportunitätsüberlegung).

Es zeigt sich, dass im Innovationsszenario in den Jahren 2020 bis 2040 die Gesteungskosten geringfügig höher liegen als im Referenzszenario. Dies hat die Ursache vor allem in den relativen Verhältnissen des Zubaus: Die Gaskraftwerke führen zu höheren Kosten als die Kohlekraftwerke; letztere werden allerdings gegen Ende ihrer Laufzeit aufgrund der einsatzordnungsbedingt geringeren Volllaststunden (Vorrang der Erneuerbaren) im Innovationsszenario teurer. Im Jahr 2050 liegen die Gesteungskosten des Innovationsszenarios geringfügig unter denen der Referenz. Die Vollkosten der Erzeugung liegen im Innovationsszenario aufgrund der geringeren Nachfrage und des damit verbundenen geringeren Zubaus an Gesamtleistung immer niedriger als in der Referenz, im Jahr 2050 um 23 % (Tabelle 6.2-5).

Tabelle 6.2-5: Szenarienvergleich: Varianten „ohne CCS“, Gestehungskosten und Vollkosten der Erzeugung, 2005 – 2050

	Referenzszenario					Innovationszenario			
	2005	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Spezifische Gestehungskosten der Nettostromerz. in €-Cent/kWh (real, 2007)									
Durchschnitt Konventionelle Erzeugung	4,3	7,8	8,2	8,8	10,0	8,1	10,3	14,8	29,8
Kernkraft	4,0	4,1	-	-	-	4,1	-	-	-
Steinkohle	4,6	7,4	8,1	8,8	11,3	8,0	9,3	12,9	-
Steinkohle mit CCS						-	-	-	-
Braunkohle	3,3	6,6	6,1	6,5	6,4	6,8	7,2	10,2	-
Braunkohle mit CCS						-	-	-	-
Erdgas	8,0	12,6	14,9	18,4	22,1	13,1	15,1	20,0	29,8
Öl und sonstige						-	-	-	-
Speicher (Pumpspeicher, sonstige)	10,3	11,2	10,9	10,9	11,5	11,5	11,9	11,1	9,4
Stromimport	0,0	9,5	8,4	7,5	7,0	9,5	8,4	7,5	7,0
Durchschnitt Erneuerbare Erzeugung	12,0	10,3	9,0	8,5	8,4	10,3	8,7	8,0	7,7
Wasserkraft	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Windenergie insgesamt	11,1	8,6	7,3	7,1	6,9	8,6	7,3	6,9	6,7
Onshore	11,1	8,0	7,4	7,3	7,3	8,0	7,4	7,3	7,3
Offshore	0,0	9,5	7,3	6,8	6,5	9,5	7,3	6,8	6,5
Photovoltaik	54,8	14,6	10,9	9,9	9,4	14,6	10,9	9,9	9,4
Biomasse	13,2	12,2	11,4	10,5	10,5	12,2	11,4	10,5	10,5
Geothermie	45,8	9,8	8,5	7,5	7,1	9,8	8,5	7,5	7,1
Durchschnitt insgesamt	5,2	8,7	8,5	8,7	9,4	9,0	9,5	9,4	8,4
Vollkosten der Stromerzeugung, in Mrd. € (real, 2007)									
Konventionelle Erzeugung insgesamt	22,3	28,2	26,8	28,5	31,0	23,8	17,0	10,8	3,4
Kernkraft	6,0	1,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0
Steinkohle	5,9	12,6	9,9	12,0	12,3	10,3	6,3	2,8	-
Steinkohle mit CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Braunkohle	5,0	6,7	9,6	9,9	10,7	5,9	3,6	2,4	-
Braunkohle mit CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	5,3	7,7	7,3	6,6	8,0	6,5	7,1	5,6	3,4
Öl und sonstige	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Speicher (Pumpspeicher, sonstige)	0,7	1,8	1,8	1,9	2,1	1,8	2,9	4,1	5,1
Stromimport	-	0,0	0,5	0,6	0,7	0,0	1,3	2,5	3,4
Erneuerbare Erzeugung insgesamt	7,5	18,0	16,7	15,9	16,0	18,0	20,8	23,4	26,1
Wasserkraft	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
Windenergie insgesamt	3,0	7,5	7,0	6,9	6,9	7,5	10,4	13,0	14,1
Onshore	3,0	4,3	4,2	4,1	4,1	4,3	4,3	4,7	4,9
Offshore	-	3,2	2,8	2,8	2,8	3,2	6,1	8,3	9,3
Photovoltaik	0,7	2,3	1,8	1,7	1,7	2,3	2,4	2,5	2,6
Biomasse	1,6	5,6	5,3	4,7	4,7	5,6	5,1	4,3	4,3
Geothermie	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,5	1,1	2,5
Gesamt Vollkosten der Stromerz.	30,5	48,0	45,7	47,0	49,8	43,7	42,0	40,8	38,0

Quelle: Prognos 2009

6.2.2 Varianten mit CCS

6.2.2.1 Nachfrage und Nettostromerzeugung

Die Nachfrage- und Treibersituation für den Kraftwerkseinsatz ist in den Varianten „mit CCS“ analog zu denjenigen „ohne CCS“. Die Endenergienachfrage nach Strom ist in den Varianten in den jeweiligen Bezugsszenarien jeweils gleich: Sie liegt im Innovationsszenario im Jahr 2050 um 30 % niedriger als im Referenzszenario und um 36 % niedriger als im Jahr 2005. Aufgrund des hohen Einsatzes an Erneuerbaren und zu einem großen Teil stochastischen Quellen für die Stromerzeugung im Innovationsszenario muss ein erheblicher Anteil der produzierten Energie zwischengespeichert werden. Hieraus resultiert ein Zusatzbedarf an Speicherstrom (Arbeit und Leistung). Der Speicherbedarf ist im Innovationsszenario mit CCS um einen Faktor 2,6 höher als in der Referenz. Gegenüber der Variante ohne CCS wird weniger Speicherkapazität benötigt, da ein größerer Teil der Last durch den konventionellen Kraftwerkspark bereit gestellt wird. Die Nettostromerzeugung liegt im Jahr 2050 um 29 % unter der des Referenzszenarios (Tabelle 6.2-6).

Tabelle 6.2-6: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: Nettostromverbrauch und -erzeugung 2005 – 2050, in TWh

	2005	Referenzszenario mit CCS				Innovationsszenario mit CCS			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Endenergieverbrauch Strom	517	492	474	478	472	423	370	345	330
Verbrauch im Umwandlungsbereich	16	14	13	10	8	14	13	10	8
Leitungsverluste	29	26	25	25	25	26	25	25	25
Speicherstromverbrauch (Pump. etc.)	11	21	22	24	25	21	29	40	57
Nettostromverbrauch	573	554	534	536	530	485	436	420	420
Importsaldo*	-9	0	6	8	10	0	14	35	51
Nettostromerzeugung	583	554	528	528	520	485	423	384	369

* Ab 2021 Import von erneuerbar erzeugtem Strom

Quelle: Prognos 2009

Die Spitzenlast sinkt bis 2050 im Innovationsszenario im Vergleich zur Referenz um 28 % auf 54 GW. Die erneuerbaren Energien werden insgesamt zu einer installierten Leistung von 88 GW ausgebaut. Zur Deckung der Spitzenlast tragen sie allerdings nur mit 23 GW gesicherter Leistung bei. Verglichen mit der Referenz ist die gesicherte Leistung der Erneuerbaren in 2050 im Innovationsszenario um 53 % höher. mehr Den restlichen Anteil liefern die verbleibenden Gaskraftwerke sowie die Speicher (Tabelle 6.2-7).

Tabelle 6.2-7: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: Spitzenlast und gesicherte Leistung 2005 – 2050, in GW

	2005	Referenzszenario mit CCS				Innovationsszenario mit CCS			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Spitzenlast	84	76	74	75	74	68	60	56	54
Gesicherte Leistung	96	81	80	82	79	80	67	69	59
Erneuerbare (inkl. Import)	6	13	14	14	15	13	16	19	23
Konventionell und Speicher	89	67	66	67	64	67	51	50	36

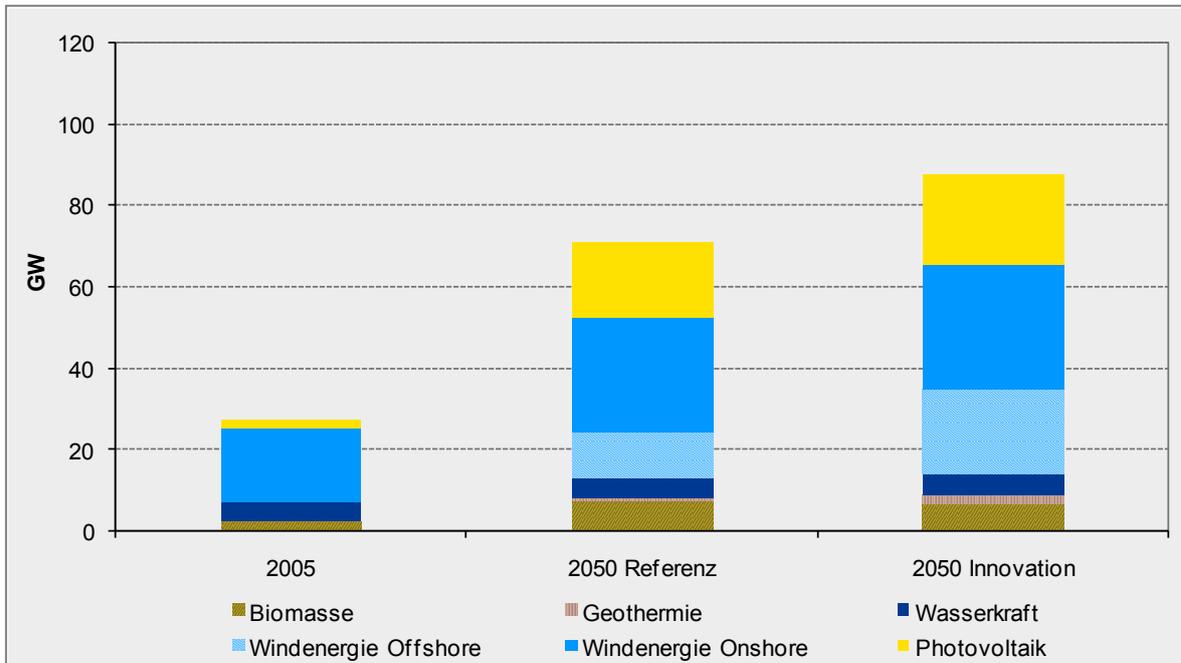
Quelle: Prognos 2009

6.2.2.2 Kraftwerkspark

Definitionsgemäß wird in dieser Variante angenommen, dass CCS als Option ab 2025 zur Verfügung steht. Nach unseren Abschätzungen der CCS-Kosten kommen CCS-Kraftwerke nach der Grenzkostenlogik zum Einsatz. Der Pfad der (neuen) erneuerbaren

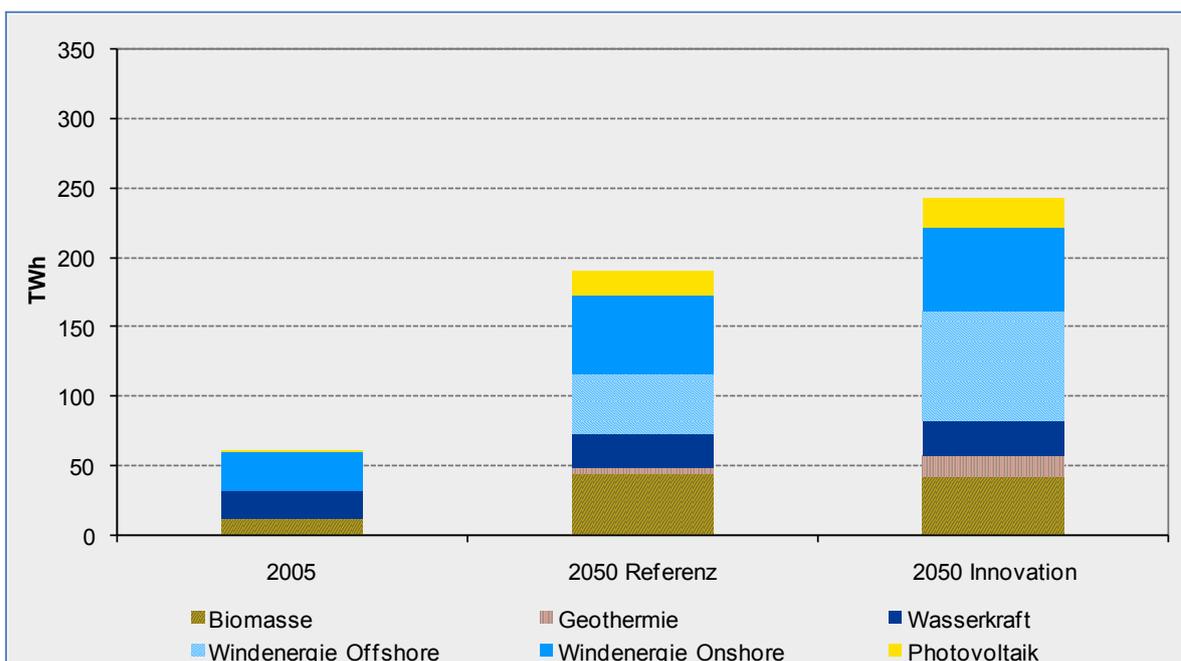
Energien führt im Jahr 2050 im Innovationsszenario zu einer um ca. 25 % höheren installierten Leistung im Vergleich zur Referenz (Abbildung 6.2-1) sowie zu ca. 1 % erhöhter Arbeit (Abbildung 6.2-6).

Abbildung 6.2-5: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: installierte Leistung der erneuerbaren Stromerzeugung in 2005 und 2050, in GW



Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.2-6: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: Nettoproduktion der erneuerbaren Stromerzeugung in 2005 und 2050, in TWh



Quelle: Prognos 2009

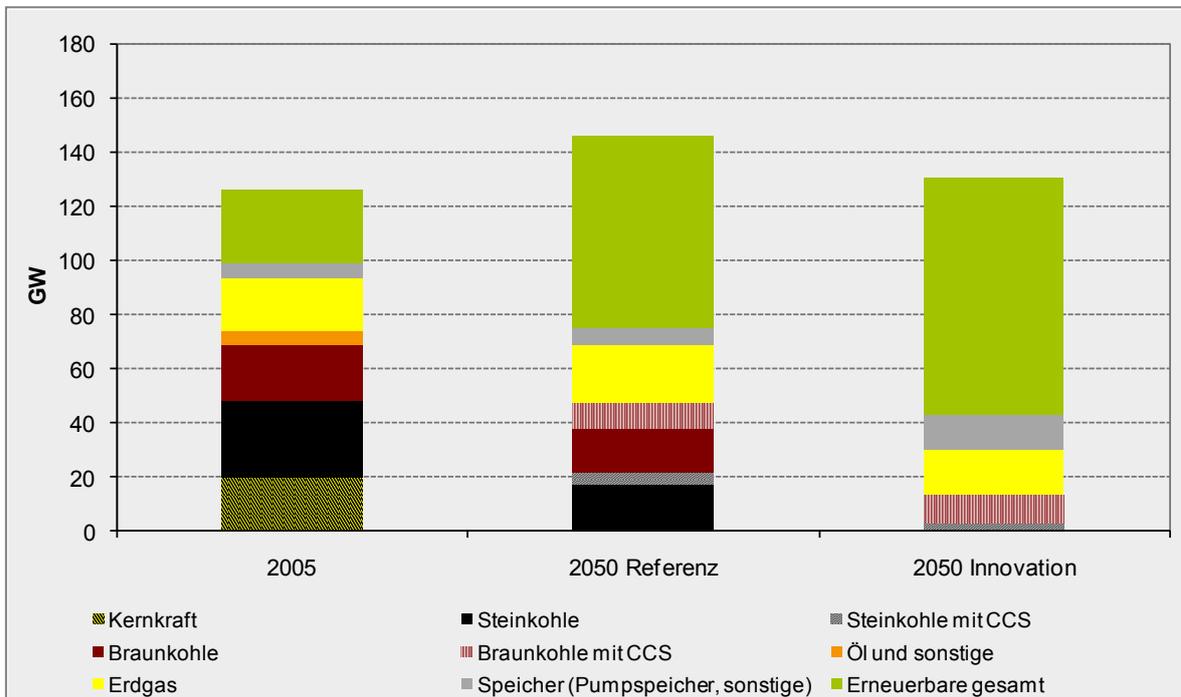
In der Referenz werden bei gegebenem CO₂-Preis mit CCS-Alternative gemäß Grenzkostenlogik die abalternden Kohlekraftwerke durch neue ersetzt und weitere hinzu gebaut. Es werden bereits vor 2020 neue konventionelle Kraftwerke benötigt, die dann ohne CCS hinzu gebaut werden. In der Referenz gehen über die bereits geplanten Kraftwerke hinaus weitere knapp 24 GW neue Kraftwerksleistung ohne CCS (13,4 GW Braunkohle, 10,6 GW Steinkohle) ans Netz, im Innovationsszenario 2,8 GW Braunkohle. Das letzte Braunkohlekraftwerk ohne CCS geht 2043, das letzte Steinkohlekraftwerk ohne CCS 2046 vom Netz (Abbildung 6.2-3). Diese Einsatzordnung resultiert aus der Tatsache, dass aus Leistungs- und Kostengründen die Kraftwerke ohne CCS mit immer weniger Vollbenutzungsstunden eingesetzt werden, so dass ihr Betrieb schließlich nicht mehr lohnend ist. Da sie (mit Bauzeitpunkten vor 2025) 32 Jahre im Betrieb waren, sind sie betriebswirtschaftlich abgeschrieben und es entstehen keine direkten Verluste. Die technische Lebensdauer ist allerdings bei einigen dieser Kraftwerke noch nicht erreicht. Deshalb wären in diesem Fall frühzeitig klare Rahmenbedingungen notwendig, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Falls diese in 2012 – 2016 gebauten Kraftwerke in veränderter Fahrweise am Netz blieben, würde ein zusätzlicher Emissionssockel von ca. 13 Mio. t CO₂ entstehen.

Tabelle 6.2-8: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: Nettoleistung, Nettostromerzeugung und Jahresvolllaststunden nach Einsatz Energieträger, 2005 – 2050

	2005	Referenzszenario mit CCS				Innovationszenario mit CCS			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Nettoleistung, in GW									
Kernkraft	19,9	4,1	0,0	0,0	0,0	4	0	0	0
Steinkohle	27,9	28,1	20,3	18,1	17,3	28	15	8	0
Steinkohle mit CCS		0,0	0,0	2,2	4,2	0	0	3	3
Braunkohle	20,8	16,8	23,4	22,7	16,5	17	11	10	0
Braunkohle mit CCS		0,0	3,0	7,0	9,5	0	4	8	10
Erdgas	19,6	22,6	23,9	23,0	21,3	23	21	20	17
Öl und sonstige	5,2	1,7	0,7	0,0	0,0	2	1	0	0
Speicher (Pumpspeicher, sonstige)	5,4	5,7	5,9	6,2	6,4	5	8	10	13
Wasserkraft	4,6	5,1	5,1	5,1	5,1	5	5	5	5
Windenergie insgesamt	18,4	38,1	38,8	39,4	39,7	38	44	49	51
Windenergie Onshore	18,4	28,1	28,1	28,2	28,3	28	28	30	30
Windenergie Offshore		10,0	10,7	11,2	11,4	10	15	19	21
Photovoltaik	1,9	17,9	18,2	18,4	18,5	18	20	22	22
Biomasse	2,2	7,1	7,2	7,2	7,2	7	7	7	7
Geothermie		0,3	0,3	0,4	0,5	0	1	1	2
Gesamt Nettoleistung	125,9	147,5	146,8	149,6	146,2	147,2	136,2	142,1	130,4
Nettostromerzeugung, in TWh									
Kernkraft	151,0	30,2	0,0	0,0	0,0	30	0	0	0
Steinkohle	128,0	169,6	112,3	95,2	64,5	129	76	13	0
Steinkohle mit CCS		0,0	0,0	15,3	28,2	0	0	18	16
Braunkohle	152,0	101,8	144,0	131,8	110,7	86	47	27	0
Braunkohle mit CCS		0,0	22,3	51,9	72,1	0	28	52	57
Erdgas	67,0	61,5	48,4	29,8	36,5	49	48	24	16
Öl und sonstige	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
Speicher (Pumpspeicher, sonstige)	7,1	15,8	16,6	17,4	18,3	16	20	27	37
Wasserkraft	19,6	24,3	24,3	24,4	24,4	24	24	25	25
Windenergie insgesamt	27,2	87,2	95,0	97,6	99,8	87	112	130	140
Windenergie Onshore	27,2	53,5	56,4	56,5	56,6	54	57	59	60
Windenergie Offshore		33,7	38,6	41,1	43,1	34	55	71	80
Photovoltaik	1,2	15,5	16,6	17,1	17,6	16	19	20	21
Biomasse	12,0	46,2	46,5	44,7	44,7	46	45	41	41
Geothermie		1,8	2,1	2,6	3,6	2	4	7	15
Gesamt Nettostromerzeugung	583,2	554,0	528,0	527,9	520,4	484,9	422,5	384,5	368,8
Jahresvolllaststunden, in h/a									
Kernkraft	7.588	7.435	-	-	-	7.428	-	-	-
Steinkohle	4.588	6.024	5.522	5.261	3.725	4.572	5.145	1.704	-
Steinkohle mit CCS	-	-	-	7.020	6.762	-	-	5.843	5.418
Braunkohle	7.308	6.067	6.156	5.810	6.712	5.116	4.134	2.770	-
Braunkohle mit CCS	-	-	7.431	7.415	7.631	-	6.959	6.521	5.710
Erdgas	3.418	2.722	2.025	1.294	1.708	2.183	2.295	1.216	956
Öl und sonstige	3.481	8	3	-	-	3	18	-	-
Speicher (Pumpspeicher, sonstige)	1.315	2.786	2.808	2.834	2.866	2.912	2.585	2.607	2.827
Wasserkraft	4.261	4.758	4.737	4.769	4.769	4.758	4.737	4.769	4.769
Windenergie insgesamt	1.478	2.293	2.452	2.475	2.514	2.293	2.573	2.664	2.735
Onshore	1.478	1.909	2.009	2.000	2.000	1.909	2.009	2.000	2.000
Offshore	-	3.370	3.620	3.677	3.792	3.370	3.620	3.677	3.792
Photovoltaik	632	867	913	934	955	867	913	934	955
Biomasse	5.455	6.465	6.470	6.184	6.184	6.465	6.470	6.184	6.184
Geothermie	-	6.575	6.687	7.000	7.000	6.575	6.687	7.000	7.000
Durchschnitt	4.632	3.757	3.597	3.527	3.560	3.294	3.102	2.706	2.829

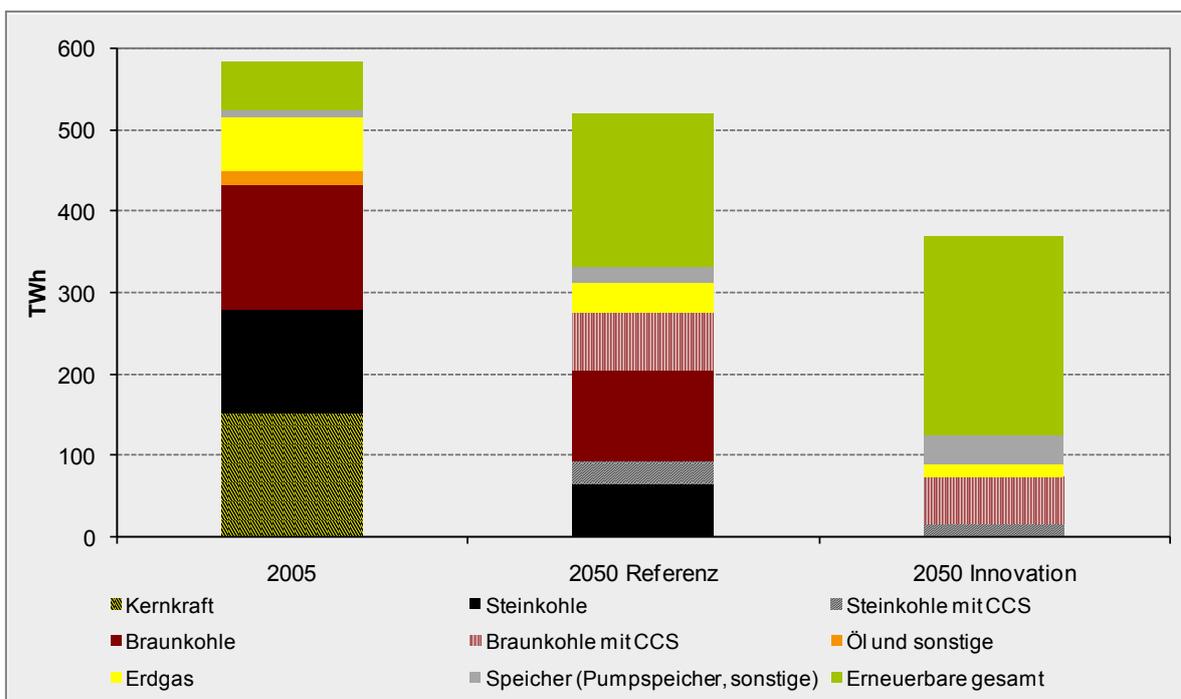
Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.2-7: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: installierte Leistung des Kraftwerksparks in 2005 und 2050, in GW



Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.2-8: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: Stromerzeugung nach Energieträgern in 2005 und 2050, in TWh



Quelle: Prognos 2009

6.2.2.3 CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung sinken in der Referenz auf ca. 48 % des Wertes von 2005, im Innovationsszenario auf 4 % (Tabelle 6.2-9).

Tabelle 6.2-9: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: Brennstoffeinsatz, CO₂-Faktoren und CO₂-Emissionen der Stromerzeugung 2005 – 2050, in Mio. t

	2005	Referenzszenario mit CCS				Innovationsszenario mit CCS			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Brennstoffeinsatz, in PJ									
Steinkohle	1.182	1.461	909	738	537	1.128	642	137	-
Steinkohle mit CCS	0	0	0	121	220	-	-	150	142
Braunkohle	1.537	932	1.086	983	812	776	390	249	-
Braunkohle mit CCS	0	0	193	426	562	-	238	443	507
Erdgas	571	473	366	228	282	380	365	192	129
Öl und sonstige	314	0	0	0	0	0	0	-	-
Biomasse	136	486	468	432	415	486	444	394	379
CO₂-Emissionsfaktoren, in kg/GJ									
Steinkohle	94	94	94	94	94	94	94	94	94
Steinkohle mit CCS	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Braunkohle	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Braunkohle mit CCS	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Erdgas	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Öl und sonstige	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Biomasse	23	23	23	23	23	23	23	23	23
CO₂-Emissionen, in Mio. t									
Steinkohle	111	137	85	69	50	106	60	13	-
Steinkohle mit CCS	0	0	0	1	2	-	-	1	1
Braunkohle	172	104	122	110	91	87	44	28	-
Braunkohle mit CCS	0	0	2	5	6	-	3	5	6
Erdgas	32	27	21	13	16	21	20	11	7
Öl und sonstige	25	0	0	0	0	0	0	-	-
Biomasse	3	11	11	10	9	11	10	9	9
Gesamt CO₂-Emissionen	344	279	241	208	175	225	137	67	23

*Emissionen ohne Anteile der Rauchgasentschwefelung

Quelle: Prognos 2009

6.2.2.4 Kosten

Die durchschnittlichen jährlichen Gestehungskosten und die jährlichen Gesamtkosten der Stromerzeugung werden aus den Investitionen (Kapitalkosten), den Brennstoffkosten, fixen und variablen Betriebskosten (Wartung etc.) sowie CO₂-Kosten und Speicherkosten ermittelt. Für letztere werden als Kostenobergrenze die Kosten eines Gasturbinenkraftwerks angesetzt.

Es zeigt sich, dass – wie in der Variante ohne CCS – im Innovationsszenario in den Jahren 2020 bis 2040 die Gestehungskosten geringfügig höher liegen als im Referenzszenario. Dies liegt vor allem an den relativen Verhältnissen des Zubaus: Die Gaskraftwerke führen zu höheren Kosten als die Kohlekraftwerke. Letztere werden allerdings gegen Ende ihrer Laufzeit wegen einsatzordnungsbedingt geringerer Volllaststunden (Vorrang der Erneuerbaren) im Innovationsszenario teurer. Im Jahr 2050 liegen die Gestehungskosten

des Innovationsszenarios jedoch geringfügig (5 %) unter denen der Referenz. Die Vollkosten der Erzeugung liegen im Innovationsszenario aufgrund der geringeren Nachfrage und des daher geringeren Zubaus an Gesamtleistung immer niedriger als in der Referenz, in 2050 um 25 % (Tabelle 6.2-10). Insgesamt liegen sowohl die Gesteigungs- als auch die Vollkosten durchweg etwas günstiger als diejenigen des Variantensatzes ohne CCS. Die Gesteigungskosten gleichen sich zum Ende des Betrachtungszeitraums an.

Tabelle 6.2-10: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: Gesteigungskosten und Vollkosten der Erzeugung 2005 – 2050

	2005	Referenzszenario mit CCS				Innovationszenario mit CCS			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Spezifische Gesteigungskosten der Nettostromerz. in €-Cent/kWh (real, 2007)									
Durchschnitt Konventionelle Erzeugung	4,3	7,8	8,1	8,4	9,5	8,1	9,4	10,5	10,5
Kernkraft	4,0	4,1	-	-	-	4,1	-	-	-
Steinkohle	4,6	7,4	8,2	9,4	12,4	8,0	8,7	15,8	-
Steinkohle mit CCS		0,0	0,0	8,1	9,4	-	-	9,1	10,9
Braunkohle	3,3	6,6	6,1	6,7	6,8	6,8	7,4	9,8	-
Braunkohle mit CCS		0,0	5,1	5,0	4,9	-	5,3	5,5	6,2
Erdgas	8,0	12,6	15,0	19,3	22,1	13,1	14,7	20,1	25,3
Öl und sonstige		0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
Speicher (Pumpspeicher, sonstige)	10,3	11,3	11,0	11,0	11,5	11,5	11,5	10,8	9,7
Stromimport	0,0	9,5	8,4	7,5	7,0	9,5	8,4	7,5	7,0
Durchschnitt Erneuerbare Erzeugung	12,0	10,3	9,0	8,5	8,4	10,3	8,9	8,3	8,0
Wasserkraft	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Windenergie insgesamt	11,1	8,6	7,3	7,1	6,9	8,6	7,3	7,0	6,8
Onshore	11,1	8,0	7,4	7,3	7,3	8,0	7,4	7,3	7,3
Offshore	0,0	9,5	7,3	6,8	6,5	9,5	7,3	6,8	6,5
Photovoltaik	54,8	14,6	10,9	9,9	9,4	14,6	10,9	9,9	9,4
Biomasse	13,2	12,2	11,4	10,5	10,5	12,2	11,4	10,5	10,5
Geothermie	45,8	9,8	8,5	7,5	7,1	9,8	8,5	7,5	7,1
Durchschnitt insgesamt	5,2	8,7	8,5	8,5	9,1	9,0	9,2	9,1	8,6
Vollkosten der Stromerzeugung, in Mrd. € (real, 2007)									
Konventionelle Erzeugung insgesamt	22,3	28,2	26,5	27,3	29,7	23,8	18,6	14,0	9,4
Kernkraft	6,0	1,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0
Steinkohle	5,9	12,6	9,3	8,9	8,0	10,3	6,6	2,0	0,0
Steinkohle mit CCS	-	-	-	1,2	2,7	-	-	1,6	1,8
Braunkohle	5,0	6,7	8,9	8,8	7,5	5,9	3,5	2,6	0,0
Braunkohle mit CCS	-	-	1,1	2,6	3,5	-	1,5	2,9	3,5
Erdgas	5,3	7,7	7,3	5,8	8,1	6,5	7,1	4,9	4,1
Öl und sonstige	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Speicher (Pumpspeicher, sonstige)	0,7	1,8	1,8	1,9	2,1	1,8	2,4	2,9	3,5
Stromimport	-	0,0	0,5	0,6	0,7	0,0	1,2	2,6	3,6
Erneuerbare Erzeugung insgesamt	7,5	18,0	16,7	15,9	16,0	18,0	18,1	18,5	19,5
Wasserkraft	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5
Windenergie insgesamt	3,0	7,5	7,0	6,9	6,9	7,5	8,2	9,1	9,6
Onshore	3,0	4,3	4,2	4,1	4,1	4,3	4,2	4,3	4,4
Offshore	-	3,2	2,8	2,8	2,8	3,2	4,0	4,8	5,2
Photovoltaik	0,7	2,3	1,8	1,7	1,7	2,3	2,0	2,0	2,0
Biomasse	1,6	5,6	5,3	4,7	4,7	5,6	5,1	4,3	4,3
Geothermie	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	1,1
Gesamt Vollkosten der Stromerzeugung	30,5	48,0	45,5	45,8	48,5	43,7	40,2	38,1	36,0

Quelle: Prognos 2009

6.3 Primärenergie

6.3.1 Varianten „ohne CCS“

Im Jahr 2050 liegt der Primärenergieeinsatz (ohne nichtenergetischen Einsatz) im Innovationsszenario als Ergebnis zweier gegenläufiger Effekte um 31 % unter demjenigen im Referenzszenario. Die fossilen Energieträger werden gegenüber dem durch konsequente Effizienzmaßnahmen geprägten Referenzszenario im Innovationsszenario durch strategische Substitutionsmaßnahmen sowie Stromeinsparungen weiter verringert. Die Erneuerbaren sind in den Bereichen Mobilität und Stromerzeugung „Substitutionsgewinner“.

Im Einzelnen verschwinden die Kohlen im Innovationsszenario praktisch vollständig aus dem Mix. Die 2050 eingesetzte Menge Steinkohle liegt im Innovationsszenario um 96 % niedriger als im Referenzszenario, bei Braunkohle sind es 98 %. Von den verbleibenden 82 PJ werden 77 PJ in der Metallerzeugung eingesetzt, die restlichen 5 PJ stellen Umwandlungsverluste dar. Bei Mineralölprodukten beträgt der Unterschied 79 %. Hierbei werden die „klassischen“ Kraftstoffe Benzin und Diesel praktisch vollkommen verdrängt (Rückgang um 100 %). Diesel kommt mit 4 PJ nur noch in Nischenanwendungen vor. Flugtreibstoffe werden nicht ersetzt und gegenüber dem Referenzszenario lediglich um 11 % abgesenkt, sie bleiben 2050 mit 312 PJ im Mix. Aufgrund der begrenzt verfügbaren Biomassepotenziale werden biogene Brenn- und Kraftstoffe auch im Innovationsszenario als alternativlos angenommen. Heizölprodukte werden 2050 im Innovationsszenario gegenüber dem Referenzszenario um 79 % (Heizöl leicht) bzw. 75 % (Heizöl schwer) weniger genutzt. Sie werden in Restbeständen für die Prozesswärmeproduktion in der Industrie und im Dienstleistungssektor eingesetzt. Der Einsatz von Gasen liegt 2050 im Innovationsszenario um 51 % unter dem Referenzwert. Hier wirken zwei leicht gegenläufige Effekte: Reduzierend wirkt die Effizienzerhöhung auf der Nachfrageseite, die Verminderung der Stromnachfrage und der geringere Einsatz in der Stromproduktion. Tendenziell erhöhend wirken Substitutionseffekte bei der Prozesswärmeerzeugung in den Sektoren Industrie und Dienstleistungen, der Einsatz von Gas im Verkehrssektor sowie der erhöhte Regelenergiebedarf in der Stromerzeugung.

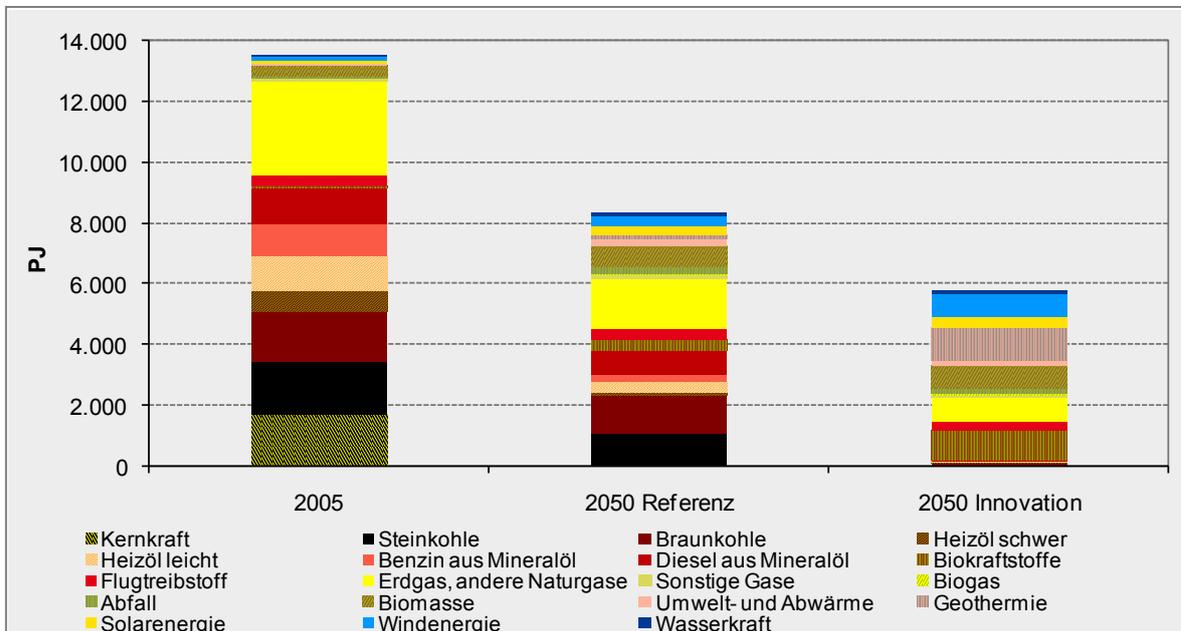
Tabelle 6.3-11: Szenarienvergleich, Variante „ohne CCS“: Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetischen Verbrauch) nach Energieträgern und Sektoren, 2005 – 2050, in PJ

	Referenzszenario					Innovationsszenario			
	2005	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
nach Energieträgern ohne CCS									
Kernkraft	1.658	332	0	0	0	331	0	0	0
Kohle	3.412	2.888	2.529	2.458	2.284	2.308	1.261	564	82
Steinkohle	1.749	1.888	1.274	1.268	1.066	1.476	814	330	59
Braunkohle	1.662	1.000	1.255	1.190	1.218	832	447	234	23
Mineralölprodukte	4.407	3.299	2.753	2.293	1.865	2.813	1.610	866	389
Heizöl leicht	1.151	787	576	423	325	574	256	96	36
Heizöl schwer	675	275	227	183	149	225	130	72	37
Benzin aus Mineralöl	1.033	583	461	369	254	534	303	115	0
Diesel aus Mineralöl	1.202	1.260	1.114	952	787	1.097	566	246	4
Flugtreibstoff	345	394	374	365	350	383	354	336	312
übrige Mineralölprodukte	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Gase	3.228	2.818	2.318	1.933	1.792	2.269	1.611	1.150	875
Erdgas, andere Naturgase	3.105	2.697	2.210	1.827	1.673	2.170	1.519	1.053	780
Sonstige Gase	123	121	108	106	119	99	92	97	95
Abfall	87	283	272	251	241	283	258	229	221
Erneuerbare Energien	741	1.678	1.937	2.090	2.148	1.932	2.939	3.484	4.200
Biomasse	337	698	724	711	689	765	874	791	726
Umwelt- und Abwärme	69	112	150	187	200	112	149	164	144
Solarenergie	77	180	237	280	292	246	362	388	371
Wasserkraft	82	93	92	93	93	93	94	94	94
Windenergie	98	314	342	351	359	314	512	672	753
Biokraftstoffe	77	193	268	321	340	318	708	867	987
Biogas	0	17	50	60	60	14	26	17	7
Geothermie	0	71	74	87	114	71	215	490	1.118
Gesamt Primärenergiebedarf	13.532	11.298	9.808	9.024	8.330	9.936	7.680	6.294	5.766
nach Sektoren ohne CCS									
Private Haushalte	2.069	1.660	1.445	1.255	1.096	1.391	949	605	341
Dienstleistungen	923	685	464	322	270	617	376	269	237
Industrie	1.556	1.444	1.281	1.176	1.127	1.118	853	714	667
Verkehr	2.529	2.361	2.180	1.996	1.760	2.272	1.933	1.620	1.373
Fernwärmeerzeugung	306	271	255	248	211	253	188	123	79
Stromerzeugung	5.583	4.217	3.568	3.429	3.327	3.634	2.723	2.387	2.539
Sonstige Umwandlung	567	661	616	598	540	651	658	575	530
Gesamt Primärenergiebedarf	13.532	11.298	9.808	9.024	8.330	9.936	7.680	6.294	5.766

Quelle: Prognos 2009

Der Einsatz der erneuerbaren Energien liegt im Zielszenario gegenüber dem Referenzszenario – mit den effizienzbedingten Ausnahmen Biogas und Abwärme/Umweltwärme - durchgängig höher, in der Summe ist es eine knappe Verdoppelung. Die stärkste absolute und relative Abweichung nach oben ist bei Geothermie (Stromerzeugung) zu verzeichnen: Dort beträgt der Unterschied mit einer Steigerung um 1.004 PJ fast das Zehnfache des Referenzwertes. Biokraftstoffe erfahren nahezu eine Verdreifachung aufgrund der Energieträgersubstitution im Straßenverkehr. Bei der Biomasse erfolgt lediglich eine Erhöhung um 5 %. Dies liegt daran, dass in der Referenz Biomasse „ungerichtet“ sowohl für die traditionelle Wärmeproduktion als auch für gekoppelte Stromproduktion eingesetzt wird. Im Innovationsszenario werden diese Mengen vorrangig zur Produktion von Biokraftstoffen eingesetzt.

Abbildung 6.3-9: Szenarienvergleich, Varianten „ohne CCS“: Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetischen Verbrauch) nach Energieträgern 2005 - 2050, in PJ



Quelle: Prognos 2009

Aus dem gleichen Grund liegt der Einsatz von Biogas 2050 im Innovationsszenario um 88 % unter dem Referenzwert: Der größte Teil der Biomasse, die im Referenzszenario zu großen Teilen für die Erzeugung von Biogas zur Wärmeproduktion und gekoppelten Wärme- und Stromproduktion eingesetzt wurden, wird im Innovationsszenario für die Erzeugung von Biokraftstoffen verwendet.

Die Umwelt- und Abwärmenutzung verringert sich im Innovationsszenario gegenüber der Referenz um 28 % aufgrund der Reduktion des Raumwärmebedarfs. Der Solarenergieeinsatz erhöht sich im Innovationsszenario gegenüber der Referenz um 27%; dies ist das Resultat der gegenläufigen Effekte der Reduktion von Niedertemperaturwärmenachfrage und erhöhter Stromproduktion. Windenergie wird im Innovationsszenario gut doppelt so stark ausgebaut wie in der Referenz.

6.3.2 Varianten „mit CCS“

In den Varianten mit CCS verändert sich gegenüber den Varianten „ohne CCS“ im Wesentlichen der Einsatz von Kohlen und erneuerbarer Energieträger in der Stromerzeugung (Tabelle 6.3-12, Abbildung 6.3-10.).

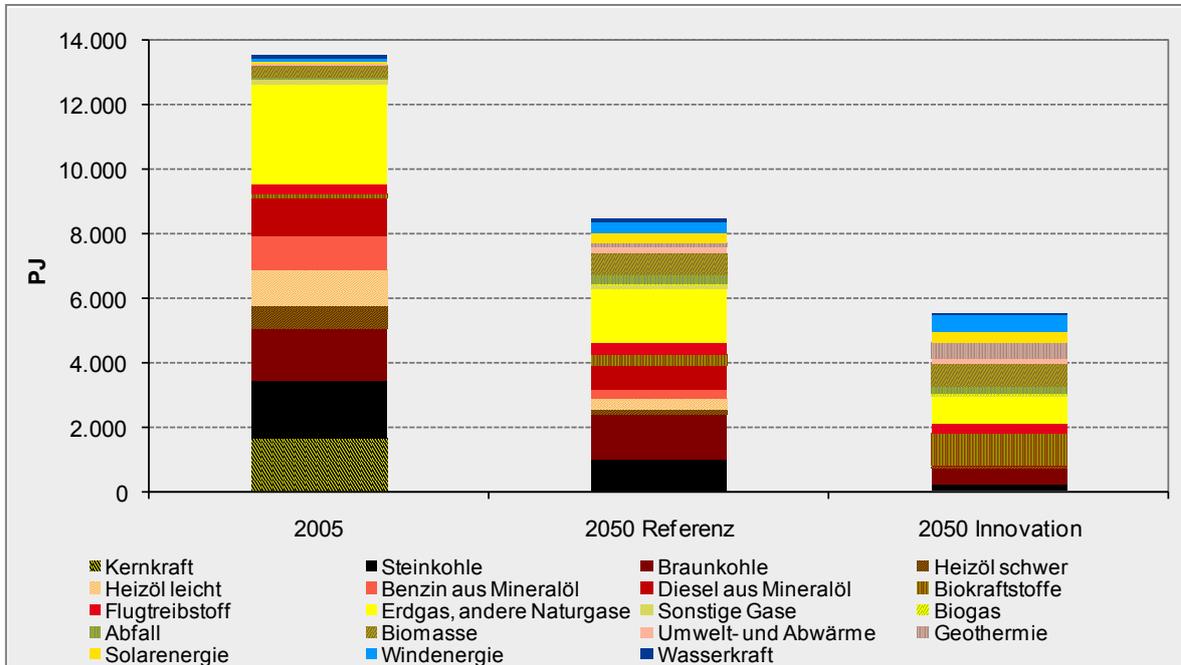
Tabelle 6.3-12: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetischen Verbrauch) nach Energieträgern und Sektoren, 2005 – 2050, in PJ

	2005	Referenzszenario				Innovationsszenario			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
nach Energieträgern mit CCS									
Kernkraft	1.658	332	0	0	0	331	0	0	0
Kohle	3.412	2.888	2.554	2.585	2.409	2.308	1.514	1.135	753
Steinkohle	1.749	1.888	1.207	1.112	975	1.476	843	404	212
Braunkohle	1.662	1.000	1.347	1.474	1.434	832	671	731	540
Mineralölprodukte	4.407	3.299	2.753	2.293	1.865	2.813	1.611	866	389
Heizöl leicht	1.151	787	576	423	325	574	256	96	36
Heizöl schwer	675	275	227	183	149	225	131	72	37
Benzin aus Mineralöl	1.033	583	461	369	254	534	303	115	0
Diesel aus Mineralöl	1.202	1.260	1.114	952	787	1.097	566	246	4
Flugtreibstoff	345	394	374	365	350	383	354	336	312
übrige Mineralölprodukte	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Gase	3.228	2.818	2.313	1.890	1.794	2.269	1.620	1.121	908
Erdgas, andere Naturgase	3.105	2.697	2.205	1.784	1.675	2.170	1.528	1.024	813
Sonstige Gase	123	121	108	106	119	99	92	97	95
Abfall	87	283	272	251	241	283	258	229	221
Erneuerbare Energien	741	1.678	1.937	2.090	2.148	1.932	2.730	3.007	3.294
Biomasse	337	698	724	711	689	765	874	791	726
Umwelt- und Abwärme	69	112	150	187	200	112	149	164	144
Solarenergie	77	180	237	280	292	246	350	369	348
Wasserkraft	82	93	92	93	93	93	93	93	93
Windenergie	98	314	342	351	359	314	405	469	504
Biokraftstoffe	77	193	268	321	340	318	708	867	987
Biogas	0	17	50	60	60	14	26	17	7
Geothermie	0	71	74	87	114	71	126	235	484
Gesamt Primärenergiebedarf	13.532	11.298	9.828	9.109	8.457	9.936	7.733	6.358	5.564
nach Sektoren mit CCS									
Private Haushalte	2.069	1.660	1.445	1.255	1.096	1.391	949	605	341
Dienstleistungen	923	685	464	322	270	617	376	269	237
Industrie	1.556	1.444	1.281	1.176	1.127	1.118	853	714	667
Verkehr	2.529	2.361	2.180	1.996	1.760	2.272	1.933	1.620	1.373
Ferwärmeerzeugung	306	271	255	248	211	253	188	123	79
Stromerzeugung	5.583	4.217	3.591	3.520	3.457	3.634	2.769	2.437	2.315
Sonstige Umwandlung	567	661	613	591	538	651	664	590	552
Gesamt Primärenergiebedarf	13.532	11.298	9.828	9.109	8.457	9.936	7.733	6.358	5.564

Quelle: Prognos 2009

Bei den Kohlen liegt der Verbrauch im Innovationsszenario 2050 um 69 % niedriger als in der Referenz, um 78 % bei Steinkohle und um 62 % bei Braunkohle. Hier spiegelt sich wider, dass noch 10 GW Kraftwerkskapazität auf Braunkohlebasis und 3 GW Kapazität auf Steinkohlebasis, jeweils mit CCS-Technologie, im Mix sind.

Abbildung 6.3-10: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetischen Verbrauch) nach Energieträgern, 2005 - 2050, in PJ



Quelle: Prognos 2009

Entsprechend ist die Steigerung der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung mit 53 % weniger stark als in den Varianten „ohne CCS“: Der Geothermie-Einsatz liegt 2050 im Innovationsszenario lediglich viermal so hoch wie im Referenzszenario, Windenergie um 40 % höher, Solarenergie um 19 %.

In der Stromerzeugung beträgt im Jahr 2050 die Reduktion im Innovationsszenario gegenüber dem Referenzszenario 33 %. Dieses verglichen mit dem Variantenvergleich „ohne CCS“ scheinbar paradoxe Ergebnis ist das Resultat zweier einander ergänzender Effekte. Einerseits ist der „Ausgangswert“ in der Referenz in der Variante „mit CCS“ aufgrund der geringeren Wirkungsgrade der CCS-Kraftwerke höher als derjenige in der Variante „ohne CCS“. Andererseits wird aufgrund der durch die thermischen Kraftwerke produzierten Grund- und Mittellast und des insgesamt geringeren fluktuierenden Aufkommens aus Erneuerbaren der zusätzliche Speicherbedarf mit seinen Verlusten von ca. 30 % geringer, so dass insgesamt 1.141 PJ eingespart werden.

6.4 Gesamte Treibhausgasemissionen

Im Szenarienvergleich der Treibhausgasemissionen unterscheiden sich die Varianten „ohne CCS“ und „mit CCS“ nur geringfügig; daher werden diese hier wie in den Kapiteln 4 und 5 parallel beschrieben.

Grundsätzlich wird die Entwicklung der Treibhausgasemissionen im zeitlichen Verlauf sehr stark von den energiebedingten Emissionen, und hier vor allem den energiebedingten CO₂-Emissionen (aus Verbrennungsprozessen) dominiert.

Tabelle 6.4-1: Szenarienvergleich, gesamte Treibhausgasemissionen nach Sektoren 1990 – 2050, in Mio. t CO₂-Äquivalenten

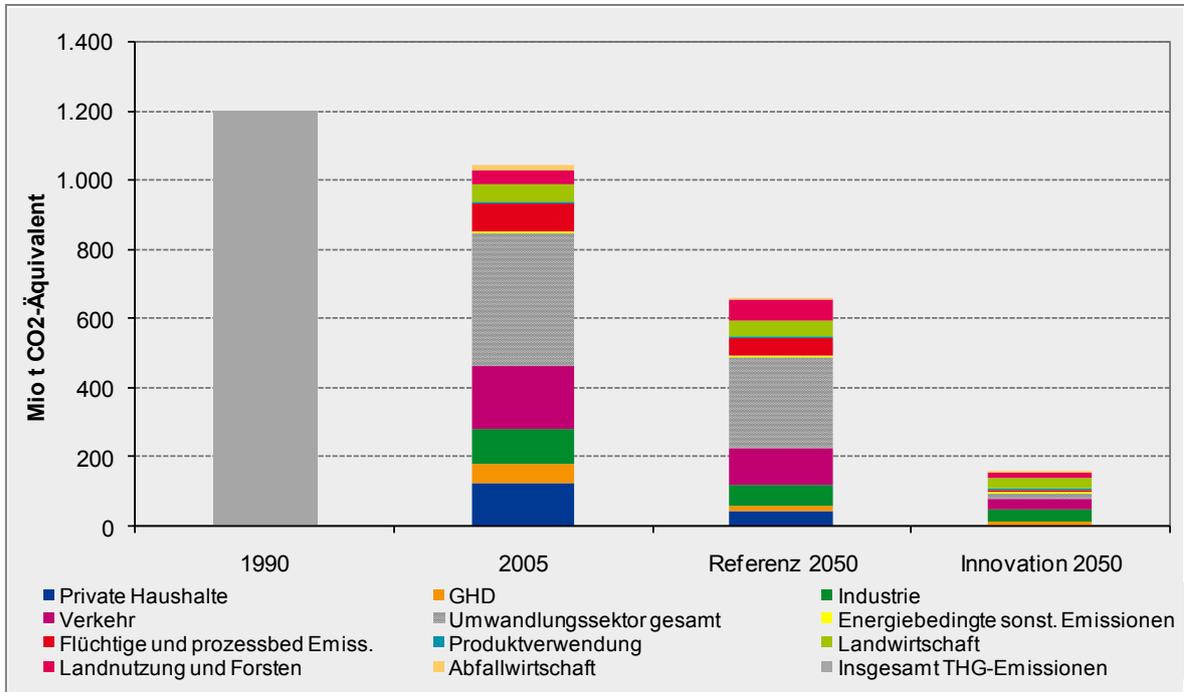
Mio. t CO ₂ -Äqu.	Ist-Daten		Referenzszenario				Innovationsszenario			
	1990	2005	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Nach Sektoren										
Verbrennungsprozesse ohne CCS	1.018	843	715	615	550	493	589	353	199	97
dav. Stromerzeugung ohne CCS		323	280	257	247	235	226	134	65	14
dav. Industrie		101	91	78	69	65	70	51	41	36
dav. Verkehr		179	159	140	123	103	144	91	57	30
Verbrennungsprozesse mit CCS	1.018	843	715	599	511	433	589	357	201	106
dav. Stromerzeugung mit CCS		323	280	242	209	176	226	138	67	23
Flüchtige und prozessbedingte Emissionen, Produktverwendung	107	84	60	57	56	54	54	37	23	10
Landwirtschaft	62	53	48	48	48	48	39	36	33	30
Landnutzung und Forsten	-28	39	60	60	60	60	21	18	18	18
Abfallwirtschaft	40	13	6	5	4	4	6	4	3	3
Nach Gasen										
Variante ohne CCS										
CO ₂	1.019	913	803	703	638	581	634	387	227	117
CH ₄	98	46	30	27	25	24	26	21	17	13
N ₂ O	70	56	42	41	40	40	35	30	27	25
Variante mit CCS										
CO ₂	1.019	913	803	688	600	521	634	391	229	126
CH ₄	98	46	30	27	25	24	26	21	17	13
N ₂ O	70	56	42	41	40	39	35	30	27	25
HFKW	4	10	10	10	10	10	10	7	4	1
FKW	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SF ₆	5	5	3	3	3	3	3	2	1	0
Insgesamt ohne CCS	1.199	1.031	888	785	717	658	709	447	276	157
Insgesamt mit CCS	1.199	1.031	888	769	679	598	709	451	278	166
Insgesamt ohne CCS										
Veränderung ggü. 1990	-	-14,0%	-25,9%	-34,5%	-40,2%	-45,1%	-40,8%	-62,7%	-77,0%	-86,9%
Veränderung ggü. 2005	16,3%	-	-13,8%	-23,9%	-30,5%	-36,2%	-31,2%	-56,6%	-73,3%	-84,8%
Insgesamt mit CCS										
Veränderung ggü. 1990	-	-14,0%	-25,9%	-35,8%	-43,4%	-50,1%	-40,8%	-62,4%	-76,8%	-86,2%
Veränderung ggü. 2005	16,3%	-	-13,8%	-25,4%	-34,2%	-42,0%	-31,2%	-56,3%	-73,1%	-83,9%

Anmerkung: Emissionsdaten für 2005 sind Inventardaten; energiebedingte Emissionen inklusive CO₂ aus Rauchgasreinigung

Quelle: Prognos / Öko-Institut 2009

Diese liegen im jeweiligen Innovationsszenario 2050 in der Variante „ohne CCS“ um 80 % und in der Variante „mit CCS“ um 76 % niedriger als in der entsprechenden Variante des Referenzszenarios. Dieser Unterschied resultiert vollständig aus den unterschiedlichen Entwicklungen in der Stromerzeugung. In der Variante „ohne CCS“ unterschreiten die damit verbundenen CO₂-Emissionen im Innovationsszenario 2050 den Wert der Referenz um 94 % (sie liegen dann bei 14 Mio. t), in der Variante „mit CCS“ um 87 % (entsprechend 23 Mio. t CO₂).

Abbildung 6.4-1: Szenarienvergleich, Varianten „ohne CCS“: energiebedingte Treibhausgasemissionen nach Sektoren 1990 - 2050, in Mio. t CO₂-Äquivalenten



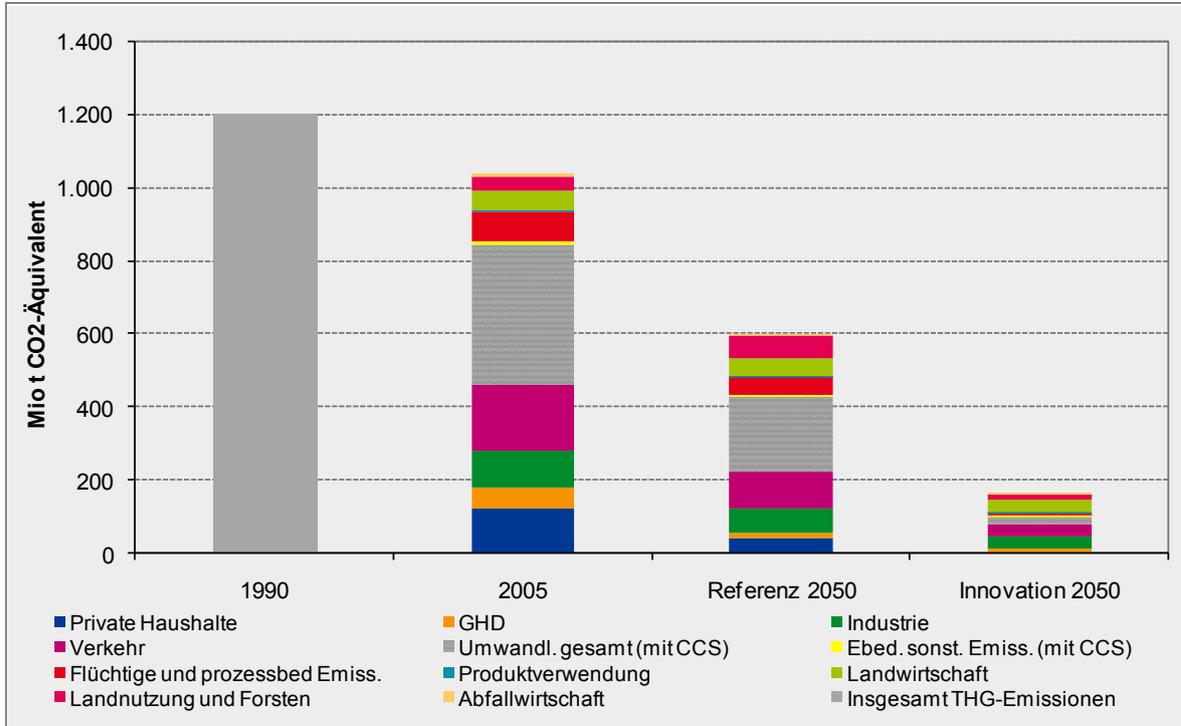
Quelle: Prognos/ Öko-Institut 2009

In den Nachfragesektoren ist die Entwicklung in den Szenarien sehr unterschiedlich (Abbildung 6.4-1). Im Sektor private Haushalte wird 2050 im Innovationsszenario, v.a. durch das Einsparen des Raumwärmebedarfs und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien eine Verringerung der Emissionen um 93 % gegenüber dem Referenzszenario erreicht. Im Dienstleistungssektor beträgt die entsprechend Reduktion 37 %. Der Unterschied ist deshalb vergleichsweise klein, weil hier bereits im Referenzszenario erhebliche Einsparerefolge erzielt werden. In der Industrie können durch die Prozess- und Werkstoffinnovationen im Innovationsszenario gegenüber dem effizienzgetriebenen Referenzszenario 44 % der Emissionen eingespart werden, im Verkehrssektor 71 %. Hier wirken die strategischen Maßnahmen Elektrifizierung des motorisierten Personenverkehrs, Güterverkehrsverlagerung und Ersatz fossiler durch biogene Kraftstoffe im PKW-Bereich und im motorisierten Güterverkehr zusammen.

Im sonstigen Umwandlungssektor liegen die Emissionen 2050 im Innovationsszenario um 88 % niedriger als in der Referenz. Diese Absenkung hängt vor allem mit dem verringerten Einsatz von Mineralölprodukten zusammen, da mit der Umwandlung von Biomasse in Biokraftstoffe definitionsgemäß keine direkten CO₂-Emissionen verbunden sind (indirekte und sonstige Emissionen werden in den Nicht-Energie-Sektoren verbucht, vgl. Kap. 4, 5 und 6). Die Reduktion der Fernwärmenachfrage und der Kohleneinsätze in der Stromerzeugung reduzieren die Emissionen ebenfalls.

Die Methan- und Lachgasemissionen aus Verbrennungsprozessen (energiebedingten CH₄- und N₂O-Emissionen) sinken zwar erheblich, sind aber mengenmäßig von nur sehr geringer Bedeutung.

Abbildung 6.4-2: Szenarienvergleich, Varianten „mit CCS“: energiebedingte Treibhausgasemissionen nach Sektoren 1990 - 2050, in Mio. t CO₂-Äquivalenten



Quelle: Prognos/ Öko-Institut 2009

Die Unterschiede bei den flüchtigen Emissionen des Energiesektors, den prozessbedingten Emissionen sowie den Treibhausgasemissionen aus der Produktverwendung sind im Vergleich der beiden Szenarien v.a. durch zwei Entwicklungen geprägt. Erstens zieht die Veränderungen der Energieträgerstrukturen nochmals eine erhebliche Verringerung der flüchtigen Emissionen des Energiesektors nach sich, vor allem wegen der deutlich verringerten Methan-Emissionen des Öl- und Gassektors. Zweitens werden bei den prozessbedingten Emissionen in einigen Bereichen (Zementproduktion, chemische Industrie, fluorierte Gase) erhebliche Emissionsminderungen erzielt. Insgesamt liegen die Treibhausgasemissionen dieser Bereiche im Innovationsszenario im Jahr 2050 um insgesamt 82 % unter den Vergleichswerten im Referenzszenario.

Erhebliche Emissionsminderungen werden auch im Sektor Landwirtschaft erreicht. Im Vergleich der Szenarien ergeben sich hier für das Jahr 2050 im Innovationsszenario um 37 % niedrigere Emissionen, die vor allem aus den Veränderungen im Bereich der Tierhaltung und der Bodenbewirtschaftung resultieren.

Die Netto-Emissionen im Sektor Bodennutzung und Forstwirtschaft werden im Innovationsszenario auf etwa 18 Mio. t CO₂-Äqu. gesenkt, dies entspricht im Vergleich zum Referenzszenario einer Minderung um rund 71 %. Auch wenn die Senkenfunktion der Wälder gegenüber dem Referenzszenario nicht ausgebaut werden kann, zeigen die Ergebnisse deutlich, dass durch Maßnahmen im Bereich der Landnutzung erhebliche Treibhausgas-minderungen zu erzielen sind.

Die Minderemissionen im Bereich der Abfallwirtschaft sind im Vergleich der beiden Szenarien zwar spezifisch groß (-28 %), absolut liegen im Jahr 2050 die Emissionen im Inno-

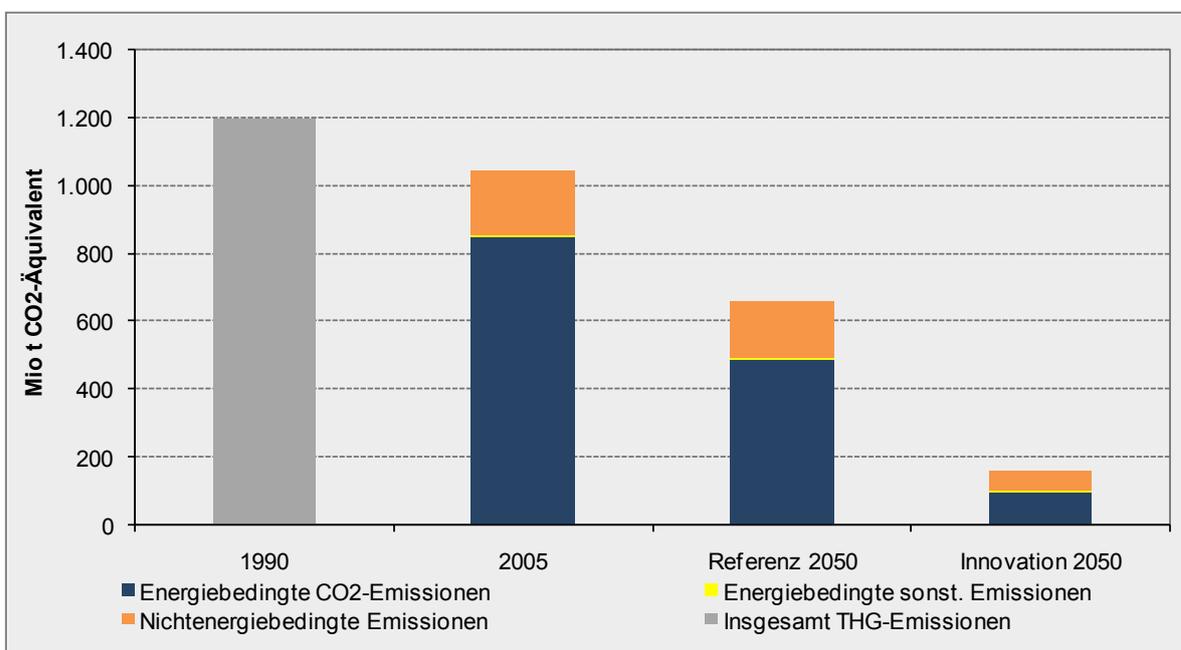
vationsszenario jedoch nur um etwa 1 Mio. t CO₂-Äqu. unter den entsprechenden Werten des Referenzszenarios.

Ein Vergleich der Emissionsverläufe nach Treibhausgasen zeigt wiederum die überragende Rolle der CO₂-Emissionen. Die Minderungen im Vergleich der beiden Szenarien für das Jahr 2050 betragen 80 % (Variante „ohne CCS“) bzw. 76 % (Variante „mit CCS“). Höhere spezifische Minderungen ergeben sich nur für die fluorierten Gase. Die hohen spezifischen Minderungen (-81 % bis -90 % für das Innovationsszenario im Jahr 2050) korrespondieren jedoch mit begrenzten absoluten Emissionseinsparungen von insgesamt 13 Mio. t CO₂-Äqu.

Die (vergleichsweise) geringsten Unterschiede zwischen dem Innovations- und dem Referenzszenario sind für die N₂O-Emissionen zu konstatieren. Die Differenz zwischen den Szenarien im Jahr 2050 liegt hier (je nach CCS-Variante) zwischen 14 und 15 Mio. t CO₂-Äqu., dies entspricht einer spezifischen Minderung von 37 % bis 38 %. Spezifisch größer (-44 %), absolut aber geringer (-11 Mio. t CO₂-Äqu.) sind die Emissionsdifferenzen bei Methan.

Die größten Emissionsbeiträge stammen im Jahr 2050 aus der Industrie (energiebedingte Emissionen von 34 Mio. t CO₂-Äqu.), der Landwirtschaft (30 Mio. t CO₂-Äqu.) sowie dem Verkehr (30 Mio. t CO₂-Äqu.), wobei dessen Emissionen ganz überwiegend auf den Straßengüter- und den Luftverkehr entfallen.

Abbildung 6.4-3: Szenarienvergleich, Varianten „ohne CCS“: gesamte Treibhausgasemissionen, aufgeteilt in energiebedingte und nicht energiebedingte Emissionen 1990 - 2050, in Mio. t CO₂-Äquivalenten



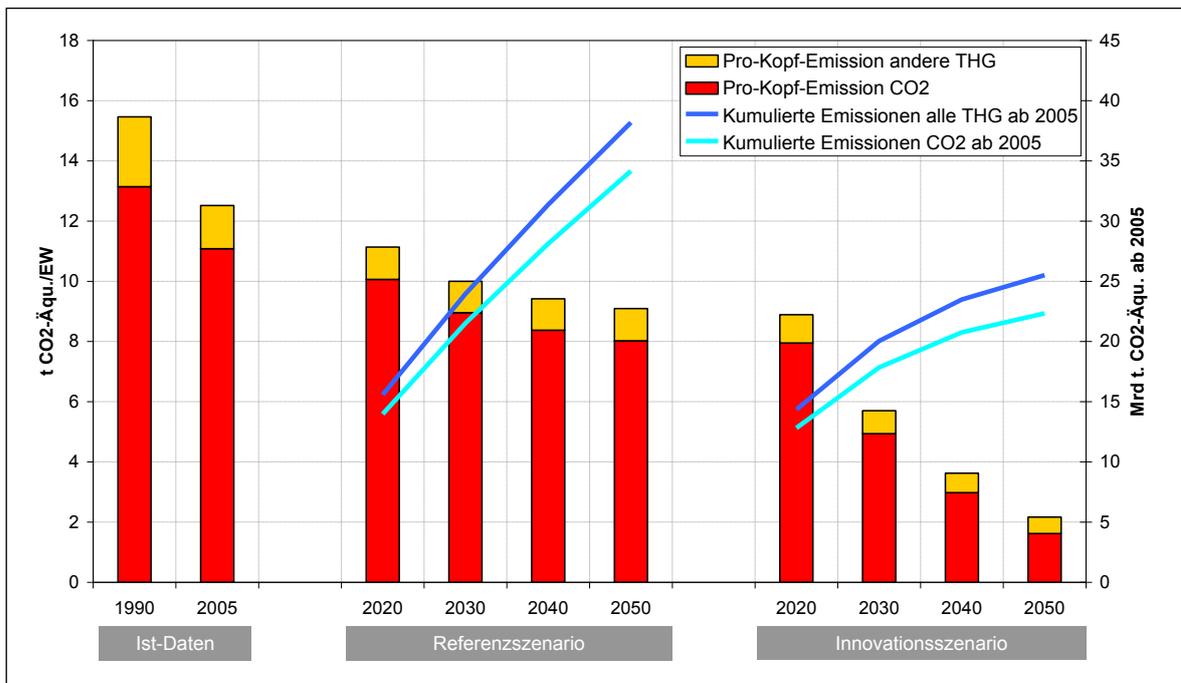
Quelle: Prognos / Öko-Institut 2009

Für die Einordnung der Szenarienergebnisse bilden sowohl die Pro-Kopf-Emissionen als auch die (ab 2005) kumulierten Treibhausgasemissionen wichtige Indikatoren. Die Pro-Kopf-Emissionen bzw. die Entwicklung der Pro-Kopf-Emissionen über die Zeit sind ein robuster Indikator für die Frage einer gerechten Zuordnung der Anstrengungen zur Emissionsminderung. Die kumulierten Treibhausgasemissionen sind dagegen ein präzises

Maß für den Verursacheranteil der globalen Klimaerwärmung bzw. den Wirkungsbeitrag im Rahmen einer Klimaschutzstrategie. Die Abbildung 6.4-4 verdeutlicht die grundsätzlich unterschiedlichen Entwicklungspfade der Treibhausgasemissionen.

Im Referenzszenario sinken die Pro-Kopf-Emissionen bis 2050 auf einen Wert von 9,1 t CO₂-Äqu. Im Vergleich zu 1990 entspricht dies einer Minderung der spezifischen Emissionen von etwa 41 %. Die Übersicht verdeutlicht auch nochmals, dass sich die wesentlichen Reduktionen im Bereich der CO₂-Emissionen vollziehen, die Veränderungen bei den anderen Treibhausgasen bleiben gering. Kumuliert über den Zeitraum 2005 bis 2050 betragen die gesamten Treibhausgasemissionen gut 38 Mrd. t CO₂-Äqu., die CO₂-Emissionen etwa 34 Mrd. t. Ausgehend von einem Budget von etwa 800 Mrd. t CO₂ bzw. 1.230 Mrd. t CO₂-Äqu. für den Zeitraum 2005 bis 2050 würde allein Deutschland das zur Begrenzung der globalen Klimaerwärmung auf einen Wert von unter 2°C verfügbare Emissionsbudget zu einem nicht unerheblichen Teil in Anspruch nehmen.

Abbildung 6.4-4: Szenarienvergleich, Pro-Kopf-Emissionen und kumulierte Emissionen (ab 2005), 1990 – 2050



Quelle: Prognos / Öko-Institut 2009

Die drastischen Emissionsminderungen im Innovationsszenario resultieren im Jahr 2050 in Pro-Kopf-Emissionen von 1,6 t CO₂ und von 2,2 t CO₂-Äqu. an gesamten Treibhausgasen. Dies entspricht einer Minderung um etwa 86 % gegenüber 2005. Der notwendige Übergangsprozess bei der Entwicklung des Treibhausgas-Ausstoßes führt aber mit Blick auf die kumulierten Emissionen zu weitaus weniger massiven Rückgängen. Im Zeitraum 2005 bis 2050 werden im Innovationsszenario etwa 22 Mrd. t CO₂ emittiert, für alle Treibhausgase beträgt der entsprechende Wert 25,5 Mrd. t CO₂-Äqu.. Im Innovationsszenario werden damit im gesamten Szenariozeitraum etwa 35 % weniger CO₂ bzw. 33 % weniger Treibhausgase ausgestoßen als im Referenzszenario.

Der hohe Beitrag des sich bis zum Jahr 2020 ergebenden Emissionssockels zu den bis 2050 kumulierten Gesamtemissionen unterstreicht die große Bedeutung nicht nur massiver, sondern vor allem auch schneller Emissionsminderungen. Für die klimapolitische

Bewertung von Emissionspfaden sind damit nicht nur die zu bestimmten Stichjahren erreichten Emissionsminderungen, sondern auch die kumulierten Emissionen und damit die Trajektorien der Emissionsreduktion von zentraler Bedeutung.

6.5 (Mehr- und Minder-)Kosten

Die Mehrkosten des Innovationsszenarios gegenüber dem Referenzszenario werden auf Sektorebene volkswirtschaftlich abgeschätzt. Dafür werden die für die Umsetzung benötigten Investitionen mit Finanzierungskosten über die Lebensdauer bestimmt. Diesen Investitionen werden als volkswirtschaftliche Einsparungen die vermiedenen Energieträgerimporte, vor allem bei Mineralölprodukten und Erdgas, gegen gerechnet. Grundsätzlich werden die Mehrkosten konservativ nach oben abgeschätzt.

Bei der Stromerzeugung werden die Vollkosten der Erzeugung in den beiden Szenarien miteinander verglichen. Diese schließen die Brennstoffkosten ein. Doppelzählungen vermiedener Energieträgerimporte werden bereinigt.

6.5.1 Mehrkosten im Sektor private Haushalte

Im Sektor private Haushalte treten in drei Bereichen zusätzliche Investitionen auf:

- bei der Erhöhung der wärmetechnischen Standards der Gebäude, sowohl bei Neubauten als auch bei Sanierungen;
- bei der Erzeugung von Wärme aus erneuerbaren Energien;
- bei Geräten für effizientere Stromanwendungen.

Die Erhöhungen der wärmetechnischen Standards der Gebäude werden mit mittleren Mehrkosten, bezogen auf die Wohnfläche, abgeschätzt. Derzeit wird bei Neubauten davon ausgegangen, dass die Mehrkosten für die Umsetzung eines sehr energieeffizienten Standards (ca. 30 kWh/m² a, bis hin zum Passivhaus-Standard) etwa zu Mehrkosten in Höhe von 8 - 10 % der Baukosten führen. Bei mittleren Erstellungskosten von 1.100 - 1.250 €/m² resultieren daraus Mehrkosten von ca. 100 €/m². Es sei darauf hingewiesen, dass die Kosten sowohl nach Gebäudetyp als auch regional stark streuen können und es sich bei den hier genannten Zahlen um nach oben abgeschätzte Mittelwerte innerhalb eines breiten Korridors handelt. Im Innovationsszenario wird angenommen, dass bereits frühzeitig das Ziel der Nullemissionsbauten als politisches Ziel verankert und mit entsprechender Forschung flankiert wird. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass mit angepassten Materialien und Bauweisen (Modularisierung, Vorfertigung etc.) sowie der Qualifizierung der beteiligten Gewerke die spezifischen Mehrkosten im Lauf der Zeit sinken. Hinzu kommt, dass auch in der Referenz die Standards allmählich anspruchsvoller werden, so dass die energetische Differenz der Neubauten zwischen den beiden Szenarien geringer wird.

Bei der energetischen Sanierung des Gebäudebestandes müssen zwei Effekte betrachtet werden: Einerseits werden die energetischen Standards der Sanierungen im Innovationsszenario gegenüber dem Referenzszenario verschärft. Hier treten energetisch bedingte Differenzkosten auf. Diese können je nach Alter, Komplexität, baulichem und energetischem Zustand vorher/nachher erheblich streuen, es werden in der Literatur und von Fachleuten etwa 20 - 44 €/m² angegeben. Dies sind etwa 15 – 35 % der gesamten Sanierungskosten. Als Mittelwert wiederum am oberen Rand des Korridors gehen wir zunächst von 35 €/m² aus. Wenn ab etwa dem Jahr 2035 die „zweite Welle“ der Sanierungen be-

ginnt, starten diese durchwegs auf einem baulich wie energetisch besseren Ausgangsniveau, daher kann hier von geringeren spezifischen Kosten ausgegangen werden.

Der zweite Aspekt bei den Sanierungen ist die Verdoppelung der Sanierungsrate um den Raumwärmebedarf des gesamten Gebäudebestandes bis etwa zum Jahr 2050 nahezu zum Verschwinden zu bringen. Die mit den gegenüber der Referenz zusätzlichen Sanierungen verbundenen Vollkosten werden dem Innovationsszenario zugerechnet. Praktisch handelt es sich dabei um die Sanierungsvollkosten für die Hälfte des Bestandes. Auch hier streuen die Vollkosten sehr stark, zwischen 150 und 500 €/m². Als „oberer Mittelwert“ werden hier 300 €/m² für die Abschätzung angesetzt. Aufgrund der o.g. Komplexität und Verschiedenheit der Bestandsgebäude wird nicht damit gerechnet, dass bei der Sanierung analog zum Neubau systematische Kostendegressionen zu erzielen sind, daher werden die spezifischen Sanierungsvoll- und -mehrkosten jeweils konstant gehalten.

Die so berechneten „reinen“ energiebedingten Investitionen werden dann annuitätisch mit einem volkswirtschaftlichen Zinssatz von 1,5% p.a. über die Lebensdauer der Maßnahmen verteilt (Jahresscheiben) und integriert, um sie später den Einsparungen gegenüber stellen zu können.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die hier berücksichtigten investiven Mehrkosten unabhängig davon auftreten, ob sie im Einzelfall aus der Entscheiderperspektive durch Energiekosteneinsparungen oder Mietpreiserhöhungen refinanziert werden können. Die Bandbreite bezüglich dieser Einzelwirtschaftlichkeit ist sehr hoch (vgl. Kasten) und stark von der jeweiligen ökonomischen Rationalität des Entscheiders sowie von Rahmenbedingungen abhängig.

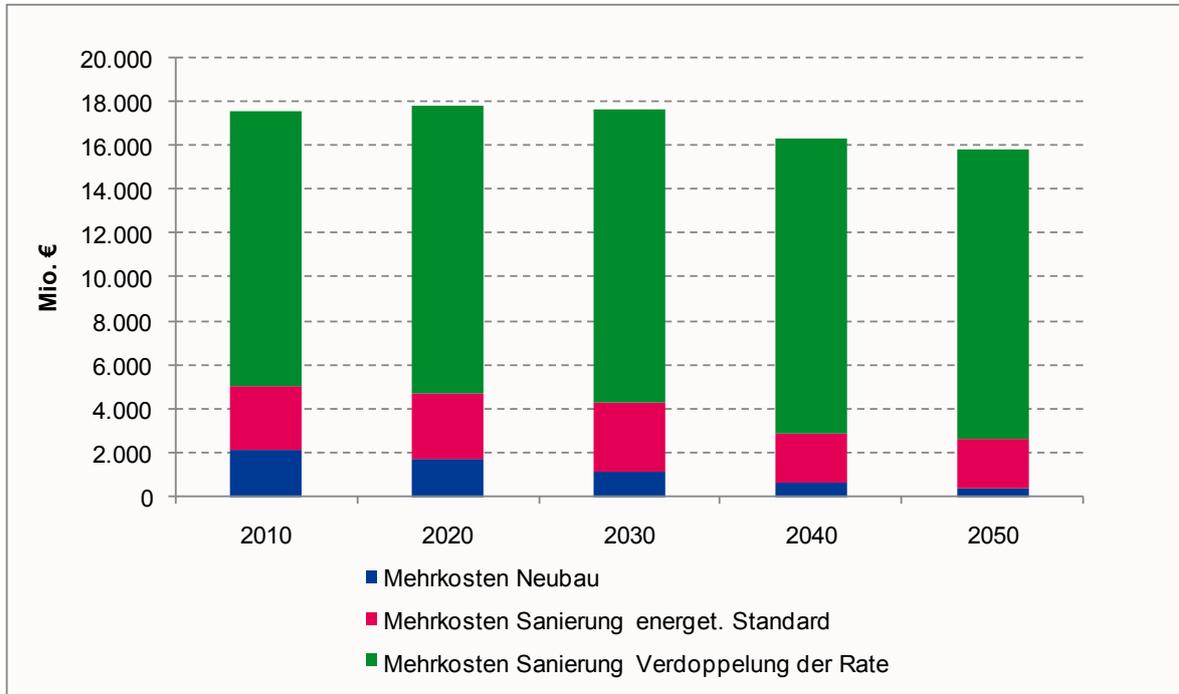
Der auf diese Weise ermittelte Mehrkostenblock ist in Tabelle 2.5-1 sowie in Abbildung 6.5-1 und Abbildung 6.5-2 dargestellt.

Tabelle 6.5-1 Energetisch bedingte Mehrkosten im Wohngebäudesektor und Bestimmungsfaktoren 2010 – 2050

	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Flächen						
Neubau	Mio m ²	21,9	18,9	15,4	11,4	9,2
Bestand	Mio m ²	3.328	3.485	3.583	3.576	3.525
spezifische Mehrkosten						
spez. Mehrkosten Neubau	€/m ²	100	90,4	73,9	60,3	49,3
spezif. Mehrkosten Sanierung	€/m ²	35	35	35	25	25
spezif. Vollkosten Sanierung (normal)	€/m ²	300	300	300	300	300
Investitionen						
Mehrkosten Neubau	Mio €	2.190	1.705	1.141	690	454
Mehrkosten Sanierung energet. Standard	Mio €	2.912	3.049	3.135	2.235	2.203
Mehrkosten Sanierung Verdoppelung der Rate	Mio €	12.482	13.068	13.436	13.409	13.219
Summe	Mio €	17.584	17.822	17.712	16.334	15.876
Summe Jahresscheiben mit Annuität	Mio. €	1.260	14.049	19.039	17.558	17.066

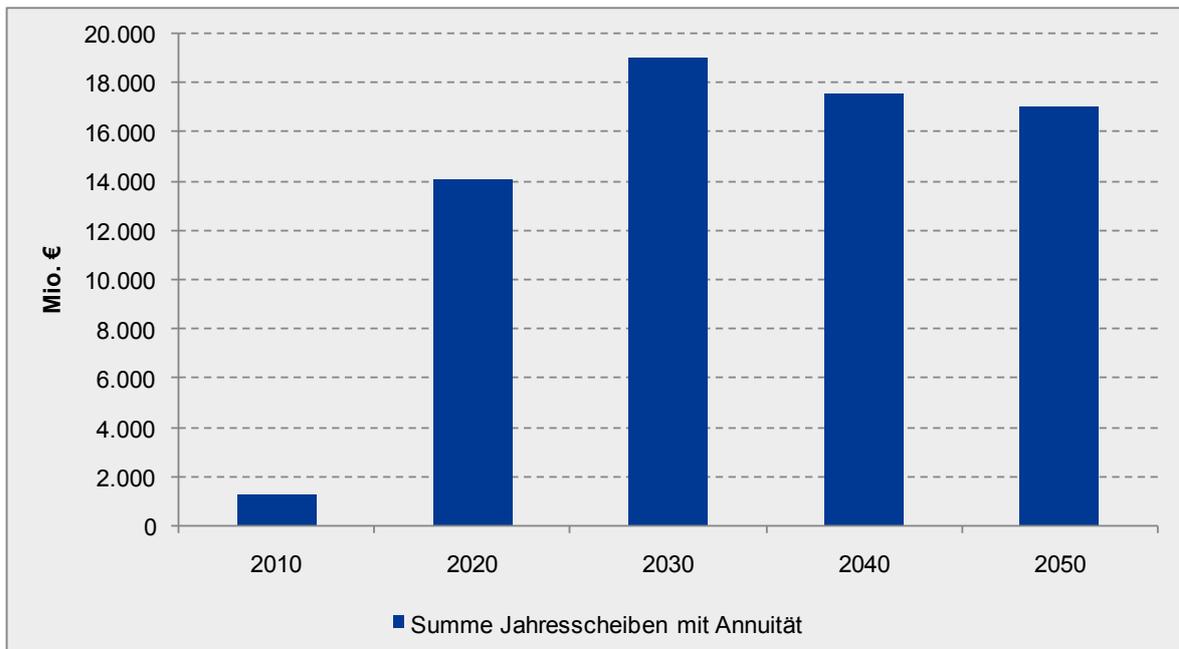
Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-1 Energetisch bedingte jährliche Neuinvestitionen zur Reduktion der Raumwärme im Sektor Private Haushalte nach Einsatzzwecken, 2010 – 2050, nicht annuisiert, in Mio. €



Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-2 Energetisch bedingte Investitionen zur Reduktion der Raumwärme, 2010 - 2050, annuitätisch, in Mio. €



Quelle: Prognos 2009

Die Mehrkosten betragen bis zu knapp 20 Milliarden Euro jährlich. Bei der annuitätischen Betrachtung ist zu beachten, dass Mehrkosten auch noch nach 2050 auftreten, wenn auch langsam abnehmend.

Auf der Ebene der **Wärmeerzeugung** für Raumwärme und Warmwasser führt der unterschiedlich starke Einsatz der erneuerbaren Energien Solarwärme und Umweltwärme (Wärmepumpen) zu Mehrkosten im Innovationsszenario gegenüber der Referenz. Als mittlere Wärmegegestehungskosten werden auf Basis der Untersuchungen von Nitsch [Nitsch/DLR 2007] angegebene Werte für einen Mix aus kleinen und großen Anlagen mit moderaten Kostendegressionen angenommen, die auch in den Energieszenarien [Prognos 2007b] verwendet wurden. Diese sind als Vollkosten inkl. Finanzierungskosten zu verstehen. Die Kostendegressionen werden eher moderat angesetzt. Bei Solarwärme wird ab 2025 unterstellt, dass die Technik mit hoher Marktdurchdringung ausgereift ist und keine weiteren Degressionen mehr ermöglicht, bei Wärmepumpen wird dies bereits ab 2020 angenommen. Bei Umgebungswärme/ Wärmepumpen entstehen im Innovationsszenario gegenüber der Referenz Minderverbräuche aufgrund der Reduktion des Raumwärmebedarfs. Dieser führt in der Konsequenz zu Minderkosten. Bei Solarwärme wird ein großer Teil zur Produktion von Warmwasser genutzt, daher bleibt hier ein „Sockel“ an Mehrverbräuchen stehen.

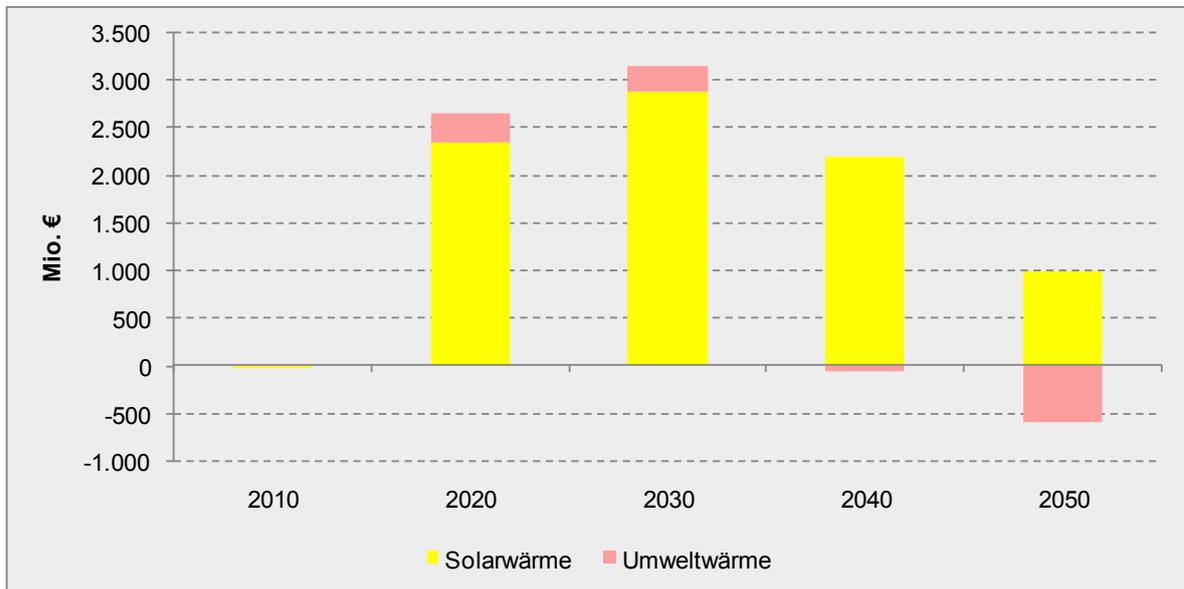
Die damit verbundenen Mehr- und Minderkosten sind in Tabelle 6.5-2 sowie Abbildung 6.5-3 dargestellt. Die Mehrkosten betragen bis zu gut 3 Milliarden € jährlich und nehmen aufgrund der Reduktion des Raumwärmebedarfs nach 2030 allmählich ab.

Tabelle 6.5-2 Energetisch bedingte Mehr- und Minderkosten für erneuerbare Wärmeerzeugung im Wohngebäudesektor und ihre Bestimmungsfaktoren, 2010 – 2050

		2010	2020	2030	2040	2050
Differenz Endenergieverbrauch Innovation - Referenz						
Solarwärme	PJ	0	80	127	97	44
Umgebungswärme	PJ	0	13	13	-3	-29
spez. Kosten Solarwärme	€/kWh	0,18	0,11	0,08	0,08	0,08
spez. Kosten Umgebungswärme	€/kWh	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
Zusatzkosten EE Wärme, Jahresscheiben						
Solarwärme	Mio. €	0	2.350	2.889	2.202	997
Umweltwärme	Mio. €	0	306	269	-63	-599
Summe	Mio. €	0	2.656	3.157	2.138	398

Quelle: Prognos 2007, Nitsch/DLR 2007, Prognos 2009

Abbildung 6.5-3 Energetisch bedingte Mehr- und Minderkosten für erneuerbare Wärmeerzeugung im Wohngebäudesektor, in Mio. €



Quelle: Prognos 2009

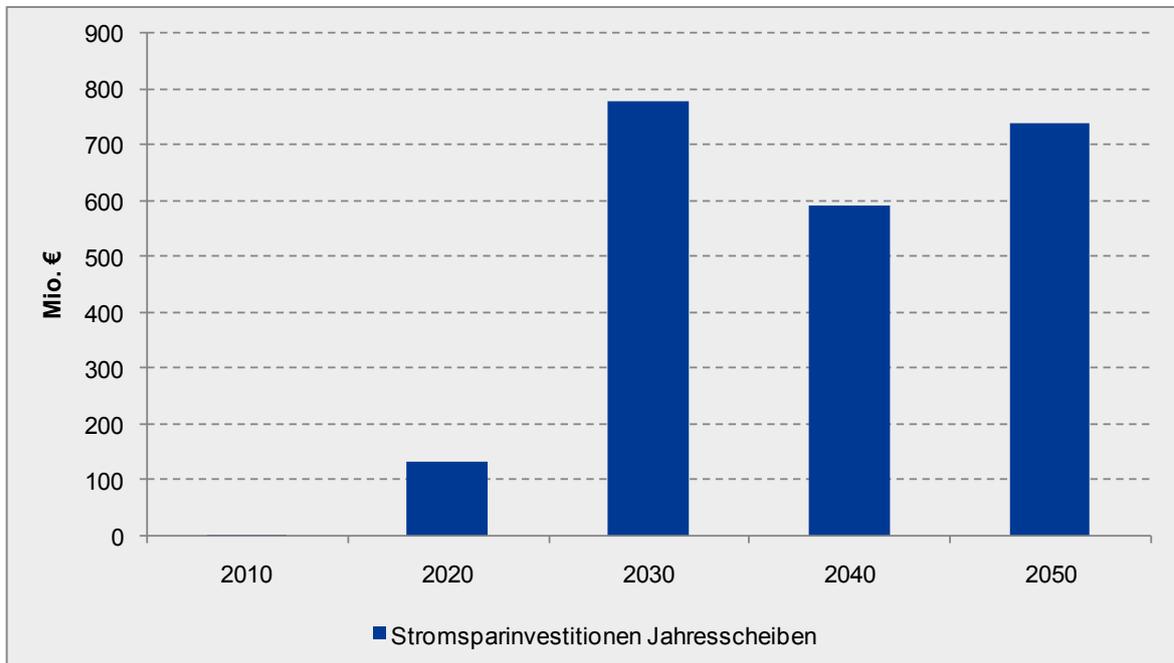
Die mit der Stromeinsparung verbundenen Mehrkosten sind schwieriger abzuschätzen. Derzeitige Stromspartechnologien sind gegenüber weniger stromsparenden Anwendungen bei Leuchten, Geräten, IKT etc. zum Teil hochwirtschaftlich mit Amortisationszeiten von ein bis zwei Jahren (Leuchten, Bildschirme), zum Teil haben sie längere Amortisationszeiten (z.B. Kühlschränke, Wärmepumpen-Wäschetrockner), zum Teil können die Mehrkosten innerhalb der Lebensdauer nicht durch die Einsparungen refinanziert werden. Bei neuen Technologien, die derzeit noch nicht die Marktreife erreicht haben, wie z.B. wasserlosen Waschmaschinen, Magnetkühlschränken, Visortechnologie oder neuen Leuchtmitteln, ist es nahezu unmöglich, Mehr- oder Minderkosten gegeneinander abzuschätzen. Daher wird hier die Methode der anlegbaren Kosten angewendet: es wird davon ausgegangen, dass die Stromspartechnologien aufgrund von Entwicklungsanstrengungen und Skaleneffekten im Durchschnitt etwa fünf Jahre Amortisationszeit haben dürfen, um sich am Markt durchsetzen zu können. Hierbei wird es vor allem durch Miniaturisierung und Automatisierung sowie veränderte Materialien auch eine Reihe von Technologien geben, die deutlich kürzere Amortisationszeiten haben (z.B. Beleuchtung, Visoren statt Bildschirme, Gebäudeautomation). Mit dieser Annahme werden aus den jährlichen Veränderungen der Einsparungen zwischen den Szenarien die jeweils zulässigen Investitionsscheiben (mit Finanzierungskosten, annuitätisch) ermittelt. Die Einsparung und Investitionen in Jahresscheiben sind in Tabelle 6.5-3 sowie Abbildung 6.5-4 dargestellt.

Tabelle 6.5-3 Stromeinsparungen und Investitionen für Stromeinsparung im Sektor private Haushalte 2010 – 2050

		2010	2020	2030	2040	2050
Einsparung Innovation - Referenz	PJ	0,0	-1,3	18,0	57,9	80,6
Summierte jährl. Investitionsscheiben inkl. Kap.-Kosten über 5 Jahre						
Investitionen annuitätisch	Mio. €	2	133	780	590	740

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-4 Investitionen für Stromersparung im Sektor private Haushalte 2010 - 2050, in Mio. €



Quelle: Prognos 2009

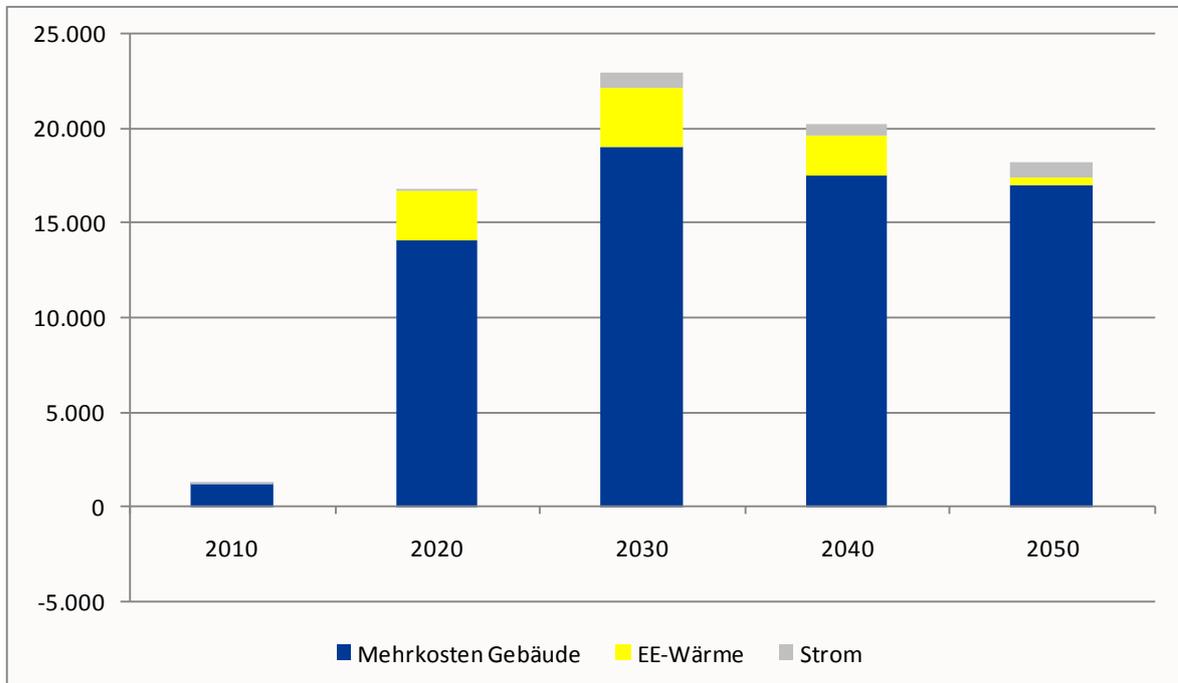
Die Summe der Investitionen (in annuitätischen Jahresscheiben) beträgt im Sektor Private Haushalte maximal knapp 23 Milliarden € Jahr 2030 (vgl. Tabelle 6.5-5, Abbildung 6.5-5).

Tabelle 6.5-4 Mehrinvestitionen für Energieeinsparung und Wärme aus erneuerbaren Energien (Zusammenfassung) im Sektor private Haushalte, 2010 – 2050, in Mio. €

		2010	2020	2030	2040	2050
Mehrkosten Gebäude	Mio. €	1.260	14.049	19.039	17.558	17.066
EE-Wärme	Mio. €	0	2.656	3.157	2.138	398
Strom	Mio. €	2	133	780	590	740
Summe	Mio. €	1.262	16.837	22.977	20.287	18.204

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-5 Mehrinvestitionen für Energieeinsparung und Wärme aus erneuerbaren Energien (Zusammenfassung) im Sektor private Haushalte, 2010 - 2050, in Mio. €



Quelle: Prognos 2009

6.5.2 Sektoren Dienstleistungen und Industrie

In den Sektoren Dienstleistungen und Industrie ist eine Abschätzung der Mehrkosten sehr schwierig, da im allgemeinen Anlageninvestitionen einem eher produktionsorientierten als energieorientierten Kalkül unterliegen. Deshalb wird auch hier mit der Methode der anlegbaren Kosten gearbeitet. Bereits heute sind Mehrkosten bei einzelnen Anlageninvestitionen, bezogen auf reine Energieeinsparungen, praktisch nicht bekannt. Ausnahmen bilden einige Querschnittstechnologien wie Elektromotoren, Pumpen und Druckluftherzeugung. Deren Einbindung in Anlagentechniken ist jedoch so vielfältig wie Branchen, Produktionsprozesse und Firmen selbst. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass energie- oder rohstoffbedingte Investitionen und Mehrinvestitionen nur dann getätigt werden, wenn sie sich innerhalb relativ kurzer Zyklen durch die Einsparungen refinanzieren. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die entsprechenden Technologien durch Forschungsanstrengungen, Markteinführung und Skaleneffekte auch erst unter entsprechenden harten Wirtschaftlichkeitskriterien eine Umsetzungschance haben. Um die entsprechenden Investitionen einerseits vorsichtig (nach oben) abzuschätzen, andererseits die Belastungen der Branchen nicht unrealistisch hoch zu treiben, wird von einer Refinanzierungszeit von ca. 4 Jahren ausgegangen.

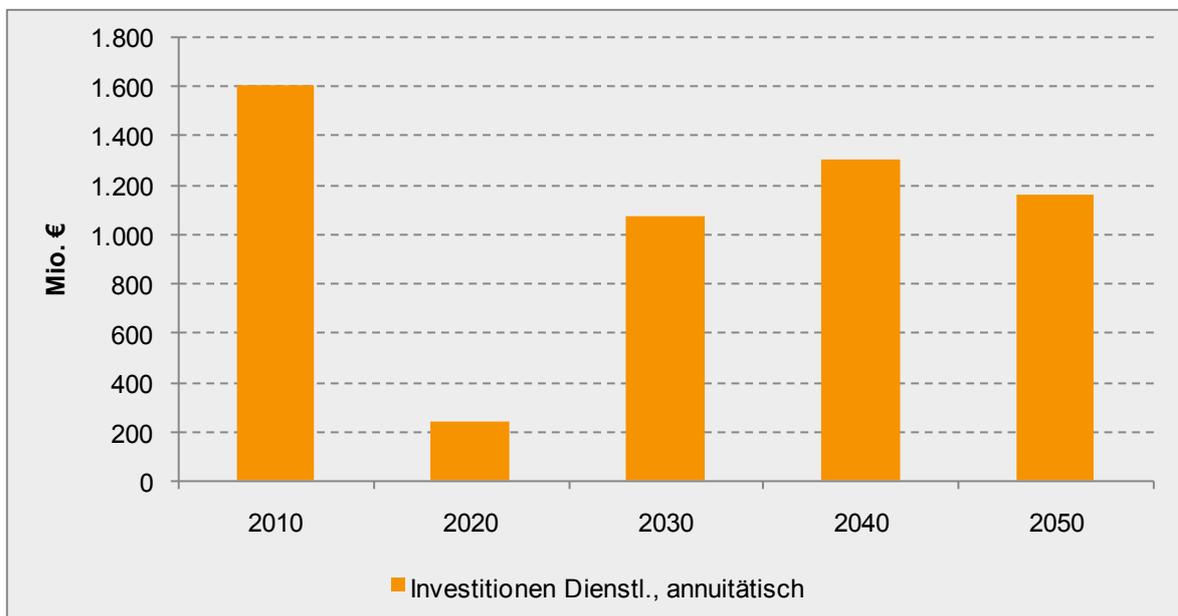
Die Berechnung der jährlichen Investitionen erfolgt auf der Basis der jährlichen zusätzlichen Einsparungen an fossilen Energieträgern und Strom, jeweils mit den mittleren Verbraucherpreisen für die Sektoren belegt. „Negative Einsparungen“ implizieren Nullinvestitionen. Tabelle 6.5-6 und Abbildung 6.5-7 sowie Tabelle 6.5-5 und Abbildung 6.5-6 zeigen die Einsparungen an Energieträgern und die daraus folgenden annuitätischen Investitionen in den beiden Sektoren.

Tabelle 6.5-5: *Einsparungen und Mehrinvestitionen für Energieeinsparungen im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen 2010 - 2050*

Dienstleistungssektor	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Einsparungen Energieträger						
Kohle	PJ	0	0	0	0	0
Öl	PJ	1	19	22	11	5
Gas	PJ	3	44	55	30	17
Strom	PJ	11	62	116	183	210
Investitionen Dienstl., ann.	Mio. €	1.610	236	1.078	1.304	1.166

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-6: *Mehrinvestitionen für Energieeinsparungen im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen 2010 bis 2050, in Mio. €*



Quelle: Prognos 2009

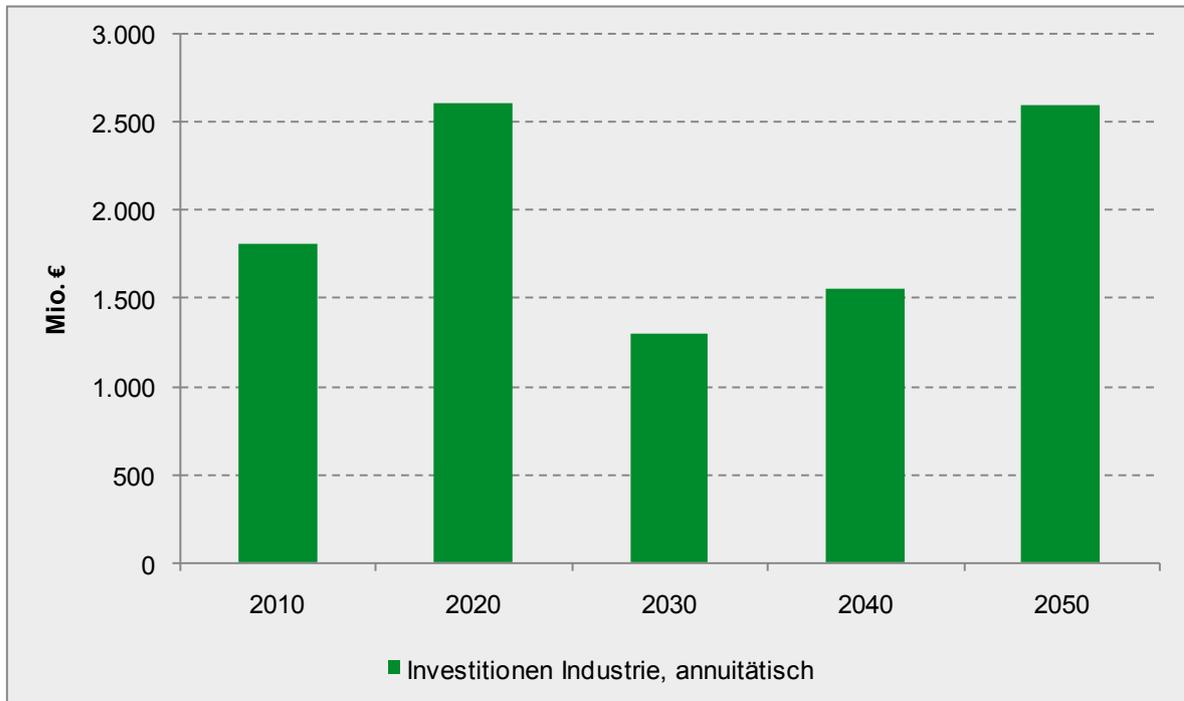
Die jährlichen zusätzlichen Einsparungen ergeben sich aus mehreren, z.T. gegenläufigen Effekten: Effekten der Branchenstruktur, unterschiedlichem „Einspartempo“ bei verschiedenen Energieträgern sowie Substitutionseffekten, von denen besonders Strom und Gas profitieren. Da die verschiedenen Energieträger mit unterschiedlichen Preisen gewichtet werden, verlaufen die kumulierten annuitätischen Investitionen nicht einheitlich in einer Richtung.

Tabelle 6.5-6 *Einsparungen und Mehrinvestitionen für Energieeinsparungen im Sektor Industrie 2010 – 2050*

Industriesektor	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Einsparungen Energieträger						
Kohle	PJ	15	55	75	86	92
Heizöl leicht	PJ	5	19	23	22	18
Heizöl schwer	PJ	4	16	18	17	15
Erdgas	PJ	43	183	240	258	252
Strom	PJ	45	191	257	281	281
Investitionen Industrie, ann.	Mio. €	1.816	2.608	1.299	1.557	2.600

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-7 Mehrinvestitionen für Energieeinsparungen im Sektor Industrie 2010 - 2050, in Mio. €



Quelle: Prognos 2009

Im Industriesektor sind Energieverbrauch und Energieeinsparungen zwar deutlich höher als im Dienstleistungssektor, die Energiepreise sind jedoch niedriger, was sich auf die zulässigen Investitionen auswirkt. Somit liegen die jeweiligen Investitionen für Energieeinsparungen in den beiden Sektoren in ähnlichen Größenordnungen, jeweils im unteren einstelligen Milliardenbereich.

6.5.3 Verkehrssektor

Im Verkehrssektor spielen drei wesentliche Faktoren bei der Unterscheidung der Szenarien eine Rolle:

- die Umstellung des motorisierten Individualverkehrs auf Elektromobilität,
- die verstärkte Nutzung der Schiene für den Güterverkehr,
- die Umstellung auf Biokraftstoffe.

Der letzte Punkt führt gegenüber der Referenz nicht zu Mehrkosten, da bereits dort davon ausgegangen wird, dass die Verfahren zur großtechnischen Nutzung von Biokraftstoffen entwickelt werden und dem Markt, wenn auch in geringeren Mengen, zur Verfügung stehen. Die größeren Mengen im Innovationsszenario, verbunden mit den gegen Ende des Betrachtungszeitraums hohen Öl- und Kraftstoffpreisen, führen dazu, dass hier Kostenneutralität unterstellt wird.

Die Zusatzkosten der Elektromobilität werden nach oben auf Basis heutiger Kostendifferenzen von verfügbaren Fahrzeugen (nach öffentlich verfügbaren Informationen der Kraftfahrzeugbranche) mit Kostendegressionen abgeschätzt. Heutige Elektrofahrzeuge sind ca. 60 bis 65 % teurer als konventionelle Fahrzeuge der gleichen Fahrzeugklasse (Bsp. Lotus Elise 55.000 €, Tesla Roadster 90.000 €, Analoges gilt für die Polo-Klasse). Ein großer Teil dieser Mehrkosten hängt mit den geringen Stückzahlen zusammen, in denen diese Fahrzeuge derzeit gebaut werden. Wenn Elektrofahrzeuge mit Übergangsformen wie Plug-In-Hybriden etc. sich durchsetzen, ist davon auszugehen, dass die Kostendifferenzen kleiner werden und allmählich verschwinden, weil die Technik im Ganzen einfacher und besser beherrschbar wird (keine Verbrennung mehr, geringere Volumina für Antriebstechnik, einfachere Steuerung). Im Innovationsszenario sind bis 2045 rückläufige Mehrkosten unterstellt, danach sind sie gleich Null. Bei der Einführung der Elektrofahrzeuge gehen wir davon aus, dass zunächst die kleinen Fahrzeugklassen verstärkt „elektrifiziert“ werden, bis sich in etwa 2040 das Verhältnis der Fahrzeugklassen angeglichen hat.

Damit folgt in einer Mischkalkulation ein mittlerer Mehrpreis je Fahrzeug, der sich (in realer Betrachtung) von 12.800 € im Jahr 2020 bis auf ca. 2.500 € im Jahr 2040 reduziert. In einer den vorherigen Betrachtungen entsprechenden Annuitätenrechnung (in Jahresheften über 10 Jahre) folgen über den Zeitraum 2020 bis 2050 die in Tabelle 6.5-7 abgebildeten Mehrkosten.

Tabelle 6.5-7: Mehrkosten Elektrofahrzeuge mit Bestimmungsfaktoren 2010 – 2050

		2020	2030	2040	2050
durchschn. Mehrkosten je E-Auto ann.	€	1.281	769	256	0
Anzahl E-Mobile	Tsd.	499	4.182	12.975	21.041
Mehrkosten PKW	Mrd. €	0,6	3,2	3,3	0,0

Quelle: Prognos 2009

Zusätzlich muss eine Tankstelleninfrastruktur aufgebaut werden. Wir gehen davon aus, dass hierfür die vorhandene Infrastruktur - also nicht deutlich mehr Elektrotankstellen gebaut werden als derzeit Tankstellen für konventionelle Kraftstoffe existieren - verwendet und aus- bzw. umgebaut wird. Bei einer Annahme von ca. 25.000 € je Tankstelle und Jahr (d.h. einer Investition von ca. 250.000 € für zehn Jahre, was als großzügig eingeschätzt

wird) bedeutet das bei für die Zukunft angenommenen 13.000 Tankstellen in Deutschland Mehrkosten von 300 Millionen € pro Jahr.

Die Mehrkosten für die verstärkte Nutzung des Güterverkehrs auf der Schiene sind schwierig abzuschätzen. Da davon ausgegangen wird, dass keine neue großflächige Schieneninfrastruktur gebaut wird, sondern vor allem in Steuerung, Überholgleise, höhere Auslastung und ggf. Be- und Entladestrukturen investiert wird, setzen wir zunächst ca. 1,5 Milliarden € jährlich für diese Investitionen an. Das entspricht rund 60 % der vom Bund jährlich jährlich bereitgestellten Mittel für Erhalt und Modernisierung des Bestandsnetzes. [BMVBS 2009].

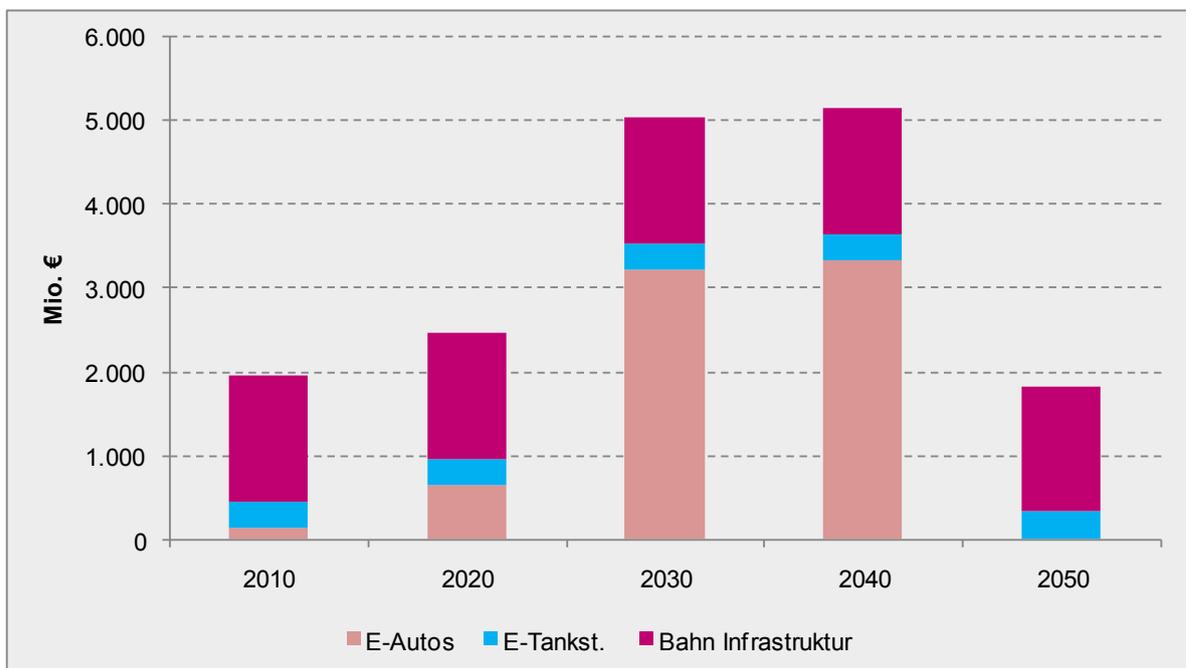
Die gesamten Mehrkosten im Sektor Verkehr betragen zusammen genommen maximal gut 6 Milliarden € im Jahr 2035.

Tabelle 6.5-8 Mehrinvestitionen im Sektor Verkehr 2010 - 2050, in Mio. €

		2010	2020	2030	2040	2050
E-Autos	Mio. €	128	639	3.216	3.325	0
E-Tankst.	Mio. €	325	325	325	325	325
Bahn Infrastruktur	Mio. €	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Summe	Mio. €	1.953	2.464	5.041	5.150	1.825

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-8 Mehrinvestitionen im Sektor Verkehr 2010 - 2050, in Mio. €



Quelle: Prognos 2009

6.5.4 Mehrkosten in allen Nachfragesektoren

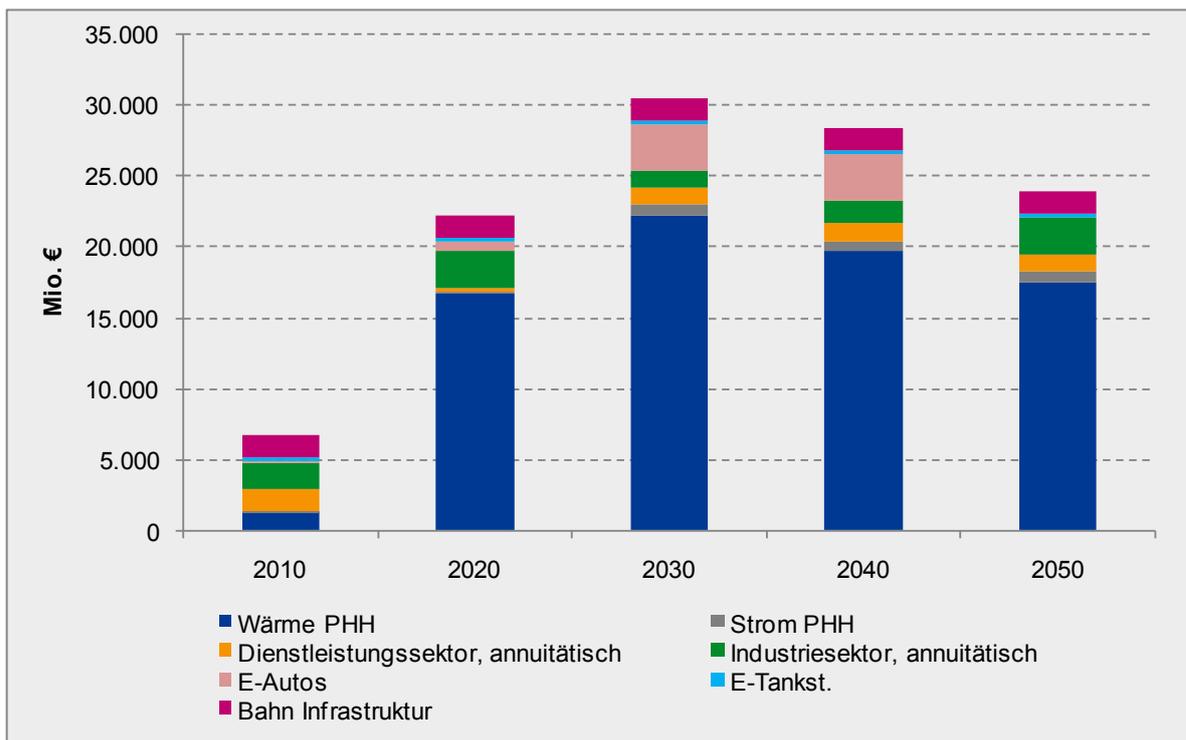
Über alle Sektoren summiert ergeben sich damit jährliche Mehrkosten von maximal 30,4 Milliarden € im Jahr 2030 (Tabelle 6.5-10, Abbildung 6.5-10, Abbildung 6.5-11).

Tabelle 6.5-9: Mehrinvestitionen aller Sektoren 2010 – 2050, in Mio. €

		2010	2020	2030	2040	2050
Wärme PHH	Mio. €	1.260	16.704	22.197	19.696	17.464
Strom PHH	Mio. €	2	133	780	590	740
Dienstleistungssektor, annuitätisch	Mio. €	1.610	236	1.078	1.304	1.166
Industriesektor, annuitätisch	Mio. €	1.816	2.608	1.299	1.557	2.600
E-Autos	Mio. €	128	639	3.216	3.325	0
E-Tankst.	Mio. €	325	325	325	325	325
Bahn Infrastruktur	Mio. €	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Summe	Mio. €	6.641	22.145	30.395	28.297	23.796

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-9: Mehrinvestitionen aller Sektoren 2010 - 2050, in Mio. €



Quelle: Prognos 2009

Im Sektorvergleich zeigt sich deutlich, dass der Gebäudebereich (aufgrund der Vollkosten der verstärkten Sanierungen) den größten Block der Mehrinvestitionen ausmacht. Auch die Elektromobilität stellt im Zeitraum 2020 bis 2040 einen erheblichen Kostenfaktor dar. In diesen Bereichen. Hier sind Instrumente und (auch intertemporale) Mechanismen gefragt, um diese Maßnahmen ohne große Verwerfungen umsetzen zu können.

6.5.5 Gegenrechnung: Einsparungen und Nettokosten

Den nach volkswirtschaftlichen Kriterien berechneten Investitionen stehen Einsparungen aufgrund verringerter Importe an fossilen Energieträgern sowie Einsparungen bei den Vollkosten der Stromerzeugung gegenüber (nicht gebaute Kraftwerke aufgrund geringerer Nachfrage). Die Einsparungen an fossilen Energieträgern werden für die volkswirtschaftliche Betrachtung mit den Grenzübergangspreisen bewertet. Alle weiteren Preiskomponenten wie Margen, Raffination, Steuern und Transportkosten sind aus gesamtwirtschaftlicher Sicht Umverteilungen, die die Volkswirtschaft netto nicht belasten. bei den Vollkosten der Stromerzeugung werden die Anlageninvestitionen incl. Finanzierung, Betriebskosten und Brennstoffkosten berücksichtigt. Speicherkosten werden als Anlagenkosten gerechnet und nach oben mit den Gestehungskosten von Spitzenenergie in Gaskraftwerken abgeschätzt. Netzentlastungen werden nicht berücksichtigt.

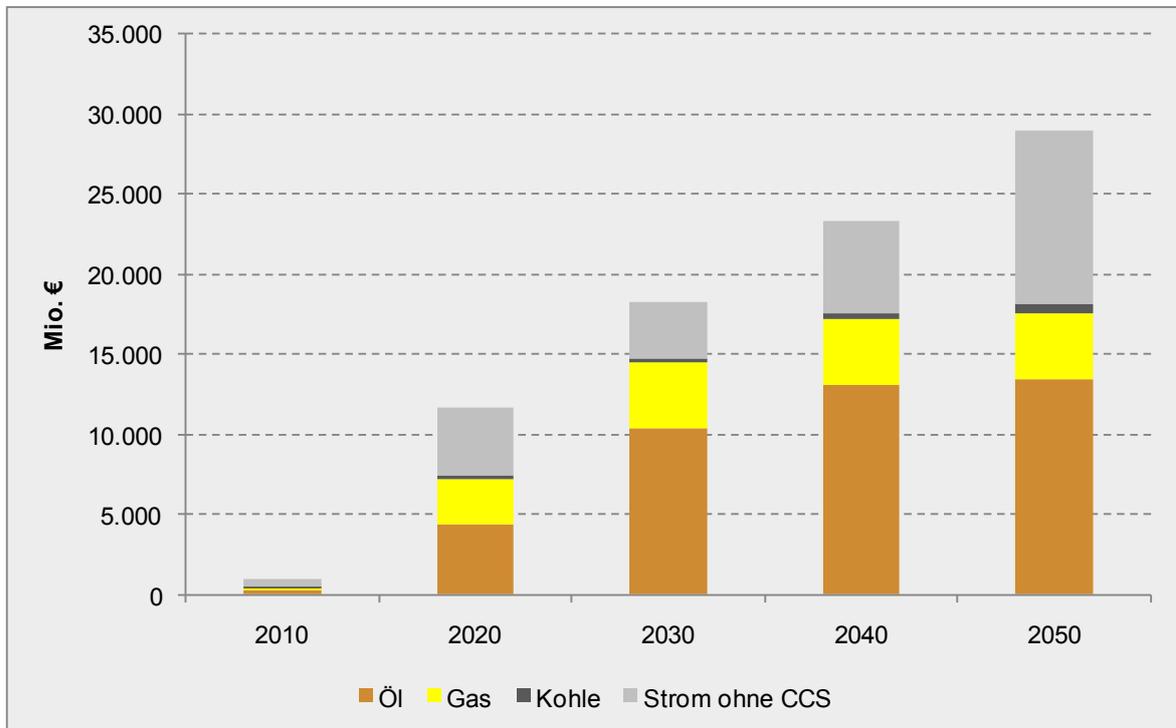
Die so berechneten Einsparungen sind in Abbildung 6.5-10, Abbildung 6.5-11 und Tabelle 6.5-10 aufgeführt.

Tabelle 6.5-10: Volkswirtschaftliche Einsparungen 2010 – 2050, in Mio. €

Einsparungen Energieträger		2010	2020	2030	2040	2050
Öl	Mio. €	189	4.416	10.407	13.042	13.489
Gas	Mio. €	305	2.808	4.101	4.120	4.031
Kohle	Mio. €	34	155	282	434	622
Einsparung Vollkosten der Stromerzeugung						
Strom ohne CCS	Mio. €	451	4.330	3.520	5.732	10.807
Strom mit CCS	Mio. €	390	4.330	4.953	7.478	12.006
Summe ohne CCS	Mio. €	979	11.710	18.310	23.328	28.949
Summe mit CCS	Mio. €	918	11.710	19.743	25.074	30.148

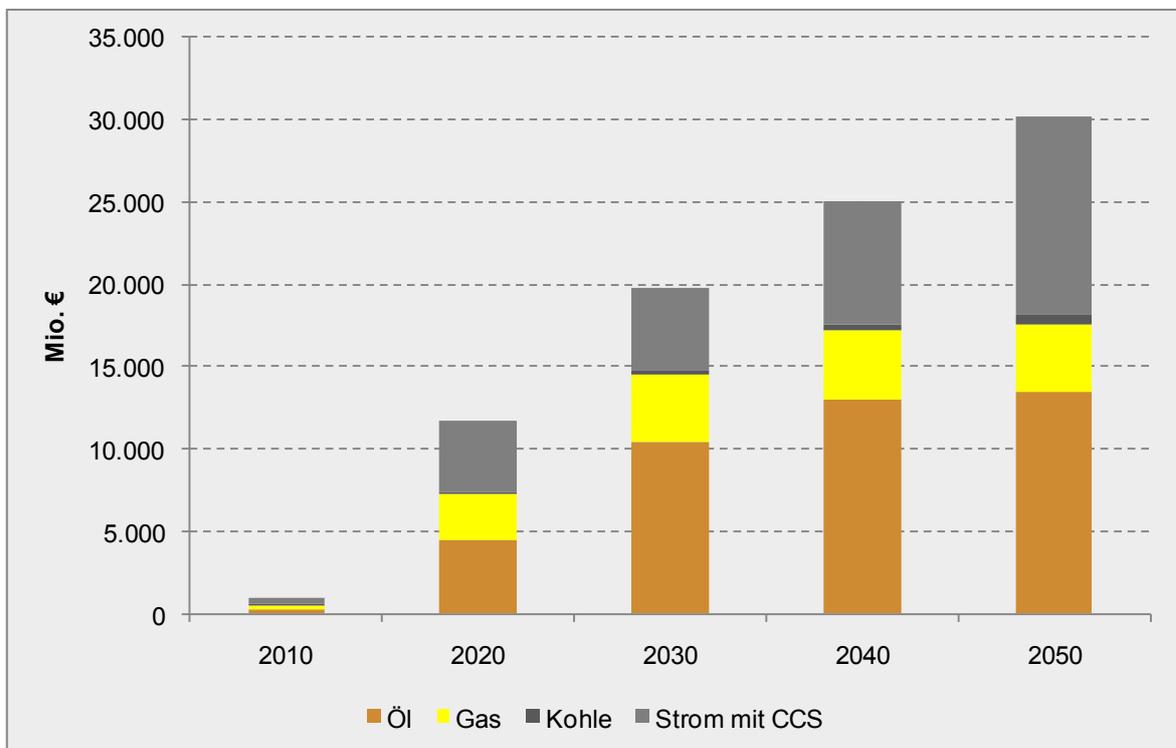
Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-10: Volkswirtschaftliche Einsparungen, Varianten „ohne CCS“, 2010 - 2050, in Mio. €



Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-11: Volkswirtschaftliche Einsparungen, Varianten „mit CCS“, 2010 - 2050 in Mio. €



Quelle: Prognos 2009

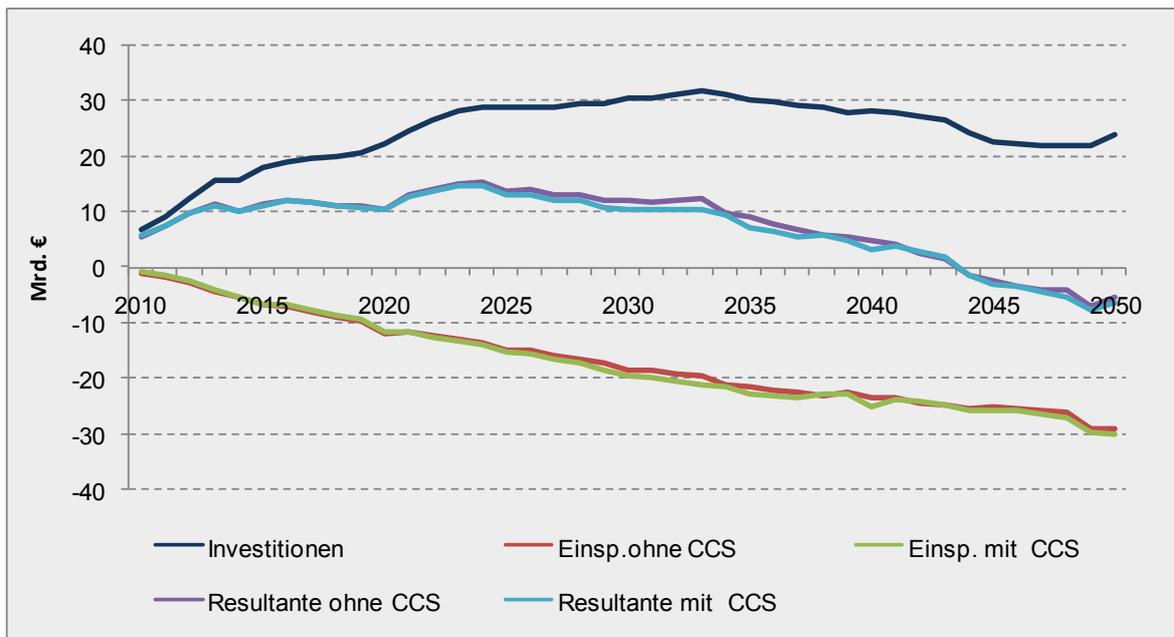
In der Gegenüberstellung von Mehrkosten und Einsparungen ergeben sich maximale Netto-Mehrkosten von ca. 15 Milliarden € im Jahr 2024. Ab dem Jahr 2044 übertreffen die Einsparungen die Mehrkosten (Tabelle 6.5-11, Abbildung 6.5-12).

Tabelle 6.5-11: Investitionen, Volkswirtschaftliche Einsparungen, Resultante mit und ohne CCS, 2010 – 2050, in Mrd. €

		2010	2020	2030	2040	2050
Investitionen	Mrd. €	6,6	22,1	30,4	28,3	23,8
Einsp. ohne CCS	Mrd. €	-1,0	-11,7	-18,3	-23,3	-28,9
Einsp. mit CCS	Mrd. €	-0,9	-11,7	-19,7	-25,1	-30,1
Resultante ohne CCS	Mrd. €	5,7	10,4	12,1	5,0	-5,2
Resultante mit CCS	Mrd. €	5,7	10,4	10,7	3,2	-6,4

Quelle: Prognos 2009

Abbildung 6.5-12 Volkswirtschaftliche Mehrkosten, Einsparungen mit und ohne CCS sowie Nettokosten (Resultante) 2010 -2050, in Mrd. €



Quelle: Prognos 2009

Bezogen auf das BIP errechnet sich daraus eine maximale Nettobelastung von 0,62 % im Jahr 2024.

Bezogen auf den gesamten Betrachtungszeitraum, sind mit der zusätzlichen Emissionsreduktion im Innovationsszenario (integriert und diskontiert) Netto-Mehrkosten in Höhe von 0,3 % des BIP verbunden.

III Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

7 Komponentenanalyse und Zielerreichung für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen

7.1 Vorbemerkungen

Die detaillierten Analysen für das Referenz- und das Innovationsszenario haben gezeigt, dass erhebliche Minderungen für Treibhausgasemissionen technisch-wirtschaftlich darstellbar sind, mit denen sehr ambitionierte Klimaschutzziele erreicht werden können. Die Analyse des Datenmaterials macht aber auch deutlich, dass es in erheblichem Maße einerseits politischer Rahmensetzungen und andererseits technischer, wirtschaftlicher, struktureller oder anderer Entwicklungen und Fortschritte bedarf, damit solche ambitionierten Ziele in einem ja vergleichsweise sehr kurzen Zeitraum von nur vier Dekaden auch real erreicht werden können.

In den folgenden Abschnitten sollen vor diesem Hintergrund die Ansatzpunkte und Ergebnisse von zwei Analyseschritten beschrieben werden:

Erstens soll mit einer Komponentenanalyse versucht werden, die zentralen Ansatzpunkte für die Umgestaltung des Energiesystems und anderer für die Treibhausgasemissionen besonders wichtiger Wirtschaftsbereiche zu identifizieren und – quantitativ – zu bewerten. Ergebnis dieser Analyse ist eine Quantifizierung der Minderungsbeiträge verschiedener energie- und klimapolitischer Handlungsansätze. Diese Wirkungsbeiträge können dann aus verschiedenen Perspektiven analysiert werden, um z.B. die Bedeutung zeitlicher Aspekte oder von Innovationsfaktoren hinsichtlich der Emissionsminderungsstrategien genauer zu bestimmen.

Zweitens soll mit einer Reihe von orientierenden Zusatzanalysen der Frage nachgegangen werden, wie die Minderungseffekte der im Innovationsszenario modellierten Strategien noch weiter verstärkt werden könnten. Im Vordergrund steht dabei die Frage, welche Ansatzpunkte bestehen, um die noch bestehende Lücke zwischen den im Innovationsszenario erreichten Emissionsniveaus und dem langfristigen Klimaschutzziel einer Emissionsminderung von 95 % gegenüber 1990 zu schließen, welche zusätzlichen Reduktionen von Treibhausgasemissionen noch erschlossen werden könnten bzw. welche Implikationen solche zusätzlichen Maßnahmen haben.

Die in diesem Kapitel präsentierten Analysen sind insgesamt vor allem an der Frage ausgerichtet, welche strategischen und politisch-instrumentellen Erkenntnisse aus den Szenarien- und Datenanalysen gezogen werden können.