Die Energiewende nach COP 21 – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung

Kurzstudie

für den

Bundesverband Erneuerbare Energien e.V.

Dr. Joachim Nitsch

Stuttgart, 7. März 2016

Zusammenfassung

Szenariendefinition

Ein Szenario **SZEN-16 „TREND“** beschreibt – ausgehend vom Status am Jahresende 2015 - die Wirkungen der derzeit von der Bundesregierung formulierten energiepolitischen Aktionsprogramme und Planungen. Ausgangsbasis sind die Zielsetzungen des Energie- und Klimaschutzkonzepts aus dem Jahr 2011, für den Strom aus erneuerbaren Energien ergänzt um die Zielvorgaben des EEG 2014. Gegenüber der letzten Szenarioaktualisierung [SZEN-2015] hat sich die Ausgangslage verschlechtert. Zum einen sind im Vergleich zu 2014 Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen wieder leicht gestiegen [UBA 2016; AG-Energiebilanzen 2015], zum anderen sind die Anreize für einen Umbau der Energieversorgung derzeit noch geringer als Ende 2014 (auf absehbare Zeit sehr niedrige Preise für fossile Energien und für Börsenstrom; nach wie vor sehr niedrige CO_2-Preise; geringe politische Prioritäten für Klimaschutz und Energiewende). Für die deutlich erforderliche Steigerung der Energieeffizienz wird zwar von einer gegenüber der vergangenen Entwicklung verstärkenden Wirkung des Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) und des angekündigten Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 ausgegangen, allerdings dürfte deren Wirkung in dem nur noch kurzen Zeitraum bis 2020 auch bei steigenden Umsetzungsanstrengungen gering bleiben.

Beim EE-Zubau im Stromsektor werden der bereits eingetretene Rückgang bei der Fotovoltaik und die faktische Blockade bei Ausbau der Biomassestromerzeugung modelliert; nach 2020 werden die Zubauraten sinngemäß fortgeschrieben. Gemäß den Zielsetzungen des EEG 2014 wird jedoch angenommen, dass der Ausbaukorridor für EE-Strom für 2025 (40-45% Anteil) und für 2035 (55-60%) trotzdem erreicht wird.

„Maßstab“ für einen erfolgreichen Umbau der Energieversorgung im Sinne eines wirksamen Klimaschutzes ist im Vergleich dazu das Szenario **SZEN-16 „KLIMA 2050“**. Es beschreibt eine Energieversorgung, die das obere Reduktionsziel des Energiekonzepts 2011 für die Treibhausgasemissionen (THG) von **-95%** mittels einer ausgewogenen Kombination von Effizienzsteigerungen und EE-Ausbau in allen Sektoren **bis 2050** erreicht. Dazu ist eine praktisch **100%ige EE-Energieversorgung** erforderlich. Das untere THG-Reduktionsziel von -80% im Jahr 2050 reicht nach den Erkenntnissen der Pariser Klimakonferenz (COP 21) vom Dezember 2015 nicht mehr aus, wenn ein Industrieland wie Deutschland seinen angemessenen Beitrag zur Sicherstellung des globalen 2°C-Ziels bis 2050 leisten soll.

Wird, wie in Paris angekündigt, angestrebt, unter der 2°C- Marke zu bleiben, so zeigen aktuelle Klimaschutzszenarien, dass dafür bis 2050 sogar „negative“ CO_2-Emissionen, also der Einsatz von CCS-Verfahren, erforderlich sind. So nennt z.B. [Rogelj 2016] für die EU eine erforderliche Reduktionsbandbreite der Treibhausgasemissionen in 2050 von -95% bis -115%. Näherungsweise müsste Deutschland dazu bereits **bis 2040** eine praktisch 100%ig dekarbonisierte Energieversorgung schaffen, um danach CO_2-Emissionen dauerhaft aus der Atmosphäre zu entfernen. Die dazu erforderliche erhebliche Umstrukturierungsdynamik bis 2040 wird beispielhaft im Szenario **SZEN-16 „KLIMA 2040“** dargestellt.

Ergebnisse im Überblick

Nach einem Anstieg der THG-Emissionen zwischen 2011 und 2013 ist das Emissionsniveau in 2014 deutlich gesunken und betrug 902 Mio. t/$CO_{2äquiv}$/a [UBA 2016], was überwiegend auf die milde Witterung in diesem Jahr zurückzuführen war. Die Emissionsminderung gegenüber 1990 beträgt gut -27% (2013: -24%). Für 2015 werden die THG-Emissionen wegen eines leichten Anstiegs des fossilen Energieverbrauchs, bedingt durch ein im Vergleich zu 2014 etwas kühlerem Jahr, wieder leicht steigen. Es wird ein Anstieg auf 907 Mio. t/$CO_{2äquiv}$/a erwartet. Zwei Drittel der seit 1990 erreichten CO_2-Minderung von 252 Mio. t CO_2/a wurden durch den Ausbau der EE bewirkt und dort zu gut 70% durch den Ausbau der EE-Stromerzeugung Um das Reduktionsziel für 2020 von -40% gegenüber 1990 zu erreichen (750 Mio. t/$CO_{2äquiv}$/a), muss eine weitere Nettoemissionsminderung (d.h. unter Berücksichtigung des weiteren Rückgangs der Stromerzeugung aus Kernenergie) von 157 Mio. t $CO_{2äquiv}$./a bis 2020 erfolgen. Auch bei sehr erfolgreichen kurzfristigen Anstrengungen zur Effizienzsteigerung kann dieses Ziel bis 2020 nicht mehr erreicht werden (Tab. 1). Dazu ist bereits zu viel Zeit verstrichen. Im Szenario SZEN-16 „TREND“ wird bis 2020 nur eine Nettominderung von 53 Mio. t $CO_{2äquiv}$./a erzielt, das Reduktionsziel also um rund 100 Mio. t $CO_{2äquiv}$./a verfehlt.

Tabelle 1: Die wichtigsten Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung und ihre Erreichung in den Szenarien (Prozent)

	Verbrauchsminderung (Bezugsbasis 2008)			**Anteil Erneuerbare**		**THG-Emissionen**
2020	Primär-energie	Gebäude-wärme[1)]	Endenergie Verkehr	an Brutto-endenergie	an Brutto-strom	
Energiekonzept	**-20**	**-20**	**-10**	**18**	**min. 35**	**min -40**
“TREND“	-11,3	-15,2	+3,2	17,6	39,8	**-31,7**
„KLIMA 2050“	-15,3	-20,5	-3,2	19,8	42,6	**-37,6**
„KLIMA 2040“	-16,2	-21,4	-3,9	20,2	43,2	**-38,6**
2030						
Energiekonzept	**(-30)**	**(-40)**	**(-20)**	**30**	**50**	**min. -55**
“TREND“	-20,3	--30	0	21,7	50,2	**-40,5**
„KLIMA 2050“	-31,1	-56	-19,8	37,3	67,7	**-60,9**
„KLIMA 2040“	-34,7	-60	-29,1	44,9	76,8	**-69,1**
2040						
Energiekonzept	**(-40)**	**(-60)**	**(-30)**	**45**	**65**	**min. -70**
“TREND“	-24,3	-35	-4,3	25,3	59,6	**-49,7**
„KLIMA 2050“	-42,2	-77	-34,9	63,4	87,5	**-81,3**
„KLIMA 2040“	-47,3	-86	-46,8	81,9	97,7	**-91,0**
2050						
Energiekonzept	**-50**	**-80**	**-40**	**60**	**80**	**- (80) bis -95**
“TREND“	-30,4	-39	-11,4	29,8	68,4	**-57,6**
„KLIMA 2050“	-50,1	-88	-50,1	90,5	98,3	**-94,5**
„KLIMA 2040“	-50,8	-90	-50,3	91,5	98,7	**-95,3**

1) In 2020 Minderung des Energieverbrauchs; 2050 Minderung nichterneuerbare Primärenergie
( ) = interpolierte Zielwerte

Auch in den Klimaschutzszenarien KLIMA 2050 und KLIMA 2040 wird diese Zielmarke knapp verfehlt bzw. erst zwei Jahre später erreicht (Abb.1). Das dynamischere Wachstum der EE kann das auch in diesem Szenario bis 2020 nicht mehr vollständig erreichbare Ziel bei der Minderung des Primärenergieverbrauchs weitgehend kompensieren. In 2030 übertreffen die Klimaschutzszenarien die Zwischenziele zur THG-Minderung bereits deutlich. Dies ist auch erforderlich, um bis 2050 (2040) die Zielmarke von -95% THG-Minderung zu erreichen.

Bei Beibehaltung der im SZEN-16 „TREND“ modellierten Entwicklung wird das langfristige Klimaschutzziel 2050 mit einer Minderung von nur 58% erheblich verfehlt **(Abb. 1).** In den Szenarien zeigt sich, dass ein „Aufholen“ des Effizienzbeitrags (EFF) zur Treibhausgasminderung eintreten muss, damit die Klimaschutzziele erreicht werden können. Er muss bereits innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine ähnliche Wirkung erreichen, wie die CO_2-Minderung durch den Ausbau der EE. Dies ist in den Klimaschutzszenarien der Fall.

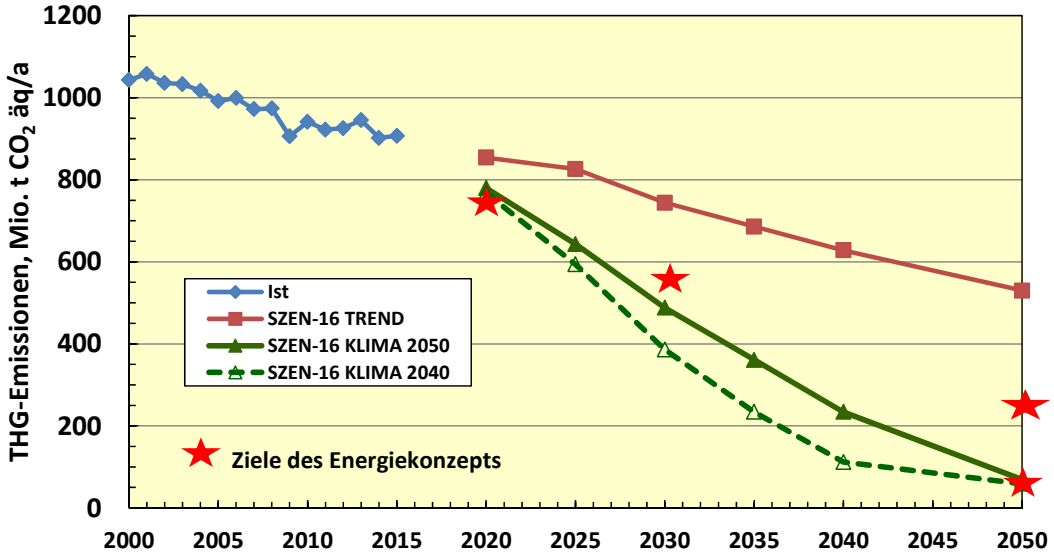


Abbildung 1: Bisheriger Verlauf der gesamten nationalen THG-Emissionen und Entwicklung in den Szenarien SZEN-16 „TREND“, SZEN-16 „KLIMA 2050“ und SZEN-16 „KLIMA 2040“ im Vergleich zu den Zielen des Energiekonzepts. Quelle für Ist: UBA 2016

Im SZEN-16 „KLIMA 2050“ wird im Jahr 2050 eine THG-Minderung von -95% erreicht. Die dazu erforderliche Minderung der CO_2-Emissionen in Höhe von insgesamt 1020 Mio. t CO_2/a bzw. -97,5% (bezogen auf 1990) wird zu 58% durch EE und zu 42% durch EFF erbracht. Der Primärenergieeinsatz (einschl. nichtenergetischem Beitrag) halbiert sich gegenüber 2008. Der Endenergieverbrauch beträgt dann noch 54% des 2008er Wertes und wird zu 93% durch EE erbracht **(Tab. 2; Abb.2).** Soll ein ähnlicher Zustand bereits in 2040 erreicht werden, müssen sowohl EE-Zubau als auch EFF-Steigerung erheblich rascher verlaufen. SZEN-16 „KLIMA 2040“ nähert diesen Zustand an und erreicht damit bis 2040 eine THG-Minderung von -91% bzw. eine CO2-Minderung von -94%.

Abbildung 2 zeigt, dass die Abweichungen zwischen einer Trendentwicklung und dem anzustreben Klimaschutzpfad rasch erhebliche Ausmaße annehmen. Bereits in 2030 „fehlen“ rund 800 PJ/a zusätzlich EE-Endenergie und es werden rund 1250 PJ/a „zuviel“ Energie verbraucht (Tab. 2). Ändern sich daher die energiepolitischen Rahmenbedingungen in

nächster Zeit nicht erheblich - insbesondere hinsichtlich wesentlich deutlicher Anreize für Effizienzsteigerungen im Wärme- und im Verkehrssektor und hinsichtlich eines erheblich stärkeren Ausbaus von EE-Wärme - so werden im nächsten Jahrzehnt gravierende Kursänderungen erforderlich, wenn dann noch das angestrebte längerfristige Klimaschutzziel rechtzeitig erreicht werden soll.

Tabelle 2: Entwicklung des Primär- und Endenergieverbrauchs in den Szenarien und Beitrag der erneuerbaren Energien

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
SZEN-16 „TREND "							
Primärenergieverbrauch, PJ/a	13335	**12762**	**11991**	**11457**	**11028**	**10598**	**9976**
Endenergieverbrauch, PJ/a	8835	**8610**	**8403**	**8212**	**8050**	**7887**	**7568**
EE-Endenergie, PJ/a	1385	**1564**	**1717**	**1834**	**1945**	**2056**	**2323**
EE-Anteil an Endenergie, % [1)]	15,7	**18,2**	**20,4**	**22,3**	**24,2**	**26,1**	**30,7**
SZEN-16 „KLIMA 2050"							
Primärenergieverbrauch, PJ/a	13335	**12175**	**10816**	**9905**	**9120**	**8335**	**7173**
Endenergieverbrauch, PJ/a	8835	**8190**	**7562**	**6954**	**6414**	**5873**	**4957**
EE-Endenergie, PJ/a	1385	**1669**	**2152**	**2675**	**3256**	**3836**	**4621**
EE-Anteil an Endenergie, % [1)]	15,7	**20,4**	**28,5**	**38,5**	**51,9**	**65,3**	**93,2**
SZEN-16 „KLIMA 2040"							
Primärenergieverbrauch, PJ/a	13335	**12046**	**10528**	**9387**	**8230**	**7573**	**7081**
Endenergieverbrauch, PJ/a	8835	**8080**	**7274**	**6513**	**5842**	**5270**	**4873**
EE-Endenergie, PJ/a	1385	**1682**	**2269**	**3010**	**3800**	**4449**	**4591**
EE-Anteil an Endenergie, % [1)]	15,7	**20,8**	**31,2**	**46,2**	**67,8**	**84,4**	**94,2**

1) Anteil am Bruttoendenergieverbrauch ist etwas geringer (2015: 15,2%; Ziel 2020: 18%)

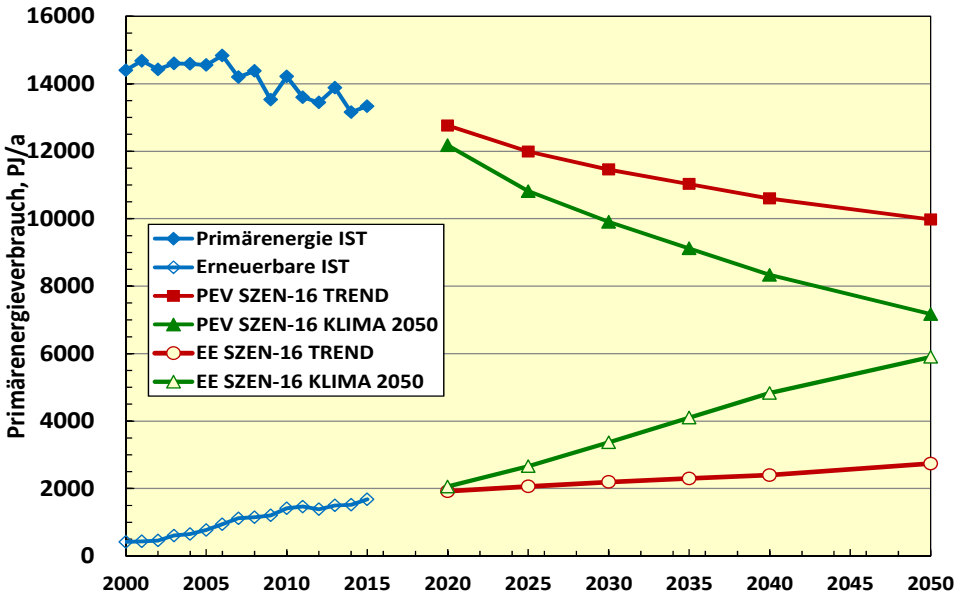


Abbildung 2: Zusammenwirken von Effizienzstrategie und EE-Ausbau zur Erreichung des Klimaschutzziels (Vergleich von SZEN-16 „TREND" und SZEN-16 „KLIMA-2050")

EE-Stromerzeugung

EE-Strom trägt derzeit mit 32,5 % zum Bruttostromverbrauch Deutschlands bei. Das Wachstum der EE-Stromerzeugung ist dank hoher Beiträge der Windenergie nach wie vor hoch. Trotz möglicher Einbrüche bei der Umstellung auf Ausschreibungsverfahren beim EEG und drohenden Rückbaus bei der Biomasse wird für das Szenario SZEN 16 „TREND“ angenommen, dass der Ausbaukorridor erfüllt wird **(Tab. 3)**. Vor dem Hintergrund der längerfristigen Zielsetzung, bis 2050 eine emissionsfreie Energieversorgung zu erreichen, ist dieses Wachstum jedoch unzureichend, da EE-Strom in diesem Fall seiner Aufgabe, auch im Wärme- und Verkehrsbereich fossile Energien zu verdrängen („Power to Heat, to Gas“) nicht gerecht werden kann. Das zeigt der Vergleich mit dem Wachstum des Bruttostromverbrauchs im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“, der zunehmend durch EE-Strom gedeckt wird. In 2030 werden mit 496 TWh/a bereits zwei Drittel des Bruttostromverbrauchs von EE bereitgestellt. In 2050 decken EE dann mit 1100 TWh/a praktisch den gesamten Bruttostromverbrauch. In SZEN-16 „KLIMA 2040“ geschieht dies bereits im Jahr 2040. Es ist festzuhalten, dass mit dem Szenario SZEN-16 „TREND“ zwar die EE-Ziele in der Stromerzeugung bis 2035 erreicht werden, aber keine Impulse zu erwarten sind, dass das ehrgeizigere 80%-Ziel für 2050 erreichbar ist. Damit sind auch die Ziele des Energiekonzepts für den Gesamtbeitrag der EE (18% in 2020; 60% in 2050; Abb.2) nicht gewährleistet.

Tabelle 3: EE-Stromerzeugung in den Szenarien und EE-Anteil am Bruttostromverbrauch

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
SZEN-16 „TREND “							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	597[2)]	**599**	**599**	**603**	**615**	**627**	**672**
EE-Stromerzeug., TWh/a	194	**238**	**272**	**303**	**339**	**374**	**460**
Anteil an Bruttoverbrauch, %	32,5	**39,8**	**45,5**	**50,2**	**55,0**	**59,6**	**68,4**
SZEN-16 „KLIMA 2050“							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	597	**606**	**649**	**733**	**838**	**942**	**1119**
EE-Stromerzeug., TWh/a [1)]	194	**258**	**365**	**496**	**660**	**824**	**1100**
Anteil an Bruttoverbrauch, %	32,5	**42,6**	**56,2**	**67,7**	**77,6**	**87,5**	**98,3**
SZEN-16 „KLIMA 2040“							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	597	**607**	**669**	**808**	**980**	**1091**	**1107**
EE-Stromerzeug., TWh/a [1)]	194	**262**	**402**	**620**	**873**	**1066**	**1093**
Anteil an Bruttoverbrauch, %	32,5	**43,2**	**60,1**	**76,8**	**88,8**	**97,7**	**98,7**

1) EE-Strom wird zunehmend „Primärenergie“ für Wärme- und Verkehrssektor (Power to Heat, Gas)

2) Nach neuesten Schätzungen der AG-Energiebilanzen (28.1.2016) lag der Bruttostromverbrauch im Jahr 2015 bei 600 TWh/a.

Die Ursache für den steigenden Strombedarf zeigt **Abbildung 3**. Zwar sinkt durch Effizienzmaßnahmen der Stromverbrauch für die konventionelle Stromnutzung, im Beispiel des Szenarios SZEN-16 „KLIMA205“ um 12% bis 2050, EE-Strom als die zukünftige Hauptenergiequelle („Primärenergiequelle“) erschließt jedoch andere Nutzungsbereiche. Diese sind bereits kurz- bis mittelfristig neben Wärmepumpen für Heizzwecke und Elektromobilität auch ein verstärkter Einsatz von EE-Strom für industrielle Prozesswärme und die Einspeisung von EE-Überschussstrom in Wärmenetze („Power to Heat“).

Längerfristig ist die Überführung eines Teils des (fluktuierenden) EE-Stroms in eine chemisch speicherbare Form (Power to Gas) unerlässlich. Im Szenario ist dies direkt EE-Wasserstoff, es kommen aber ggf. auch EE-Methan oder synthetische flüssige Energieträger für den Verkehrssektor (z.B. Flugverkehr) infrage. Diese auf EE-Strom basierenden Energieträger können in einer 100% EE-Versorgung in allen Nutzungsbereichen (Stromerzeugung mittels KWK, HT-Wärme, Verkehr, Chemie) die Rolle die heutigen fossilen Energieträger ersetzten.

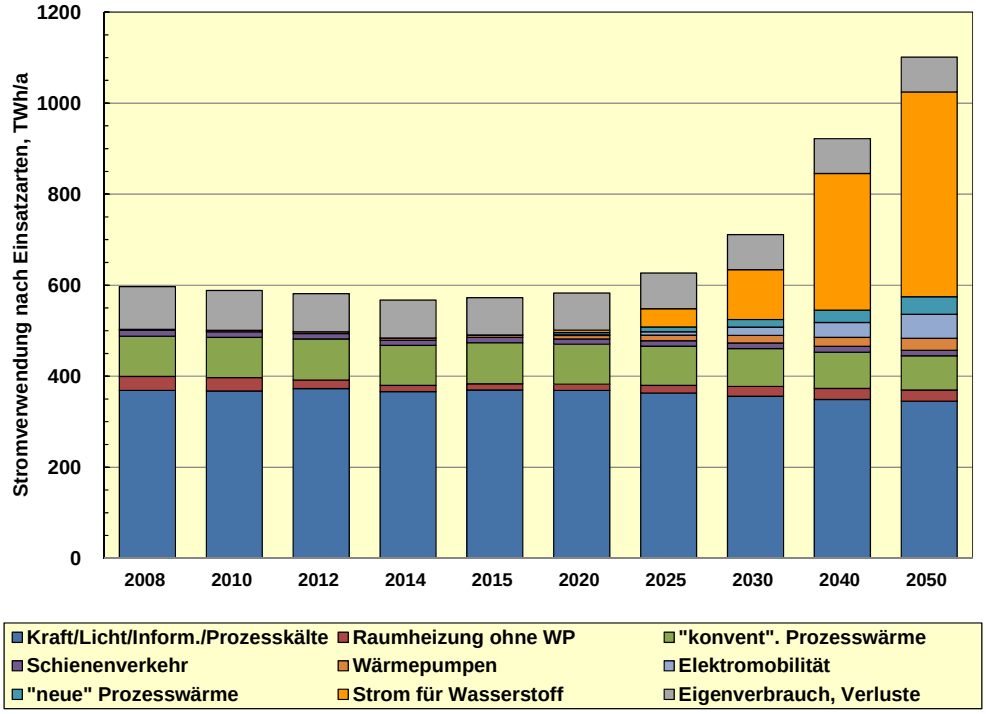


Abbildung 3: Bruttostromerzeugung für „konventionelle“ und „neue“ Stromverwendungen in SZEN-16 „KLIMA 2050“. „Neue“ Stromverwendungen sind: Wärmepumpen, Elektromobilität, „Power to Heat“ für Prozesswärme und Wärmenetze; „Power to Gas“ (Wasserstoff) für KWK, Prozesswärme und chemische Industrie sowie Kraftstoffe.

Als Zwischenfazit kann festgehalten werden: Wird der derzeit vorgegebene Ausbaukorridor des EE-Stroms im EEG eingehalten Szenario TREND), so wird zwar mittelfristig der Stromsektor durch EE dominiert (EE-Anteil in 2040 = 60%, in 2050 = 68%), eine vollständige Dekarbonisierung aber nicht erreicht. Erst recht wird aber das vorrangige Ziel einer sehr weitgehenden THG-Minderung (-95%) durch den Ersatz fossiler Energieträger im Wärme- und Verkehrssektor durch EE-Strom deutlich verfehlt. Dazu sind bereits in den nächsten Jahren deutlich höhere EE-Strombeiträge erforderlich, als sie derzeit im Ausbaukorridor vorgesehen sind. Die Unterschiede werden im Vergleich der Angaben in **Tabelle 4** deutlich. Das Szenario TREND (oben) repräsentiert bis 2035 den Ausbaukorridor (Tab.3), was mit obigem Bruttostromverbrauch zu einer EE-Leistung von rund 170 GW führt in 2035. Erforderlich im Sinne eines wirksamen Klimaschutzes sind aber bis dahin rund 310 GW EE-Leistung (Tab 4. unten). Das „Defizit“ an EE-Leistung beträgt im Jahr 2020 bereits 15 GW, wächst bis 2030 auf 90 GW und bis 2035 sogar auf 140 GW.

Tabelle 4: Installierte Leistung aller EE-Anlagen in den Szenarien SZEN-16 „TREND“ (oben) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (unten)

EE-Leistung (GW)	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	4,8	5,4	5,6	5,7	5,7	5,7	5,8	5,8	5,8	5,9
Wind Onshore	6,1	27,0	41,4	53,6	58,0	62,3	68,4	74,8	81,9	87,4
Wind Offshore (am Netz)	0,0	0,1	3,3	6,5	10,5	15,0	19,3	21,7	24,0	25,6
Fotovoltaik	0,1	17,9	39,6	48,0	58,5	66,1	69,2	71,4	74,0	75,4
feste Biomasse, biog. Abfall	0,9	3,4	4,0	4,1	3,9	3,5	3,2	3,0	2,9	2,8
gasförm., flüss. Biomasse	0,4	3,2	5,0	5,1	4,5	3,5	2,7	1,9	1,7	1,7
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
Gesamt in D	**12,3**	**57,1**	**98,9**	**123,0**	**141,3**	**156,3**	**168,8**	**178,9**	**190,6**	**199,3**
Saldo Europ. Verbund*)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	1,1	2,4	4,1	6,3
Gesamt für D	**12,3**	**57,1**	**98,9**	**123,0**	**141,5**	**156,7**	**169,9**	**181,3**	**194,8**	**205,5**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

EE-Leistung (GW)	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	4,8	5,4	5,6	5,8	6,1	6,3	6,4	6,6	6,6	6,7
Wind Onshore	6,1	27,0	41,4	60,2	78,6	96,9	116,5	129,4	134,2	136,2
Wind Offshore (am Netz)	0,0	0,1	3,3	7,0	13,5	22,1	33,7	46,9	59,6	70,1
Fotovoltaik	0,1	17,9	39,6	55,3	82,9	109,0	131,1	151,3	170,7	178,0
feste Biomasse, biog. Abfall	0,9	3,4	4,0	4,3	4,7	5,0	5,2	5,5	5,6	5,6
gasf., flüssige Biomasse	0,4	3,2	5,0	5,2	5,3	5,5	5,6	5,8	5,8	5,9
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,8	1,3	1,9	2,5	3,0
Gesamt in D	**12,3**	**57,1**	**98,9**	**137,8**	**191,5**	**245,6**	**299,9**	**347,3**	**385,1**	**405,5**
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	8,8	16,2	23,0	27,9
Gesamt für D	**12,3**	**57,1**	**98,9**	**137,8**	**193,2**	**248,8**	**308,6**	**363,5**	**408,1**	**433,3**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

Wärmesektor

Die Klimaschutzziele des Energiekonzepts erfordern bis 2050 einen völligen Umbau der Wärmeversorgung. Die dafür erforderlichen Strukturveränderungen werden im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ abgebildet. Der gesamte Wärmeverbrauch (Raumheizung, Warmwasser, Prozesswärme) wird um mehr als die Hälfte reduziert (am deutlichsten im Bereich der Gebäudewärme; vgl. Tab. 1), die Einzelversorgungen mit Heizöl und Gas verschwinden. Der Anteil von Einzelheizungen (nur noch Wärmepumpen, Biomasse) geht erheblich zurück, EE-Wärme wird überwiegend (Biomasse, Solarkollektoren, Umweltwärme und Geothermie; längerfristig auch EE-Wasserstoff via KWK und HT-Wärme) mittels Netzen bereitgestellt. Damit steigert EE-Wärme ihren bisher geringen Anteil (13%) bereits bis 2030 erheblich und deckt nahezu vollständig den verbleibenden Wärmebedarf (ohne Stromwärme) des Jahres 2050 **(Tab.5**). Die Wärmebereitstellung mittels KWK-Anlagen in Wärmnetzen (fossil, Biomasse, Geothermie, längerfristig EE-Wasserstoff) erhöht ihren Anteil stetig auf rund 26% des (deutlich sinkenden) Wärmebedarfs (derzeit 14%). Mit 1656 PJ/a (460 TWh/a) in 2050 stellt EE-Wärme nahezu die dreifache Energiemenge bereit, als dies heute (574 PJ/a = 159 TWh/a) der Fall ist **(Abb.4, rechts).**

Zusätzlich erschließt sich EE-Strom neue Nutzungsbereiche im Wärmesektor (vgl. „EE-Stromerzeugung“) und deckt in 2050 knapp 30% des gesamten Wärmebedarfs. Soll das SZEN-16 „KLIMA 2040“ verwirklicht werden, müssen die erforderlichen Strukturveränderungen noch rascher verlaufen, was angesichts der bisherigen Trägheit in diesem Bereich sehr

unwahrscheinlich ist. Zuzüglich wird in diesem Szenario die Stromeffizienz nochmals verstärkt, so dass der Absolutbeitrag an Stromwärme gegenüber Szenario KLIMA 2050 etwas geringer ausfällt.

Tabelle 5: Energieverbrauch für Wärmezwecke und zukünftige Beiträge der EE

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
SZEN-16 „TREND“							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4849	**4630**	**4454**	**4337**	**4240**	**4149**	**4005**
davon Stromwärme (PJ/a)	480	**482**	**490**	**516**	**545**	**576**	**625**
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 8,0	**-12**	**-16**	**-18**	**-20**	**-22**	**-24**
EE-Wärmemenge (PJ/a)[1)]	574	**606**	**616**	**602**	**595**	**585**	**600**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[2)]	13,1	**14,6**	**15,5**	**15,8**	**16,1**	**16,4**	**17,8**
SZEN-16 „KLIMA 2050“							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4849	**4373**	**3940**	**3610**	**3270**	**2943**	**2433**
davon Stromwärme (PJ/a)	480	**494**	**534**	**573**	**595**	**618**	**658**
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 8,0	**-17**	**-25**	**-32**	**-38**	**-46**	**-54**
EE-Wärmemenge (PJ/a)[1)]	574	**640**	**769**	**925**	**1135**	**1346**	**1656**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[2)]	13,1	**16,5**	**22,6**	**30,5**	**42,5**	**57,9**	**93,3**
SZEN-16 „KLIMA 2040“							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4849	**4290**	**3798**	**3426**	**3050**	**2671**	**2390**
davon Stromwärme (PJ/a)	480	**491**	**496**	**519**	**535**	**556**	**620**
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 8,0	**-19**	**-28**	**-35**	**-42**	**-49**	**-55**
EE-Wärmemenge (PJ/a)[1)]	574	**645**	**836**	**1095**	**1350**	**1605**	**1685**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[2)]	13,1	**17,0**	**25,3**	**37,7**	**46,3**	**75,9**	**95,2**

1) Biomasse, Kollektoren, Umweltwärme; ohne EE-Strom für Wärmezwecke
2) Anteil an gesamter Wärme abzgl. Stromwärme

In der Trendentwicklung wird dagegen das ohnehin zu geringe Wachstum des EE-Wärmemarkts im Bereich der Kollektoren und der Umweltwärme/Geothermie durch den jetzigen Zielkorridor für Biomasse im EEG zusätzlich gebremst. Mit diesen Restriktionen wird insbesondere der Wärmebeitrag aus KWK-Anlagen, der sich in den letzten Jahren dank wachsender Stromerzeugung aus Biomasse deutlich erhöht hat und heute 23% (32 TWh/a) der gesamten Biomassewärme darstellt nach 2020 wieder sinken. Insgesamt verringert sich dadurch der Beitrag der Biomassewärme von derzeit 140 TWh/a auf 128 TWh/a in 2030 und auf 114 TWh/a im Jahr 2050. Das unter Trendbedingungen für möglich gehaltene Wachstum von Kollektoren, Umweltwärme und Geothermie kann diesen Rückgang lediglich näherungsweise kompensieren, ein weiteres Wachstum der gesamten EE-Wärme findet jedoch nicht statt**.** Von derzeit 159 TWh/a steigt sie bis 2025 noch auf 171 TWh/a, um dann bis zur Jahrhundertmitte etwa konstant zu bleiben (Abb. 4, links); eine „Energiewende“ im Wärmebereich fände also nicht statt. Der Anteil der fossilen Energiebereitstellung für Wärmezwecke (ohne Stromanteil) wäre nur von derzeit 87% (= 3800 PJ/a) auf 82% (= 2800 PJ/a) im Jahr 2050 gesunken, der CO_2-Ausstoß des Wärmesektors beliefe sich noch auf 177 Mio. t CO2/a (Derzeit 300 Mio. t CO_2/a).

Neben einem erheblich stärkerem Wachstum von Solarwärme und Umweltwärme/ Geothermie ist also auch die weitere Ausschöpfung des restlichen Biomassepotenzial für Wärmezwecke (von derzeit 140 TWh/a auf 160 TWh/a) erforderlich. Diese Ausschöpfung ist aber eng an den weiteren Ausbau von KWK-Anlagen (als die effizienteste Nutzung) geknüpft. Damit kommt der weiteren Entwicklung der Biomasse im Rahmen des EEG auch für den Wärmebereich eine erhebliche Bedeutung zu.

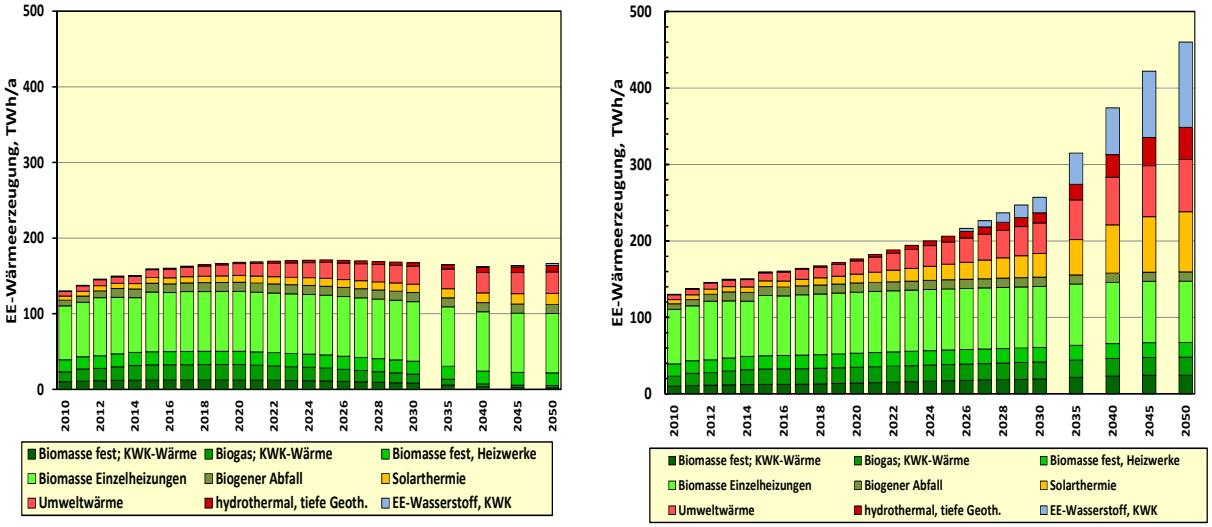


Abbildung 4: Entwicklung der EE-Wärmeerzeugung (ohne Stromanteil) im Trendszenario SZEN-16 „TREND“ (links) und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050“; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts (in TWh/a; 1 TWh/a = 3,6 PJ/a)

Verkehrssektor

Im Verkehrssektor ist noch nichts von der Energiewende bemerkbar. Seit 2003 ist sein Energieverbrauch praktisch nicht mehr gesunken, der Verbrauch des Jahres 2015 liegt mit 2656 PJ/a sogar leicht über dem für das Energiekonzept gewählten Bezugswert des Jahres 2008. Mit 185 Mio. t CO_2/a stammen 23% der nationalen CO_2-Emissionen aus dem Verkehr, eine Reduktion dieser Emissionen ist bisher so gut wie nicht erfolgt. Auch der EE-Anteil am gesamten Endenergieverbrauch des Verkehrs ist mit knapp 5 % noch gering.

Aus heutiger Sicht ist das Effizienzziel im Verkehr für das Jahr 2020 (-10% Minderung ggü. 2008 nicht mehr erreichbar. Für das SZEN-16 „TREND“ wird bis 2020 ein etwa gleichbleibender Endenergieverbrauch angenommen (**Tab.6**). Unter Trendbedingungen wird sich bei dem erwarteten Verkehrsaufkommen auch längerfristig bestenfalls eine geringe Verbrauchabsenkung einstellen, da technische Fortschritte – wie bereits bisher – weitgehend durch aufwändigere, technisch anspruchsvollere und damit schwerere Fahrzeugkonzepte kompensiert werden (Rebound-Effekt; **Abb.5**).

Effizienzpotenziale im Verkehr sind jedoch prinzipiell groß, wenn die technischen Effizienzgewinne verknüpft werden mit einem „Downsizing“ der PKW-Flotte (unterstützt durch eine allgemeine Geschwindigkeitsbegrenzung und weitere Anreize für kleinere PKW) und einer weiteren Steigerung des öffentlichen Nahverkehrs bei gleichzeitiger Einschränkungen für den motorisierten Individualverkehr in Ballungsräumen (u.a. „City Maut“: Anpassung Steuer für Dieselkraftstoff). Im Güterverkehr ist insbesondere eine deutliche Verlagerung von Güterverkehr auf die Schiene von großer Bedeutung und längst überfällig. Diese und weitere Strukturveränderungen werden im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ unterstellt und können bis 2050 zu einer Halbierung des Endenergieverbrauchs im Verkehr führen (Tab. 6; Abb.5). Bis 2020 wird in diesem Szenario allerdings nur von einem leichten Rückgang um 3 % ggü. 2015 ausgegangen**.**

Tabelle 6: Energieverbrauch im Verkehr und zukünftige Beiträge von Strom und von EE

Werte in PJ/a	2008	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
SZEN-16 „TREND “								
Endenergieverbrauch,	2571	2656	**2652**	**2631**	**2575**	**2520**	**2460**	**2278**
Verring. gegenüber 2008 (%)		+ 3,3	**+3,2**	**+2,3**	**0**	**-2,0**	**-4,3**	**-11,4**
Stromeinsatz im Verkehr	46	44	**46**	**55**	**69**	**79**	**88**	**108**
Biokraftstoffe	128	112	**120**	**150**	**180**	**190**	**200**	**200**
EE-Wasserstoff	0	0	**0**	**0**	**0**	**8**	**23**	**77**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[1)]	5,2	4,8	**5,3**	**6,9**	**8,8**	**10,2**	**11,9**	**17,1**
SZEN-16 „KLIMA 2050“								
Endenergieverbrauch	2571	2656	**2488**	**2315**	**2062**	**1870**	**1674**	**1282**
Verring. gegenüber 2008 (%)		+ 3,3	**-3,2**	**-10,0**	**-19,8**	**-27,3**	**-34,9**	**-50,1**
Stromeinsatz im Verkehr	46	44	**47**	**69**	**109**	**135**	**161**	**235**
Biokraftstoffe	128	112	**125**	**180**	**240**	**250**	**260**	**260**
EE-Wasserstoff	0	0	**9**	**69**	**181**	**310**	**449**	**579**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[1)]	5,2	4,8	**6,3**	**12,9**	**25,0**	**38,0**	**51,7**	**83,7**
SZEN-16 „KLIMA 2040“								
Endenergieverbrauch	2571	2656	**2472**	**2180**	**1823**	**1600**	**1368**	**1277**
Verring. gegenüber 2008 (%)		+ 3,3	**-3,8**	**-15,2**	**-29,1**	**-37,8**	**-46,8**	**-50,3**
Stromeinsatz im Verkehr	46	44	**47**	**82**	**127**	**170**	**213**	**235**
Biokraftstoffe	128	112	**125**	**180**	**240**	**250**	**260**	**260**
EE-Wasserstoff	0	0	**21**	**96**	**239**	**410**	**595**	**597**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[1)]	5,2	4,8	**6,8**	**15,6**	**32,7**	**53,0**	**77,9**	**85,4**

1) einschließlich EE-Strom

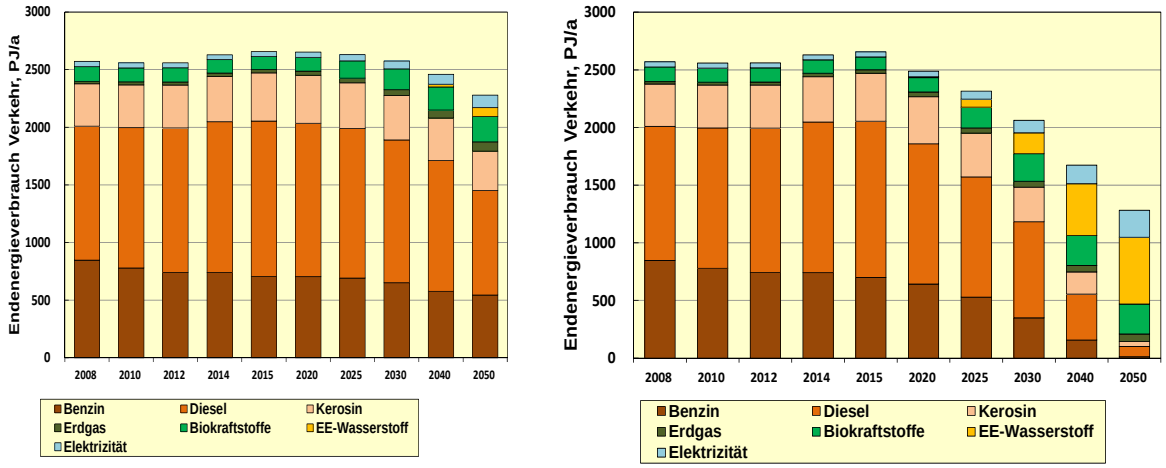


Abbildung 5: Entwicklung der Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im Verkehr im Trendszenario SZEN-16 „TREND“ (links) und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050“; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts.

Bei einer sehr aktiven Klimaschutzstrategie im Verkehr – für die derzeit allerdings keine Anzeichen erkennbar sind - kann eine 10%ige Reduktion des Energieverbrauchs frühestens im Jahr 2025 erreicht werden. Erst auf dieser „optimierten Mobilitätsbasis“ kann auch die Einführung neuer Antriebe (Elektromobilität) und neuer EE-Kraftstoffe rasch genug ihre Wirksamkeit entfalten, um dann zusammen mit einem begrenzten Beitrag von Biokraftstoffen (im Szenario vorwiegend für den Flugverkehr) im Jahr 2050 zu einem EE-Anteil von rund 84% zu führen.

Fazit

Die derzeitige Energiewendepolitik lässt noch keine kohärente Strategie erkennen, mit der die großen Herausforderungen eines Komplettumbaus aller Sektoren der Energieversorgung in der notwendigen Zeit bis 2050 wirksam bewältigt werden könnten. Nur im Stromsektor hatte sich bisher eine angemessene Umbaudynamik entwickelt, die aber durch ein zögerliches Weiterführung (u.a. fehlender konsequenter Rückbau von Kohlekraftwerken bis 2040) ins Stocken geraten ist. Darüber hinaus war bereits seit längerer Zeit erkennbar, dass die Aus- bzw. Umbaudynamik in den Bereichen Effizienzsteigerung, der Wärmeversorgung und des KWK-Ausbaus deutlich gesteigert, sowie gleichzeitig ein durchgreifenden Wandel im Verkehrssektor durchgeführt werden muss, wenn das aus der Sicht eines wirksamen globalen Klimaschutzes für Deutschland erforderliche Klimaschutzziel von -95% bis 2050 verbindlich angestrebt wird**.**

Die derzeitigen energiepolitischen Aktivitäten (Aktionsprogramm „Klimaschutz"; NAPE; Strommarkt 2.0; neues KWK-G) zeigen, dass die Politik das Problem zwar erkannt hat, aber bei der wirksamen Umsetzung im Verzug ist. Gleichzeitig schwächen die derzeitigen ökonomischen Rahmenbedingungen (sehr niedrige Energiepreise; geringe CO_2-Preise) die Umsetzungsanreize weiter. Die jetzigen Aktionsprogramme und Novellierungsvorschläge werden kurzfristig nicht ausreichend wirksame Impulse entwickeln, um das Kurzfristziel (-40% THG-Minderung bis 2020) zu erreichen. Dieser „Verzug" kann allerdings bis 2030 prinzipiell aufgeholt werden, wenn in den nächsten Jahren robuste Maßnahmen ergriffen und dem Klimaschutz angemessene ökonomische Instrumente für den Energiemarkt geschaffen werden. Von herausragender Bedeutung dafür sind höhere CO_2-Preise (mindestens 40-50 €/t) oder äquivalente CO_2-Steuern; im Verkehr ggf. äquivalente Besteuerung von Kraftstoffen) Dadurch würden die durch einen ungebremsten Klimawandel eintretenden Schäden (bzw. Kosten) in wirksame Preissignale umgewandelt. Investitionen in Effizienzsteigerungen wären dann sehr viel wirtschaftlicher und die EE-Technologien könnten sich ohne kompliziertes Förderinstrumentarium im Energiemarkt weiter etablieren.

Im Stromsektor könnte bei angemessen hohen CO_2-Preisen ein erheblich rascherer, weil marktgetriebener Strukturwandel weg von Kohlekraftwerken und hin zu Erdgaskraftwerken und EE-Anlagen erfolgen. Dieser ist eine zentrale Voraussetzung für die Herausforderungen, die auf Stromsektor als Hauptsegment (EE-Strom als „Hauptenergieträger") einer klimaverträglichen Energieversorgung zukommen. **Abbildung 6** veranschaulicht die in SZEN-16 „KLIMA2050" notwendigen strukturellen Verschiebungen im fossilen Kraftwerkssegment im Vergleich zum SZEN-16 „TREND". Bis 2030 wird eine Gasleistung von 42 GW benötigt, die Kohleleistung ist auf rund 30 GW gesunken (2,7 GW Leistung von Müll-HKW sind in „Kohle" enthalten). In 2050 werden noch rund 32 GW gasgefeuerte Anlagen betrieben, die nahezu vollständig mit EE-Wasserstoff als KWK-Anlagen betrieben werden. Weitere 32 GW Leistung stehen aus Biomasse-, Wasserkraft-, Geothermie- Anlagen und Speichern zur Verfügung. Die letzten Kohlekraftwerke gehen um 2045 vom Netz.

Verstärkt sich die Umbaudynamik im gesamten Energiesektor nicht erheblich, würden die fossilen Energieträger auch noch zur Jahrhundertmitte mit 70 – 75% Anteil das Energiesystem dominieren **(Abb.7, links).** Das Klimaschutzziel wäre weit verfehlt**.** Zur Verwirklichung der eigentlichen Energiewendeziele ist eine über Jahrzehnte stabile Entwicklungsdynamik gemäß Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050" notwendig. Damit wären bis 2050 ein Verbrauchsrückgang um 50% und ein Beitrag der EE am gesamten Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetischen Einsatz fossiler Energieträger) von rund 95% möglich **(Abb.7, rechts**). Die verbleibenden THG-Emissionen beliefen sich dann auf 69 Mio. t CO_{2eq}/a, davon CO_2-

Emissionen in Höhe von nur noch 28 Mio. t CO_2/a. In einem Szenario Szen-16 „KLIMA2040“ wird zusätzlich gezeigt, wie dieser Zustand bereits bis zum Jahr 2040 herbeigeführt werden könnte. Diese Entwicklung legen die Erkenntnisse des Klimagipfels in Paris im Dezember 2015 für ein Industrieland nahe, wenn global sicher die 2°C-Grenze eingehalten werden soll. An den dazu erforderlichen sehr hohen Umstrukturierungsgeschwindigkeiten lässt sich zeigen, vor welchen enormen Herausforderungen eine Volkswirtschaft steht, wenn sie einen ernsthaften Beitrag zum globalen Klimaschutz leisten will.

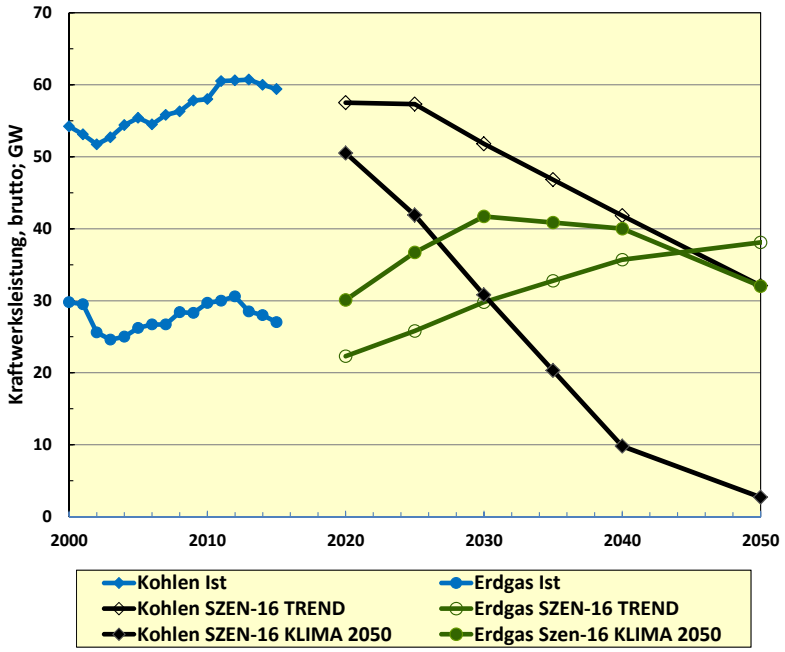


Abbildung 6: Entwicklung der Leistung von Kohle- und Erdgaskraftwerken (KOND- und KWK-Anlagen) im Trendszenario SZEN-16 „TREND“ und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050“) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts.

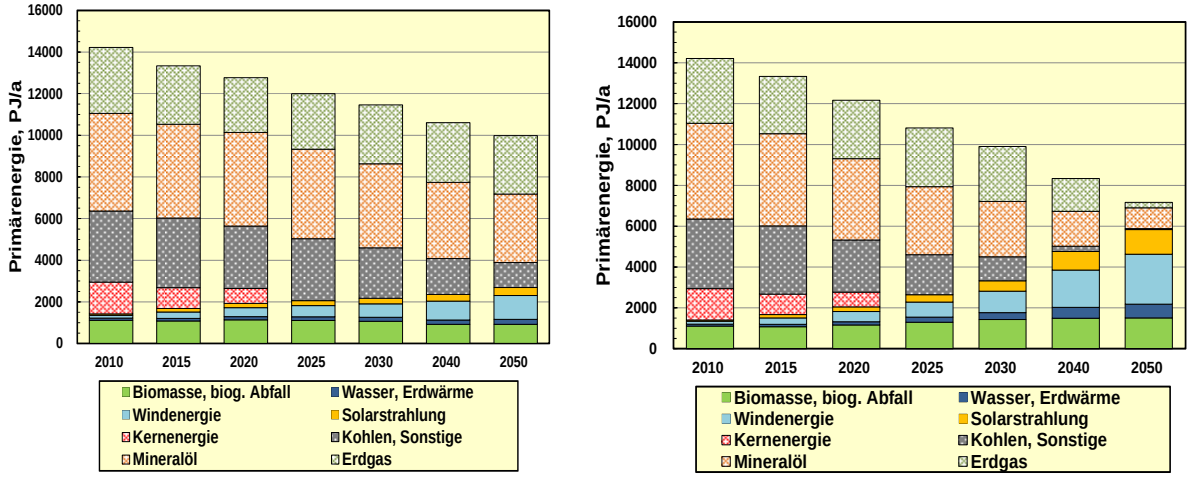


Abb. 7: Umbaudynamik der Energieversorgung (am Beispiel der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs) unter gegenwärtigen Trendentwicklungen (Szenario SZEN-16 „TREND“ , links) und die aus Klimaschutzsicht mindestens notwendigen Entwicklungsgradienten (SZEN-16 „KLIMA 2050“, rechts). Der verbleibende fossile Beitrag enthält auch den nichtenergetischen Einsatz (in SZEN-16 „KLIMA2050“ beträgt er in 2050 rund 70%).

Inhaltsverzeichnis

1. Derzeitige Ausgangssituation…… 17
2. Szenariendefinition…….. 19
3. Ergebnisse im Überblick…… 21
4. Wesentliche Einzelergebnisse der Szenarien…….. 25
5. Zukünftiger Strombedarf und resultierende Erzeugungsstruktur…….. 29
6. EE-Strombereitstellung…… 35
7. Entwicklung der Wärmeversorgung…… 38
8. Entwicklung des Verkehrssektors…… 42
9. Fazit und Schlussfolgerungen…….. 46
10. Literatur…… 47
11. Anhang: Ausgewählte Szenariodaten und Grafiken…….. 49

Die Energiewende nach COP 21 – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung.

1. Derzeitige Ausgangssituation

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende in Deutschland sind in den Nutzungsbereichen Strom, Wärme und Mobilität eine erhebliche Reduktion des Verbrauchs (EFF) und ein weitgehender Ersatz der fossilen Energieträger durch erneuerbare Energien (EE) erforderlich. Diese Maßnahmen verlangen beträchtliche und relativ rasche strukturelle Veränderungen in allen drei Versorgungsbereichen, die u.a. auch zu ihrer wesentlich engeren Vernetzung führen müssen. Derzeit zeichnet sich jedoch eine Verfehlung bereits der kurzfristigen Ziele 2020 des Energiekonzepts der Bundesregierung ab. Das Klimaschutzziel 2020 (-40% Reduktion der THG-Emissionen gegenüber 1990) des Energiekonzepts [E-Konzept, 2011] droht um ca. 100 Mio. t $CO_{2äquiv}$/a verfehlt zu werden. Die Bundesregierung hatte daher bereits in 2014 einige Aktivitäten angekündigt, die diese drohende Lücke bis 2020 reduzieren bzw. möglicherweise vollständig schließen sollen. Vom BMWI wurde im Oktober 2014 ein Grünbuch [Grünbuch 2014] vorgelegt, welches eine Diskussionsgrundlage für eine zukünftig effizientere Gestaltung des Strommarkts mit hohen EE-Anteilen bietet. Das BMU hat im Dezember 2014 das Aktionsprogramm „Klimaschutz 2020“ [Klimaschutz, 2014] vorgestellt und dort angekündigt, mit welchen Maßnahmen die Bundesregierung die obige Lücke bei der THG-Emissionsminderung zu schließen gedenkt. Ebenfalls im Dezember 2014 hat das BMWi den Aktionsplan „Energieeffizienz“ (NAPE) [NAPE, 2014] vorgelegt, in dem dargelegt wird, wie „die zweite Säule der Energiewende – die Energieeffizienz“ wirksam mobilisiert werden soll. Im NAPE sollen zusätzlich zum jetzigen Trend 25 bis 30 Mio. t $CO_{2äquiv}$/a Emissionsminderung bis 2020 erbracht werden.

Gegenwärtig wird jedoch insbesondere die angestrebte weitere Effizienzsteigerung erheblich gehemmt. Sehr niedrige Brennstoff- und Kraftstoffpreise bieten keine ausreichenden Anreize für energiesparende Investitionen, nach dem deutlichen Rückgang des Primärenergieverbrauchs und der THG-Emissionen in 2014 – überwiegend bedingt durch den sehr milden Winter 2014 – sind beide Werte in 2015 wieder leicht gestiegen **(Tabelle 1).** Bis 2020 muss noch eine THG-Emissionsminderung von 157 Mio. t $CO_{2äquiv}$/a erbracht werden, wenn das Reduktionsziel für 2020 von -40% gegenüber 1990 erreicht werden soll.

Dazu muss u.a. der Primärenergieverbrauch in den nächsten fünf Jahren noch um weitere 12,7% sinken (zwischen 1990 und 2015 waren es lediglich -7,3%). Der Endenergieverbrauch des Verkehrs liegt 3,3% über demjenigen des Bezugsjahrs 2008. Steuerlichen Erleichterungen für energetische Gebäudesanierungen sind derzeit nicht auf der Tagesordnung. Auch die Effizienztechnologie Kraft-Wärme-Kopplung stagniert derzeit; es ist noch unsicher, ob das novellierte KWK-Gesetzes so wirksam sein wird, dass damit neben der Bestandserhaltung auch noch ein deutlicher Zubau bis 2020 erreicht werden kann. Für den notwendigen EE- Ausbau im Wärmesektor existieren derzeit ebenfalls nur wenig wirksame Anreize, zusätzlich droht durch die Vorgaben des neuen EEG bezüglich der Biomasse auch eine Stagnation des EE-Beitrags zur Wärmeversorgung [Nitsch, 2015]. Der Kohlestromexport hat in 2015 eine Rekordhöhe erreicht, Obwohl verschiedene Analysen [u.a. Agora 2105] zeigen, dass als nächster wichtiger Schritt zur Energiewende einen klaren Ausstiegspfad für Kohle bis ca. 2040 erforderlich macht, ist eine energiepolitische Strategie zur raschen Reduktion der Leistung von Kohlekraftwerken nicht in Sicht. Der Versuch, Braunkohlekraftwerke mit einer zusätzlichen nationalen CO_2-Abgabe zu belegen, ist gescheitert,

stattdessen wird die frühzeitige Abschaltung älterer Braunkohlekraftwerke sogar noch honoriert. Gleichzeitig sind die Börsenstrompreise weiterhin sehr niedrig, am Terminmarkt ist Strom für die nächsten Jahre bereits für 30 €/MWh erhältlich. Auch ist ungewiss, ob die im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 und im nationalen Aktionsplan Effizienz [NAPE 2014] vorgeschlagenen Maßnahmen rechtzeitig mobilisiert werden können.

Tabelle 1: Entwicklung wesentlicher Eckdaten der Energieversorgung in den letzten Jahren

IST - Werte	**2008**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**Ziel 2020**
THG-Emissionen*)							
Absolut; Mio.t $CO_{2äquiv}$./a	974	922	926	945	902	907	750
Reduktion ggü. 1990; %	**-22,1**	**-26,2**	**-25,9**	**-24,4**	**-27,8**	**-27,4**	**-40**
CO_2-Emissionen **)							
Gesamt; Mio.t CO_2/a	853	813	817	836	793	798	630
Reduktion ggü. 1990; %	**-18,8**	**-22,6**	**-22,2**	**-20,4**	**-24,5**	**-24,0**	**(-40)**
nur Stromerzeugung; Mio.t CO_2/a	330	305	325	318	317	313	
Reduktion ggü. 1990; % *)**	**-7,6**	**-14,6**	**-9,0**	**-10,9**	**-11,2**	**-12,3**	
Effizienz							
Primärenergieverbrauch; PJ/a	14380	13599	13447	13882	13158	13335	11500
Reduktion bez. auf 2008; %		**-5,4**	**-6,5**	**-3,5**	**-8,5**	**-7,3**	**-20**
Endenergieverbrauch; PJ/a	9159	8881	8919	9220	8648	8835	(7810)
Reduktion bez. auf 2008; %		**-3,0**	**-2,6**	**0,7**	**-5,6**	**-3,5**	
Bruttostromverbrauch; TWh/a+)	618	607	607	605	592	597	557
Reduktion bez. auf 2008; %		**-1,8**	**-1,8**	**-2,2**	**-4,2**	**-3,5**	**-10**
EE-Zubau							
EE-Endenergie; PJ/a	811	1059	1166	1230	1226	1384	1460
Anteil an Endenergie; %	**8,9**	**11,9**	**13,1**	**13,3**	**14,2**	**15,7**	**18,7****)**
EE-Strom; TWh/a	93,2	123,8	143,8	152,4	162,5	194,0	195
Anteil an Bruttoverbrauch; %	**15,1**	**20,4**	**23,7**	**25,2**	**27,4**	**32,5**	**35**
							(mind.)

*) 1990 = 1250 Mio. t $CO_{2äquiv}$ Bilanzen; 04.02.2016

**) Energie und Industrieprozesse (1990 = 1050 Mio. t CO2)

***) 1990 = 357 Mio. t CO2/a; ( ) aus Zielvorgaben abgeleitete Werte

****) 18% bezogen auf Brutto-Endenergieverbrauch lt. EU-Richtlinie 2009/28/EG

+) nach neuester Schätzung der AG Energiebilanzen vom 28.1. 2016 lautet der Wert für 2015: 600 TWh/a

Im jüngsten Monitoring-Bericht [BMWi 2015] wird daher auch der Bundesregierung in nahezu allen Zielen für 2020 (THG-Minderung, Primärenergie- und Wärmeverbrauch, Verkehrssektor) eine drohende Zielverfehlung attestiert. Lediglich der EE-Anteil am Bruttostromverbrauch wird das (niedrige) Ziel von „mind. 35%“ gut erreichen. Dafür ist im Wesentlichen die weiterhin gute Entwicklung beim Ausbau der Windenergie verantwortlich. Sie erreichte mit einem Zubau von 3500 MW (brutto) nochmals einen hohen Wert (2014 rund 4600 MW), mit Wind-Offshore-Anlagen wurden 8100 GWh/a Strom erzeugt, was einen erheblichen Zuwachs gegenüber 2014 bedeutet. Damit stieg der Anteil des EE-Stroms am Bruttostromverbrauch in 2015 auf 32,5%. Der Anteil der EE an der Wärmebedarfsdeckung ist mit jetzt 13,1% ebenfalls leicht gestiegen. Damit ist es aus heutiger Sicht nicht völlig unmöglich bis 2020 den angestrebten EE-Anteil von 18% am (Brutto-)Endenergieverbrauch noch zeitgerecht zu erreichen (derzeitiger Wert = 15,2%).

Insgesamt lässt aber die derzeitige Energiewendepolitik noch keine kohärente Strategie erkennen, mit der die großen Herausforderungen eines Komplettumbaus aller Sektoren der Energieversorgung in der notwendigen Zeit bis 2050 wirksam bewältigt werden könnten. Das

Ziel einer Reduktion der Treibhausgasemissionen von -95% bis 2050 erhält dadurch ein deutlich geringeres Maß an Glaubwürdigkeit. Schon in den letzten Jahren war erkennbar, dass die Aus- bzw. Umbaudynamik in den Bereichen Effizienzsteigerung, Wärmeversorgung, KWK-Ausbau und Verkehr deutlich gesteigert werden muss, wenn dieses langfristige Klimaschutzziel verbindlich angestrebt wird. Aus den jetzt vorgelegten Aktionsprogrammen sind kurzfristig nur wenige Impulse zu erwarten, da eine wirksame Umsetzung der dort angekündigten Maßnahmen noch weitgehend offen ist.

2. Szenariendefinition

Ein Szenario **SZEN-16 „TREND“** beschreibt – ausgehend vom Status am Jahresende 2015 - die Wirkungen der derzeit von der Bundesregierung formulierten energiepolitischen Aktionsprogramme und Planungen. Ausgangsbasis sind die Zielsetzungen des Energie- und Klimaschutzkonzepts aus dem Jahr 2011, für den Strom aus erneuerbaren Energien ergänzt um die Zielvorgaben des EEG 2014. Gegenüber der letzten Szenarioaktualisierung [Nitsch 2015] hat sich die Ausgangslage verschlechtert. Zum einen sind im Vergleich zu 2014 Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen wieder leicht gestiegen [UBA 2016; AG-Energiebilanzen 2015], zum anderen sind die Anreize für einen Umbau der Energieversorgung derzeit noch geringer als Ende 2014 (auf absehbare Zeit sehr niedrige Preise für fossile Energien und für Börsenstrom; nach wie vor sehr niedrige CO_2-Preise; geringe politische Prioritäten für Klimaschutz und Energiewende). Für die deutlich erforderliche Steigerung der Energieeffizienz wird von einer gegenüber der vergangenen Entwicklung verstärkenden Wirkung des Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz und des angekündigten Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 [Klimaschutz 2014] ausgegangen, allerdings dürfte deren Wirkung in dem nur noch kurzen Zeitraum bis 2020 auch bei steigenden Umsetzungsanstrengungen gering bleiben.

Beim EE-Zubau im Stromsektor werden der bereits eingetretene Rückgang bei der Fotovoltaik und die faktische Blockade bei Ausbau der Biomassestromerzeugung modelliert; nach 2020 werden die Zubauraten sinngemäß fortgeschrieben. Trotzdem wird angenommen, dass gemäß den Zielsetzungen des EEG 2014 der Ausbaukorridor für EE-Strom für 2025 (40-45% Anteil) und für 2035 (55-60%) erreicht wird. Dies ist wegen der günstigen Ausgangslage mit einem gegenwärtigen EE-Anteil am Bruttostromverbrauch von bereits 32,5%zumindest mittelfristig sehr wahrscheinlich.

Die weitere Entwicklung des Wärmesektors, insbesondere die Entwicklung des EE-Zubaus wurde bereits in [Nitsch 2014; Nitsch 2015] erläutert. Hinsichtlich der Marktanreize haben sich seither keine Verbesserungen ergeben, wegen der niedrigen Ölpreise ist sogar eher von einer Verringerung der Zubauraten von Solarthermie und Wärmepumpen auszugehen, bei der Biomasse wirkt sich der EEG-Deckel auch auf ihren zukünftigen Beitrag zur EE-Wärmeversorgung aus.

Für eine erfolgreiche Energiewende wird von vielen Seiten die dazu erforderliche verstärkte Effizienzsteigerung ständig angemahnt, bisher allerdings mit relativ wenig Erfolg. Die im NAPE vorgesehenen Maßnahmen sollen in den nächsten Jahren hier eine Verbesserung bewirken. Der langfristige Minderungstrend des Primärenergieverbrauchs (1990 – 2015) betrug knapp - 0,5%/a; zwischen 2008 – dem Bezugswert für die Einsparziele des Energiekonzepts - und 2015 erreichte er rund -1%/a **(Abbildung 1)**

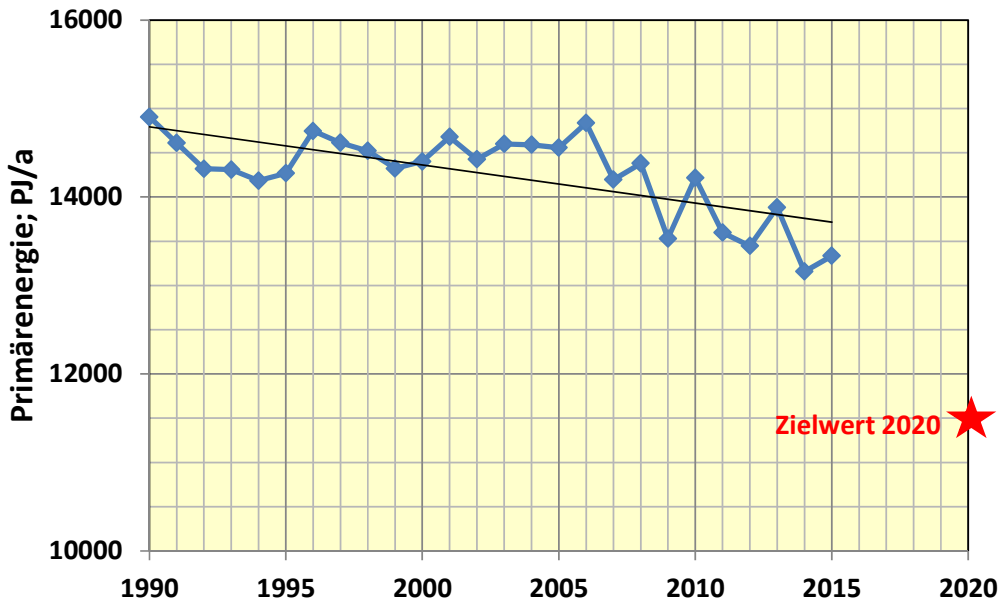


Abbildung 1: Verlauf des Primärenergieverbrauchs seit 1990, linearer Trend und Zielwert 2020 (-20% Minderung ggü. 2008 entsprechend 11 500 PJ/a) gemäß Energiekonzept (unterdrückter Nullpunkt).

Zur pünktlichen Zielerreichung wäre zwischen 2015 und 2020 etwa eine Verdreifachung der jährlichen Abnahme, also von rund -3%/a erforderlich. Zur Erreichung des Ziels, den Primärenergieverbrauch bis 2050 zu halbieren, ist im Mittel eine Verdopplung des bisherigen Trends erforderlich. Für SZEN-16 „TREND“ wird von einer Fortsetzung des Reduktionstrends seit 2008 ausgegangen. Dies ist bereits eine relativ optimistische Annahme angesichts der derzeitigen ungünstigen Ausgangbedingungen. Diese Annahme führt in 2020 zu einem Primärenergieverbrauch um 12 750 PJ/a.

Das untere THG-Reduktionsziel des Energiekonzepts von -80% im Jahr 2050 reicht nach den Erkenntnissen der Pariser Klimakonferenz (COP 21) vom Dezember 2015 nicht mehr aus, wenn ein Industrieland wie Deutschland seinen angemessenen Beitrag zur Sicherstellung des globalen 2°C-Ziels bis 2050 leisten soll. „Maßstab“ für einen erfolgreichen Umbau der Energieversorgung im Sinne eines wirksamen Klimaschutzes ist daher das Szenario **SZEN-16 „KLIMA 2050“**. Es beschreibt eine Energieversorgung, die das obere Reduktionsziel des Energiekonzepts 2011 für die Treibhausgasemissionen (THG) von **-95%** mittels einer ausgewogenen Kombination von Effizienzsteigerungen und EE-Ausbau in allen Sektoren **bis 2050** erreicht. Dazu ist bis zu diesem Zeitraum eine praktisch **100%ige EE-Energieversorgung** erforderlich. Die kurz- bis mittelfristigen Ziele des Energiekonzepts hinsichtlich des EE-Zubaus werden in diesem Szenario deutlich übertroffen. Die kurz- bis mittelfristigen Ziele des Energiekonzepts beim EE-Zubau werden in diesem Szenario i.allg. übertroffen werden. Wegen der bisher unzulänglichen Effizienzsteigerung wird aber auch in diesem Szenario der Zielwert 2020 bei der Primärenergieeinsparung nicht vollständig erreicht. Wird zwischen 2016 und 2020 von einer Verdopplung des Minderungstrends beim Primärenergieverbrauch ausgegangen, so ist ein Primärenergieverbrauch um 12 000 PJ/a im Jahr 2020 erreichbar (vgl. Abbildung 1).

Der Vergleich beider Szenarien veranschaulicht die Defizite der derzeitigen Energiepolitik der Bundesregierung. Sie nehmen bei unveränderter Trendentwicklung nach 2020 erhebliche Ausmaße an.

Wird, wie in Paris angekündigt, angestrebt, unter der 2°C- Marke zu bleiben, so zeigen aktuelle Klimaschutzszenarien, dass dafür bis 2050 sogar „negative“ CO_2-Emissionen, also der Einsatz von CCS-Verfahren, erforderlich sind. So nennt z.B. [Rogelj 2016] für die EU eine erforderliche Reduktionsbandbreite der Treibhausgasemissionen in 2050 von -95% bis -115%. Näherungsweise müsste Deutschland dazu bereits **bis 2040** eine praktisch 100%ig dekarbonisierte Energieversorgung schaffen, um danach CO_2-Emissionen dauerhaft aus der Atmosphäre zu entfernen. Die dazu erforderliche erhebliche Umstrukturierungsdynamik bis 2040 wird beispielhaft im Szenario **SZEN-16 „KLIMA 2040“** dargestellt.

3. Ergebnisse im Überblick

Nach einem Anstieg der THG-Emissionen zwischen 2011 und 2013 ist das Emissionsniveau in 2014 deutlich gesunken und betrug 902 Mio. t/$CO_{2äquiv}$/a [UBA 2016], was überwiegend auf die milde Witterung in diesem Jahr zurückzuführen war. Die Emissionsminderung gegenüber 1990 beträgt gut -27% (2013: -24%). Für 2015 werden die THG-Emissionen wegen eines leichten Anstiegs des fossilen Energieverbrauchs [AG Energiebilanzen 2015], bedingt durch ein im Vergleich zu 2014 etwas kühlerem Jahr, wieder leicht steigen. Es wird ein Anstieg auf 907 Mio. t/$CO_{2äquiv}$/a erwartet. Um das Reduktionsziel für 2020 von -40% gegenüber 1990 zu erreichen (750 Mio. t/$CO_{2äquiv}$/a), muss eine weitere Nettoemissionsminderung (d.h. unter Berücksichtigung des weiteren Rückgangs der Stromerzeugung aus Kernenergie) von 157 Mio. t $CO_{2äquiv}$./a bis 2020 erfolgen. Auch bei sehr erfolgreichen kurzfristigen Anstrengungen zur Effizienzsteigerung kann dieses Ziel bis 2020 nicht mehr erreicht werden **(Tabelle 2).** Dazu ist bereits zu viel Zeit verstrichen. Im Szenario SZEN-16 „TREND“ wird bis 2020 nur eine weitere Minderung von 53 Mio. t $CO_{2äquiv}$./a erzielt, was zu einer Reduktion gegenüber 1990 von -32% führt. Das Reduktionsziel von -40% wird um rund 100 Mio. t $CO_{2äquiv}$./a verfehlt. Die Szenarien „KLIMA 2050 und „KLIMA 2040“ kommen bis 2020 mit – 38% bzw. -39% nahe an das angestrebte Minderungsziel heran. Das deutlich dynamischere Wachstum der EE im Vergleich zum Szenario „TREND“ kann das Defizit bei der angestrebten Minderung des Primärenergieverbrauchs weitgehend kompensieren. In 2030 übertreffen die Klimaschutzszenarien die Zwischenziele zur THG-Minderung bereits deutlich **(Abbildung 2**). Dies ist auch erforderlich, um bis 2050 (2040) die Zielmarke von -95% THG-Minderung zu erreichen.

Bei Beibehaltung der im SZEN-16 „TREND“ modellierten Entwicklung wird das langfristige Klimaschutzziel 2050 mit einer Minderung von nur 58% erheblich verfehlt (Abbildung 2). Sowohl die Minderung des Primärenergieverbrauchs mit -30%, als auch der EE-Anteil von 30% bleiben deutlich hinter den Zielsetzungen des Energiekonzepts zurück. In den Klimaschutzszenarien zeigt sich, dass ein „Aufholen“ des Effizienzbeitrags zur Treibhausgasminderung eintreten muss, damit die Klimaschutzziele erreicht werden können. Er muss bereits innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine ähnliche Wirkung erreichen, wie die CO_2-Minderung durch den Ausbau der EE. Damit ist das Verbrauchsminderungsziel von rund -50% in 2050 erreichbar. Gleichzeitig haben in diesen Szenarien die EE mit Anteilen von gut 90% am (Brutto) Endenergieverbrauch die fossilen Energien weitgehend aus der Energieversorgung verdrängt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Die wichtigsten Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung und ihre Erreichung in den Szenarien (Prozent)

	Verbrauchsminderung (Bezugsbasis 2008)			Anteil Erneuerbare		THG-Emissionen
2020	Primär-energie	Gebäude-wärme[1)]	Endenergie Verkehr	an Brutto-endenergie	an Brutto-strom	
Energiekonzept	**-20**	**-20**	**-10**	**18**	**min. 35**	**min -40**
"TREND"	-11,3	-15,2	+3,2	17,6	39,8	**-31,7**
„KLIMA 2050"	-15,3	-20,5	-3,2	19,8	42,6	**-37,6**
„KLIMA 2040"	-16,2	-21,4	-3,9	20,2	43,2	**-38,6**
2030						
Energiekonzept	**(-30)**	**(-40)**	**(-20)**	**30**	**50**	**min. -55**
"TREND"	-20,3	--30	0	21,7	50,2	**-40,5**
„KLIMA 2050"	-31,1	-56	-19,8	37,3	67,7	**-60,9**
„KLIMA 2040"	-34,7	-60	-29,1	44,9	76,8	**-69,1**
2040						
Energiekonzept	**(-40)**	**(-60)**	**(-30)**	**45**	**65**	**min. -70**
"TREND"	-24,3	-35	-4,3	25,3	59,6	**-49,7**
„KLIMA 2050"	-42,2	-77	-34,9	63,4	87,5	**-81,3**
„KLIMA 2040"	-47,3	-86	-46,8	81,9	97,7	**-91,0**
2050						
Energiekonzept	**-50**	**-80**	**-40**	**60**	**80**	**- (80) bis -95**
"TREND"	-30,4	-39	-11,4	29,8	68,4	**-57,6**
„KLIMA 2050"	-50,1	-88	-50,1	90,5	98,3	**-94,5**
„KLIMA 2040"	-50,8	-90	-50,3	91,5	98,7	**-95,3**

2) In 2020 Minderung des Energieverbrauchs; 2050 Minderung nichterneuerbare Primärenergie
( ) = interpolierte Zielwerte

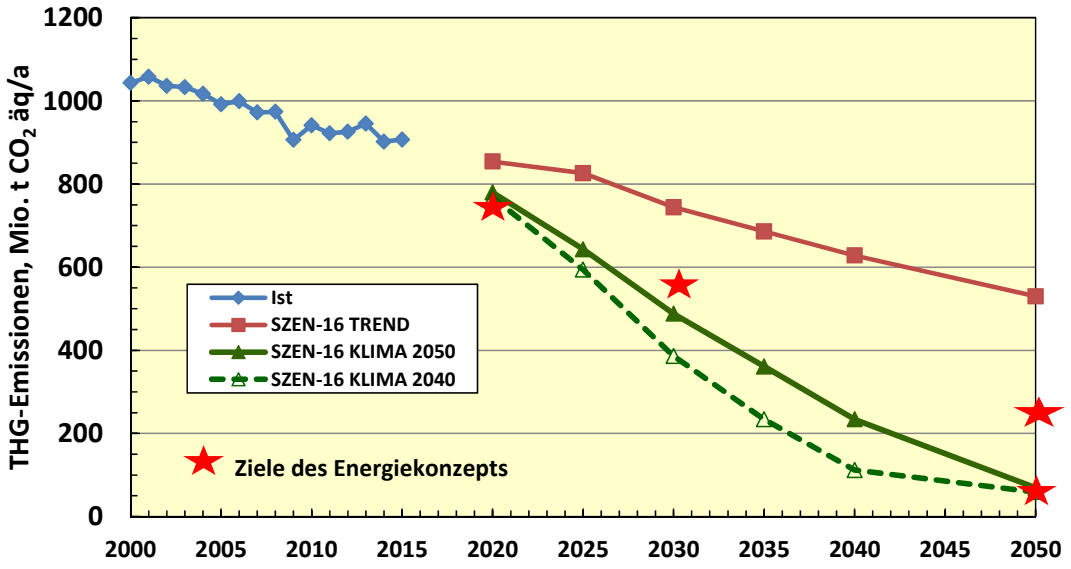


Abbildung 2: Bisheriger Verlauf der gesamten nationalen THG-Emissionen und Entwicklung in den Szenarien SZEN-16 „TREND", SZEN-16 „KLIMA 2050" und SZEN-16 „KLIMA 2040" im Vergleich zu den Zielen des Energiekonzepts. Quelle für Ist: UBA 2016

Im SZEN-16 „KLIMA 2050“ wird im Jahr 2050 eine THG-Minderung von -95% erreicht. Die dazu erforderliche Minderung der CO_2-Emissionen in Höhe von insgesamt 1020 Mio. t CO_2/a bzw. -97,5% (bezogen auf 1990) wird zu 58% durch EE und zu 42% durch EFF erbracht. Der Primärenergieeinsatz (einschl. nichtenergetischem Beitrag) halbiert sich gegenüber 2008. Der Endenergieverbrauch beträgt dann noch 54% des 2008er Wertes und wird zu 93% durch EE erbracht **(Tabelle 3; Abbildung 3).** Soll ein ähnlicher Zustand bereits in 2040 erreicht werden, müssen sowohl EE-Zubau als auch EFF-Steigerung erheblich rascher verlaufen. SZEN-16 „KLIMA 2040“ nähert diesen Zustand an und erreicht damit bis 2040 eine THG-Minderung von -91% bzw. eine CO_2-Minderung von -94%.

Tabelle 3: Entwicklung des Primär- und Endenergieverbrauchs in den Szenarien und Beitrag der erneuerbaren Energien

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
SZEN-16 „TREND “							
Primärenergieverbrauch, PJ/a	13335	**12762**	**11991**	**11457**	**11028**	**10598**	**9976**
Endenergieverbrauch, PJ/a	8835	**8610**	**8403**	**8212**	**8050**	**7887**	**7568**
EE-Endenergie, PJ/a	1385	**1564**	**1717**	**1834**	**1945**	**2056**	**2323**
EE-Anteil an Endenergie, % [1)]	15,7	**18,2**	**20,4**	**22,3**	**24,2**	**26,1**	**30,7**
SZEN-16 „KLIMA 2050“							
Primärenergieverbrauch, PJ/a	13335	**12175**	**10816**	**9905**	**9120**	**8335**	**7173**
Endenergieverbrauch, PJ/a	8835	**8190**	**7562**	**6954**	**6414**	**5873**	**4957**
EE-Endenergie, PJ/a	1385	**1669**	**2152**	**2675**	**3256**	**3836**	**4621**
EE-Anteil an Endenergie, % [1)]	15,7	**20,4**	**28,5**	**38,5**	**51,9**	**65,3**	**93,2**
SZEN-16 „KLIMA 2040“							
Primärenergieverbrauch, PJ/a	13335	**12046**	**10528**	**9387**	**8230**	**7573**	**7081**
Endenergieverbrauch, PJ/a	8835	**8080**	**7274**	**6513**	**5842**	**5270**	**4873**
EE-Endenergie, PJ/a	1385	**1682**	**2269**	**3010**	**3800**	**4449**	**4591**
EE-Anteil an Endenergie, % [1)]	15,7	**20,8**	**31,2**	**46,2**	**67,8**	**84,4**	**94,2**

1)Anteil am Bruttoendenergieverbrauch ist etwas geringer (2015: 15,2%; Ziel 2020: 18%)

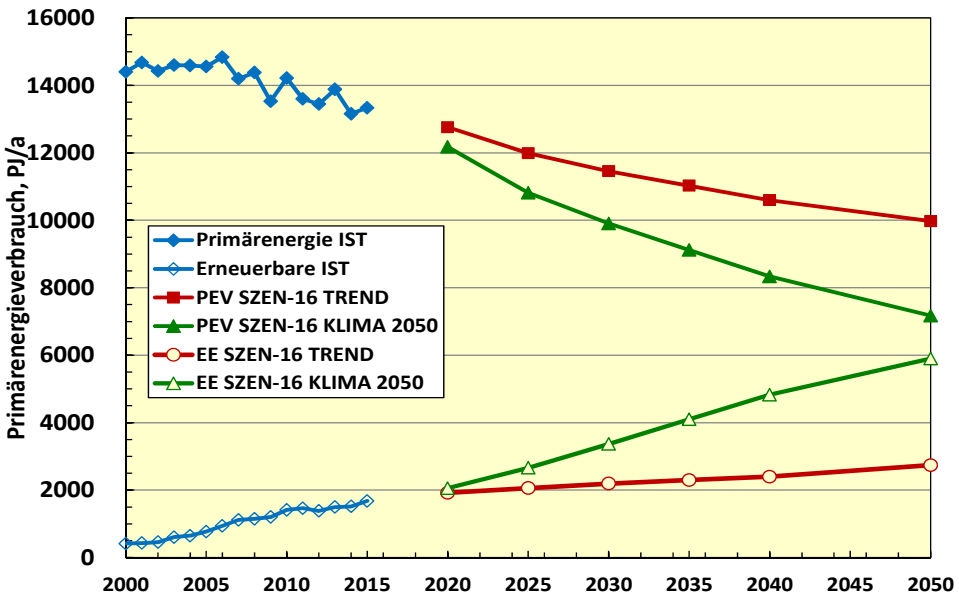


Abbildung 3: Zusammenwirken von Effizienzstrategie und EE-Ausbau zur Erreichung des Klimaschutzziels (Vergleich von SZEN-16 „TREND“ und SZEN-16 „KLIMA-2050“)

Abbildung 3 zeigt, dass die Abweichungen zwischen einer Trendentwicklung und dem anzustreben Klimaschutzpfad rasch erhebliche Ausmaße annehmen. Bereits in 2030 „fehlen“ rund 800 PJ/a zusätzlich EE-Endenergie und es werden rund 1250 PJ/a „zu viel“ Energie verbraucht (Tabelle 3). Ändern sich daher die energiepolitischen Rahmenbedingungen in nächster Zeit nicht erheblich - insbesondere hinsichtlich wesentlich deutlicher Anreize für Effizienzsteigerungen im Wärme- und im Verkehrssektor und hinsichtlich eines erheblich stärkeren Ausbaus von EE-Wärme - so werden im nächsten Jahrzehnt gravierende Kursänderungen erforderlich, wenn dann noch das angestrebte längerfristige Klimaschutzziel rechtzeitig erreicht werden soll.

Die stark unterschiedliche Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und die sich daraus ergebenden strukturellen Unterschiede der beiden Szenarien SZEN-16 „TREND“ und SZEN-16 „KLIMA 2050“ sind in **Abbildung 4** gegenübergestellt. Im Trendszenario dominieren auch in 2050 noch die fossilen Energieträger mit einem Anteil von 73%. In Klimaschutzszenario ist die Braunkohle um 2035 verschwunden, nach 2040 wird auch Steinkohle nicht mehr benötigt. In 2050 werden Mineralöl und Erdgas energetisch nur noch in sehr geringen Mengen im Verkehr eingesetzt, der weitaus überwiegende Teil wird für die nichtenergetische Verwendung benötigt.

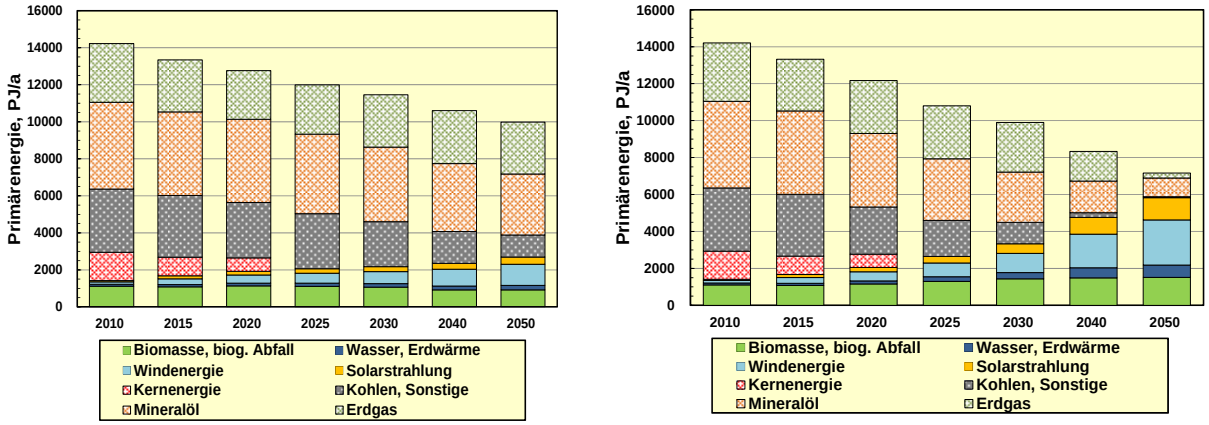


Abbildung 4: Struktur des Primärenergieverbrauchs in SZEN-16 „TREND“ (links) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (rechts).

Für die energiebedingten CO_2-Emissionen (einschließlich Industrieprozesse) sind die Entwicklung und die Beiträge der Strategieelemente EE und EFF im Vergleich der Szenarien in **Tabelle 4** zusammengestellt. An den Werten des Jahres 2015 erkennt man die bisherigen Defizite der Effizienzstrategie. Gut zwei Drittel der bisherigen Minderung von 252 Mio. t CO_2/a wurden durch den Ausbau der EE bewirkt und dort zu knapp 70% durch den Ausbau der EE-Stromerzeugung. Der EFF-Beitrag muss innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine ähnliche Wirkung erreichen, wie die CO_2-Minderung durch den Ausbau der EE. Ohne diesen wesentlichen Beitrag der Effizienzsteigerung sind die Klimaschutzziele kaum erreichbar. Da zudem die umfassende Mobilisierung der vielfach sehr kostengünstigen Effizienzpotentiale von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung ist, besteht ein beträchtlicher und nicht aufschiebbarer energiepolitischer Handlungsbedarf zu ihrer raschen und wirksamen Erschließung. Ab 2030 sind die Beiträge von EFF und EE nahezu gleichwertig. Ohne eine wesentlich aktivere Mobilisierung des Effizienzbereichs wird sich also die Klimaschutzstrategie nicht umsetzen lassen. Der erforderliche hohe Minderungsbeitrag von 1022 Mio. t CO_2/a für 2050 im Szen-16 „KLIMA 2050“ kann nur erreicht werden, wenn neben dem EE-Minderungs-

Tabelle 4: Verminderung der CO_2-Emissionen seit 1990, aufgeteilt auf den Beitrag der EE und den Beitrag der Effizienzsteigerung (EFF); sowie verbleibende CO_2-Emissionen

Mio. t CO_2/a	2015	2020		2030		2050	
		TREND	KLIMA2050	TREND	KLIMA2050	TREND	KLIMA2050
Minderung durch EE	173	197	213	221	348	312	546
Minderung durch EFF	79	106	160	180	295	284	476
Gesamtminderung	**252**	**303**	**373**	**401**	**643**	**596**	**1022**
Verbleib. Emissionen	798	747	677	649	407	454	28
Verring. seit 1990 (%)	- 24,0	-28,9	- 35,5	-38,2	-61,2	-56,8	-97,3

beitrag der EE von 546 Mio. t CO_2/a (53%) ein ähnlich hoher Minderungsbeitrag von 476 Mio. t CO_2/a (47%) von einer wirksamen, alle Sektoren umfassenden Effizienzstrategie erbracht wird.

4. Wesentliche Einzelergebnisse der Szenarien

Die wesentlichen Ergebnisse zur Entwicklung des Energiebedarfs, seiner Deckung und zur Struktur der Nutzungsbereiche Strom, Wärme und Kraftstoffe zeigen für das Szenario SZEN-16 „TREND“ und das Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ die folgenden Tabellen 5 und 6**.** Im Szenario **SZEN-16 „TREND“ (Tabelle 5)** sinkt der Primärenergieverbrauch bis 2020 um -11% (2015: -7,3%; Bezugswert ist jeweils der Verbrauch 2008 entsprechend Energiekonzept 2011), also merklich geringer als in der Zielsetzung des Energiekonzepts. Wegen der mäßigen Transformationsdynamik dieses Szenarios sinkt der fossile Primärenergieeinsatz auch in den nächsten Jahrzehnten nur langsam. Im Jahr 2030 werden noch 80% des Primärenergiebedarfs fossil gedeckt selbst zur Jahrhundertmitte würden sie mit 70% immer noch den dominierenden Anteil stellen.

Der Endenergieverbrauch des Szenarios „TREND“ sinkt bis 2020 gegenüber 2015 um 2,5% mit deutlich unterschiedlichen Gradienten in den Verbrauchssektoren. Der Wärmeverbrauch sinkt um 5%, der Kraftstoffverbrauch nur geringfügig. Der Stromverbrauch steigt leicht wegen neuer Anwendungen. Der EE-Anteil am (Brutto-) Endenergieverbrauch erreicht 17,6 % (Tabelle 5), verfehlt also nur knapp die Verpflichtung von 18%, die die Bundesregierung gemäß EU-Richtlinie 2009/28/EG für das Jahr 2020 eingegangen ist **(Abbildung 5).** Die EE-Anteile an den einzelnen Nutzungsbereichen erreichen Werte von 45,1% bezogen auf die Strom-Endenergie (bzw. 39,8% bez. auf den Bruttostromverbrauch), von 14,6% beim Wärmeverbrauch (bezogen auf Brennstoffe, d.h. ohne Strom für Wärmezwecke) und von 4,6% beim Kraftstoffverbrauch (ebenfalls ohne Stromeinsatz im Verkehr). Bei Fortschreibung dieser insgesamt gebremsten – und hinsichtlich der einzelnen Nutzungsbereiche sehr unausgewogenen - Wachstumstendenzen decken die EE im Trendszenario in 2050 erst 31% des Endenergieverbrauchs, der dann auch nur um 17 % geringer ist als im Jahr 2008.

Mit den Angaben in **Tabelle 6 (Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“)** wird der Entwicklung im Szenario SZEN-16 „TREND“ ein Szenario gegenübergestellt, welches darlegt auf welche Weise der Transformationsprozess des Energiesystems in den nächsten 15 -20 Jahren mindestens verlaufen muss, wenn der Energiepolitik daran gelegen ist, ihre gesetzten Ziele,

Tabelle 5[1]: Eckdaten des Szenario SZEN-16 „TREND"; insbesondere EE-Anteile an den Verbrauchssektoren Strom, Wärme und Kraftstoffe

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Primärenergie, PJ/a	14217	13446	13159	13335	12762	11991	11457	10598	9976
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1413	1385	1519	1679	1920	2053	2170	2351	2687
Anteil EE an PEV, %	**9,9**	**10,3**	**11,5**	**12,6**	**15,0**	**17,1**	**18,9**	**22,2**	**26,9**
Anteil EE an PEV ohne nicht-	10,7	11,2	12,5	13,6	16,3	18,7	20,7	24,4	29,8
energetischen Verbrauch, %									
Endenergie, PJ/a	9310	8919	8648	8835	8610	8403	8212	7887	7568
Endenergie EE, PJ/a	969	1165	1245	1385	1564	1717	1834	2056	2323
Anteil EE an EEV, %	**10,4**	**13,1**	**14,4**	**15,7**	**18,2**	**20,4**	**22,3**	**26,1**	**30,7**
Anteil EE an BEEV, %; 2)	**10,2**	**12,7**	**14,0**	**15,2**	**17,6**	**19,8**	**21,7**	**25,3**	**29,8**
Strom Endenergie, PJ/a	1899	1884	1832	1854	1856	1863	1885	1942	2018
Strom Endenergie EE, PJ/a	377	517	586	699	838	951	1052	1249	1426
Anteil EE, %	**19,9**	**27,5**	**32,0**	**37,7**	**45,1**	**51,1**	**55,8**	**64,3**	**70,7**
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4896	4519	4228	4369	4148	3964	3821	3573	3380
Wärme Endenergie EE, PJ/a	469	524	542	574	606	616	602	585	600
Anteil EE, %	**9,6**	**11,6**	**12,8**	**13,1**	**14,6**	**15,5**	**15,8**	**16,4**	**17,8**
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2515	2516	2587	2612	2606	2575	2506	2372	2170
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	112	120	150	180	223	297
Anteil EE, %	**4,9**	**4,9**	**4,5**	**4,3**	**4,6**	**5,8**	**7,2**	**9,4**	**13,7**
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	597	599	599	603	627	672
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	105	144	163	194	238	272	303	374	460
Anteil EE, %	**17,0**	**23,7**	**27,5**	**32,5**	**39,8**	**45,5**	**50,2**	**59,6**	**68,4**
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,7	27,5	32,5	39,8	45,5	49,9	57,5	62,9
Primärenergie, PJ/a	14217	13446	13159	13335	12762	11991	11457	10598	9976
Erneuerbare Energien	**1413**	**1385**	**1519**	**1679**	**1920**	**2053**	**2170**	**2351**	**2687**
Mineralöl	4684	4527	4517	4511	4501	4288	4031	3663	3296
Kohlen; 7)	3416	3529	3390	3343	2993	2981	2427	1720	1191
Erdgas	3171	2920	2674	2804	2628	2668	2829	2864	2802
Fossile Energien gesamt	**11271**	**10976**	**10581**	**10657**	**10122**	**9938**	**9287**	**8247**	**7289**
- davon für energetische Zwecke	10237	10000	9600	9667	9132	8958	8317	7297	6359
Kernenergie	1533	1085	1059	998	720	0	0	0	0
CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a	**832**	**817**	**793**	**798**	**747**	**723**	**649**	**543**	**454**
Verringerung seit 1990, %; 8)	**20,8**	**22,2**	**24,5**	**24,0**	**28,8**	**31,2**	**38,2**	**48,3**	**56,8**
durch EE vermiedene CO2-	119	137	158	173	197	206	221	261	312
Emissionen, Mio. t CO2/a									
THG-Emissionen, Mio. t CO2äq/a; 9	**941**	**926**	**902**	**907**	**854**	**826**	**744**	**628**	**530**
Verringerung seit 1990, %	24,7	25,9	27,8	27,4	31,7	33,9	40,5	49,7	57,6

1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch SZEN16-TREND ; 4.2.16

2) Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) = Endenergie zuzügl. Netzverluste und Eigenverbrauch von Wärme und Strom in Kraftwerken

3) nur Brennstoffe, d.h. ohne Stromeinsatz für Wärmebereitstellung

4) Kraftstoffe für gesamten Verkehr, ohne Stromeinsatz

5) einschließlich Strom aus Pumpspeichern; einschl. Strom für EE-Wasserstoff

6) einschl. EE-Strom aus EE-Wasserstoff (ab ca. 2040)

7) einschl. sonstige fossile Brennstoffe (u.a. Kohlegase), fossil/nuklearem Stromimportsaldo und anorganische Abfälle

8) 1990 = 1050 Mio. t CO2/a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse) 9) 1990 = 1250 Mio. t CO_2eq/a

[1] Weitere Einzelheiten zu den Szenarien findet man im Tabellenanhang

Tabelle 6: Eckdaten des Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“; insbesondere EE-Anteile an den Verbrauchssektoren Strom, Wärme und Kraftstoffe

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Primärenergie, PJ/a	14217	13447	13159	13336	12175	10816	9905	8335	7173
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1413	1385	1519	1679	2056	2651	3337	4769	5838
Anteil EE an PEV, %	**9,9**	**10,3**	**11,5**	**12,6**	**16,9**	**24,5**	**33,7**	**57,2**	**81,4**
Anteil EE an PEV ohne nicht-	10,7	11,2	12,5	13,6	18,4	27,0	37,4	64,8	93,8
energetischen Verbrauch, %									
Endenergie, PJ/a	9310	8920	8648	8835	8190	7562	6954	5873	4957
Endenergie EE, PJ/a	969	1165	1245	1385	1669	2152	2675	3836	4621
Anteil EE an EEV, %	**10,4**	**13,1**	**14,4**	**15,7**	**20,4**	**28,5**	**38,5**	**65,3**	**93,2**
Anteil EE an BEEV, %; 2)	**10,2**	**12,7**	**14,0**	**15,2**	**19,8**	**27,6**	**37,3**	**63,4**	**90,5**
Strom Endenergie, PJ/a	1899	1884	1832	1854	1870	1910	1964	2036	2134
Strom Endenergie EE, PJ/a	377	517	586	699	896	1134	1329	1781	2125
Anteil EE, %	**19,9**	**27,5**	**32,0**	**37,7**	**47,9**	**59,4**	**67,7**	**87,5**	**99,6**
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4896	4519	4228	4369	3878	3406	3037	2325	1775
Wärme Endenergie EE, PJ/a	469	524	542	574	640	769	925	1346	1656
Anteil EE, %	**9,6**	**11,6**	**12,8**	**13,1**	**16,5**	**22,6**	**30,5**	**57,9**	**93,3**
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2515	2518	2587	2612	2441	2246	1953	1512	1047
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	112	134	249	421	709	839
Anteil EE, %	**4,9**	**4,9**	**4,5**	**4,3**	**5,5**	**11,1**	**21,5**	**46,9**	**80,1**
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	597	606	649	733	942	1119
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	105	144	163	194	258	365	496	824	1100
Anteil EE, %	**17,0**	**23,7**	**27,5**	**32,5**	**42,6**	**56,2**	**67,7**	**87,5**	**98,3**
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,7	27,5	32,5	42,6	55,7	65,3	77,8	83,5
Primärenergie, PJ/a	14217	13447	13159	13336	12175	10816	9905	8335	7173
Erneuerbare Energien	**1413**	**1385**	**1519**	**1679**	**2056**	**2651**	**3337**	**4769**	**5838**
Mineralöl	4684	4528	4517	4512	3981	3337	2716	1711	1018
Kohlen; 7)	3416	3529	3390	3343	2556	1955	1169	256	48
Erdgas	3171	2920	2674	2804	2863	2872	2683	1599	269
Fossile Energien gesamt	**11271**	**10977**	**10581**	**10658**	**9399**	**8165**	**6568**	**3566**	**1335**
- davon für energetische Zwecke	10237	10001	9600	9668	8409	7185	5598	2616	405
Kernenergie	1533	1085	1059	998	720	0	0	0	0
CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a	**832**	**817**	**793**	**798**	**677**	**551**	**407**	**174**	**28**
Verringerung seit 1990, %; 8)	**20,8**	**22,2**	**24,5**	**24,0**	**35,5**	**47,5**	**61,3**	**83,4**	**97,4**
durch EE vermiedene CO2-	119	137	158	173	213	276	348	488	546
Emissionen, Mio. t CO2/a									
THG-Emissionen, Mio. t CO2äq/a; 9	**941**	**926**	**902**	**907**	**780**	**643**	**488**	**234**	**69**
Verringerung seit 1990, %	24,7	25,9	27,8	27,4	37,6	48,5	61,0	81,3	94,5

1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

2) Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) = Endenergie zuzügl. Netzverluste und Eigenverbrauch von Wärme und Strom in Kraftwerken

3) nur Brennstoffe, d.h. ohne Stromeinsatz für Wärmebereitstellung

4) Kraftstoffe für gesamten Verkehr, ohne Stromeinsatz

5) einschließlich Strom aus Pumpspeichern; einschl. Strom für EE-Wasserstoff

6) einschl. EE-Strom aus EE-Wasserstoff (ab ca. 2025)

7) einschl. sonstige fossile Brennstoffe (u.a. Kohlegase), fossil/nuklearem Stromimportsaldo und anorganische Abfälle

8) 1990 = 1050 Mio. t CO2/a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse) 9) 1990 = 1250 Mio. t CO_2eq/a

insbesondere das Hauptziel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, tatsächlich zu erreichen. Aus heutiger Sicht kann das Oberziel der Effizienzsteigerung einer 20%igen Reduktion des Primärenergieverbrauchs bis 2020 (gegenüber 2008) nicht mehr zeitgerecht erreicht werden. Im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ sinkt er um 15%**,** was bereits eine relativ optimistische Annahme ist. Ein weiterhin dynamisches Wachstum des EE-Beitrags 2020 zur Primärenergie auf 2056 PJ/a (Anteil =16,9%) lassen den Beitrag fossiler Primärenergie dennoch so weit sinken, dass das THG-Minderungsziel 2020 von -40% mit -37,6% nahezu erreicht wird. Im Jahr 2030 werden mit 6568 PJ/a bereits 44% weniger fossile Energieträger benötigt als 2008. Dies macht deutlich, dass die ursprüngliche Energiewende-Strategie ein wirksamer Weg ist, die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen bereits kurzfristig deutlich zu verringern.

Wird die Dynamik des Szenarios SZEN-16 „KLIMA 2050“ über mehrere Jahrzehnte aufrechterhalten, was bei einer weitsichtigen Energiepolitik möglich ist, kann eine nachhaltige Energieversorgung mit einer THG-Reduktion von -95% bis zur Jahrhundertmitte erreicht werden. Zu diesem Zeitpunkt werden in diesem Szenario noch 1335 PJ/a fossile Energieträger eingesetzt (13% der heutigen Menge), wovon 70% nichtenergetisch verwendet werden. Der verbleibende energetische Einsatz von 405 PJ/a wird zu je 45% von Mineralöl und Erdgas und zu 10% durch nichtorganische Abfälle gedeckt. Das Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ erreicht daher bis 2050 mit einer CO_2-Emission in Höhe von 28 Mio. t CO_2/a eine praktisch emissionsfreie Energieversorgung.

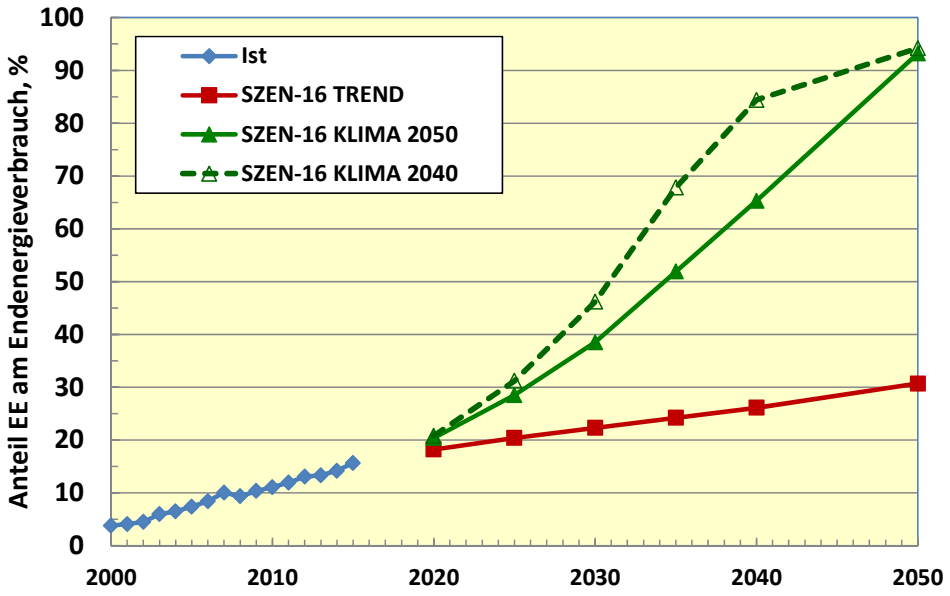


Abbildung 5: EE-Anteil am Endenergieverbrauch in den Szenarien SZEN-16 „TREND“, SZEN-16 „KLIMA 2050 und SZEN-16 „KLIMA 2040“; der EU-Pflichtanteil von 18% im Jahr 2020 (bezogen auf BEV) beträgt, bezogen auf die Endenergie, 18,7%.

Der Endenergieverbrauch kann sich bei dem im Szenario unterstellten wirksamen Effizienzanreizen bis 2020 (gegenüber 2015) um 8% reduzieren, davon für Wärme um 11%, bei Kraftstoffen lediglich um 7%; der Stromverbrauch steigt um 1% leicht an. Der Brutto-Endenergieanteil der EE beträgt 19,8%, liegt also deutlich über dem Pflichtanteil von 18% (Tabelle 6; Abbildung 5). Damit könnte Deutschland wieder eine glaubwürdige Vorbildfunktion für einen wirksamen Umbau der Energieversorgung in der EU einnehmen. Die EE-Anteile

am Stromendverbrauch erreichen 47,9% (am Bruttostromverbrauch 42,6%), am Wärmeverbrauch von 16,5% (also über dem 14% -Ziel des EWärme-G) und am Kraftstoffverbrauch von 5,5 %. Danach holen die Nutzungsbereiche Wärme und Verkehr auf. In 2025 lauten die entsprechenden Daten für die EE-Anteile bereits 56,2% am Bruttostromverbrauch, 22,6% am Wärmeverbrauch und 11,1% am Kraftstoffverbrauch. Damit wird ein EE-Anteil am Endenergieverbrauch von 28,5% erreicht. Abbildung 5 zeigt, dass im Vergleich zur Vergangenheit die Gesamtentwicklung beim EE-Ausbau insgesamt noch deutlich beschleunigt werden muss, wenn die Energieversorgung bis 2050 dekarbonisiert werden soll. Im Wärme- und Verkehrsbereich muss sich eine ähnliche Wachstumsdynamik einstellen, wie sie mit dem EEG im letzten Jahrzehnt im Stromsektor erreicht wurde.

Je stabiler diese bis 2025 zu schaffende Dynamik ist, desto sicherer und glaubwürdiger kann diese auch über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden. Im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ gelingt damit eine Steigerung des EE-Anteils bis 2050 auf 93% des Bruttoendenergieverbrauchs. Damit sind fossile Energieträger praktisch aus der Energieversorgung verschwunden. Gleichzeitig ist der Endenergieverbrauch um 46% gegenüber 2008 gesunken, seine Zusammensetzung hat sich erheblich mit einem Anteil von 43% zu Strom verschoben (2015 = 21%); „Brennstoffe“ bzw. EE-Wärme stellen noch 36% (2015 = 49%) und Kraftstoffe 21% (2015 = 30%).

Noch rascher muss die Entwicklung gehen, wenn sich der Beitrag Deutschlands zum Klimaschutz am 1,5°C Ziel orientiert. Dies wird in Abbildung 5 mit der gestrichelten Linie für SZEN-16 „KLIMA 2040“ verdeutlicht. Dafür sollte sich die Energieversorgung schon im Jahr 2040 weitgehend auf EE abstützen[2]

5. Zukünftiger Strombedarf und resultierende Erzeugungsstruktur

Elektrizität wird in einem auf EE basierenden Energiesystem zur wichtigsten Energieform, da die für eine vollständige Transformation der Energieversorgung erforderlichen großen (Primär-)Energiemengen auf EE-Basis im Wesentlichen nur als Strom aus Solarstrahlung und Windenergie zur Verfügung stehen. Daraus resultieren zwei wesentliche Veränderungen in der Rolle von Elektrizität im zukünftigen Energiesystem. Zum einen gewinnen die Einsatzmöglichen von Strom als Endenergieträger an Bedeutung. Zu den heutigen „konventionellen“ Endverbrauchern treten neue hinzu, die EE-Strom (im Gegensatz zu Strom aus thermischen Kraftwerken mit hohen Umwandlungsverlusten und entsprechenden CO_2-Emissionen) sinnvoll und sparsam nutzen können. Neben der Elektromobilität ist dies die direkte Nutzung von Strom zur Wärmebereitstellung in weitaus größerem Umfang als bisher. Zum zweiten steht EE-Strom als „Primärenergie“ zur Verfügung, um andere (chemische) Energieträger herzustellen, die im Gegensatz zu Strom in großem Umfang und für längere Zeiten speicherbar sind. Dies führt längerfristig zu einer wesentlich engeren Kopplung der einzelnen Nutzungsbereich „Strom“, „Wärme“ und „Kraftstoffe“ als dies heute der Fall ist.

Damit muss auch der zukünftige „Stromverbrauch“ differenziert betrachtet werden. Das im Energiekonzept der Bundesregierung angestrebte Einsparziel für Strom (-10% Reduktion des Bruttostromverbrauchs bis 2020 bzw. -25% bis 2050) kann nur auf die bisherigen „konventionellen“ Verbraucher bezogen werden. Sowohl der Stromendenergieverbrauch insgesamt als erst recht der Bruttostromverbrauch müssen zunehmen, damit fossile Endenergieträger in allen Sektoren in ausreichendem Maße verdrängt werden können. Trotzdem muss

[2] Die Tabelle für SZEN-16 „KLIMA 2040“ entsprechend Tabelle 6 sowie weitere findet man im Anhang.

selbstverständlich angestrebt werden, den eingesetzten Strom so effizient wie möglich zu nutzen.

Die Entwicklung dieses steigenden Stromverbrauchs zeigt **Abbildung 6** am Beispiel des Szenarios SZEN-16 „KLIMA2050“. Durch Effizienzmaßnahmen sinkt der Stromverbrauch bei der „konventionellen“ Nutzung bis 2050 um 12%, wobei zu berücksichtigen ist, dass auch hier eine ausgeweitete Nutzung von Strom für Kraft/Licht/Information stattfinden wird. EE-Strom erschließt zusätzlich weitere Nutzungsbereiche. Diese sind bereits kurz- bis mittelfristig neben Wärmepumpen für Heizzwecke und Elektromobilität auch ein verstärkter Einsatz von EE-Strom für industrielle Prozesswärme und in Wärmenetze eingespeister EE-Überschussstrom („Power to Heat“). Damit steigt der gesamte Endenergieverbrauch an Strom von derzeit 515 TWh/a auf 546 TWh/a im Jahr 2030 (EE-Anteil am Bruttostromverbrauch = 68%) und auf 593 TWh/a im Jahr 2050 (EE-Anteil = 98%; **Tabelle 7** „mittleres“ Segment), davon sind rund 25% nach obiger Definition für „neue“ Endverbraucher bestimmt.

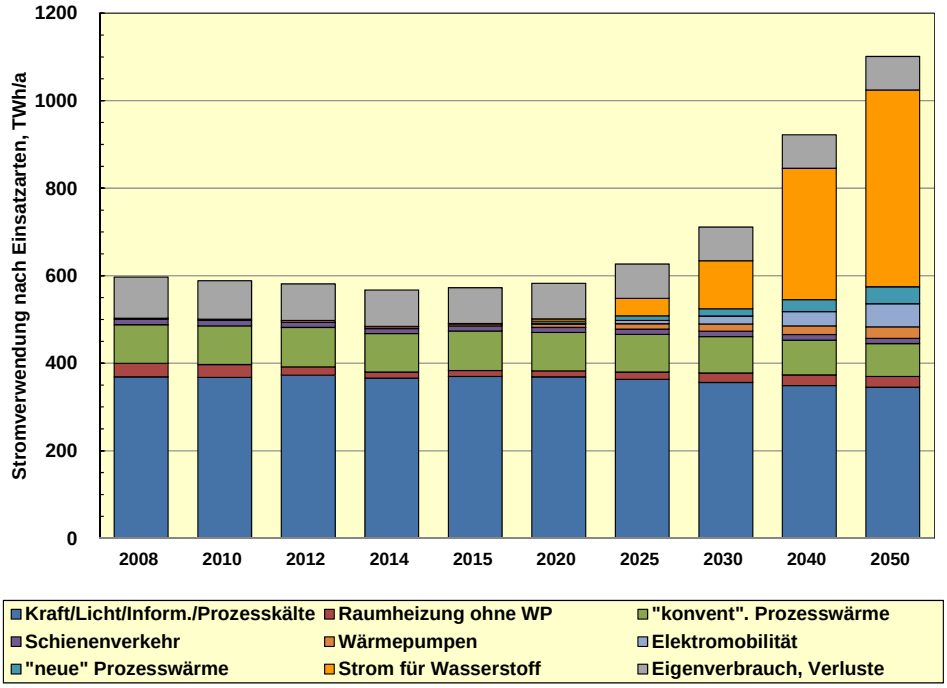


Abbildung 6: Bruttostromerzeugung für „konventionelle“ und „neue“ Stromverwendungen in SZEN-16 „KLIMA 2050“. „Neue“ Stromverwendungen sind: Wärmepumpen, Elektromobilität, „Power to Heat“ für Prozesswärme und Wärmenetze; „Power to Gas“ (Wasserstoff) für KWK, Prozesswärme und chemische Industrie sowie Kraftstoffe.

Längerfristig ist die Überführung eines Teils des (fluktuierenden) EE-Stroms in eine chemisch speicherbare Form (Power to Gas) unerlässlich. In den Szenarien ist dies EE-Wasserstoff, es kommen aber ggf. auch EE-Methan oder synthetische flüssige Energieträger für den Verkehrssektor (z.B. Flugverkehr) infrage. Diese auf EE-Strom basierenden Energieträger können in einer 100% EE-Versorgung in allen Nutzungsbereichen (Stromerzeugung mittels KWK, HT-Wärme, Verkehr, Chemie) die heutigen fossilen Energieträger ersetzen. Im Szenario „KLIMA 2050“ beginnt diese Nutzung bereits im Jahr 2025 und steigt danach erheblich. In 2050 werden rund 40% der Bruttostromerzeugung zur Bereitstellung von Wasserstoff verwendet.

Wegen des geringen Anteils von EE-Strom im SZEN-16 „TREND“ steigen der Bruttostromverbrauch und die Stromendenergie dort deutlich geringer **(Tabelle 7; oben).** Dafür werden natürlich die fossilen Endenergieträger Mineralöl und Erdgas in wesentlich größerem Ausmaß eingesetzt. Im SZEN-16 „KLIMA 2040**“ (Tabelle 7; unten)** wird ergänzend zu der oben bereits erläuterten Entwicklung in „KLIMA 2050“ in noch stärkerem Ausmaß auf erfolgreiche Effizienzsteigerung in der Stromanwendung gesetzt. Damit steigt der Endenergieverbrauch von Strom dort geringer an. Dort beginnt die Nutzung von Wasserstoff bereits im Jahr 2020 (Industrie; Verkehr) und ist in 2050 mit einem Anteil von 42% am Bruttostromverbrauch noch etwas höher.

Tabelle 7: Bruttostromverbrauch, Stromendenergie und EE-Stromerzeugung in den Szenarien sowie EE-Anteil am Bruttostromverbrauch

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
SZEN-16 „TREND “							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	597[1)]	**599**	**599**	**603**	**615**	**627**	**672**
Strom-Endenergie, TWh/a	515	**516**	**518**	**524**	**532**	**540**	**561**
EE-Stromerzeugung, TWh/a	194	**238**	**272**	**303**	**339**	**374**	**460**
Anteil an Bruttoverbrauch, %	32,5	**39,8**	**45,5**	**50,2**	**55,0**	**59,6**	**68,4**
SZEN-16 „KLIMA 2050“							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	597	**606**	**649**	**733**	**838**	**942**	**1119**
Strom-Endenergie, TWh/a	515	**520**	**531**	**546**	**556**	**566**	**593**
EE-Stromerzeugung, TWh/a	194	**258**	**365**	**496**	**660**	**824**	**1100**
Anteil an Bruttoverbrauch, %	32,5	**42,6**	**56,2**	**67,7**	**77,6**	**87,5**	**98,3**
SZEN-16 „KLIMA 2040“							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	597	**607**	**669**	**808**	**980**	**1091**	**1107**
Strom-Endenergie, TWh/a	515	**516**	**521**	**531**	**544**	**556**	**573**
EE-Stromerzeugung, TWh/a	194	**262**	**402**	**620**	**873**	**1066**	**1093**
Anteil an Bruttoverbrauch, %	32,5	**43,2**	**60,1**	**76,8**	**88,8**	**97,7**	**98,7**

1) Nach neuesten Schätzungen der AG-Energiebilanzen (28.1.2016) lag der Bruttostromverbrauch im Jahr 2015 bei 600 TWh/a.

Die Verwendung des „gespeicherten EE-Stroms“ in Form von Wasserstoff ist beispielhaft in **Abbildung 7** für das Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ dargestellt. Frühe Einsatzgebiete können die Industrie und der Verkehrssektor sein, längerfristig ist auch eine effiziente „Rückverstromung“ des Wasserstoffs in Kraft-Wärme-Kopplung (Gesamtnutzungsgrad = 92%) von Bedeutung. Nur geringe Mengen werden längerfristig als reiner Spitzenstrom zur Unterstützung von Pumpspeichern und Batteriespeichern eingesetzt. In 2050 wird mittels Wasserstoff eine Leistung von 6,5 GW in Form von Spitzenstrom und von 20 GW in Form von Kraft-Wärme-Kopplung als Beitrag zu einer sicheren Stromversorgung bereitgestellt. Die verfügbare Wassersstoffmenge beträgt insgesamt 1250 PJ/a, zu seiner Bereitstellung sind in fortschrittlichen Elektrolyseuren rund 450 TWh/a (1620 PJ/a) Strom erforderlich. Zu betonen ist, dass Wasserstoff in den Szenarien „nur“ von Großverbrauchen genutzt wird (Industrie, Tankstellen, HKW, größere BHKW), die dezentral sowohl Elektrolyseure als auch Wasserstoffspeicher betreiben, und den dazu erforderlichen Strom über das Mittelspannungsnetz beziehen. Eine (Fein-) Verteilung von Wasserstoff im Vergleich zur heutigen Erdgasnutzung erfolgt nicht.

Im Szenario SZEN-16 „TREND“ werden in 2050 nur 35 TWh/a Strom zur Wasserstofferzeugung eingesetzt, da Überschüsse aus EE-Strom erst spät (nach 2040) und nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen. Im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2040“ sind es 460 TWh/a Strom, die aber bereits im Jahr 2040 zur Verfügung stehen sollten.

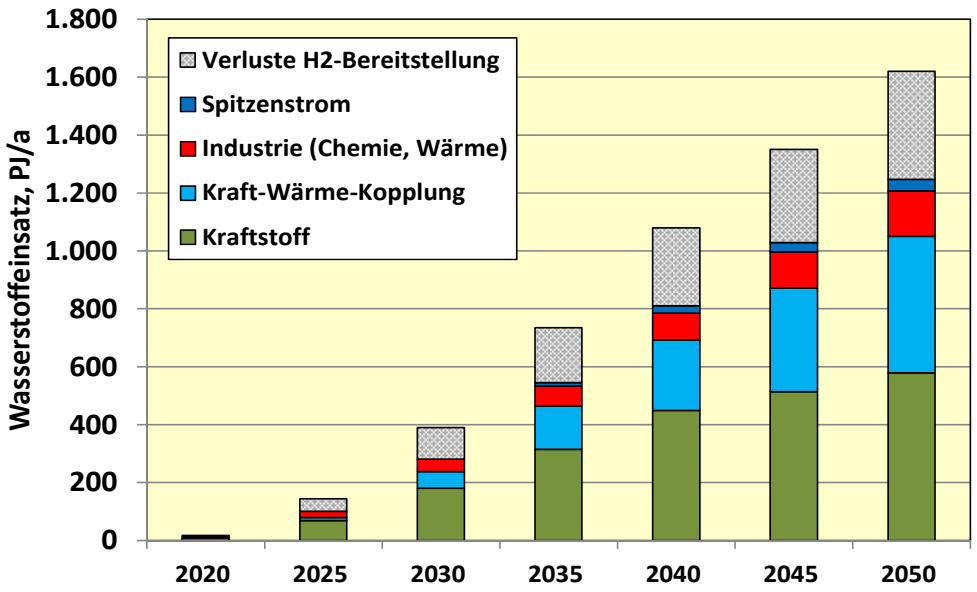


Abbildung 7: Stromeinsatz für Wasserstoff und Verwendung des Wasserstoffs im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“

Aufgrund der unterschiedlichen Bedeutung der Stromversorgung und des Beitrags des EE-Stroms im speziellen unterscheiden sich Höhe und Struktur der zukünftigen Bruttostromerzeugung in den Szenarien beträchtlich. Im Trendszenario **(Abbildung 8, links)** steigt die Bruttostromerzeugung nur geringfügig von 647 TWh/a im Jahr 2015 auf 672 TWh/a im Jahr 2050. EE-Strom stellt dann mit 460 TWh/a zwar den weitaus größten Anteil bereit, aber auch die fossile Stromerzeugung spielt mit 32% immer noch eine erhebliche Rolle. Dementsprechend belaufen sich die CO_2-Emissionen der Stromerzeugung auch im Jahr 2050 noch auf 140 Mio. t CO_2/a (2015 = 313 Mio. t CO_2/a).

Im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ steigt die Bruttostromerzeugung nach 2025 deutlich und erreicht im Jahr 2050 mit 1120 TWh/a, **(Abbildung 8, rechts)** einen um 73% höheren Wert als gegenwärtig. Die Verwendung von Strom als Endenergie steigt dagegen „nur“ um 15%. Die dominante heimische Energiequelle ist die Windenergie. On- und Offshore-Anlagen decken in 2050 mit 594 TWh/a mehr als die Hälfte (53%) der Stromerzeugung, gefolgt von der Fotovoltaik mit 175 TWh/a (16%), Wasserkraft, Biomasse und Geothermie mit zusammen 105 TWh/a (9%) und Strom aus EE-Wasserstoff mit 60 TWh/a (5%). Aus nicht erneuerbaren Energieträgern (Erdgas, anorganischer Müll) werden nur noch rund 20 TWh/a Strom erzeugt.

Als Zwischenfazit kann festgehalten werden: Mit dem derzeit im EEG vorgegebene Ausbaukorridor für EE-Strom (SZEN-16 „TREND“) wird zwar mittelfristig der Stromsektor durch EE dominiert (EE-Anteil in 2040 = 60%, in 2050 = 68%; Tabelle 7), ein nennenswerter Ersatz fossiler Energieträger im Wärme- und Verkehrssektor durch EE-Strom wird aber deutlich verfehlt. Dazu muss, gemäß SZEN-16 „KLIMA 2050“ die EE-Stromerzeugung deutlich und rasch über den jetzigen EEG-Korridor hinaus ausgeweitet werden.

Eine 100%ig dekarbonisierte Stromversorgung wird sich nicht allein auf Deutschland beschränken. Umfassender Klimaschutz macht nur in globalem Ausmaß Sinn. Deshalb wird für die Szenarienmodellierung angenommen, dass auch die anderen europäischen Staaten mittelfristig ihre Stromversorgung weitgehend auf EE umstellen werden. Konsequenterweise wird sich dann, spätestens beginnend in 2030, aus dem jetzigen europäischen Stromaustausch ein europäisches Stromversorgungssystem entwickeln, in welchem auch EE-

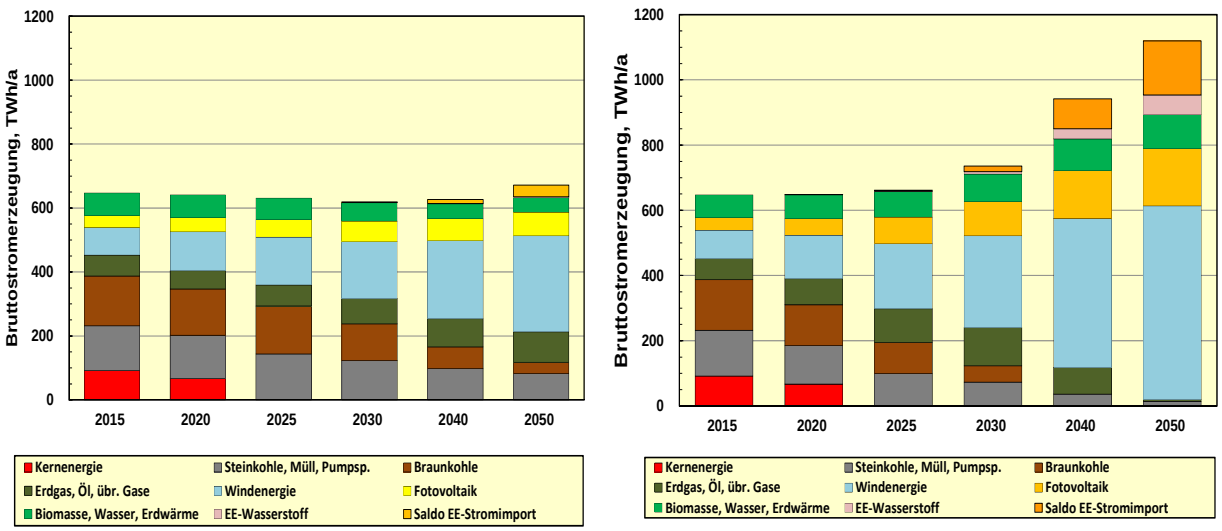


Abbildung 8: Bruttostromerzeugung nach Energiequellen für die Szenarien SZEN-16 „TREND“ (links) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (rechts)

Strommengen in größerem Umfang zwischen den einzelnen Ländern ausgetauscht werden. Für Deutschland dürfte sich aus ökonomischer Sicht insgesamt ein positives EE-Importsaldo empfehlen, weil es sowohl an den europäischen Küsten, wie im Süden Europas prinzipiell große und kostengünstige EE-Potenziale gibt [BMU 2012]. Im SZEN-16 „KLIMA 2050“ beträgt dieses Importsaldo in 2030 rund 2% der gesamten Bruttostromerzeugung, in 2040 rund 10% und in 2050 knapp 15%, (im Trendszenario liegt der Anteil in 2050 bei 5%). Unterstellt wird dabei EE-Strom aus einem Technologiemix von Windenergie, Solarstrahlung (Fotovoltaik und Solarthermische Kraftwerke) und Wasserkraft, dessen Zusammensetzung sich aus den zukünftigen Preisrelationen der einzelnen Energietechnologien ergeben wird. Trotz dieses Importsaldos ist der Importanteil am gesamten Primärenergieverbrauch mit 27% (einschließlich nichtenergetischen Anteil am fossilen Import) wesentlich geringer als gegenwärtig mit rund 70%.

In **Tabelle 8 a, b** sind die zu obiger Bruttostromerzeugung erforderlichen Leistungen aufgeführt. Während im Trendszenario die Leistungen bis 2050 nur mäßig bis auf 283 GW steigen, sind im Klimaschutzszenario in 2050 mit 480 GW installierter Leistung mehr als das Doppelte der heutigen Leistung erforderlich. Die aufsummierte Leistung der fluktuierenden EE Wind und Solarstrahlung (Inland) beläuft sich allein auf 384 GW (gegenwärtig 84 GW). Die zukünftigen Herausforderungen an ein jederzeit stabiles und sicheres Stromversorgungssystem werden daran sichtbar. Im Klimaschutzszenario sorgt ein Mix aus Biomasse, Wasserkraft, Wasserstoff-KWK und -Spitzenlast, Geothermie, Müll-HKW, sowie Pumpspeicher und dezentrale Batteriespeicher (zusammen 9,5 GW) im Inland und zusätzlich Leistung aus dem EE-Importmix (solarthermische Kraftwerke!) für die jederzeitige und ausreichende Bereitstellung gesicherter Leistung. Zur Aufnahme überschüssigen EE-Strom stehen neben „Power to Heat“ und Elektromobilität im Jahr 2050 rund 140 GW Elektrolyseleistung zur Verfügung. Deren mittlere Ausnutzung beträgt dann rund 3200 h/a.

Die in Tabelle 8 a,b ebenfalls aufgeführten CO_2-Emissionen der Stromerzeugung dokumentieren, dass in SZEN-16 „KLIMA 2050“ der Strom im Jahr 2050 praktisch emissionsfrei zur Verfügung gestellt wird, während in SZEN-16 „TREND“ lediglich eine gute Halbierung der gegenwärtigen Emissionen (313 Mio. t CO_2/a) stattfindet.

Tabelle 8 a: Installierte Kraftwerkskapazität und resultierenden Leistungen, sowie die CO_2-Emissionen der Stromerzeugung in SZEN-16 „TREND“.

Installierte Leistung, GW	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Kernenergie	21,5	12,7	12,1	10,8	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, Sonstige Brst.	35,3	36,4	36,0	35,5	34,7	34,5	32,3	28,9	25,5
Braunkohle	22,7	24,2	24,0	23,9	22,8	22,8	19,5	12,4	6,6
Erdgas, Öl,	29,7	30,6	28,0	27,0	22,3	25,8	29,8	35,5	37,3
Windenergie	27,2	31,3	39,2	44,6	60,1	68,5	77,3	96,6	113,1
Fotovoltaik	17,6	32,6	37,9	39,6	48,0	58,6	66,1	71,4	75,4
Biomasse, Wasser, Erdwärme	11,0	12,2	13,3	13,4	12,9	11,8	10,7	9,6	10,3
EE-Wasserstoff						0,0	0,0	0,2	0,8
Pumpspeicher, andere Sp.	6,5	6,5	6,0	6,0	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
EE-Importsaldo**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	2,4	6,3
Gesamte Bruttoleistung	**171**	**187**	**197**	**201**	**217**	**230**	**244**	**264**	**283**
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	69	86	94	100	119	136	152	170	189
Gesicherte Leistung, brutto	103	101	103	101	98	93	92	94	93
Bruttohöchstlast	84	84	82	81	80	76	75	74	76
Als Reserve verbleibend	19	17	21	20	18	17	17	20	17
CO2-Emissionen (Mio. t/a)	**315**	**325**	**317**	**313**	**286**	**297**	**249**	**185**	**140**
A) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,812	0,839	0,860	0,865	0,851	0,826	0,787	0,730	0,657
B) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,497	0,515	0,504	0,483	0,446	0,470	0,403	0,296	0,208

*) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe
**)Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft
***) insbesondere Wind (90-95%), PV(~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung
A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Tabelle 8 b: Installierte Kraftwerkskapazität und resultierenden Leistungen, sowie die CO_2-Emissionen der Stromerzeugung in SZEN-16 „KLIMA 2050“.

Installierte Leistung, GW	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Kernenergie	21,5	12,7	12,1	10,8	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, sonst.	35,3	36,4	36,0	35,5	31,1	26,4	21,2	9,8	2,7
Braunkohle	22,7	24,2	24,0	23,9	19,4	15,5	9,6	0,0	0,0
Erdgas, Öl,	29,7	30,6	28,0	27,0	30,1	36,3	39,2	28,9	2,6
Windenergie	27,1	31,3	39,2	44,6	67,2	92,1	119,0	176,3	206,3
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,2	39,6	55,3	82,9	109,0	151,3	178,0
Biomasse, Wasser, Geoth.	11,0	12,2	13,3	13,4	14,0	15,9	17,9	20,6	23,5
EE-Wasserstoff						0,4	2,5	11,1	29,4
Speicher	6,5	6,5	6,0	6,0	6,5	7,5	8,0	9,5	9,5
EE-Importsaldo**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	16,2	27,9
Gesamte Bruttoleistung	**172**	**187**	**197**	**201**	**232**	**278**	**330**	**424**	**480**
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	69	86	94	100	133	183	235	324	379
Gesicherte Leistung, brutto	103	101	103	101	99	95	95	100	101
Bruttohöchstlast	84	84	82	83	81	78	78	79	80
Als Reserve verbleibend	19	17	21	18	19	17	17	21	21
CO2-Emissionen (Mio. t/a)	**315**	**325**	**317**	**313**	**263**	**224**	**161**	**61**	**6**
A) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,812	0,839	0,860	0,865	0,815	0,752	0,670	0,516	0,293
B) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,497	0,515	0,504	0,483	0,406	0,338	0,219	0,065	0,005

*) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe
**)Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft
***) insbesondere Wind (90-95%), PV(~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung
A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Im Szenario TREND verändert sich die konventionelle Kraftwerksstruktur nur langsam, da hier ein weiterhin sehr niedriger Preis für CO_2-Zertifikate unterstellt wird. Dies führt zu weiter sinkenden Strombörsenpreisen und weiter steigender Export fossilen Stroms (Tabelle 8a). Von derzeit rund 60 GW sinkt die Kohlekraftwerksleistung bis 2025 auf 57 GW, bis 2030 auf 52 GW und beträgt in 2050 immer noch 32 GW. Nach weiterem Absinken der Gaskraftwerksleistung bis 2020 steigt diese im Trendszenario danach wieder auf rund 30 GW in 2030 und 38 GW in 2050.

Im Stromsektor könnte bei angemessen hohen CO_2-Preisen ein erheblich rascherer, weil marktgetriebener Strukturwandel weg von Kohlekraftwerken und hin zu Erdgaskraftwerken und EE-Anlagen erfolgen. Dies wird für die Klimaschutzszenarien angenommen (Tabelle 8b). Diese „Preiskorrektur“, die sich an den bei ungebremstem Klimawandel auftretenden Schadenskosten orientiert, ist eine zentrale Voraussetzung für die Lösung der Herausforderungen, die auf den Stromsektor als Hauptsegment (EE-Strom als „Hauptenergieträger“) einer klimaverträglichen Energieversorgung zukommen. Bis 2030 wird eine Gasleistung von 42 GW benötigt, die Kohleleistung ist entsprechend auf rund 30 GW gesunken (2,7 GW Leistung von Müll-HKW sind in „Kohle“ enthalten). In 2050 werden noch rund 32 GW gasgefeuerte Anlagen betrieben, die nahezu vollständig mit EE-Wasserstoff als KWK-Anlagen betrieben werden. Weitere 32 GW Leistung stehen aus Biomasse-, Wasserkraft-, Geothermie-Anlagen und Speichern zur Verfügung. Die letzten Braunkohlekraftwerke gehen um 2035 vom Netz, die letzten Steinkohlekraftwerke um 2045.

6. Entwicklung der EE-Stromerzeugung

Die Entwicklung der weiteren EE-Stromerzeugung wird gegenwärtig durch die Vorgaben des EEG-Korridors und die derzeit laufende Diskussion zur Novellierung des EEG geprägt. Die genauen Wirkungen dieser Diskussion, insbesondere die Auswirkungen der anstehenden Ausschreibungen, sind noch ungewiss. Auch gibt es Stimmen, die sogar den jetzigen Ausbaukorridor in Frage stellen. Für das Szenario TREND wird davon ausgegangen, dass der derzeitige EEG-Ausbaukorridor bis 2035 (EE-Anteil 55-60%) mit 55% gerade erfüllt wird (Tabelle 7), was unten den derzeitigen Rahmenbedingungen eine eher noch optimistische Annahme darstellt. Die Leistung von Biomasse- und Biogasanlagen (einschl. biogenem Müll) wird unter diesen Bedingungen nach 2020 zurückgehen und sich im Szenario statt 9 GW in 2035 nur noch auf maximal 6 GW belaufen. Angesichts der Notwendigkeit, jederzeit über ausreichend flexible Leistung zu verfügen, ist dies eine ungünstige Entwicklung. In den Klimaschutzszenarien steigen diese Leistungen dagegen, wobei die dortigen Werte (11 GW in 2035) eher eine Untergrenze darstellen.

Mit obigem Bruttostromverbrauch führt der EEG-Korridor (EE-Anteil=55%) zu einer EE-Leistung von knapp 170 GW in 2035, **(Tabelle 9, oben**). Erforderlich im Sinne eines wirksamen Klimaschutzes (SZEN-16 „KLIMA 2050“) sind aber bis dahin mindestens 310 GW EE-Leistung **(Tabelle 9, Mitte).** Das „Defizit“ an EE-Leistung unter dem Gesichtspunkt des notwendigen Klimaschutzes beträgt im Jahr 2020 bereits 15 GW, in 2025 rund 50 GW, wächst bis 2030 auf 90 GW und bis 2035 sogar auf 140 GW.

Noch deutlicher werden die Defizite der gegenwärtigen Energiepolitik, wenn SZEN-16 „KLIMA 2040“ (Klimaschutzziel < 2°C) als Maßstab herangezogen wird **(Tabelle 9, unten**). Dann beträgt die EE-Lücke in 2025 bereits 76 GW, in 2030 rund 140 GW und in 2035 rund 210 GW. Damit EE-Strom in ausreichendem Maße in 2050 zum Klimaschutz beitragen kann, muss Deutschland daher anstreben, zu diesem Zeitpunkt über eine EE-Leistung von 410 bis 450 GW zu verfügen und damit rund 1100 GWh/a EE-Strom bereitzustellen. Das ist das 5,7-

Tabelle 9: Installierte Leistung aller EE-Anlagen in den Szenarien SZEN-16 „TREND“ (oben) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (Mitte) und SZEN-16 „KLIMA 2040“ (unten)

EE-Leistung (GW)	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	4,8	5,4	5,6	5,7	5,7	5,7	5,8	5,8	5,8	5,9
Wind Onshore	6,1	27,0	41,4	53,6	58,0	62,3	68,4	74,8	81,9	87,4
Wind Offshore (am Netz)	0,0	0,1	3,3	6,5	10,5	15,0	19,3	21,7	24,0	25,6
Fotovoltaik	0,1	17,9	39,6	48,0	58,5	66,1	69,2	71,4	74,0	75,4
feste Biomasse, biog. Abfall	0,9	3,4	4,0	4,1	3,9	3,5	3,2	3,0	2,9	2,8
gasförm., flüss. Biomasse	0,4	3,2	5,0	5,1	4,5	3,5	2,7	1,9	1,7	1,7
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
Gesamt in D	**12,3**	**57,1**	**98,9**	**123,0**	**141,3**	**156,3**	**168,8**	**178,9**	**190,6**	**199,3**
Saldo Europ. Verbund*)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	1,1	2,4	4,1	6,3
Gesamt für D	**12,3**	**57,1**	**98,9**	**123,0**	**141,5**	**156,7**	**169,9**	**181,3**	**194,8**	**205,5**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

EE-Leistung (GW)	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	4,8	5,4	5,6	5,8	6,1	6,3	6,4	6,6	6,6	6,7
Wind Onshore	6,1	27,0	41,4	60,2	78,6	96,9	116,5	129,4	134,2	136,2
Wind Offshore (am Netz)	0,0	0,1	3,3	7,0	13,5	22,1	33,7	46,9	59,6	70,1
Fotovoltaik	0,1	17,9	39,6	55,3	82,9	109,0	131,1	151,3	170,7	178,0
feste Biomasse, biog. Abfall	0,9	3,4	4,0	4,3	4,7	5,0	5,2	5,5	5,6	5,6
gasf., flüssige Biomasse	0,4	3,2	5,0	5,2	5,3	5,5	5,6	5,8	5,8	5,9
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,8	1,3	1,9	2,5	3,0
Gesamt in D	**12,3**	**57,1**	**98,9**	**137,8**	**191,5**	**245,6**	**299,9**	**347,3**	**385,1**	**405,5**
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	8,8	16,2	23,0	27,9
Gesamt für D	**12,3**	**57,1**	**98,9**	**137,8**	**193,2**	**248,8**	**308,6**	**363,5**	**408,1**	**433,3**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

EE-Leistung (GW)	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	4,8	5,4	5,6	5,8	6,1	6,5	6,7	6,9	7,0	7,1
Wind Onshore	6,1	27,0	41,4	62,1	87,5	112,3	135,4	149,9	147,8	147,4
Wind Offshore (am Netz)	0,0	0,1	3,3	7,2	17,7	31,3	48,9	63,1	64,1	63,1
Fotovoltaik	0,1	17,9	39,6	56,2	91,3	127,9	158,5	183,2	183,7	182,6
feste Biomasse, biog. Abfall	0,9	3,4	4,0	4,3	4,8	5,3	5,5	5,5	5,5	5,5
gasf., flüssige Biomasse	0,4	3,2	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	5,9	5,9	5,9
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	1,4	2,3	3,2	3,4	3,4
Gesamt in D	**12,3**	**57,1**	**98,9**	**140,9**	**213,5**	**290,2**	**363,1**	**417,8**	**417,4**	**415,0**
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,1	3,6	7,2	17,2	27,7	28,2	27,5
Gesamt für D	**12,3**	**57,1**	**98,9**	**140,9**	**217,0**	**297,4**	**380,3**	**445,4**	**445,6**	**442,5**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

fache der heutigen EE-Strommenge. Trotz großer Fortschritte im EE-Zubau in den letzten 15 Jahren wird daraus ersichtlich, dass Deutschland mit dem konsequenten Umbau seiner gesamten Energieversorgung noch relativ am Anfang steht und jede Maßnahme, die erreichte Ausbaudynamik zu drosseln im Gegensatz zu den erklärten Zielen der Energiewende steht.

Ersichtlich ist ebenfalls, dass die weitere Mobilisierung aller EE-Quellen in ausgewogenem Umfang zweckmäßig ist, wenn dieses Ausbauziel erreicht werden soll. Die nur noch wenig ausbaubaren bzw. begrenzten EE-Quellen Wasserkraft, Biomasse und Geothermie stellen zusammen in 2050 rund 21 GW Leistung (2015: 14,6 GW) bereit. Je nach Flexibilitätsansprüchen und Marktanreizen kann diese Leistung (auf Kosten der Auslastung) auch höher

ausfallen. Hauptträger der Stromproduktion sind Windenergie und Solarstrahlung. Die Windenergie stellt in 2050 rund 210 GW (~ 140 GW Onshore; 70 GW Offshore) bereit, die Fotovoltaik rund 180 GW.

Dieses hohe Leistungsniveau verlangt über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten entsprechend hohe jährliche (Brutto-) Zubauraten, die sich in Zukunft infolge des wachsenden Ersatzbedarfs zusätzlich noch steigern müssen. **Abbildung 9 (links)** zeigt die derzeit induzierten jährlichen Zubauraten, wenn der EEG-Korridor eingehalten wird (SZEN-16 „TREND“); in **Abbildung 9 (rechts**) sind die notwendigen Zubauraten in SZEN-16 „KLIMA 2050“ dargestellt. Die Diskrepanz ist offensichtlich. Mit den jetzigen Korridorvorgaben ist ein sich stetig verringernder Nettozuwachs vorprogrammiert. Er sinkt in der Summe aller EE-Anlagen von gegenwärtig rund 7000 MW/a (Brutto ~7200 MW/a) auf rund 3700 MW/a in 2025 und weiter auf 3000 MW/a in 2030 und auf 2200 MW/a in 2050. Der dazu erforderliche Bruttozuwachs muss sich jedoch – nach einem Einbruch auf 5500 MW/a in 2016/2017 – bis 2030 wieder dem heutigen Niveau nähern und danach stetig weiter auf rund 9 000 -10 000 MW/a im Jahr 2040 bis 2050 steigen (Abb.9; links).

Abbildung 9: Jährlicher Brutto- und Nettoleistungszuwachs der EE-Stromerzeugung für die Szenarien SZEN16- „TREND“ (links) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (rechts)

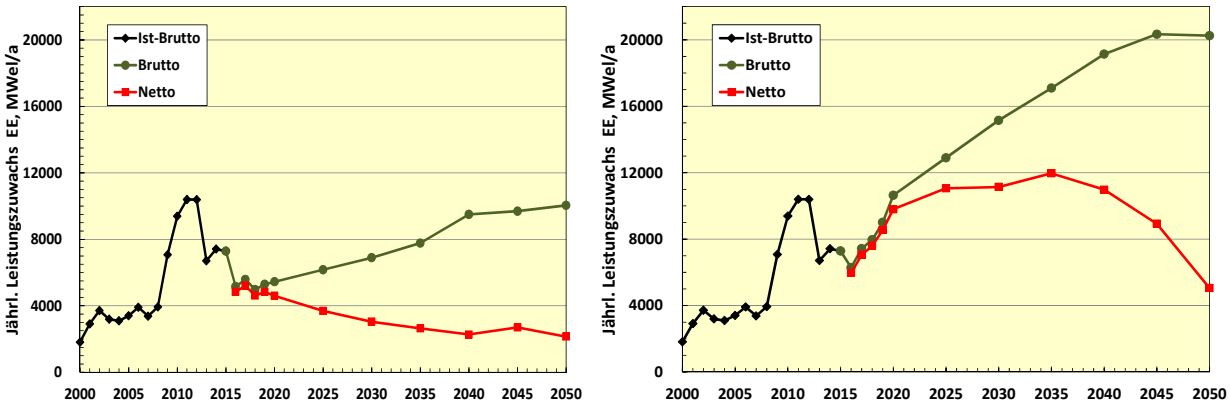
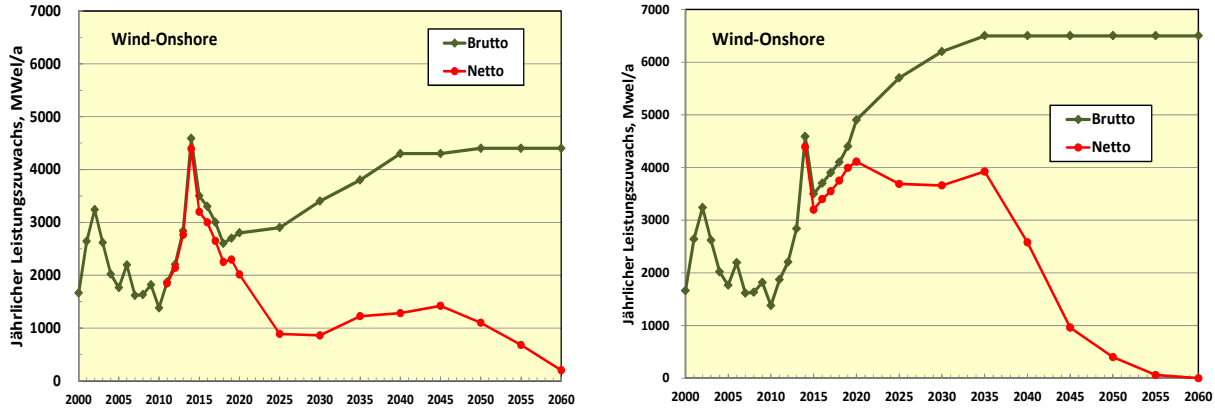


Abbildung 10: Jährlicher Brutto- und Nettozuwachs an Onshore-Windanlagen in den Szenarien SZEN16- „TREND“ (links) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (rechts)



Betrachtet man lediglich Onshore-Windanlagen **(Abbildung 10; links),** so zeigt sich, dass ab 2025 überwiegend der Ersatz alter Anlagen zu befriedigen ist, der Nettozubau sich daher bei rund 1000 MW/a einpendeln dürfte. Das setzt jedoch voraus, dass trotz Umstellung auf das Ausschreibungsverfahren der Bruttozubau in den nächsten Jahren höchstens gering unter 3000 MW/a sinkt und ab 2020 (2800 MW/a, brutto) stetig zunimmt und in 2040 die Marke von 4000 MW/a überschreitet. Dies ist jedoch unter den derzeitigen Rahmenbedingungen keineswegs gewährleistet.

Eine völlig anderes Bild zeigt sich bei dem aus Klimaschutzsicht eigentlich erforderlichen EE-Zubau **(Abbildung 9 und 10; jeweils rechts)**. Um 2020 sollte ein Nettozuwachs von jährlich rund 10 000 – 12 000 MW/a erreicht werden und auf diesem Niveau bis 2040 verharren; das ist etwa das Dreifache des jährlichen Nettozubaus in SZEN-16 „TREND“. Der jährliche Bruttozubau aller EE-Anlagen muss dazu stetig von derzeit 7 200 MW/a auf 10 600 MW/a in 2020 und längerfristig auf 20 000 MW/a steigen. Das ist das Doppelte der kurzfristig in den Jahren 2011 und 2012 erreichten Zubauspitze. Für Onshore-Windanlagen allein ist zwischen 2020 und 2035 ein Nettozubau von rund 4000 MW/a erforderlich (Abb.10, rechts). Bis dahin muss der Bruttozubau auf 6 500 MW/a gestiegen sein; was dem jährlichen Ersatzbedarf bei einer konstanten Gesamtleistung von rund 140 GW entspricht. Aus dem Vergleich mit den entsprechenden jährlichen Zubauraten in SZEN-16 „TREND“ ist ersichtlich, dass dazu weitaus günstigere Rahmenbedingungen und Markanreize erforderlich sind, als sie derzeit vorhanden sind.

7. Entwicklung des Wärmesektors

Mit rund 4850 PJ/a (2015) werden derzeit rund 55% der Endenergie zur Wärmebereitstellung eingesetzt**.** Rund 50% davon (2 410 PJ/a) werden für Raumwärme (einschließlich Klimakälte) benötigt, knapp 10% für Warmwasser und 40% für Prozesswärme. Bei ersterer dominieren private Haushalte mit einem Anteil von 65%, bei letzterer die Industrie mit 83%. Berücksichtigt man den für Wärmezwecke eingesetzten Strom (26 % des gesamten Stromendenergieverbrauchs), so stammen rund 50% der energiebedingten CO_2-Emissionen aus der Wärmebereitstellung. Daraus ist ersichtlich, dass ohne eine wesentliche Aktivierung von Effizienzpotenzialen und des Zubaus von EE-Anlagen zur Wärmebereitstellung die Energiewende zum Scheitern verurteilt ist.

Derzeit (2015) dominiert mit 57 % der Direkteinsatz von Gas und Heizöl in Einzelfeuerstätten, KWK-Wärme (öffentlich und industriell) folgt mit 13% Anteil, der Stromanteil beträgt 10%. Die gesamte EE-Wärme hat einen Anteil von 12 % (bezogen auf Wärme einschließlich Stromanteil). Davon deckt Biomasse mit 505 PJ/a den weitaus größten Anteil mit 88%. Solare Wärme, Wärmepumpen (Umweltwärme, Erdwärme) und Geothermie tragen also derzeit lediglich 1,5% zum gesamten Wärmebedarf bei. Auch daran lässt sich ablesen, dass ein Strukturwandel in der Wärmeversorgung hin zu mehr Klimaverträglichkeit noch ganz am Anfang steht.

Die Klimaschutzziele des Energiekonzepts erfordern bis 2050 auch einen völligen Umbau der Wärmeversorgung. Die dafür erforderlichen Strukturveränderungen werden in den Szenarien SZEN-16 „KLIMA 2050“ und „KLIMA 2040“ abgebildet. Hier wird die Diskrepanz zur mangelhaften Veränderungsdynamik unter Trendbedingungen besonders deutlich **(Abbildung 11; Tabelle 10; oben)**. Wegen des Fehlens wirksamer Anreize für eine umfassende Gebäudesanierung muss davon ausgegangen werden, dass der Wärmebedarf auch längerfristig bestenfalls um 25% (gegenüber 2008) sinkt.

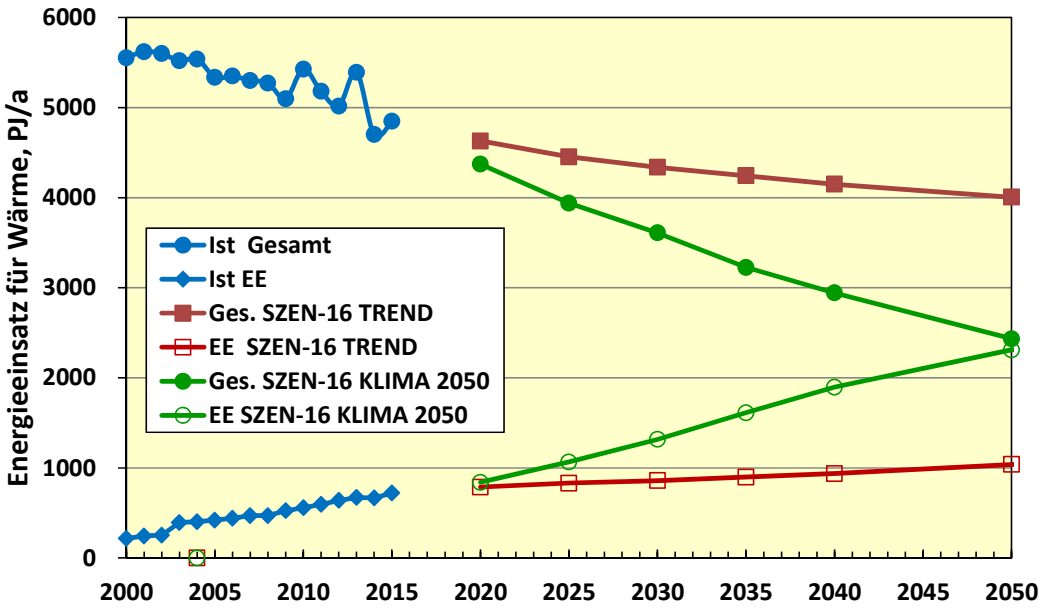


Abbildung 11: Entwicklung des Energieeinsatzes für Wärme und des EE-Beitrags in den Szenarien SZEN-16 „TREND“ und SZEN-16 „KLIMA 2050“.

Auch der Strukturwandel hin zu mehr Wärmenetzen und KWK-Wärme wird weitgehend stagnieren. Das ohnehin zu geringe Wachstum des EE-Wärmemarkts im Bereich der Kollektoren und der Umweltwärme/Geothermie wird durch den jetzigen Zielkorridor für Biomasse im EEG zusätzlich gebremst. Mit diesen Restriktionen wird insbesondere der Wärmebeitrag aus KWK-Anlagen, der sich in den letzten Jahren dank wachsender Stromerzeugung aus Biomasse deutlich erhöht hat und heute 23% (32 TWh/a) der gesamten Biomassewärme darstellt nach 2020 wieder sinken **(Abbildung 12; links).**

Tabelle 10: Energieverbrauch für Wärmezwecke und zukünftige Beiträge der EE

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
SZEN-16 „TREND“							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4849	**4630**	**4454**	**4337**	**4240**	**4149**	**4005**
davon Stromwärme (PJ/a)	480	**482**	**490**	**516**	**545**	**576**	**625**
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 8,0	**-12**	**-16**	**-18**	**-20**	**-22**	**-24**
EE-Wärmemenge (PJ/a)[1)]	574	**606**	**616**	**602**	**595**	**585**	**600**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[2)]	13,1	**14,6**	**15,5**	**15,8**	**16,1**	**16,4**	**17,8**
SZEN-16 „KLIMA 2050“							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4849	**4373**	**3940**	**3610**	**3270**	**2943**	**2433**
davon Stromwärme (PJ/a)	480	**494**	**534**	**573**	**595**	**618**	**658**
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 8,0	**-17**	**-25**	**-32**	**-38**	**-46**	**-54**
EE-Wärmemenge (PJ/a)[1)]	574	**640**	**769**	**925**	**1135**	**1346**	**1656**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[2)]	13,1	**16,5**	**22,6**	**30,5**	**42,5**	**57,9**	**93,3**
SZEN-16 „KLIMA 2040“							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4849	**4290**	**3798**	**3426**	**3050**	**2671**	**2390**
davon Stromwärme (PJ/a)	480	**491**	**496**	**519**	**535**	**556**	**620**
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 8,0	**-19**	**-28**	**-35**	**-42**	**-49**	**-55**
EE-Wärmemenge (PJ/a)[1)]	574	**645**	**836**	**1095**	**1350**	**1605**	**1685**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[2)]	13,1	**17,0**	**25,3**	**37,7**	**46,3**	**75,9**	**95,2**

1) Biomasse, Kollektoren, Umweltwärme; ohne EE-Strom für Wärmezwecke
2) Anteil an gesamter Wärme abzgl. Stromwärme

Insgesamt verringert sich dadurch der Beitrag der Biomassewärme von derzeit 140 TWh/a auf 128 TWh/a in 2030 und auf 114 TWh/a im Jahr 2050. Das unter Trendbedingungen für möglich gehaltene Wachstum von Kollektoren, Umweltwärme und Geothermie kann diesen Rückgang lediglich näherungsweise kompensieren, ein weiteres Wachstum der gesamten EE-Wärme findet jedoch nicht statt**.** Von derzeit 159 TWh/a steigt sie bis 2025 noch auf 171 TWh/a, um dann bis zur Jahrhundertmitte etwa konstant zu bleiben; eine „Energiewende" im Wärmebereich fände also nicht statt. Der Anteil der fossilen Energiebereitstellung für Wärmezwecke (ohne Stromanteil) wäre nur von derzeit 87% (= 3800 PJ/a) auf 82% (= 2800 PJ/a) im Jahr 2050 gesunken, der CO_2-Ausstoß des Wärmesektors beliefe sich noch auf 177 Mio. t CO_2/a (derzeit 300 Mio. t CO_2/a).

Um einen angemessenen Beitrag des Wärmesektors am das Klimaschutzziel von -95% zu erreichen, sollten die Effizienzpotentiale - insbesondere im Gebäudebereich – weitgehend ausgenutzt werden. Der gesamte Wärmeverbrauch (Raumheizung, Warmwasser, Prozesswärme) kann so bis 2050 um mehr als die Hälfte reduziert werden, **(Tabelle 10; Mitte und unten**). Parallel muss sich die Wärmeversorgung wesentlich stärker vernetzen. Dass kann durch eine Konsolidierung der Fernwärme (Modernisierung und Verdichtung der Netze; Erhöhung von Anschlussgraden; Integration von Wärmespeichern und EE-Wärme u.a.) und den Bau zahlreicher neue Nahwärmenetze und KWK-Inselversorgungen im Altbaubestand geschehen. Der Anteil von Einzelheizungen (nur noch Wärmepumpen, Biomasse) geht erheblich zurück, Einzelversorgungen mit Heizöl und Gas verschwinden bis 2050 völlig. EE-Wärme (Biomasse, Solarkollektoren, Umweltwärme und Geothermie; längerfristig auch EE-Wasserstoff via KWK und HT-Wärme) wird überwiegend mittels Netzen bereitgestellt. Damit steigert EE-Wärme ihren bisher geringen Anteil (13,1%; ohne Stromwärme) bereits bis 2030 erheblich (31%) und deckt den verbleibenden Wärmebedarf (ohne Stromwärme) des Jahres 2050 nahezu vollständig (93%). Die Wärmebereitstellung mittels KWK-Anlagen in Wärmnetzen (fossil, Biomasse, Geothermie, längerfristig EE-Wasserstoff) erhöht ihren Anteil stetig auf rund 26% des (deutlich sinkenden) Wärmebedarfs (derzeit 14%). Mit 1656 PJ/a (460 TWh/a) in 2050 stellt EE-Wärme nahezu die dreifache Energiemenge bereit, als dies heute (574 PJ/a = 159 TWh/a) der Fall ist **(Abbildung 12, rechts).**

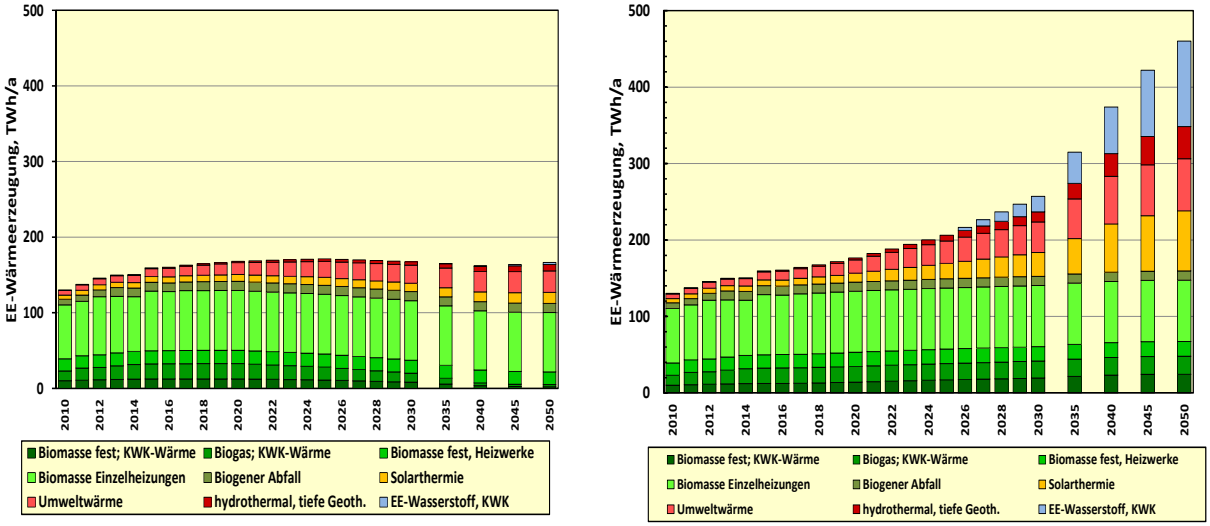


Abbildung 12: Entwicklung der EE-Wärmeerzeugung (ohne Stromanteil) im Trendszenario SZEN-16 „TREND" (links) und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050"; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts (in TWh/a; 1 TWh/a = 3,6 PJ/a)

Neben einem erheblich stärkerem Wachstum von Solarwärme und Umweltwärme/ Geothermie (etwa eine Verzehnfachung bis 2050) ist also auch die weitere Ausschöpfung des restlichen Biomassepotenzial für Wärmezwecke (von derzeit 140 TWh/a auf 160 TWh/a) erforderlich. Diese Ausschöpfung ist aber eng an den weiteren Ausbau von KWK-Anlagen (als die effizienteste Nutzung) geknüpft. Damit kommt der weiteren Entwicklung der Biomasse im Rahmen des EEG auch für den Wärmebereich eine erhebliche Bedeutung zu. Soll das SZEN-16 „KLIMA 2040“ verwirklicht werden, müssen die erforderlichen Strukturveränderungen noch rascher verlaufen (Tabelle 10; unten), was angesichts der bisherigen Trägheit in diesem Bereich sehr unwahrscheinlich ist.

Der Stromeinsatz für Wärmezwecke (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärm) in herkömmlichen Anwendungen sinkt mit zunehmender Effizienzsteigerung. Dafür erschließt sich EE-Strom neue Nutzungsbereiche (vgl. „EE-Stromerzeugung“). Der Gesamtverbrauch an Strom für Wärmezwecke steigt daher im SZEN-16 „KLIMA 2050“ von derzeit 133 TWh/a (26% des Gesamtverbrauchs) auf 183 TWh/a (= 31%) in 2050 (Tabelle 10, Mitte) und deckt dann 27% des gesamten Wärmebedarfs. Während gegenwärtig etwa 3,5% dieses Stromverbrauchs aus „neuen“ Anwendungen stammen (Wärmepumpen), werden in 2050 knapp die Hälfte des Gesamtverbrauchs dafür eingesetzt (Wärmepumpen, strombeheizte Wärmespeicher für Wärmenetze; verstärkter Einsatz bei Prozesswärme).

Wegen der starken Heterogenität der Wärmeverbraucher (bzw. der entsprechenden Siedlungsstrukturen) und der Vielzahl der Akteure (alle Gebäudebesitzer, alle Unternehmen) ist ein zielgerichteter Strukturwandel im Wärmesektor ein äußerst schwieriger und langwieriger Prozess. Zum einen sind klare und sehr wirksame energiepolitische, d.h. ökonomische Anreize für die Errichtung klimaschonender Gebäude bzw. ihrer Sanierung, für eine umfassende KWK-Wärmenutzung und für alle EE-Wärmetechnologien unbedingte Voraussetzung, um die notwendige Dynamik einzuleiten und längerfristig zu stabilisieren. Ebenso von zentraler Bedeutung ist jedoch, dass die zielgerichtete und vorausschauende Umgestaltung von Siedlungsquartieren, Stadteilen, Gewerbegebieten etc. in allen Kommunen als eine wesentliche Aufgabe begriffen wird.

Die Herausforderungen der Energiewende im Wärmesektor erfordern eine aktive Planungs- und Kooperationskultur**.** Kommunalverwaltungen, Stadtwerke und andere professionelle Akteure müssen sich eine ganzheitliche Strategie zur zukünftigen Gestaltung „ihrer“ Wärmeversorgung erarbeiten. Zuständigkeiten und Prioritäten müssen klar definiert sein. Die ständig zu aktualisierende Strategie dieser Wärmeversorgung (und ihrer enge Vernetzung mit der Stromversorgung) muss ebenso als Teil der kommunalen Daseinsvorsorge verstanden werden, wie gegenwärtig Bauleitplanungen, Verkehrskonzepte und andere kommunale Hoheitsaufgaben. Die wachsende Einbeziehung von Energieverbrauchern in die Versorgungsaufgaben (in Form des Demand Side Management) als auch von privaten, genossenschaftlichen und gewerblichen Energieerzeuger wird dabei immer wichtiger. Da die Wärmeversorgung vor Ort durch die Einbindung von EE-Energiequellen wesentlich sichtbarer wird, als dies bei der heutigen auf fossilen Energieträgern basierenden Versorgung der Fall ist, und immer mehr Wärmeverbraucher über Wärmenetze versorgt werden, muss auch auf eine frühzeitige und umfassende Information und Einbeziehung der Bürger in die Planungsabläufe geachtet werden. Dies ist eine entscheidende Voraussetzung für die Akzeptanz und die kommunale Verankerung der notwendigen Wärmeversorgungskonzepte.

8. Entwicklung des Verkehrssektors

Im Verkehrssektor ist noch nichts von der Energiewende bemerkbar. Seit dem Spitzenwert des Energieverbrauchs im Jahr 1999 ist dieser zwar gesunken, der Verbrauch im Jahr 2015 liegt mit 2656 PJ/a jedoch noch rund 3% über dem für das Effizienzziel maßgebenden Referenzwert des Jahres 2008 **(Abbildung 13)** Mit 185 Mio. t CO_2/a (ohne Stromanteil) stammen 23% der CO_2-Emissionen aus dem Verkehr, eine Reduktion dieser Emissionen ist bisher so gut wie nicht erfolgt. Auch der EE-Anteil am gesamten Endenergieverbrauch des Verkehrs ist mit 4,8 % noch gering. Da der mögliche Beitrag von Biokraftstoffen aus ökologischen und strukturellen Gründen begrenzt ist, sind neben einer Ausschöpfung erheblicher Effizienzpotenziale weitere EE-Optionen, wie Elektromobilität und EE-Kraftstoffe (EE-Wasserstoff; EE-Methan) mittel- bis langfristig von großer Bedeutung. In den Szenarien ist der mögliche nachhaltige Beitrag von Biokraftstoffe auf maximal 260 PJ/a begrenzt, weil die noch verfügbaren Biomassepotenziale effektiver im stationären Bereich eingesetzt werden können und kein Import von Biomasse für Energiezwecke angenommen wurde, [BMU 2012; WBGU 2008].

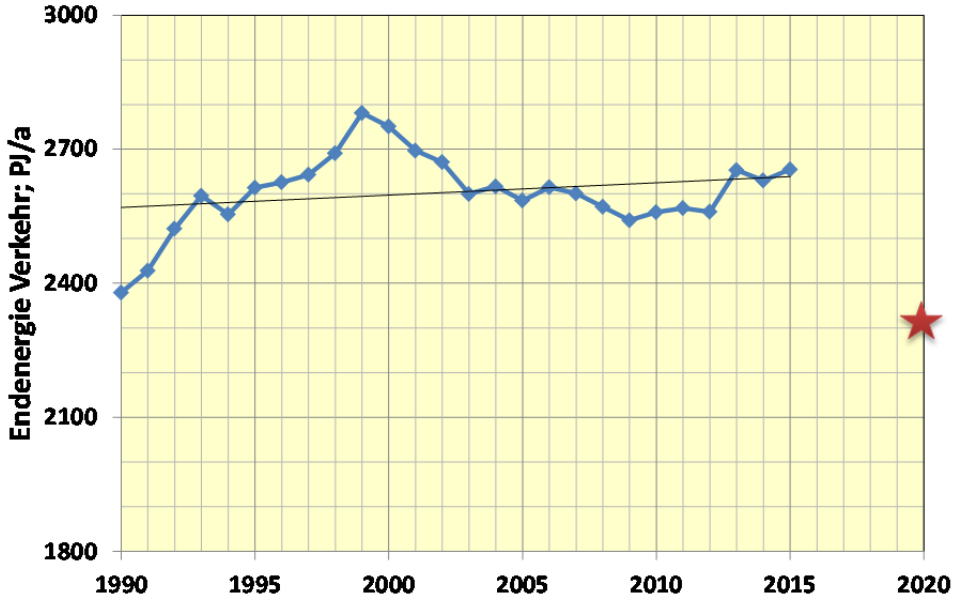


Abbildung 13: Endenergieverbrauch des Verkehrs 1990-2015 und Zielwert 2020 des Energiekonzepts (Nullpunkt unterdrückt).

Aus heutiger Sicht ist das kurzfristige Effizienzziel im Verkehr für das Jahr 2020 (-10% Minderung ggü. 2008 entsprechend 2310 PJ/a; vgl. Abb. 13) nicht mehr erreichbar. Für SZEN-16 „TREND“ wird bis 2020 ein praktisch gleichbleibender Endenergieverbrauch angenommen (**Tabelle 11 a)**. Auch längerfristig wird unter Trendbedingungen nur eine relativ geringe Reduktion des Energieverbrauchs erwartet, da von keiner grundsätzlichen Veränderung langjähriger Fehlentwicklungen ausgegangen wird. Insbesondere zwei zentrale Trends blockieren derzeit ein Einschwenken auf eine nachhaltige Verkehrsentwicklung: (1) technische Fortschritte bei PKW‘s werden weitgehend durch aufwändigere, technisch anspruchsvollere und damit schwerere Fahrzeugkonzepte kompensiert (Rebound-Effekt); (2) es findet keine Verlagerung von Güterverkehr auf die Schiene statt, durch Wettbewerbsnachteile gegenüber Straßentransporten und eine falsche Politik der Bahn droht sogar ein weiterer Rückgang des Schienengüterverkehrs. Daher sinkt im Trendszenario der Energieverbrauch erst im Jahr 2030 wieder auf das Referenzniveau von 2008; bis 2050 ist er nur auf rund 90% dieses Referenzwerts gesunken **(Abbildung 14; links).**

Tabelle 11 a: Energieverbrauch und CO_2-Emissionen des Verkehrs aufgeteilt auf Personen- und Güterverkehr im Szenario SZEN-16 „TREND“

	Energieverbrauch und CO2-Emissionen im Verkehr							SZEN-16 TREND		
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Personenverkehr										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	1714	1715	1707	1736	1706	1642	1558	1442	1297	1104
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	107	108	108	102	106	115	141	172	183	219
- CO2 (Mio. t/a)	119	121	120	122	121	117	109	101	90	76
- Strom (PJ/a)	25	23	24	23	24	26	34	46	64	82
CO2 (Mio. t /a)	5	4	4	4	4	4	5	6	6	6
Endenergie (PJ/a)	**1845**	**1846**	**1839**	**1861**	**1836**	**1784**	**1733**	**1660**	**1544**	**1404**
CO2 (Mio. t /a))	**124**	**125**	**124**	**126**	**125**	**121**	**115**	**107**	**96**	**82**
Güterverkehr										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	684	678	685	735	795	844	868	884	852	770
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	21	15	16	15	6	5	9	8	39	78
- CO2 (Mio. t/a)	50	49	49	53	57	60	61	61	59	54
- Strom (PJ/a)	21	21	20	19	19	20	21	23	25	26
CO2 (Mio. t /a)**)	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2
Endenergie (PJ/a)	**726**	**713**	**721**	**769**	**820**	**868**	**898**	**916**	**916**	**874**
CO2 (Mio. t /a))	**54**	**52**	**53**	**56**	**60**	**63**	**64**	**64**	**62**	**55**
Verkehr gesamt										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	2398	2393	2392	2470	2501	2486	2425	2326	2149	1873
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	128	122	124	117	112	120	150	180	223	297
- Strom (PJ/a)	46	44	44	42	44	46	55	69	88	108
Endenergie (PJ/a)	**2571**	**2559**	**2560**	**2630**	**2656**	**2652**	**2631**	**2575**	**2460**	**2278**
CO2 (Mio. t /a))	**178**	**177**	**177**	**182**	**185**	**183**	**179**	**171**	**158**	**137**
EE-Endenergie	**135**	**130**	**134**	**129**	**126**	**140**	**181**	**226**	**292**	**389**
(einschl. Stromanteil)										
Anteil EE , %	**5,2**	**5,1**	**5,2**	**4,9**	**4,8**	**5,3**	**6,9**	**8,8**	**11,9**	**17,1**
(einschl. Strom)										

**) nur Emissionen von Kraftstoffen

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2040

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Tabelle 11 b: Energieverbrauch und CO_2-Emissionen des Verkehrs aufgeteilt auf Personen- und Güterverkehr im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“

	Energieverbrauch und CO2-Emissionen im Verkehr							SZEN-16 KLIMA2050		
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Personenverkehr										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	1714	1715	1708	1736	1706	1528	1297	969	607	176
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	107	108	108	102	106	106	133	203	219	289
- CO2 (Mio. t/a)	119	121	120	122	121	107	85	59	27	6
- Strom (PJ/a)	25	23	23	23	24	28	48	86	138	211
CO2 (Mio. t /a)	5	4	4	4	4	4	6	7	4	1
Endenergie (PJ/a)	**1845**	**1846**	**1840**	**1861**	**1836**	**1662**	**1479**	**1258**	**964**	**675**
CO2 (Mio. t /a))	**124**	**125**	**124**	**126**	**125**	**111**	**91**	**66**	**31**	**6**
Güterverkehr										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	684	678	685	735	795	779	700	563	196	33
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	21	15	16	15	6	28	116	218	490	550
- CO2 (Mio. t/a)	50	49	49	53	57	56	53	45	27	8
- Strom (PJ/a)	21	21	20	19	19	19	21	23	24	23
CO2 (Mio. t /a)**)	4	3	3	3	3	3	2	2	1	0
Endenergie (PJ/a)	**726**	**713**	**721**	**769**	**820**	**826**	**836**	**804**	**710**	**606**
CO2 (Mio. t /a))	**54**	**52**	**53**	**56**	**60**	**59**	**56**	**47**	**27**	**8**
Verkehr gesamt										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	2398	2393	2394	2470	2501	2307	1997	1533	803	208
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	128	122	124	117	112	134	249	421	709	839
- Strom (PJ/a)	46	44	43	42	44	47	69	109	161	235
Endenergie (PJ/a)	**2571**	**2559**	**2561**	**2630**	**2656**	**2488**	**2315**	**2062**	**1674**	**1282**
CO2 (Mio. t /a))	**178**	**177**	**177**	**182**	**185**	**170**	**147**	**113**	**58**	**14**
EE-Endenergie	**135**	**130**	**134**	**129**	**126**	**157**	**300**	**516**	**865**	**1073**
(einschl. Stromanteil)										
Anteil EE , %	**5,2**	**5,1**	**5,2**	**4,9**	**4,8**	**6,3**	**12,9**	**25,0**	**51,7**	**83,7**
(einschl. Strom)										

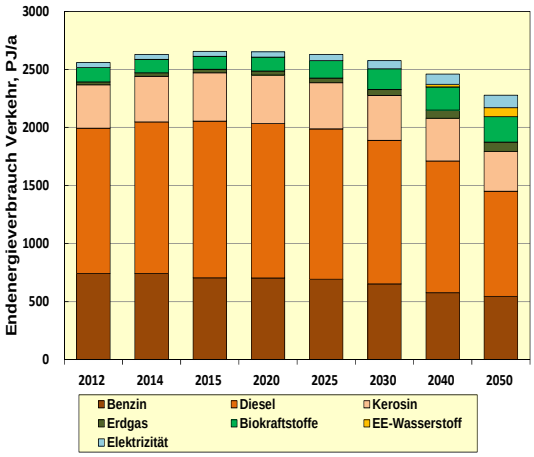
**) nur Emissionen von Kraftstoffen

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Auch für das Klimaschutzszenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ wird angesichts der derzeit geringen politischen Bereitschaft, am Anreiz- und Regelsystems des Verkehrs etwas zu ändern bis 2020 nur von einem leichten Rückgang um 3 % (ggü. 2015) ausgegangen **(Tabelle 11 b).** Erst danach dürfte die Wirkung einer Effizienzstrategie im Verkehr sichtbar werden, falls in den nächsten Jahren dazu deutlich wirksamere Instrumente entwickelt werden.

Effizienzpotenziale im Verkehr sind prinzipiell groß, wenn die technischen Effizienzgewinne verknüpft werden mit einem „Downsizing“ der PKW-Flotte (unterstützt durch eine allgemeine Geschwindigkeitsbegrenzung und weitere Anreize für kleinere PKW) und einer weiteren Steigerung des öffentlichen Nahverkehrs bei gleichzeitiger Einschränkungen für den motorisierten Individualverkehr in Ballungsräumen (u.a. „City Maut“: Anpassung Steuer für Dieselkraftstoff). Im Güterverkehr ist insbesondere eine deutliche Verlagerung von Güterverkehr auf die Schiene unverzichtbar und längst überfällig. Die Wachstumstendenzen im Flugverkehr müssen durch eine spürbare Besteuerung von Flugtreibstoffen gebremst werden. Die Bundesregierung muss daher ihre bisherige Verkehrspolitik überdenken und grundsätzlich ändern, wenn sie die notwendige Reduktion von Treibhausgasen auf -95% bis 2050 erreichen will. Dies und weitere Strukturveränderungen werden im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ unterstellt **(**Tabelle 11 b**; Abbildung 14; rechts).** In 2025 wird das Reduktionsziel des Energiekonzepts für 2020 erreicht. Bis 2030 sinkt der Endenergieverbrauch um 20%. Bis 2050 sinkt der Endenergieverbrauch dann deutlicher; er beläuft sich dann noch auf 50% des Referenzwertes (bzw. 48% des Verbrauchs von 2015).



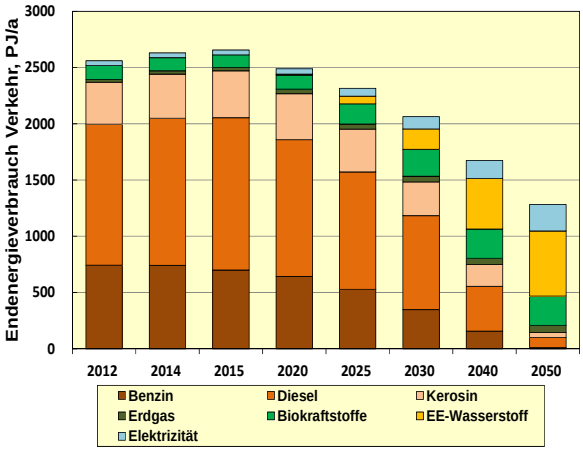


Abbildung 14: Struktur des Endenergieverbrauchs im Verkehr im Szenario SZEN-16 „TREND“ (links) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (rechts) im Vergleich.

Mittelfristig stammt der wesentliche EE-Beitrag im Verkehr von Biokraftstoffen. Im Szenario SZEN-16 „TREND“ kommen sie damit auf einem 7%igen Anteil (180 PJ/a) in 2030 und auf 9% (200 PJ/a) in 2050. Zusammen mit EE-Wasserstoff und EE-Strom decken EE in 2050 rund 17% **(Tabelle 12, oben)**. Hier ist man also von einer Ablösung fossiler Kraftstoffe noch deutlich entfernt. Entsprechend langsam verläuft die Reduktion der verkehrsbedingten CO_2-Emissionen. Im Szenario SZEN-16 „TREND“ lassen sie sich bis 2050 nur auf 137 Mio. tCO_2/a reduzieren, was noch 74% der heutigen CO_2-Emissionen entspricht.

Im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ **(Tabelle 12, Mitte)** steigt der Biomasseanteil bis 2030 auf knapp 12% (240 PJ/a) Der Anteil aller EE beläuft sich in 2030 auf 25%. Danach decken EE-Strom und EE-Wasserstoff rasch wachsende Anteile. Bis 2050 werden zwei Drittel des Individualverkehrs elektrisch abgewickelt, der Rest stammt aus EE-Wasserstoff und noch

geringen Mengen fossiler Kraftstoffe. Im Straßengüterverkehr wird nahezu vollständig EE-Wasserstoff verwendet. Biokraftstoffe werden zu diesem Zeitpunkt im Flugverkehr eingesetzt. In 2050 werden damit 84% der Energienachfrage durch EE gedeckt wird. Mit einer CO_2-Emission von nur noch 14 Mio. t CO_2/a ist damit auch der Verkehrssektor praktisch emissionsfrei.

Tabelle 12: Energieverbrauch im Verkehr und zukünftige Beiträge von Strom und von EE

Werte in PJ/a	**2008**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2050**
SZEN-16 „TREND "								
Endenergieverbrauch,	2571	2656	**2652**	**2631**	**2575**	**2520**	**2460**	**2278**
Verring. gegenüber 2008 (%)		+ 3,3	**+3,2**	**+2,3**	**0**	**-2,0**	**-4,3**	**-11,4**
Stromeinsatz im Verkehr	46	44	**46**	**55**	**69**	**79**	**88**	**108**
Biokraftstoffe	128	112	**120**	**150**	**180**	**190**	**200**	**200**
EE-Wasserstoff	0	0	**0**	**0**	**0**	**8**	**23**	**77**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[1)]	5,2	4,8	**5,3**	**6,9**	**8,8**	**10,2**	**11,9**	**17,1**
SZEN-16 „KLIMA 2050"								
Endenergieverbrauch	2571	2656	**2488**	**2315**	**2062**	**1870**	**1674**	**1282**
Verring. gegenüber 2008 (%)		+ 3,3	**-3,2**	**-10,0**	**-19,8**	**-27,3**	**-34,9**	**-50,1**
Stromeinsatz im Verkehr	46	44	**47**	**69**	**109**	**135**	**161**	**235**
Biokraftstoffe	128	112	**125**	**180**	**240**	**250**	**260**	**260**
EE-Wasserstoff	0	0	**9**	**69**	**181**	**310**	**449**	**579**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[1)]	5,2	4,8	**6,3**	**12,9**	**25,0**	**38,0**	**51,7**	**83,7**
SZEN-16 „KLIMA 2040"								
Endenergieverbrauch	2571	2656	**2472**	**2180**	**1823**	**1600**	**1368**	**1277**
Verring. gegenüber 2008 (%)		+ 3,3	**-3,8**	**-15,2**	**-29,1**	**-37,8**	**-46,8**	**-50,3**
Stromeinsatz im Verkehr	46	44	**47**	**82**	**127**	**170**	**213**	**235**
Biokraftstoffe	128	112	**125**	**180**	**240**	**250**	**260**	**260**
EE-Wasserstoff	0	0	**21**	**96**	**239**	**410**	**595**	**597**
Anteil Erneuerbare Energien (%)[1)]	5,2	4,8	**6,8**	**15,6**	**32,7**	**53,0**	**77,9**	**85,4**

1) einschließlich EE-Strom

Die Analysen zur zukünftigen Entwicklung des Verkehrssektors zeigen, dass dieser Sektor hinsichtlich der Erfolgsaussichten, die Unterziele des Energiekonzepts zu erreichen, aus heutiger Sicht besonders problematisch ist. Die Fortführung der derzeitigen, hinsichtlich Klimaschutz sehr eingriffsarmen und teilweise sogar kontraproduktiven Verkehrspolitik ist nicht mit den ehrgeizigen Klimaschutzzielen, die sich die Bundesregierung im Energiekonzept gesetzt hat, vereinbar. Die bisher ergriffenen, überwiegend technisch orientierten Maßnahmen (effizientere Antriebe; Förderung von Elektromobilität; (begrenzte) Einführung von Biokraftstoffen) reichen insbesondere kurz- bis mittelfristig nicht aus, den vom Verkehr zu erbringenden Beitrag zum Klimaschutz zu gewährleisten. Wesentlich wirksamere Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung, und -verlagerung müssen hinzukommen.

SZEN-16 „KLIMA 2040" **(Tabelle 12, unten)** verdeutlich abschließend, wie rasch die Strukturveränderungen im Verkehr eigentlich verlaufen müssten, wenn angestrebt würde, das 1,5°C Ziel beim globalen Klimaschutz zu erreichen. Bereits bis 2040 müssten die o.g. Strukturänderungen und die Einführung neuer Antreibe und Kraftstoffe weitgehend abgeschlossen sein. Dies erforderte nicht nur eine sehr rasche Änderung der Verkehrspolitik, sondern auch eine sehr große und verständnisvolle Bereitschaft bei den Bürgen und den Wirtschaftsunternehmen, an diesem rapiden Strukturwandel aktiv und konstruktiv teilzunehmen.

9. Fazit und Schlussfolgerungen

Die derzeitige Energiewendepolitik lässt noch keine kohärente Strategie erkennen, mit der die großen Herausforderungen eines Komplettumbaus aller Sektoren der Energieversorgung in der notwendigen Zeit bis 2050 wirksam bewältigt werden könnten. Im Stromsektor hatte sich zwar dank des EEG eine angemessene Zubaudynamik entwickelt, der erforderliche konsequente Umbau der gesamten Stromversorgung wird aber durch eine unzulängliche Weiterführung (u.a. fehlender konsequenter Rückbau von Kohlekraftwerken und Ausstieg bis ca. 2040) erheblich verzögert. Darüber hinaus war bereits seit längerer Zeit erkennbar, dass die Aus- bzw. Umbaudynamik in den Bereichen Effizienzsteigerung, der Wärmeversorgung und des KWK-Ausbaus deutlich gesteigert, sowie gleichzeitig ein durchgreifenden Wandel im Verkehrssektor durchgeführt werden muss, wenn das aus der Sicht eines wirksamen globalen Klimaschutzes für Deutschland erforderliche Klimaschutzziel von -95% bis 2050 verbindlich angestrebt wird**.**

Die derzeitigen energiepolitischen Aktivitäten (Aktionsprogramm „Klimaschutz"; NAPE; Strommarkt 2.0; neues KWK-G) zeigen, dass die Politik das Problem zwar erkannt hat, aber bei der wirksamen Umsetzung im Verzug ist. Gleichzeitig schwächen die derzeitigen ökonomischen Rahmenbedingungen (sehr niedrige Energiepreise; geringe CO_2-Preise) die Umsetzungsanreize weiter. Die jetzigen Aktionsprogramme und Novellierungsvorschläge werden kurzfristig nicht ausreichend wirksame Impulse entwickeln, um das Kurzfristziel (-40% THG-Minderung bis 2020) zu erreichen. Dieser „Verzug" kann allerdings bis 2030 prinzipiell aufgeholt werden, wenn in den nächsten Jahren robuste Maßnahmen ergriffen und dem Klimaschutz angemessene ökonomische Instrumente für den Energiemarkt geschaffen werden. Von herausragender Bedeutung dafür sind höhere CO_2-Preise (mindestens 40-50 €/t) oder äquivalente CO_2-Steuern; im Verkehr ggf. äquivalente Besteuerung von Kraftstoffen) Dadurch würden die durch einen ungebremsten Klimawandel eintretenden Schäden (bzw. Kosten) in wirksame Preissignale umgewandelt. Erst dadurch können die Akteure in den einzelnen Segmenten des Energiemarkts ihre Aktivitäten zielgerichtet entfalten und ihre Fähigkeiten optimal nutzen. Investitionen in Effizienzsteigerungen wären dann sehr viel wirtschaftlicher; die EE-Technologien könnten sich ohne ein immer komplexer werdendes Förderinstrumentarium im Energiemarkt weiter etablieren.

Im Stromsektor könnte bei angemessen hohen CO_2-Preisen ein erheblich rascherer und effizienterer, weil marktgetriebener Strukturwandel weg von Kohlekraftwerken und hin zu Erdgaskraftwerken und EE-Anlagen erfolgen. Dieser ist eine zentrale Voraussetzung für die Herausforderungen, die auf Stromsektor als Hauptsegment (EE-Strom als „Hauptenergieträger") einer klimaverträglichen Energieversorgung zukommen.

Verstärkt sich die Umbaudynamik im gesamten Energiesektor nicht erheblich, würden die fossilen Energieträger auch noch zur Jahrhundertmitte mit 70 – 75% Anteil das Energiesystem dominieren **(Abbildung 15; links).** Das Klimaschutzziel wäre weit verfehlt**.** Zur Verwirklichung der eigentlichen Energiewendeziele ist eine über Jahrzehnte stabile Entwicklungsdynamik gemäß Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050" notwendig. Damit wären bis 2050 ein Verbrauchsrückgang um 50% und ein Beitrag der EE am gesamten Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetischen Einsatz fossiler Energieträger) von rund 95% möglich **(Abbildung 15; rechts**). Die verbleibenden THG-Emissionen beliefen sich dann auf 69 Mio. t CO_{2eq}/a, davon CO_2-Emissionen in Höhe von nur noch 28 Mio. t CO_2/a.

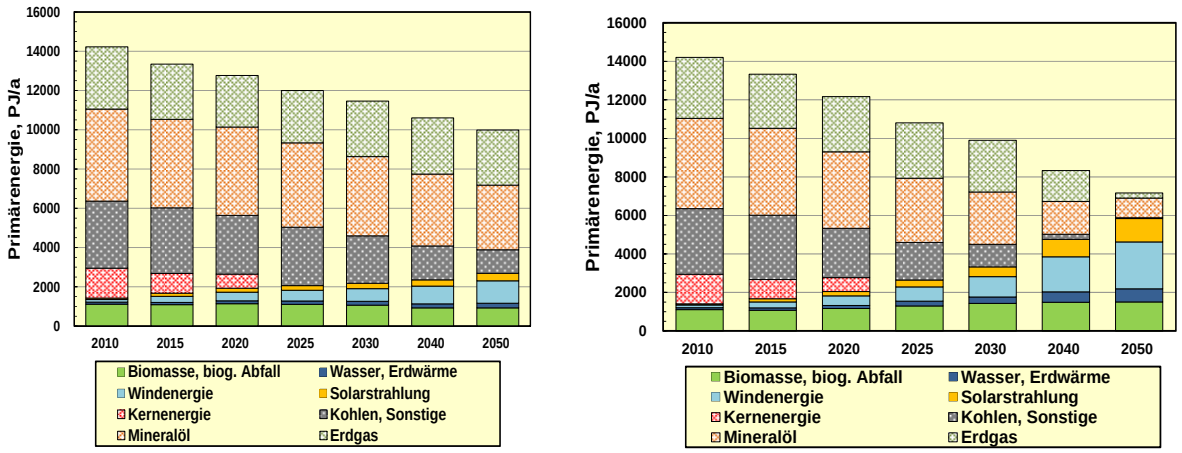


Abbildung 15: Umbaudynamik der Energieversorgung (am Beispiel der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs) unter gegenwärtigen Trendentwicklungen (Szenario SZEN-16 „TREND“ , links) und die aus Klimaschutzsicht mindestens notwendigen Entwicklungsgradienten (SZEN-16 „KLIMA 2050“, rechts). Der verbleibende fossile Beitrag enthält auch den nichtenergetischen Einsatz (in SZEN-16 „KLIMA2050“ beträgt er in 2050 rund 70%).

In einem Szenario Szen-16 „KLIMA2040“ wird zusätzlich gezeigt, wie dieser Zustand bereits bis zum Jahr 2040 herbeigeführt werden könnte. Diese Entwicklung legen die Erkenntnisse des Klimagipfels in Paris im Dezember 2015 für ein Industrieland nahe, wenn global sicher die 2°C-Grenze eingehalten werden soll. An den dazu erforderlichen hohen Umstrukturierungsgeschwindigkeiten lässt sich sehr deutlich zeigen, vor welchen enormen Herausforderungen eine Volkswirtschaft und ihre Bürger stehen, wenn sie einen ernsthaften Beitrag zum globalen Klimaschutz leisten wollen.

10. Literaturangaben

[Agora 2015]: enervis energy advisors: Der Klimaschutzbeitrag des Stromsektors bis 2040. Entwicklungspfade für die deutschen Kohlekraftwerke und deren wirtschaftliche Auswirkungen. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Berlin, November 2015

[AG Energiebilanzen 2015]: „Energieverbrauch steigt in 2015 leicht an.“ Pressemitteilung vom 21. Dezember 2015, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Berlin

[BMWi 2015]: „Die Energie der Zukunft“. Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende; Kurzfassung. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, November 2015.

[BMU 2012]: Nitsch, J., Pregger, T. ,Naegler, T., Gerhardt, N., Wenzel, B. und weitere (2012): „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global.“ DLR Stuttgart, Fraunhofer-IWES Kassel, IfnE Teltow; Studie im Auftrag des BMU, März 2012.

[E-Konzept 2011]: Energiekonzept für eine zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. BMWI und BMU, 28. Sept. 2010 ; und: Bundesregierung: „Gesetzespaket zur Energiewende“, Sommer 2011

[Grünbuch 2014]: „Ein Strommarkt für die Energiewende“ ein Diskussionspapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Grünbuch), Berlin, Oktober 2014.

[Klimaschutz 2014]: Aktionsprogramm „Klimaschutz 2020“ der Bundesregierung, Bundesministerium für Umweltschutz, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin, Dezember 2014.

[NAPE 2014]: Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz „Mehr aus Energie machen“. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, Dezember 2014

[Nitsch 2014]: J. Nitsch: „GROKO-II – Szenarien der deutschen Energieversorgung auf der Basis des EEG-Gesetzentwurfs, insbesondere Auswirkungen auf den Wärmesektor.“ Expertise im Auftrag des BEE, Stuttgart, 21. Juli 2014

[Nitsch 2015]: J. Nitsch **„**SZEN-15 Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung unter Berücksichtigung der Eckdaten des Jahres 2014.“ Kurzexpertise für den Bundesverband Erneuerbare Energien e.V. Stuttgart, 19. April 2015

[Rogelj 2016]: J. Rogelj „Moving from likely 2°C to 1,5 °C by 2100; Implications for the EU.” Vortrag 13. Jan. 2016; IIASA Laxenburg.

[UBA 2016]: „Klimagase in Deutschland 2014 deutlich gesunken.“ Pressemitteilung vom 3. Februar 2016, BMUB Berlin und UBA Dessau.

[WBGU 2008]: „Welt im Wandel - Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung.“ Hauptgutachten 2008 des Wissenschaftlichen Beirats Globale Umweltveränderungen der Bundesregierung, Berlin, Oktober 2008.

11. Anhang: Eckdaten zu den Szenarien

SZEN-16 „TREND“; SZEN-16 „KLIMA 2050“ und SZEN-16 „KLIMA 2040“

A) Übersicht

Tabelle A1: Ausgewählte Ist-Werte; Werte 2020; 2030 und 2050

IST - Werte	2008	2011	2012	2013	2014	2015	Ziel 2020
THG-Emissionen*)							
Absolut; Mio.t $CO_{2äquiv.}$/a	974	922	926	945	902	907	750
Reduktion ggü. 1990; %	**-22,1**	**-26,2**	**-25,9**	**-24,4**	**-27,8**	**-27,4**	**-40**
CO_2-Emissionen **)							
Gesamt; Mio.t CO_2/a	853	813	817	836	793	798	630
Reduktion ggü. 1990; %	**-18,8**	**-22,6**	**-22,2**	**-20,4**	**-24,5**	**-24,0**	**(-40)**
nur Stromerzeugung; Mio.t CO_2/a	330	305	325	318	317	313	
Reduktion ggü. 1990; % *)**	**-7,6**	**-14,6**	**-9,0**	**-10,9**	**-11,2**	**-12,3**	
Effizienz							
Primärenergieverbrauch; PJ/a	14380	13599	13447	13882	13158	13335	11500
Reduktion bez. auf 2008; %		**-5,4**	**-6,5**	**-3,5**	**-8,5**	**-7,3**	**-20**
Endenergieverbrauch; PJ/a	9159	8881	8919	9220	8648	8835	(7810)
Reduktion bez. auf 2008; %		**-3,0**	**-2,6**	**0,7**	**-5,6**	**-3,5**	
Bruttostromverbrauch; TWh/a	618	607	607	605	592	597	557
Reduktion bez. auf 2008; %		**-1,8**	**-1,8**	**-2,2**	**-4,2**	**-3,5**	**-10**
EE-Zubau							
EE-Endenergie; PJ/a	811	1059	1166	1230	1226	1384	1460
Anteil an Endenergie; %	**8,9**	**11,9**	**13,1**	**13,3**	**14,2**	**15,7**	**18,7****)**
EE-Strom; TWh/a	93,2	123,8	143,8	152,4	162,5	194,0	195
Anteil an Bruttoverbrauch; %	**15,1**	**20,4**	**23,7**	**25,2**	**27,4**	**32,5**	**35**
							(mind.)

*) 1990 = 1250 Mio. t $CO_{2äquiv}$ Bilanzen; 04.02.2016

**) Energie und Industrieprozesse (1990 = 1050 Mio. t CO2)

***) 1990 = 357 Mio. t CO2/a; ( ) aus Zielvorgaben abgeleitete Werte

****) 18% bezogen auf Brutto-Endenergieverbrauch lt. EU-Richtlinie 2009/28/EG

Tabelle A2 a,b,c: Zielwerte und Szenariodaten für die Jahre 2020, 2030 und 2050

			SZEN-16 Werte 2020		
	2015	Energie-konzept 2020	TREND	KLIMA 2050	KLIMA 2040
THG-Emissionen					
Gesamte THG-Emissionen	907	750	854	780	768
(1990 = 1250 Mio. t CO_2eq/a)					
Reduktion bez. auf 1990; (%)	-27,4	**-40,0**	-31,7	-37,6	-38,6
Energieverbrauch					
Primärenergieverbrauch (PJ/a)	13335	**11500**	12762	12175	12046
Bruttoendenergieverbr. (PJ/a)*)	9100	(8100)	8868	8436	8322
Bruttostromverbrauch (TWh/a)	597	**557****)**	599	606	607
Endenergie Verkehr (PJ/a)	2655	**2315**	2652	2488	2472
Raumwärme + WW (PJ/a)	2863	**2585**	2720	2570	2540
EE-Energiebeiträge					
EE-Endenergie (PJ/a)	1384	1460	1564	1669	1682
Anteil an Bruttoendverbr. (%)	15,2	**18,0**	17,6	19,8	20,2
EE-Strom (TWh/a)	194	195	238	258	262
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	32,5	**35,0**	39,7	42,6	43,2
EE-Wärme (PJ/a)***)	574		606	640	645
Anteil an Wärmeverbrauch (%)***)	13,1	**14,0**	14,6	16,5	17,0
Kraft-Wärme-Kopplung					
KWK- Strom, TWh/a	94,7	139	97	105	107
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	15,7	**25,0**	16,2	17,3	17,6

*) Bruttoendenergieverbrauch = 1,03 x Endenergieverbrauch Bilanzen; 04.02.201

**) ohne Berücksichtigung neuer Einsatzfelder für EE-Strom (Elektromobilität, neue Wärmenutzung)

***) ohne Stromeinsatz für Wärmezwecke

( ) aus Zielvorgaben abgeleitete Werte

			SZEN-16 Werte 2030		
	2015	Energie-konzept 2030	TREND	KLIMA 2050	KLIMA 2040
THG-Emissionen					
Gesamte THG-Emissionen	907	563	744	488	386
(1990 = 1250 Mio. t CO_2eq/a)					
Reduktion bez. auf 1990; (%)	-27,4	**-55,0**	-40,5	-60,9	-69,1
Energieverbrauch					
Primärenergieverbrauch (PJ/a)	13335	**10065**	11457	9905	9387
Bruttoendenergieverbr. (PJ/a)*)	9100	(7550)	8458	7163	6708
Bruttostromverbrauch (TWh/a)	597	**525****)**	603	733	808
Endenergie Verkehr (PJ/a)	2655	**1535**	2575	2062	1823
Raumwärme + WW (PJ/a)	2863		2535	2068	1968
EE-Energiebeiträge					
EE-Endenergie (PJ/a)	1384	2265	1834	2675	3010
Anteil an Bruttoendverbr. (%)	15,2	**30,0**	21,7	37,3	44,9
EE-Strom (TWh/a)	194	263**)	303	496	620
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	32,5	**50,0**	50,2	67,7	76,7
EE-Wärme (PJ/a)***)	574		602	925	1095
Anteil an Wärmeverbrauch (%)***)	13,1		15,8	30,5	37,7
Kraft-Wärme-Kopplung					
KWK- Strom, TWh/a	94,7		103	127	123
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	15,7		17,1	17,3	15,2

*) Bruttoendenergieverbrauch = 1,03 x Endenergieverbrauch Bilanzen; 04.02.201

) ohne Berücksichtigung neuer Einsatzfelder für EE-Strom (Elektromobilität, neue Wärmenutzung, längerfristig Power to Gas) *) ohne Stromeinsatz für Wärmezwecke

( ) aus Zielvorgaben abgeleitete Werte

	2015	SZEN-16 Werte 2050 Energie-konzept 2050	TREND	KLIMA 2050	KLIMA 2040
THG-Emissionen					
Gesamte THG-Emissionen	907	63	530	69	59
(1990 = 1250 Mio. t CO_2eq/a)		+++)			
Reduktion bez. auf 1990; (%)	-27,4	**-95,0**	-57,6	-94,5	-95,3
Energieverbrauch					
Primärenergieverbrauch (PJ/a)	13335	**7190**	9976	7173	7081
Bruttoendenergieverbr. (PJ/a)*)	9100	(4750)	7795	5106	5019
Bruttostromverbrauch (TWh/a)	597	**495**)**	672	1119	1107
Endenergie Verkehr (PJ/a)	2655	**2055**	2278	1282	1277
Raumwärme + WW (PJ/a)	2863		2340	1378	1344
EE-Energiebeiträge					
EE-Endenergie (PJ/a)	1384	2730	2323	4621	4591
Anteil an Bruttoendverbr. (%)	15,2	**60,0**	29,8	90,5	91,5
EE-Strom (TWh/a)	194	400**)	460	1100	1093
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	32,5	**80,0**	68,5	98,3	98,7
EE-Wärme (PJ/a)***)	574		600	1656	1685
Anteil an Wärmeverbrauch (%)***)	13,1		17,8	93,3	95,2
Kraft-Wärme-Kopplung					
KWK- Strom, TWh/a	94,7		97	121	121
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	15,7		14,4	10,8	10,9

*) Bruttoendenergieverbrauch = 1,03 x Endenergieverbrauch

Bilanzen; 04.02.2016

**) ohne Berücksichtung neuer Einsatzfelder für EE-Strom (Elektromobilität, neue Wärmenutzung, längerfristig Power to Gas)

***) ohne Stromeinsatz für Wärmezwecke

( ) aus Zielvorgaben abgeleitete Werte

+++) oberer Zielwert (unterer Zeilwert = -80% bzw. 250 Mio. t CO2eq/a)

B) Szenario SZEN-16 TREND

Tabelle B1: Eckdaten, insbesondere Beiträge der Erneuerbaren Energien

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Primärenergie, PJ/a	14217	13446	13159	13335	12762	11991	11457	10598	9976
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1413	1385	1519	1679	1920	2053	2170	2351	2687
Anteil EE an PEV, %	**9,9**	**10,3**	**11,5**	**12,6**	**15,0**	**17,1**	**18,9**	**22,2**	**26,9**
Anteil EE an PEV ohne nicht-	10,7	11,2	12,5	13,6	16,3	18,7	20,7	24,4	29,8
energetischen Verbrauch, %									
Endenergie, PJ/a	9310	8919	8648	8835	8610	8403	8212	7887	7568
Endenergie EE, PJ/a	969	1165	1245	1385	1564	1717	1834	2056	2323
Anteil EE an EEV, %	**10,4**	**13,1**	**14,4**	**15,7**	**18,2**	**20,4**	**22,3**	**26,1**	**30,7**
Anteil EE an BEEV, %; 2)	**10,2**	**12,7**	**14,0**	**15,2**	**17,6**	**19,8**	**21,7**	**25,3**	**29,8**
Strom Endenergie, PJ/a	1899	1884	1832	1854	1856	1863	1885	1942	2018
Strom Endenergie EE, PJ/a	377	517	586	699	838	951	1052	1249	1426
Anteil EE, %	**19,9**	**27,5**	**32,0**	**37,7**	**45,1**	**51,1**	**55,8**	**64,3**	**70,7**
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4896	4519	4228	4369	4148	3964	3821	3573	3380
Wärme Endenergie EE, PJ/a	469	524	542	574	606	616	602	585	600
Anteil EE, %	**9,6**	**11,6**	**12,8**	**13,1**	**14,6**	**15,5**	**15,8**	**16,4**	**17,8**
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2515	2516	2587	2612	2606	2575	2506	2372	2170
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	112	120	150	180	223	297
Anteil EE, %	**4,9**	**4,9**	**4,5**	**4,3**	**4,6**	**5,8**	**7,2**	**9,4**	**13,7**
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	597	599	599	603	627	672
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	105	144	163	194	238	272	303	374	460
Anteil EE, %	**17,0**	**23,7**	**27,5**	**32,5**	**39,8**	**45,5**	**50,2**	**59,6**	**68,4**
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,7	27,5	32,5	39,8	45,5	49,9	57,5	62,9
Primärenergie, PJ/a	14217	13446	13159	13335	12762	11991	11457	10598	9976
Erneuerbare Energien	**1413**	**1385**	**1519**	**1679**	**1920**	**2053**	**2170**	**2351**	**2687**
Mineralöl	4684	4527	4517	4511	4501	4288	4031	3663	3296
Kohlen; 7)	3416	3529	3390	3343	2993	2981	2427	1720	1191
Erdgas	3171	2920	2674	2804	2628	2668	2829	2864	2802
Fossile Energien gesamt	**11271**	**10976**	**10581**	**10657**	**10122**	**9938**	**9287**	**8247**	**7289**
- davon für energetische Zwecke	10237	10000	9600	9667	9132	8958	8317	7297	6359
Kernenergie	1533	1085	1059	998	720	0	0	0	0
CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a	**832**	**817**	**793**	**798**	**747**	**723**	**649**	**543**	**454**
Verringerung seit 1990, %; 8)	**20,8**	**22,2**	**24,5**	**24,0**	**28,8**	**31,2**	**38,2**	**48,3**	**56,8**
durch EE vermiedene CO2-	119	137	158	173	197	206	221	261	312
Emissionen, Mio. t CO2/a									
THG-Emissionen, Mio. t CO2äq/a; 9	**941**	**926**	**902**	**907**	**854**	**826**	**744**	**628**	**530**
Verringerung seit 1990, %	24,7	25,9	27,8	27,4	31,7	33,9	40,5	49,7	57,6

1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch SZEN16-TREND ; 4.2.16

2) Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) = Endenergie zuzügl. Netzverluste und Eigenverbrauch von Wärme und Strom in Kraftwerken

3) nur Brennstoffe, d.h. ohne Stromeinsatz für Wärmebereitstellung

4) Kraftstoffe für gesamten Verkehr, ohne Stromeinsatz

5) einschließlich Strom aus Pumpspeichern; einschl. Strom für EE-Wasserstoff

6) einschl. EE-Strom aus EE-Wasserstoff (ab ca. 2040)

7) einschl. sonstige fossile Brennstoffe (u.a. Kohlegase), fossil/nuklearem Stromimportsaldo und anorganische Abfälle

8) 1990 = 1050 Mio. t CO2/a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse) 9) 1990 = 1250 Mio. t CO_2eq/a

Tabelle B2: Primärenergieeinsatz von Erdgas, Kohlen und Mineralöl

Erdgaseinsatz, PJ/a	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Kond. Kraftwerke	320	134	54	99	135	162	190	222	253
Kraft-Wärme-Kopplung	709	586	567	601	678	670	662	636	610
Raumheizung, WW	1240	1130	1070	1025	1040	1015	990	960	930
Prozesswärme	700	750	700	700	720	735	750	740	730
Kraftstoffe	25	30	35	40	50	60	70	75	80
NE-Verwendung	62	69	99	98	97	96	95	94	93
Verluste	115	105	103	104	109	108	108	107	106
Primärenergieeinsatz	**3171**	**2804**	**2628**	**2668**	**2829**	**2847**	**2864**	**2833**	**2802**
Kohleeinsatz, PJ/a (Braun- und Steinkohle)	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
Kond. Kraftwerke	2427	2459	2262	2324	1856	1552	1248	1047	846
Kraft-Wärme-Kopplung	335	313	301	284	230	204	178	159	141
Prozess-, Raumwärme	460	395	320	250	210	190	170	150	130
Verluste	195	176	109	123	130	127	124	99	74
Primärenergieeinsatz	**3416**	**3343**	**2993**	**2981**	**2427**	**2073**	**1720**	**1455**	**1191**
Mineralöleinsatz, PJ/a	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
Kraftwerke	48	26	21	10	0	0	0	0	0
Raum-, Prozesswärme	1233	905	878	820	707	649	591	576	562
Kraftstoffe	2368	2471	2451	2385	2276	2178	2079	1936	1793
NE-Verwendung	879	891	891	882	873	864	855	846	837
Verluste	156	218	260	190	174	156	138	121	104
Primärenergieiensatz	**4684**	**4511**	**4501**	**4288**	**4031**	**3847**	**3663**	**3479**	**3296**

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Tabelle B3: Struktur des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern und Verbrauchsektoren

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Primärenergie, (PJ/a)	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Kernenergie	1851	1779	1533	998	720	0	0	0	0
Kohlen, Sonstige	3649	3594	3416	3343	2993	2981	2427	1720	1191
Mineralöl	5499	5166	4684	4511	4501	4288	4031	3663	3296
Erdgas	2985	3250	3171	2804	2628	2668	2829	2864	2802
Biomasse, biog. Abfall	294	575	1114	1082	1136	1103	1062	915	918
Wasser, Erdwärme	84	81	101	118	144	173	189	214	235
Windenergie	34	98	136	313	442	538	647	901	1147
Solarstrahlung	5	16	62	166	198	239	272	321	387
Gesamt	**14401**	**14558**	**14217**	**13335**	**12762**	**11991**	**11457**	**10598**	**9976**
Energieverwendung (PJ/a)	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Private Haushalte	2584	2591	2676	2289	2208	2155	2100	2020	1975
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	1478	1437	1483	1340	1260	1195	1157	1090	1050
Industrie	2421	2514	2592	2550	2490	2422	2380	2317	2265
Verkehr	2751	2585	2559	2656	2652	2631	2575	2460	2278
NE-Verbrauch	1068	1114	1034	990	990	980	970	950	930
Umwandl. Strom	3319	3527	3106	2680	2263	1763	1446	1014	769
Umwandl. Übrige	780	790	767	829	899	845	829	748	709
Gesamt	**14401**	**14558**	**14217**	**13335**	**12762**	**11991**	**11457**	**10598**	**9976**
davon Endenergie	9234	9127	9310	8835	8610	8403	8212	7887	7568

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Tabelle B4: Eckdaten der Stromversorgung; Erzeugung und Leistung, CO_2-Emissionen

Stromerzeugung, TWh/a	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Kernenergie	141	100	97	92	67	0	0	0	0
Steinkohle, Müll, Pumpsp.	144	141	142	140	135	144	123	98	83
Braunkohle	146	161	156	155	145	150	115	68	35
Erdgas, Öl, übr. Gase	98	85	70	66	57	66	79	88	95
Windenergie	38	51	57	86	122	150	179	244	300
Fotovoltaik	12	26	36	39	45	56	64	70	74
Biomasse, Wasser, Erdwärme	55	67	69	70	71	66	58	46	46
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Saldo EE-Stromimport	0	0	0	0	0	0	2	13	37
Bruttostromerzeugung*)	**633**	**630**	**628**	**647**	**642**	**631**	**619**	**627**	**672**
Bruttostromverbrauch*)	615	607	592	597	599	599	603	627	672
Endenergie Strom	527	523	509	515	516	518	524	540	561
Installierte Leistung, GW	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Kernenergie	21,5	12,7	12,1	10,8	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, Sonstige Brst.	35,3	36,4	36,0	35,5	34,7	34,5	32,3	28,9	25,5
Braunkohle	22,7	24,2	24,0	23,9	22,8	22,8	19,5	12,4	6,6
Erdgas, Öl,	29,7	30,6	28,0	27,0	22,3	25,8	29,8	35,5	37,3
Windenergie	27,2	31,3	39,2	44,6	60,1	68,5	77,3	96,6	113,1
Fotovoltaik	17,6	32,6	37,9	39,6	48,0	58,6	66,1	71,4	75,4
Biomasse, Wasser, Erdwärme	11,0	12,2	13,3	13,4	12,9	11,8	10,7	9,6	10,3
EE-Wasserstoff						0,0	0,0	0,2	0,8
Pumpspeicher, andere Sp.	6,5	6,5	6,0	6,0	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
EE-Importsaldo**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	2,4	6,3
Gesamte Bruttoleistung	**171**	**187**	**197**	**201**	**217**	**230**	**244**	**264**	**283**
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	69	86	94	100	119	136	152	170	189
Gesicherte Leistung, brutto	103	101	103	101	98	93	92	94	93
Bruttohöchstlast	84	84	82	81	80	76	75	74	76
Als Reserve verbleibend	19	17	21	20	18	17	17	20	17
CO2-Emissionen (Mio. t/a)	**315**	**325**	**317**	**313**	**286**	**297**	**249**	**185**	**140**
A) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,812	0,839	0,860	0,865	0,851	0,826	0,787	0,730	0,657
B) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,497	0,515	0,504	0,483	0,446	0,470	0,403	0,296	0,208

*) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe

**)Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

***) insbesondere Wind (90-95%), PV(~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung

A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Tabelle B5: Eckdaten und Struktur der Wärmeversorgung

Struktur der Wärmeversorgung, (PJ/a)							SZEN-16 TREND			
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Solarkollektoren	16	20	24	26	27	33	37	39	47	53
Umweltwärme, Geothermie	17	25	31	38	42	64	88	102	123	133
Biomasse	360	424	469	478	505	509	491	461	413	404
Wasserstoff (KWK)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10
Fern- +Nahwärme, fos.	447	447	447	400	392	369	365	365	336	299
Industr. KWK, fossil	246	267	241	231	223	205	188	177	151	130
Gase; direkt	1950	2020	1970	1920	1880	1770	1725	1760	1740	1660
Kohlen; direkt	450	460	432	425	395	320	250	210	170	130
Heizöl; direkt	1272	1233	905	709	905	878	820	707	591	562
Stromwärme*)	515	531	498	473	480	482	490	516	576	625
Gesamte Wärme	**5273**	**5427**	**5017**	**4701**	**4849**	**4630**	**4454**	**4337**	**4149**	**4005**
2008 = 100	**100**	102,9	95,1	89,1	92,0	87,8	84,5	82,2	78,7	75,9
- davon aus EE-Quellen										
(einschl. Stromanteil)	469	558	639	666	720	787	830	857	932	1032
Anteil EE (%)	8,9	10,3	12,7	14,2	14,8	17,0	18,6	19,8	22,5	25,8
Gesamte Wärme ohne Stromwärme	**4759**	**4896**	**4519**	**4228**	**4369**	**4148**	**3964**	**3821**	**3573**	**3380**
- davon EE	393	469	524	542	574	606	616	602	585	600
Anteil EE (%)	8,3	9,6	11,6	12,8	13,1	14,6	15,5	15,8	16,4	17,8
KWK-Wärme (fossil, Biomasse, Geoth.)	698	732	710	675	671	649	627	595	542	491
Anteil an ges. Wärme, (%)	13,2	13,5	14,1	14,4	13,8	14,0	14,1	13,7	13,1	12,3

*) Summe aller Einsatzarten von Strom zur Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebereitstellung

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Anteil Biomasse (%)	6,8	7,8	9,3	10,2	10,4	11,0	11,0	10,6	10,0	10,1
Anteil Kollektorwärme (%)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3
Anteil Umweltw., Geothermi	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,4	2,0	2,4	3,0	3,3
Anteil fossil (%)	82,8	81,6	79,6	78,4	78,3	76,5	75,2	74,2	72,0	69,4
Anteil Strom (%)	9,8	9,8	9,9	10,1	9,9	10,4	11,0	11,9	13,9	15,6

Tabelle B6: Stromverwendung im Wärmesektor

	Strom für Wärmezwecke (TWh/a)						SZEN-16 TREND			
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
"konvent." Raumheizung	30,9	29,3	19,0	13,9	13,9	13	13	14	16	20
"Neue" Raumheizung	2,1	2,9	3,7	4,4	4,8	7	10	13	19	23
"konvent." Prozesswärme	88,7	88,6	90,0	88,0	90,2	89	88	87	86	85
"neue" Prozesswärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	3	9	19	27
Warmwasser	21,3	26,8	25,6	25,0	24,4	23	22	21	20	18
Ges. Stromwärme	**143,0**	**147,6**	**138,3**	**131,3**	**133,3**	**134**	**136**	**143**	**160**	**174**
"konventionelle " Wärme	140,9	144,7	134,6	126,9	128,5	125	123	122	122	123
"neue" Wärme	2,1	2,9	3,7	4,4	4,8	8	13	21	38	50
Anteil an ges. Stromverbr. (%)	27,3	28,0	26,4	25,8	25,9	25,9	26,3	27,4	29,7	31,0
davon aus EE-Quellen (TWh/a)	21,0	24,7	31,8	34,4	40,4	50	59	71	96	120
davon aus EE-Quellen (PJ/a)	76	89	115	124	145	181	214	255	347	432

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Tabelle B7: Energieeinsatz im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsmitteln

Energieeinsatz im Verkehr; PJ/a								SZEN-16 TREND		
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Benzin	846	778	741	741	705	703	692	652	576	545
Diesel	1163	1217	1253	1308	1349	1331	1296	1238	1135	907
Kerosin	369	372	373	392	416	417	398	387	368	342
Biokraftstoffe	128	122	124	117	112	120	150	180	200	220
Erdgas	20	25	25	30	30	35	40	50	70	80
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	0	0	0	23	77
Elektrizität	46	44	44	42	44	46	55	69	88	108
Endenergie gesamt	**2571**	**2559**	**2560**	**2630**	**2656**	**2652**	**2631**	**2575**	**2460**	**2278**
Personenverkehr	1845	1846	1839	1861	1836	1784	1733	1660	1544	1404
Güterverkehr	726	713	721	769	820	868	898	916	916	874
PKW	1436	1437	1433	1440	1397	1352	1294	1222	1119	995
LKW	648	633	641	686	731	772	794	810	802	752
Busse	43	45	44	44	44	45	45	43	41	39
Bahn	62	62	58	56	56	54	54	53	53	53
Schiff	12	11	11	11	11	11	11	11	12	12
Flugzeug	369	372	373	392	416	417	432	435	433	428

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Tabelle B8: Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im Personen- und Güterverkehr

	Energieverbrauch und CO2-Emissionen im Verkehr							SZEN-16 TREND		
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Personenverkehr										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	1714	1715	1707	1736	1706	1642	1558	1442	1297	1104
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	107	108	108	102	106	115	141	172	183	219
- CO2 (Mio. t/a)	119	121	120	122	121	117	109	101	90	76
- Strom (PJ/a)	25	23	24	23	24	26	34	46	64	82
CO2 (Mio. t /a)	5	4	4	4	4	4	5	6	6	6
Endenergie (PJ/a)	**1845**	**1846**	**1839**	**1861**	**1836**	**1784**	**1733**	**1660**	**1544**	**1404**
CO2 (Mio. t /a))	**124**	**125**	**124**	**126**	**125**	**121**	**115**	**107**	**96**	**82**
Güterverkehr										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	684	678	685	735	795	844	868	884	852	770
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	21	15	16	15	6	5	9	8	39	78
- CO2 (Mio. t/a)	50	49	49	53	57	60	61	61	59	54
- Strom (PJ/a)	21	21	20	19	19	20	21	23	25	26
CO2 (Mio. t /a)**)	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2
Endenergie (PJ/a)	**726**	**713**	**721**	**769**	**820**	**868**	**898**	**916**	**916**	**874**
CO2 (Mio. t /a))	**54**	**52**	**53**	**56**	**60**	**63**	**64**	**64**	**62**	**55**
Verkehr gesamt										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	2398	2393	2392	2470	2501	2486	2425	2326	2149	1873
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	128	122	124	117	112	120	150	180	223	297
- Strom (PJ/a)	46	44	44	42	44	46	55	69	88	108
Endenergie (PJ/a)	**2571**	**2559**	**2560**	**2630**	**2656**	**2652**	**2631**	**2575**	**2460**	**2278**
CO2 (Mio. t /a))	**178**	**177**	**177**	**182**	**185**	**183**	**179**	**171**	**158**	**137**
EE-Endenergie (einschl. Stromanteil)	**135**	**130**	**134**	**129**	**126**	**140**	**181**	**226**	**292**	**389**
Anteil EE , % (einschl. Strom)	**5,2**	**5,1**	**5,2**	**4,9**	**4,8**	**5,3**	**6,9**	**8,8**	**11,9**	**17,1**

**) nur Emissionen von Kraftstoffen

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2040

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Tabelle B9: Endenergie, CO2-Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten

Tabelle 5f:	Endenergie, CO2-Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten							SZEN-16 TREND		
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Industrie										
- Wärme (PJ/a)*)	1736	1741	1747	1651	1683	1623	1557	1514	1439	1367
- CO2 (Mio. t/a)	126	121	122	115	116	109	97	90	80	72
- Strom (PJ/a)	851	851	841	857	867	867	865	866	878	898
- CO2 (Mio. t/a)	149	141	145	148	146	134	138	115	84	62
Endenergie (PJ/a)	**2587**	**2592**	**2587**	**2508**	**2550**	**2490**	**2422**	**2380**	**2317**	**2265**
CO2 (Mio. t /a)	**274**	**262**	**267**	**263**	**262**	**242**	**235**	**205**	**164**	**134**
GHD										
- Wärme (PJ/a)	955	989	842	823	861	785	720	682	600	542
- CO2 (Mio. t/a)	69	69	59	57	59	52	45	41	34	28
- Strom (PJ/a)	488	494	503	475	479	475	475	475	490	508
CO2 (Mio. t /a)	85	82	87	82	81	73	76	63	47	35
Endenergie (PJ/a)	**1443**	**1483**	**1345**	**1298**	**1340**	**1260**	**1195**	**1157**	**1090**	**1050**
CO2 (Mio. t /a)	**154**	**151**	**145**	**139**	**140**	**126**	**121**	**104**	**80**	**64**
Haushalte										
- Wärme (PJ/a)	2056	2166	1930	1754	1825	1740	1687	1625	1534	1471
- CO2 (Mio. t/a)	149	150	135	122	126	116	105	97	86	77
- Strom (PJ/a)	502	510	497	458	464	468	468	475	486	504
CO2 (Mio. t /a)	88	85	86	79	78	72	74	63	46	35
Endenergie (PJ/a)	**2558**	**2676**	**2427**	**2212**	**2289**	**2208**	**2155**	**2100**	**2020**	**1975**
CO2 (Mio. t /a)	**237**	**235**	**220**	**201**	**204**	**189**	**180**	**160**	**132**	**112**
Verkehr										
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2515	2515	2587	2612	2606	2575	2506	2372	2170
- CO2 (Mio. t/a)	178	177	177	182	185	183	179	171	158	137
- Strom (PJ/a)	46	44	44	42	44	46	55	69	88	108
CO2 (Mio. t /a)	8	7	8	7	7	7	9	9	8	7
Endenergie (PJ/a)	**2559**	**2559**	**2559**	**2630**	**2656**	**2652**	**2631**	**2575**	**2460**	**2278**
CO2 (Mio. t /a)	**186**	**184**	**184**	**190**	**192**	**190**	**188**	**180**	**166**	**145**
Alle Sektoren (wie Tab. 5c)										
- Wärme (PJ/a)	4759	4896	4519	4228	4369	4148	3964	3821	3573	3380
CO2 (Mio. t/a)	**344**	**340**	**316**	**294**	**301**	**277**	**247**	**228**	**200**	**177**
- Strom (PJ/a)	1887	1899	1884	1832	1854	1856	1863	1885	1942	2018
CO2 (Mio. t/a)	**330**	**315**	**325**	**317**	**313**	**286**	**297**	**249**	**185**	**140**
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2515	2515	2587	2612	2606	2575	2506	2372	2170
CO2 (Mio. t/a)	**178**	**177**	**177**	**182**	**185**	**183**	**179**	**171**	**158**	**137**
Endenergie (PJ/a)	9159	9310	8918	8648	8835	8610	8403	8212	7887	7568
Gesamtes CO2 (Mio. t/a)	**853**	**832**	**817**	**793**	**798**	**747**	**723**	**649**	**543**	**454**

*) nur Brennstoffe; einschl. Mineralöl in Spalte "stationäre Kraft"

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Tabelle B 10 a, b: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (oben) und installierte Leistungen (unten)

EE-Stromerzeugung, TWh/a										SZEN 2016-TREND		
	2000	2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	21,7	19,7	20,9	19,6	19,5	20,4	20,5	20,9	21,1	21,3	21,4	21,5
Wind Land	9,5	27,2	37,6	56,0	76,9	95,2	106,7	117,1	132,8	153,4	176,1	192,3
Wind Offshore	0,0	0,0	0,2	1,5	9,1	26,3	42,8	61,5	79,7	90,2	100,1	107,6
Fotovoltaik	0,1	1,3	11,7	36,1	38,5	45,1	56,1	63,6	66,8	69,5	72,5	74,1
Bio-, Klär-, Dep.gas; flüss. Bio.	2,0	3,8	18,8	31,5	32,3	32,5	28,1	21,3	16,4	11,5	10,6	10,6
Feste Biomasse, biog. Abfall	2,8	10,4	15,5	18,0	17,7	18,1	17,0	15,0	13,2	11,7	11,1	10,8
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3	1,7	2,3
Gesamt in D	**36,0**	**62,5**	**104,8**	**162,6**	**194,1**	**237,9**	**271,7**	**300,1**	**331,0**	**358,9**	**393,6**	**419,3**
Saldo Europ. Verbund*)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	6,1	13,3	23,8	37,1
Gesamt	**36,0**	**62,5**	**104,8**	**162,6**	**194,1**	**237,9**	**271,7**	**302,1**	**337,0**	**372,2**	**417,4**	**456,5**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

ARES-16-TREND; 04.02.2016

Installierte EE-Leistung; GWel										SZEN 2016-TREND		
	2000	2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	4,8	5,2	5,4	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7	5,8	5,8	5,8	5,9
Wind Onshore	6,1	18,4	27,0	38,2	41,4	53,6	58,0	62,3	68,4	74,8	81,9	87,4
Wind Offshore (am Netz)	0,0	0,0	0,1	1,0	3,3	6,5	10,5	15,0	19,3	21,7	24,0	25,6
Fotovoltaik	0,1	2,1	17,9	38,2	39,6	48,0	58,5	66,1	69,2	71,4	74,0	75,4
feste Biomasse, biog. Abfall	0,9	2,4	3,4	4,0	4,0	4,1	3,9	3,5	3,2	3,0	2,9	2,8
gasförm., flüss. Biomasse	0,4	1,1	3,2	4,9	5,0	5,1	4,5	3,5	2,7	1,9	1,7	1,7
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
Gesamt in D	**12,3**	**29,1**	**57,1**	**91,9**	**98,9**	**123,0**	**141,3**	**156,3**	**168,8**	**178,9**	**190,6**	**199,3**
Saldo Europ. Verbund*)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	1,1	2,4	4,1	6,3
Gesamt für D	**12,3**	**29,1**	**57,1**	**91,9**	**98,9**	**123,0**	**141,5**	**156,7**	**169,9**	**181,3**	**194,8**	**205,5**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

Tabelle B11: Wärmebereitstellung mittels erneuerbaren Energien

EE-Wärmebereitstellung (ohne direkte Stromwärme)										SZEN 2016-TREND		
TWh/a	**2000**	**2005**	**2010**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
A) aus EEG-Anlagen (KWK)	**2,5**	**6,8**	**23,0**	**31,7**	**32,4**	**32,9**	**28,1**	**20,1**	**13,5**	**7,2**	**5,5**	**5,0**
Biomasse fest	1,2	3,7	10,0	12,2	12,3	12,5	11,0	8,2	5,7	3,5	2,7	2,2
Biogas, Deponie-, Klärgas, Flüssige Biomasse	1,4	3,0	13,0	19,5	20,1	20,4	17,1	11,9	7,8	3,7	2,8	2,8
B) weitere Biomassen	**52,4**	**76,5**	**94,7**	**101,0**	**107,9**	**108,6**	**108,3**	**108,0**	**107,7**	**107,5**	**107,4**	**107,3**
Heizwerke, feste Biomasse	3,0	12,0	16,1	17,3	17,5	17,6	17,4	17,2	17,0	16,9	16,9	16,9
Einzelheizungen, fest	45,9	57,3	71,3	72,3	78,9	79,0	78,9	78,8	78,6	78,5	78,5	78,5
Biogener Abfall (KWK)	3,5	7,2	7,3	11,4	11,5	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Biowärme gesamt	**55,0**	**83,3**	**117,7**	**132,7**	**140,2**	**141,5**	**136,5**	**128,1**	**121,2**	**114,7**	**112,8**	**112,3**
davon KWK-Wärme	6,1	14,0	30,3	43,1	43,9	44,9	40,1	32,1	25,5	19,2	17,5	17,0
feste Biomasse, gesamt	50,1	73,1	97,5	101,8	108,7	109,1	107,4	104,2	101,4	99,0	98,0	97,5
Solarkollektoren	**1,3**	**3,0**	**5,6**	**7,3**	**7,6**	**9,1**	**10,4**	**11,0**	**12,0**	**13,0**	**13,9**	**14,8**
Einzelanlagen	1,3	3,0	5,6	7,2	7,6	9,1	10,2	10,6	11,5	12,2	12,8	13,5
Nahwärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3
Umweltwärme/Geothermie	**1,8**	**2,8**	**6,9**	**10,6**	**11,7**	**17,5**	**24,6**	**28,4**	**31,6**	**33,9**	**35,5**	**36,7**
Hydrothermal, tiefe Geotherm.	0,1	0,5	0,7	1,1	1,2	2,0	3,3	4,5	5,7	6,9	7,8	8,5
Wärmepumpen	1,7	2,3	6,2	9,5	10,5	15,5	21,3	23,9	25,9	27,0	27,7	28,2
KWK aus EE-Wasserstoff	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,3**	**0,6**	**1,7**	**2,8**
EE-Wärme gesamt	**58,1**	**89,1**	**130,2**	**150,6**	**159,6**	**168,1**	**171,4**	**167,5**	**165,1**	**162,2**	**163,8**	**166,6**
Nahwärme (mit/ohne KWK)	9,2	26,5	47,1	61,5	62,6	64,5	61,1	54,1	49,1	44,4	44,9	46,4
Einzelanlagen	48,9	62,6	83,1	89,0	97,0	103,6	110,4	113,3	116,1	117,7	119,0	120,2
										ARES-16-TREND; 04.02.2016		

Tabelle B12: Jährliche Brutto-Installation der Anlagen zur EE-Stromerzeugung

Tab. 16a:	Jährliche Brutto-Leistungsinstallation; MW/a					SZEN 2016-TREND		
			S T R O M (MWel/a)					Strom
	Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	tromimport E	Biomasse (ohn. biog. Abfä	gesamt MWel/a
2000	0	**1662**	0	**44**	**0**	**0**	**109**	**1815**
2001	19	2641	0	120	0	0	128	2908
2002	126	3238	0	150	0	0	203	3717
2003	35	2617	0	180	0	0	358	3190
2004	252	2019	0	512	0	0	312	3095
2005	**44**	**1763**	**0**	**980**	**0**	**0**	**616**	**3403**
2006	2	2193	0	1020	0	0	695	3910
2007	0	1615	0	1271	3	0	486	3376
2008	9	1632	5	1813	0	0	475	3934
2009	196	1817	15	4446	4	0	591	7069
2010	**86**	**1380**	**60**	**7338**	**0**	**0**	**524**	**9388**
2011	237	1870	120	7485	0	0	685	10397
2012	2	2204	100	7604	4	0	476	10390
2013	2	2836	250	3304	19	0	299	6710
2014	9	4588	463	1899	5	0	451	7415
2015	**40**	**3500**	**2256**	**1394**	**6**	**0**	**91**	**7286**
2016	32	3300	583	1200	3	0	42	5160
2017	33	3000	1000	1500	9	0	43	5585
2018	34	2600	600	1700	7	0	43	4984
2019	35	2700	600	1900	8	0	46	5289
2020	**35**	**2800**	**448**	**2100**	8	**0**	**56**	**5447**
2025	32	3100	800	2180	8	0	71	6173
2030	**29**	**3400**	**975**	**2300**	10	**75**	**110**	**6899**
2035	30	3800	1050	2600	14	150	137	7781
2040	**31**	**4300**	**1150**	**3600**	**18**	**250**	**155**	**9504**
2045	35	4300	1200	3700	22	350	94	9701
2050	**39**	**4400**	**1200**	**3800**	**28**	**500**	**85**	**10052**
2055	37	4400	1200	3800	35	700	110	10282
2060	**35**	**4400**	**1200**	**3600**	**45**	**800**	**132**	**10212**

Tabelle B13: Jährliche Netto-Installation der Anlagen zur EE-Stromerzeugung

Tab. 16b:	Jährlicher Leistungszuwachs (netto); MW/a					SZEN 2016-TREND		
			S T R O M (MWel/a)					Strom
	Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	tromimport E	Biomasse (ohn. biog. Abfä	gesamt MWel/a
2000	0	**1662**	**0**	**44**	**0**	**0**	**109**	**1815**
2001	0	2641	0	120	0	0	128	2888
2002	107	3238	0	150	0	0	203	3698
2003	16	2617	0	180	0	0	358	3171
2004	233	2019	0	512	0	0	312	3076
2005	**25**	**1763**	**0**	**980**	**0**	**0**	**616**	**3383**
2006	-17	2193	0	1020	0	0	695	3891
2007	-19	1615	0	1271	3	0	486	3356
2008	-10	1632	5	1813	0	0	475	3915
2009	177	1817	15	4446	4	0	591	7050
2010	**67**	**1380**	**60**	**7338**	**0**	**0**	**524**	**9368**
2011	218	1845	120	7485	0	0	685	10353
2012	-17	2139	100	7604	4	0	476	10306
2013	-17	2766	250	3304	19	0	299	6621
2014	-10	4393	463	1899	5	0	451	7201
2015	**21**	**3200**	**2256**	**1394**	**6**	**0**	**91**	**6966**
2016	13	3000	583	1199	3	0	42	4840
2017	14	2650	1000	1496	9	0	43	5211
2018	15	2251	600	1697	7	0	43	4613
2019	16	2295	600	1897	8	0	25	4841
2020	**16**	**2012**	**448**	**2094**	**8**	**0**	**28**	**4606**
2025	12	889	800	2107	8	**38**	-158	3695
2030	**8**	**860**	**900**	**1507**	**9**	**38**	**-273**	**3047**
2035	5	1224	863	614	7	150	-212	2652
2040	**4**	**1280**	**482**	**457**	**11**	**250**	**-204**	**2280**
2045	6	1420	450	512	14	350	-51	2702
2050	**7**	**1100**	**330**	**280**	**18**	**425**	**-7**	**2153**

C) Szenario SZEN-16 KLIMA 2050

Tabelle C1: Eckdaten, insbesondere Beiträge der Erneuerbaren Energien

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Primärenergie, PJ/a	14217	13447	13159	13336	12175	10816	9905	8335	7173
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1413	1385	1519	1679	2056	2651	3337	4769	5838
Anteil EE an PEV, %	**9,9**	**10,3**	**11,5**	**12,6**	**16,9**	**24,5**	**33,7**	**57,2**	**81,4**
Anteil EE an PEV ohne nicht-	10,7	11,2	12,5	13,6	18,4	27,0	37,4	64,8	93,8
energetischen Verbrauch, %									
Endenergie, PJ/a	9310	8920	8648	8835	8190	7562	6954	5873	4957
Endenergie EE, PJ/a	969	1165	1245	1385	1669	2152	2675	3836	4621
Anteil EE an EEV, %	**10,4**	**13,1**	**14,4**	**15,7**	**20,4**	**28,5**	**38,5**	**65,3**	**93,2**
Anteil EE an BEEV, %; 2)	**10,2**	**12,7**	**14,0**	**15,2**	**19,8**	**27,6**	**37,3**	**63,4**	**90,5**
Strom Endenergie, PJ/a	1899	1884	1832	1854	1870	1910	1964	2036	2134
Strom Endenergie EE, PJ/a	377	517	586	699	896	1134	1329	1781	2125
Anteil EE, %	**19,9**	**27,5**	**32,0**	**37,7**	**47,9**	**59,4**	**67,7**	**87,5**	**99,6**
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4896	4519	4228	4369	3878	3406	3037	2325	1775
Wärme Endenergie EE, PJ/a	469	524	542	574	640	769	925	1346	1656
Anteil EE, %	**9,6**	**11,6**	**12,8**	**13,1**	**16,5**	**22,6**	**30,5**	**57,9**	**93,3**
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2515	2518	2587	2612	2441	2246	1953	1512	1047
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	112	134	249	421	709	839
Anteil EE, %	**4,9**	**4,9**	**4,5**	**4,3**	**5,5**	**11,1**	**21,5**	**46,9**	**80,1**
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	597	606	649	733	942	1119
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	105	144	163	194	258	365	496	824	1100
Anteil EE, %	**17,0**	**23,7**	**27,5**	**32,5**	**42,6**	**56,2**	**67,7**	**87,5**	**98,3**
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,7	27,5	32,5	42,6	55,7	65,3	77,8	83,5
Primärenergie, PJ/a	14217	13447	13159	13336	12175	10816	9905	8335	7173
Erneuerbare Energien	**1413**	**1385**	**1519**	**1679**	**2056**	**2651**	**3337**	**4769**	**5838**
Mineralöl	4684	4528	4517	4512	3981	3337	2716	1711	1018
Kohlen; 7)	3416	3529	3390	3343	2556	1955	1169	256	48
Erdgas	3171	2920	2674	2804	2863	2872	2683	1599	269
Fossile Energien gesamt	**11271**	**10977**	**10581**	**10658**	**9399**	**8165**	**6568**	**3566**	**1335**
- davon für energetische Zwecke	10237	10001	9600	9668	8409	7185	5598	2616	405
Kernenergie	1533	1085	1059	998	720	0	0	0	0
CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a	**832**	**817**	**793**	**798**	**677**	**551**	**407**	**174**	**28**
Verringerung seit 1990, %; 8)	**20,8**	**22,2**	**24,5**	**24,0**	**35,5**	**47,5**	**61,3**	**83,4**	**97,4**
durch EE vermiedene CO2-	119	137	158	173	213	276	348	488	546
Emissionen, Mio. t CO2/a									
THG-Emissionen, Mio. t CO2äq/a; 9	**941**	**926**	**902**	**907**	**780**	**643**	**488**	**234**	**69**
Verringerung seit 1990, %	24,7	25,9	27,8	27,4	37,6	48,5	61,0	81,3	94,5

1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

2) Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) = Endenergie zuzügl. Netzverluste und Eigenverbrauch von Wärme und Strom in Kraftwerken

3) nur Brennstoffe, d.h. ohne Stromeinsatz für Wärmebereitstellung

4) Kraftstoffe für gesamten Verkehr, ohne Stromeinsatz

5) einschließlich Strom aus Pumpspeichern; einschl. Strom für EE-Wasserstoff

6) einschl. EE-Strom aus EE-Wasserstoff (ab ca. 2025)

7) einschl. sonstige fossile Brennstoffe (u.a. Kohlegase), fossil/nuklearem Stromimportsaldo und anorganische Abfälle

8) 1990 = 1050 Mio. t CO2/a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse) 9) 1990 = 1250 Mio. t CO_2eq/a

Tabelle C2: : Primärenergieeinsatz von Erdgas, Kohlen und Mineralöl

Erdgaseinsatz, PJ/a	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Kond. Kraftwerke	320	134	201	341	449	403	357	199	40
Kraft-Wärme-Kopplung	709	586	631	672	644	503	361	181	1
Raumheizung, WW	1240	1130	1050	900	680	418	155	78	0
Prozesswärme	700	750	730	700	650	575	500	268	35
Kraftstoffe	25	30	40	45	50	53	55	60	65
NE-Verwendung	62	69	99	98	97	96	95	94	93
Verluste	115	105	112	116	113	95	76	56	35
Primärenergieeinsatz	**3171**	**2804**	**2863**	**2872**	**2683**	**2141**	**1599**	**934**	**269**
Kohleeinsatz, PJ/a	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
(Braun- und Steinkohle)									
Kond. Kraftwerke	2427	2459	1941	1491	897	545	193	97	0
KWK (einschl. Müll-HKW)	335	313	289	215	144	96	49	48	46
Prozess-, Raumwärme	460	395	250	140	50	25	0	0	0
Verluste	195	176	76	110	78	46	14	8	1
Primärenergieeinsatz	**3416**	**3343**	**2556**	**1955**	**1169**	**712**	**256**	**152**	**48**
Mineralöleinsatz, PJ/a	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
Kraftwerke	48	26	21	10	0	0	0	0	0
Raum-, Prozesswärme	1233	905	605	337	234	135	36	18	1
Kraftstoffe	2368	2471	2267	1952	1483	1115	748	446	143
NE-Verwendung	879	891	891	882	873	864	855	846	837
Verluste	156	219	196	155	126	99	72	55	37
Primärenergieeinsatz	**4684**	**4512**	**3981**	**3337**	**2716**	**2213**	**1711**	**1364**	**1018**

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Tabelle C3: Struktur des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern und Verbrauchsektoren

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Primärenergie, (PJ/a)	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Kernenergie	1851	1779	1533	998	720	0	0	0	0
Kohlen, Sonstige	3649	3594	3416	3343	2556	1955	1169	256	48
Mineralöl	5499	5166	4684	4512	3981	3337	2716	1711	1018
Erdgas	2985	3250	3171	2804	2863	2872	2683	1599	269
Biomasse, biog. Abfall	294	**575**	1114	1083	1172	1307	1439	1499	1515
Wasser, Erdwärme	84	81	101	117	159	248	336	535	674
Windenergie	34	98	136	313	494	737	1048	1823	2446
Solarstrahlung	5	16	62	166	231	359	514	912	1203
Gesamt	**14401**	**14558**	**14217**	**13336**	**12175**	**10816**	**9905**	**8335**	**7173**
	2000	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Private Haushalte	2584	2591	2676	2289	2106	1948	1829	1525	1297
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	1478	1437	1483	1340	1205	1044	950	831	730
Industrie	2421	2514	2592	2550	2390	2255	2113	1843	1648
Verkehr	2751	2585	2559	2656	2488	2315	2062	1674	1282
NE-Verbrauch	1068	1114	1034	990	990	980	970	950	930
Umwandl. Strom	3319	3527	3106	2680	2157	1405	1044	504	165
Umwandl. Übrige	780	790	767	830	839	869	938	1008	1120
Gesamt	**14401**	**14558**	**14217**	**13336**	**12175**	**10816**	**9905**	**8335**	**7173**
davon Endenergie	9234	9127	9310	8835	8190	7562	6954	5873	4957

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Tabelle C 4: Eckdaten der Stromversorgung; Erzeugung und Leistung, CO_2-Emissionen

Stromerzeugung, TWh/a	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Kernenergie	141	100	97	92	67	0	0	0	0
Steinkohle, Müll, Pumpsp.	144	141	142	140	119	100	73	37	15
Braunkohle	146	161	156	155	125	95	50	0	0
Erdgas, Öl, übr. Gase	98	85	70	66	80	103	117	82	5
Windenergie	38	51	57	86	133	202	281	457	594
Fotovoltaik	12	26	36	39	52	79	105	147	175
Biomasse, Wasser, Erdwärme	55	67	69	70	73	79	85	96	105
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	1	7	31	60
Saldo EE-Stromimport	0	0	0	0	0	3	17	92	166
Bruttostromerzeugung*)	**633**	**630**	**628**	**647**	**648**	**662**	**736**	**942**	**1119**
Bruttostromverbrauch*)	615	607	592	597	606	649	733	942	1119
Endenergie Strom	527	523	509	515	520	531	546	566	593
Installierte Leistung, GW	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Kernenergie	21,5	12,7	12,1	10,8	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, sonst.	35,3	36,4	36,0	35,5	31,1	26,4	21,2	9,8	2,7
Braunkohle	22,7	24,2	24,0	23,9	19,4	15,5	9,6	0,0	0,0
Erdgas, Öl,	29,7	30,6	28,0	27,0	30,1	36,3	39,2	28,9	2,6
Windenergie	27,1	31,3	39,2	44,6	67,2	92,1	119,0	176,3	206,3
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,2	39,6	55,3	82,9	109,0	151,3	178,0
Biomasse, Wasser, Geoth.	11,0	12,2	13,3	13,4	14,0	15,9	17,9	20,6	23,5
EE-Wasserstoff						0,4	2,5	11,1	29,4
Speicher	6,5	6,5	6,0	6,0	6,5	7,5	8,0	9,5	9,5
EE-Importsaldo**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	16,2	27,9
Gesamte Bruttoleistung	**172**	**187**	**197**	**201**	**232**	**278**	**330**	**424**	**480**
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	69	86	94	100	133	183	235	324	379
Gesicherte Leistung, brutto	103	101	103	101	99	95	95	100	101
Bruttohöchstlast	84	84	82	83	81	78	78	79	80
Als Reserve verbleibend	19	17	21	18	19	17	17	21	21
CO2-Emissionen (Mio. t/a)	**315**	**325**	**317**	**313**	**263**	**224**	**161**	**61**	**6**
A) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,812	0,839	0,860	0,865	0,815	0,752	0,670	0,516	0,293
B) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,497	0,515	0,504	0,483	0,406	0,338	0,219	0,065	0,005

*) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe
**)Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft
***) insbesondere Wind (90-95%), PV(~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung
A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Tabelle C 5: Eckdaten und Struktur der Wärmeversorgung

Struktur der Wärmeversorgung, (PJ/a)							SZEN-16 KLIMA2050			
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Solarkollektoren	16	20	24	26	27	41	73	112	227	283
Umweltwärme, Geothermie	17	25	31	38	42	73	132	191	331	397
Biomasse	360	424	469	478	505	522	537	549	568	574
Wasserstoff (KWK, Ind.)	0	0	0	0	0	4	27	73	220	402
Fern- +Nahwärme, fos.	447	447	447	400	392	395	396	366	254	75
Industr. KWK, fossil	246	267	241	231	223	209	164	132	34	9
Gase; direkt	1950	2020	1970	1920	1880	1780	1600	1330	655	35
Kohlen; direkt	450	460	432	425	395	250	140	50	0	0
Heizöl; direkt	1272	1233	904	709	905	605	337	234	36	1
Stromwärme*)	515	531	498	473	480	494	534	573	618	658
Gesamte Wärme	**5273**	**5427**	**5017**	**4701**	**4849**	**4373**	**3940**	**3610**	**2943**	**2433**
2008 = 100	**100**	102,9	95,1	89,1	92,0	82,9	74,7	68,5	55,8	46,1
- davon aus EE-Quellen										
(einschl. Stromanteil)	469	558	639	666	720	839	1066	1315	1892	2308
Anteil EE (%)	8,9	10,3	12,7	14,2	14,8	19,2	27,1	36,4	64,3	94,9
Gesamte Wärme ohne Stromwärme	**4759**	**4896**	**4519**	**4228**	**4369**	**3878**	**3406**	**3037**	**2325**	**1775**
- davon EE	393	469	524	542	574	640	769	925	1346	1656
Anteil EE (%)	8,3	9,6	11,6	12,8	13,1	16,5	22,6	30,5	57,9	93,3
KWK-Wärme (fossil, Biomasse, Geoth.)	698	732	710	675	671	689	695	699	658	597
Anteil an ges. Wärme, (%)	13,2	13,5	14,1	14,4	13,8	15,8	17,6	19,4	22,4	24,5

*) Summe aller Einsatzarten von Strom zur Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebereitstellung

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Anteil Biomasse (%)	6,8	7,8	9,3	10,2	10,4	11,9	13,6	15,2	19,3	23,6
Anteil Kollektorwärme (%)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,9	1,9	3,1	7,7	11,6
Anteil Umweltw., Geothermi	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,7	3,4	5,3	11,2	16,3
Anteil fossil (%)	82,8	81,6	79,6	78,4	78,3	74,1	66,9	58,5	33,3	4,9
Anteil Strom (%)	9,8	9,8	9,9	10,1	9,9	11,3	13,5	15,9	21,0	27,0

Tabelle C 6: Stromverwendung im Wärmesektor

Strom für Wärmezwecke (TWh/a)						SZEN-16 KLIMA2050				
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
konvent. Raumheizung	30,9	29,3	19,0	13,9	13,9	13	12	10	8	5
"Neue" Raumheizung	2,1	2,9	3,7	4,4	4,8	8	18	29	36	46
"konvent. Prozesswärme	88,7	88,6	90,1	88,0	90,2	88	86	83	80	75
"neue" Prozesswärme (Ind)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5	10	17	28	38
Warmwasser	21,3	26,8	25,6	25,0	24,4	23	22	21	20	18
Ges. Stromwärme	**143,0**	**147,6**	**138,4**	**131,3**	**133,3**	**137**	**148**	**159**	**172**	**183**
"konventionelle " Wärme	140,9	144,7	134,7	126,9	128,5	124	120	114	108	98
"neue" Wärme	2,1	2,9	3,7	4,4	4,8	13	28	45	64	84
Anteil an ges. Stromverbr. (%)	27,3	28,0	26,5	25,8	25,9	26,4	27,9	29,2	30,4	30,8
davon aus EE-Quellen (TWh/a)	21,0	24,7	31,9	34,4	40,4	55	83	108	152	181
davon aus EE-Quellen (PJ/a)	**76**	**89**	**115**	**124**	**145**	**199**	**297**	**390**	**546**	**652**

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Tabelle C 7: Energieeinsatz im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsmitteln

Energieeinsatz im Verkehr; PJ/a							SZEN-16 KLIMA2050			
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Benzin	846	778	742	741	699	642	529	348	157	11
Diesel	1163	1217	1253	1308	1355	1216	1043	835	397	88
Kerosin	369	372	373	392	416	409	380	300	194	44
Biokraftstoffe	128	122	124	117	112	125	180	240	260	260
Erdgas	20	25	25	30	30	40	45	50	55	65
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	9	69	181	449	579
Elektrizität	46	44	43	42	44	47	69	109	161	235
Endenergie gesamt	**2571**	**2559**	**2561**	**2630**	**2656**	**2488**	**2315**	**2062**	**1674**	**1282**
Personenverkehr	1845	1846	1840	1861	1836	1662	1479	1258	964	675
Güterverkehr	726	713	721	769	820	826	836	804	710	606
PKW	1436	1437	1434	1440	1397	1241	1060	853	609	381
LKW	648	633	641	686	731	732	735	703	610	513
Busse	43	45	44	44	44	43	42	42	40	38
Bahn	62	62	58	56	56	54	54	53	51	46
Schiff	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Flugzeug	369	372	373	392	416	409	413	400	353	292

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Tabelle C 8: Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im Personen- und Güterverkehr

	Energieverbrauch und CO2-Emissionen im Verkehr							SZEN-16 KLIMA2050		
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Personenverkehr										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	1714	1715	1708	1736	1706	1528	1297	969	607	176
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	107	108	108	102	106	106	133	203	219	289
- CO2 (Mio. t/a)	119	121	120	122	121	107	85	59	27	6
- Strom (PJ/a)	25	23	23	23	24	28	48	86	138	211
CO2 (Mio. t /a)	5	4	4	4	4	4	6	7	4	1
Endenergie (PJ/a)	**1845**	**1846**	**1840**	**1861**	**1836**	**1662**	**1479**	**1258**	**964**	**675**
CO2 (Mio. t /a))**	**124**	**125**	**124**	**126**	**125**	**111**	**91**	**66**	**31**	**6**
Güterverkehr										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	684	678	685	735	795	779	700	563	196	33
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	21	15	16	15	6	28	116	218	490	550
- CO2 (Mio. t/a)	50	49	49	53	57	56	53	45	27	8
- Strom (PJ/a)	21	21	20	19	19	19	21	23	24	23
CO2 (Mio. t /a)**)	4	3	3	3	3	3	2	2	1	0
Endenergie (PJ/a)	**726**	**713**	**721**	**769**	**820**	**826**	**836**	**804**	**710**	**606**
CO2 (Mio. t /a))**	**54**	**52**	**53**	**56**	**60**	**59**	**56**	**47**	**27**	**8**
Verkehr gesamt										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	2398	2393	2394	2470	2501	2307	1997	1533	803	208
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	128	122	124	117	112	134	249	421	709	839
- Strom (PJ/a)	46	44	43	42	44	47	69	109	161	235
Endenergie (PJ/a)	**2571**	**2559**	**2561**	**2630**	**2656**	**2488**	**2315**	**2062**	**1674**	**1282**
CO2 (Mio. t /a))**	**178**	**177**	**177**	**182**	**185**	**170**	**147**	**113**	**58**	**14**
EE-Endenergie (einschl. Stromanteil)	**135**	**130**	**134**	**129**	**126**	**157**	**300**	**516**	**865**	**1073**
Anteil EE , % (einschl. Strom)	**5,2**	**5,1**	**5,2**	**4,9**	**4,8**	**6,3**	**12,9**	**25,0**	**51,7**	**83,7**

**) nur Emissionen von Kraftstoffen

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Tabelle C 9: Endenergie, CO_2-Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten

Tabelle 5f:	Energie, CO2-Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten							SZEN-16 KLIMA2050		
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Industrie										
- Wärme (PJ/a)*)	1736	1741	1746	1651	1683	1514	1369	1227	948	746
- CO2 (Mio. t/a)	126	121	122	115	116	95	73	54	22	3
- Strom (PJ/a)**)	851	851	841	857	867	876	886	886	895	903
- CO2 (Mio. t/a)	149	141	145	148	146	123	104	73	27	2
Endenergie (PJ/a)	**2587**	**2592**	**2587**	**2508**	**2550**	**2390**	**2255**	**2113**	**1843**	**1648**
CO2 (Mio. t /a)	**274**	**262**	**267**	**263**	**262**	**218**	**176**	**126**	**49**	**6**
GHD										
- Wärme (PJ/a)	955	989	842	823	861	726	562	464	338	230
- CO2 (Mio. t/a)	69	69	59	57	59	46	30	20	8	1
- Strom (PJ/a)	488	494	503	475	479	479	482	486	493	500
CO2 (Mio. t /a)	85	82	87	82	81	67	57	40	15	1
Endenergie (PJ/a)	**1443**	**1483**	**1345**	**1298**	**1340**	**1205**	**1044**	**950**	**831**	**730**
CO2 (Mio. t /a)	**154**	**151**	**145**	**139**	**140**	**113**	**86**	**60**	**23**	**2**
Haushalte										
- Wärme (PJ/a)	2056	2166	1930	1754	1825	1638	1476	1347	1039	800
- CO2 (Mio. t/a)	149	150	135	122	126	103	78	59	25	3
- Strom (PJ/a)	502	510	497	458	464	468	472	482	486	497
CO2 (Mio. t /a)	88	85	86	79	78	66	55	40	15	1
Endenergie (PJ/a)	**2558**	**2676**	**2427**	**2212**	**2289**	**2106**	**1948**	**1829**	**1525**	**1297**
CO2 (Mio. t /a)	**237**	**235**	**221**	**201**	**204**	**169**	**134**	**98**	**39**	**5**
Verkehr										
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2515	2515	2587	2612	2441	2246	1953	1512	1047
- CO2 (Mio. t/a)	178	177	176	182	185	170	147	113	58	14
- Strom (PJ/a)	46	44	44	42	44	47	69	109	161	235
CO2 (Mio. t /a)	8	7	8	7	7	7	8	9	5	1
Endenergie (PJ/a)	**2559**	**2559**	**2559**	**2630**	**2656**	**2488**	**2315**	**2062**	**1674**	**1282**
CO2 (Mio. t /a)	**186**	**184**	**184**	**190**	**192**	**177**	**155**	**121**	**63**	**15**
Alle Sektoren (wie Tab. 5c)										
- Wärme (PJ/a)	4759	4896	4519	4228	4369	3878	3406	3037	2325	1775
CO2 (Mio. t/a)	**344**	**340**	**316**	**294**	**301**	**243**	**181**	**133**	**55**	**8**
- Strom (PJ/a)	1887	1899	1884	1832	1854	1870	1910	1964	2036	2134
CO2 (Mio. t/a)	**330**	**315**	**325**	**317**	**313**	**263**	**224**	**161**	**61**	**6**
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2515	2515	2587	2612	2441	2246	1953	1512	1047
CO2 (Mio. t/a)	**178**	**177**	**176**	**182**	**185**	**170**	**147**	**113**	**58**	**14**
Endenergie (PJ/a)	9159	9310	8918	8648	8835	8190	7562	6954	5873	4957
Gesamtes CO2 (Mio. t/a)	**853**	**832**	**817**	**793**	**798**	**677**	**551**	**407**	**174**	**28**

*) nur Brennstoffe; einschl. Mineralöl in Spalte "stationäre Kraft"

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Tabelle C 10 a, b: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (oben) und installierte Leistungen (unten)

EE-Stromerzeugung, TWh/a										SZEN 2016-KLIMA 2050		
	2000	2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	21,7	19,7	20,9	19,6	19,5	20,8	22,0	23,1	23,8	24,5	24,8	25,1
Wind Land	9,5	27,2	37,6	56,0	77,9	106,2	146,6	190,4	233,1	265,3	288,6	306,5
Wind Offshore	0,0	0,0	0,2	1,5	8,1	26,7	55,0	90,7	138,1	192,1	244,4	287,4
Fotovoltaik	0,1	1,3	11,7	36,1	38,5	51,6	79,5	104,9	126,6	147,2	167,2	174,9
Biogas, Klär-, Dep.gas, flüss. B.	2,0	3,8	18,8	31,5	32,3	32,6	33,5	34,4	35,1	35,7	36,0	36,3
Feste Biomasse, biog. Abfall	2,8	10,4	15,5	18,0	17,7	19,0	21,7	23,4	24,8	26,0	26,7	26,7
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	1,8	3,7	6,2	9,7	13,5	17,1
Gesamt in D	**36,0**	**62,5**	**104,8**	**162,6**	**194,1**	**257,4**	**360,0**	**470,6**	**587,8**	**700,6**	**801,2**	**874,1**
Saldo Europ. Verbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	17,0	48,1	91,9	134,4	166,0
Gesamt	**36,0**	**62,5**	**104,8**	**162,6**	**194,1**	**257,4**	**363,2**	**487,6**	**636,0**	**792,5**	**935,6**	**1040,1**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

ARES-16-KLIMA2050; 04.02.2016

Installierte EE-Leistung; GWel										SZEN 2016-KLIMA 2050		
	2000	2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	4,8	5,2	5,4	5,6	5,6	5,8	6,1	6,3	6,4	6,6	6,6	6,7
Wind Onshore	6,1	18,4	27,0	38,2	41,4	60,2	78,6	96,9	116,5	129,4	134,2	136,2
Wind Offshore (am Netz)	0,0	0,0	0,1	1,0	3,3	7,0	13,5	22,1	33,7	46,9	59,6	70,1
Fotovoltaik	0,1	2,1	17,9	38,2	39,6	55,3	82,9	109,0	131,1	151,3	170,7	178,0
feste Biomasse, biog. Abfall	0,9	2,4	3,4	4,0	4,0	4,3	4,7	5,0	5,2	5,5	5,6	5,6
gasf., flüssige Biomasse	0,4	1,1	3,2	4,9	5,0	5,2	5,3	5,5	5,6	5,8	5,8	5,9
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,8	1,3	1,9	2,5	3,0
Gesamt in D	**12,3**	**29,1**	**57,1**	**91,9**	**98,9**	**137,9**	**191,5**	**245,6**	**299,9**	**347,3**	**385,1**	**405,5**
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	8,8	16,2	23,0	27,9
Gesamt für D	**12,3**	**29,1**	**57,1**	**91,9**	**98,9**	**137,9**	**193,2**	**248,8**	**308,6**	**363,5**	**408,1**	**433,3**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

Tabelle C11: Wärmebereitstellung mittels erneuerbaren Energien

TWh/a	2000	2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A) aus EEG-Anlagen (KWK)	**2,5**	**6,8**	**23,0**	**31,7**	**32,4**	**34,7**	**38,4**	**41,5**	**44,2**	**46,4**	**47,6**	**47,9**
Biomasse fest	1,2	3,7	10,0	12,2	12,3	14,1	17,1	19,5	21,6	23,3	24,2	24,2
Biogas, Deponie-, Klärgas, Flüssige Biomasse	1,4	3,0	13,0	19,5	20,1	20,6	21,4	22,0	22,6	23,1	23,4	23,7
B) weitere Biomassen	**52,4**	**76,5**	**94,7**	**101,0**	**107,9**	**110,3**	**110,8**	**111,1**	**111,3**	**111,5**	**111,6**	**111,6**
Heizwerke, feste Biomasse	3,0	12,0	16,1	17,3	17,5	18,6	18,8	19,0	19,2	19,3	19,3	19,3
Einzelheizungen, fest	45,9	57,3	71,3	72,3	78,9	79,7	79,9	80,1	80,2	80,3	80,3	80,3
Biogener Abfall (KWK)	3,5	7,2	7,3	11,4	11,5	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Biowärme gesamt	**55,0**	**83,3**	**117,7**	**132,7**	**140,2**	**145,0**	**149,2**	**152,6**	**155,5**	**157,9**	**159,2**	**159,5**
davon KWK-Wärme	6,1	14,0	30,3	43,1	43,9	46,7	50,4	53,5	56,2	58,4	59,6	59,9
feste Biomasse, gesamt	50,1	73,1	97,5	101,8	108,7	112,4	115,9	118,5	120,9	122,8	123,8	123,8
Solarkollektoren	**1,3**	**3,0**	**5,6**	**7,3**	**7,6**	**11,5**	**20,2**	**31,0**	**46,2**	**63,0**	**72,7**	**78,7**
Einzelanlagen	1,3	3,0	5,6	7,2	7,6	11,4	19,4	28,9	42,2	56,6	63,8	68,0
Nahwärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	2,1	4,0	6,4	8,9	10,7
Umweltwärme/Geothermie	**1,8**	**2,8**	**6,9**	**10,6**	**11,7**	**19,9**	**36,8**	**53,2**	**72,5**	**92,0**	**103,6**	**110,4**
Hydrothermal, tiefe Geotherm.	0,1	0,5	0,7	1,1	1,2	2,4	7,5	13,1	20,4	29,6	37,0	42,1
Wärmepumpen	1,7	2,3	6,2	9,5	10,5	17,4	29,3	40,1	52,0	62,4	66,6	68,3
KWK aus EE-Wasserstoff	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**20,4**	**40,8**	**61,2**	**86,5**	**111,8**
EE-Wärme gesamt	**58,1**	**89,1**	**130,2**	**150,6**	**159,6**	**176,4**	**206,2**	**257,2**	**315,0**	**374,1**	**422,0**	**460,3**
Nahwärme (mit/ohne KWK)	9,2	26,5	47,1	61,5	62,6	67,9	77,5	108,1	140,6	174,8	211,3	243,7
Einzelanlagen	48,9	62,6	83,1	89,0	97,0	108,5	128,7	149,0	174,4	199,2	210,7	216,5

ARES-16-KLIMA2050; 04.02.2016

Tabelle C 12: Jährliche Brutto-Installation der Anlagen zur EE-Stromerzeugung

Tab. 16a:	Jährliche Brutto-Leistungsinstallation; MW/a					SZEN 2016-KLIMA 2050		
			S T R O M (MWel/a)					Strom
	Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	tromimport E	Biomasse (oh. biog. Mül	gesamt MWel/a
2000	0	**1662**	0	**44**	**0**	**0**	**109**	**1815**
2001	19	2641	0	120	0	0	128	2908
2002	126	3238	0	150	0	0	203	3717
2003	35	2617	0	180	0	0	358	3190
2004	252	2019	0	512	0	0	312	3095
2005	**44**	**1763**	**0**	**980**	**0**	**0**	**616**	**3403**
2006	2	2193	0	1020	0	0	695	3910
2007	0	1615	0	1271	3	0	486	3376
2008	9	1632	5	1813	0	0	475	3934
2009	196	1817	15	4446	4	0	591	7069
2010	**86**	**1380**	**60**	**7338**	**0**	**0**	**524**	**9388**
2011	237	1870	120	7485	0	0	685	10397
2012	2	2204	100	7604	4	0	476	10390
2013	2	2836	250	3304	19	0	299	6710
2014	9	4588	463	1899	5	0	451	7415
2015	**40**	**3500**	**2256**	**1394**	**6**	**0**	**91**	**7286**
2016	43	3700	583	1900	7	0	51	6284
2017	49	3900	1000	2400	8	0	70	7427
2018	55	4100	700	3000	12	0	94	7961
2019	62	4400	700	3700	16	0	126	9004
2020	**75**	**4900**	**748**	**4700**	20	**0**	**198**	**10641**
2025	73	5550	1300	5600	60	125	338	12897
2030	**70**	**6200**	**1800**	**6000**	80	**525**	**477**	**15152**
2035	64	6500	2500	6400	100	1100	429	17092
2040	**57**	**6500**	**3300**	**7200**	**140**	**1490**	**453**	**19140**
2045	49	6500	3600	8000	180	1490	523	20341
2050	**40**	**6500**	**3600**	**8000**	**180**	**1490**	**445**	**20255**
2055	38	6500	2500	6300	100	1000	379	16817
2060	**35**	**6500**	**2500**	**6300**	**140**	**1400**	**377**	**17252**

Tabelle C13: Jährliche Netto-Installation der Anlagen zur EE-Stromerzeugung

Tab. 16b:	Jährlicher Leistungszuwachs (netto); MW/a					SZEN 2016-KLIMA 2050		
			S T R O M (MWel/a)					Strom
	Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	tromimport E	Biomasse (oh. biog. Mül	gesamt MWel/a
2000	0	**1662**	**0**	**44**	**0**	**0**	**109**	**1815**
2001	0	2641	0	120	0	0	128	2888
2002	107	3238	0	150	0	0	203	3698
2003	16	2617	0	180	0	0	358	3171
2004	233	2019	0	512	0	0	312	3076
2005	**25**	**1763**	**0**	**980**	**0**	**0**	**616**	**3383**
2006	-17	2193	0	1020	0	0	695	3891
2007	-19	1615	0	1271	3	0	486	3356
2008	-10	1632	5	1813	0	0	475	3915
2009	177	1817	15	4446	4	0	591	7050
2010	**67**	**1380**	**60**	**7338**	**0**	**0**	**524**	**9368**
2011	218	1845	120	7485	0	0	685	10353
2012	-17	2139	100	7604	4	0	476	10306
2013	-17	2766	250	3304	19	0	299	6621
2014	-10	4393	463	1899	5	0	451	7201
2015	**21**	**3200**	**2256**	**1394**	**6**	**0**	**91**	**6966**
2016	24	3400	583	1899	7	0	51	5963
2017	30	3550	1000	2396	8	0	70	7054
2018	36	3751	700	2997	12	0	94	7590
2019	43	3995	700	3697	16	0	105	8555
2020	**56**	**4112**	**748**	**4694**	**20**	**0**	**170**	**9800**
2025	53	3689	1300	5527	60	**325**	108	11062
2030	**50**	**3660**	**1725**	**5207**	**79**	**325**	**93**	**11139**
2035	38	3924	2313	4414	93	1100	79	11963
2040	**30**	**2580**	**2632**	**4057**	**127**	**1490**	**64**	**10980**
2045	20	960	2550	3872	120	1365	37	8925
2050	**9**	**400**	**2100**	**1460**	**100**	**965**	**14**	**5048**

D) Szenario SZEN-16 KLIMA 2040

Tabelle D 1: Eckdaten, insbesondere Beiträge der Erneuerbaren Energien

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Primärenergie, PJ/a	14217	13446	13158	13335	12046	10528	9387	7573	7081
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1413	1385	1519	1679	2080	2879	3851	5681	5846
Anteil EE an PEV, %	**9,9**	**10,3**	**11,5**	**12,6**	**17,3**	**27,3**	**41,0**	**75,0**	**82,6**
Anteil EE an PEV ohne nicht-	10,7	11,2	12,5	13,6	18,8	30,2	45,8	85,9	95,2
energetischen Verbrauch, %									
Endenergie, PJ/a	9310	8920	8648	8835	8080	7274	6513	5270	4873
Endenergie EE, PJ/a	969	1163	1244	1385	1682	2269	3010	4449	4591
Anteil EE an EEV, %	**10,4**	**13,0**	**14,4**	**15,7**	**20,8**	**31,2**	**46,2**	**84,4**	**94,2**
Anteil EE an BEEV, %; 2)	**10,2**	**12,7**	**14,0**	**15,2**	**20,2**	**30,3**	**44,9**	**81,9**	**91,5**
Strom Endenergie, PJ/a	1899	1884	1832	1854	1856	1874	1910	2000	2061
Strom Endenergie EE, PJ/a	377	516	585	699	892	1158	1436	1989	2050
Anteil EE, %	**19,9**	**27,4**	**31,9**	**37,7**	**48,0**	**61,8**	**75,2**	**99,5**	**99,5**
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4896	4519	4228	4369	3799	3302	2907	2115	1770
Wärme Endenergie EE, PJ/a	469	524	542	574	645	836	1095	1605	1685
Anteil EE, %	**9,6**	**11,6**	**12,8**	**13,1**	**17,0**	**25,3**	**37,7**	**75,9**	**95,2**
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2515	2518	2587	2612	2425	2099	1696	1156	1042
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	112	146	276	479	855	857
Anteil EE, %	**4,9**	**4,9**	**4,5**	**4,3**	**6,0**	**13,1**	**28,2**	**73,9**	**82,2**
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	597	607	669	808	1091	1108
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	105	143	162	194	262	402	620	1066	1093
Anteil EE, %	**17,0**	**23,6**	**27,4**	**32,5**	**43,2**	**60,1**	**76,8**	**97,7**	**98,7**
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,6	27,4	32,5	43,2	58,8	72,4	83,2	84,4
Primärenergie, PJ/a	14217	13446	13158	13335	12046	10528	9387	7573	7081
Erneuerbare Energien	**1413**	**1385**	**1519**	**1679**	**2080**	**2879**	**3851**	**5681**	**5846**
Mineralöl	4684	4527	4516	4512	3871	3093	2301	1138	1005
Kohlen; 7)	3416	3529	3390	3343	2516	1672	712	55	48
Erdgas	3171	2920	2674	2804	2860	2884	2523	699	182
Fossile Energien gesamt	**11271**	**10975**	**10580**	**10658**	**9246**	**7649**	**5536**	**1892**	**1235**
- davon für energetische Zwecke	10237	9999	9599	9668	8256	6669	4576	952	305
Kernenergie	1533	1085	1059	998	720	0	0	0	0
CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a	**832**	**817**	**793**	**798**	**665**	**505**	**318**	**62**	**22**
Verringerung seit 1990, %; 8)	**20,8**	**22,2**	**24,5**	**24,0**	**36,7**	**51,9**	**69,7**	**94,1**	**97,9**
durch EE vermiedene CO2-	110	110	158	173	216	302	431	681	583
Emissionen, Mio. t CO2/a									
THG-Emissionen, Mio. t CO2äq/a; 9	**941**	**926**	**902**	**907**	**768**	**594**	**386**	**112**	**59**
Verringerung seit 1990, %	24,7	25,9	27,8	27,4	38,6	52,5	69,1	91,1	95,3

1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

2) Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) = Endenergie zuzügl. Netzverluste und Eigenverbrauch von Wärme und Strom in Kraftwerken

3) nur Brennstoffe, d.h. ohne Stromeinsatz für Wärmebereitstellung

4) Kraftstoffe für gesamten Verkehr, ohne Stromeinsatz

5) einschließlich Strom aus Pumpspeichern; einschl. Strom für EE-Wasserstoff

6) einschl. EE-Strom aus EE-Wasserstoff (ab ca. 2025)

7) einschl. sonstige fossile Brennstoffe (u.a. Kohlegase), fossil/nuklearem Stromimportsaldo und anorganische Abfälle

8) 1990 = 1050 Mio. t CO2/a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse) 9) 1990 = 1250 Mio. t CO_2eq/a

Tabelle D 2: : Primärenergieeinsatz von Erdgas, Kohlen und Mineralöl

Erdgas, PJ/a	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Kond. Kraftwerke	320	134	169	459	614	349	84	43	1
Kraft-Wärme-Kopplung	709	586	659	616	384	195	5	3	1
Raumheizung, WW	1240	1130	1050	850	670	430	190	95	0
Prozesswärme	700	750	730	700	600	411	222	111	0
Kraftstoffe	25	30	40	45	50	53	55	55	55
NE-Verwendung	62	69	99	98	96	95	94	94	93
Verluste	115	105	113	117	108	78	48	40	32
Primärenergieeinsatz	**3171**	**2804**	**2860**	**2884**	**2523**	**1611**	**699**	**440**	**182**
Kohlen, PJ/a (Braun- und Steinkohle)	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
Kond. Kraftwerke	2427	2460	1920	1250	514	257	0	0	0
KWK (einschl. Müll-HKW)	335	313	291	212	122	85	48	47	46
Prozess-, Raumwärme	460	395	230	120	30	15	0	0	0
Verluste	195	175	75	90	45	26	7	4	1
Primärenergieeinsatz	**3416**	**3343**	**2516**	**1672**	**712**	**383**	**55**	**51**	**48**
Mineralöl, PJ/a	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
Kraftwerke	48	26	21	10	0	0	0	0	0
Raum-, Prozesswärme	1233	905	528	277	160	80	0	0	1
Kraftstoffe	2368	2471	2239	1778	1167	707	246	188	131
NE-Verwendung	879	891	891	882	864	855	846	842	837
Verluste	156	219	192	146	110	78	46	41	37
Primärenergieiensatz	**4684**	**4512**	**3871**	**3093**	**2301**	**1719**	**1138**	**1072**	**1005**

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

Tabelle D3: Struktur des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern und Verbrauchsektoren

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

Primärenergie, (PJ/a)	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Kernenergie	1851	1779	1533	998	720	0	0	0	0
Kohlen, Sonstige	3649	3594	3416	3343	2516	1672	712	55	48
Mineralöl	5499	5166	4684	4512	3871	3093	2301	1138	1005
Erdgas	2985	3250	3171	2804	2860	2884	2523	699	182
Biomasse, biog. Abfall	294	**575**	1114	1083	1173	1323	1474	1517	1516
Wasser, Erdwärme	84	81	101	117	161	282	411	664	709
Windenergie	34	98	136	313	510	878	1325	2306	2377
Solarstrahlung	5	16	62	166	236	396	641	1194	1244
Gesamt	**14401**	**14558**	**14217**	**13335**	**12046**	**10528**	**9387**	**7573**	**7081**
	2000	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Private Haushalte	2584	2591	2676	2289	2083	1884	1722	1378	1256
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	1478	1437	1483	1340	1190	1020	915	754	696
Industrie	2421	2514	2592	2550	2335	2190	2053	1770	1644
Verkehr	2751	2585	2559	2656	2472	2180	1823	1368	1277
NE-Verbrauch	1068	1114	1034	990	990	980	960	940	930
Umwandl. Strom	3319	3527	3106	2680	2130	1317	862	207	137
Umwandl. Übrige	780	790	767	830	846	957	1052	1156	1142
Gesamt	**14401**	**14558**	**14217**	**13335**	**12046**	**10528**	**9387**	**7573**	**7081**
davon Endenergie	9234	9127	9310	8835	8080	7274	6513	5270	4873

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

Tabelle D 4: Eckdaten der Stromversorgung; Erzeugung und Leistung, CO_2-Emissionen

Stromerzeugung, TWh/a	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Kernenergie	141	100	97	92	67	0	0	0	0
Steinkohle, Müll, Pumpsp.	144	142	142	141	117	88	54	15	15
Braunkohle	146	161	156	155	125	80	25	0	0
Erdgas, Öl, übr. Gase	98	85	70	66	79	113	113	11	0
Windenergie	38	51	57	86	136	222	349	566	588
Fotovoltaik	12	26	36	39	52	88	123	178	179
Biomasse, Wasser, Erdwärme	55	66	69	70	73	80	90	105	109
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	3	22	58	58
Saldo EE-Stromimport	0	0	0	0	0	8	35	158	158
Bruttostromerzeugung*)	**633**	**630**	**628**	**647**	**649**	**682**	**811**	**1091**	**1108**
Bruttostromverbrauch*)	615	607	592	597	607	669	808	1091	1108
Endenergie Strom	527	523	509	515	516	521	531	556	573
Installierte Leistung, GW	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Kernenergie	21,5	12,7	12,1	10,8	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, Sonstige Brst.	35,3	36,4	36,0	35,5	30,6	22,5	14,9	2,7	2,7
Braunkohle	22,7	24,2	24,0	23,9	19,4	12,7	5,2	0,0	0,0
Erdgas, Öl,	29,7	30,6	28,0	27,0	31,9	39,7	36,0	5,1	0,1
Windenergie	27,1	31,3	39,2	44,6	69,3	105,2	143,6	213,0	210,6
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,2	39,6	56,2	91,3	127,9	183,2	182,6
Biomasse, Wasser, Erdwärme	11,0	12,3	13,4	13,4	14,2	16,9	19,8	22,9	23,8
EE-Wasserstoff						1,0	7,1	26,5	27,3
Pumpspeicher, andere Sp.	6,5	6,5	6,0	6,0	6,5	7,5	8,5	9,5	10,0
Leist. des EE-Importsaldos**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,6	7,2	27,7	27,5
Gesamte Bruttoleistung	**172**	**187**	**197**	**201**	**237**	**300**	**370**	**491**	**485**
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	69	86	94	100	136	205	277	390	387
Gesicherte Leistung, brutto	103	101	103	101	101	96	93	101	98
Bruttohöchstlast	84	84	82	83	80	77	76	78	81
Als Reserve verbleibend	19	17	21	18	21	19	17	22	17
CO2-Emissionen (Mio. t/a)	**315**	**325**	**317**	**313**	**261**	**202**	**119**	**10**	**2**
A) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,812	0,839	0,860	0,865	0,814	0,719	0,623	0,386	0,164
B) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,497	0,516	0,505	0,483	0,402	0,296	0,147	0,009	0,002

*) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe

**)Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

***) insbesondere Wind (90-95%), PV(~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung

A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

Tabelle D 5 : Eckdaten und Struktur der Wärmeversorgung

Struktur der Wärmeversorgung, (PJ/a)							SZEN-16 KLIMA2040			
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Solarkollektoren	16	20	24	26	27	43	80	129	251	288
Umweltwärme, Geothermie	17	25	31	38	42	75	147	220	373	402
Biomasse	360	424	469	478	505	523	541	561	573	573
Wasserstoff (KWK, Ind.)	0	0	0	0	0	4	68	185	408	422
Fern- +Nahwärme, fossil	447	447	447	400	392	404	372	285	80	75
Industr. KWK, fossil	246	267	241	231	223	213	147	67	18	9
Gase; direkt	1950	2020	1970	1920	1880	1780	1550	1270	412	0
Kohlen; direkt	450	460	432	425	395	230	120	30	0	0
Heizöl; direkt	1272	1233	904	709	905	528	277	160	0	1
Stromwärme*)	515	531	498	473	480	491	496	519	556	620
Gesamte Wärme	**5273**	**5427**	**5017**	**4701**	**4849**	**4290**	**3798**	**3426**	**2671**	**2390**
2008 = 100	**100**	102,9	95,1	89,1	92,0	81,4	72,0	65,0	50,7	45,3
- davon aus EE-Quellen										
(einschl. Stromanteil)	469	558	638	666	720	845	1131	1496	2153	2303
Anteil EE (%)	8,9	10,3	12,7	14,2	14,8	19,7	29,8	43,7	80,6	96,3
Gesamte Wärme ohne Stromwärme	**4759**	**4896**	**4519**	**4228**	**4369**	**3799**	**3302**	**2907**	**2115**	**1770**
- davon EE	393	469	524	542	574	645	836	1095	1605	1685
Anteil EE (%)	8,3	9,6	11,6	12,8	13,1	17,0	25,3	37,7	75,9	95,2
KWK-Wärme (fossil, Biomasse, Geoth.)	698	732	710	675	671	699	680	672	623	597
Anteil an ges. Wärme, (%)	13,2	13,5	14,1	14,4	13,8	16,3	17,9	19,6	23,3	25,0

*) Summe aller Einsatzarten von Strom zur Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebereitstellung

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

Anteil Biomasse (%)	6,8	7,8	9,3	10,2	10,4	12,2	14,2	16,4	21,5	24,0
Anteil Kollektorwärme (%)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	1,0	2,1	3,8	9,4	12,1
Anteil Umweltw. Geothermie	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,7	3,9	6,4	14,0	16,8
Anteil fossil (%)	82,8	81,6	79,6	78,4	78,3	73,5	64,9	52,9	19,1	3,5
Anteil Strom (%)	9,8	9,8	9,9	10,1	9,9	11,4	13,1	15,2	20,8	26,0

Tabelle D 6: Stromverwendung im Wärmesektor

	Strom für Wärmezwecke (TWh/a)					SZEN-16 KLIMA2040				
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
konvent. Raumheizung	30,9	29,3	19,0	13,9	13,9	13	10	9	7	6
"Neue" Raumheizung	2,1	2,9	3,7	4,4	4,8	10	20	27	33	43
"konvent. Prozesswärme	88,7	88,6	90,1	88,0	90,2	86	77	68	60	55
"neue" Prozesswärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4	9	20	34	50
Warmwasser	21,3	26,8	25,6	25,0	24,4	23	22	21	20	18
Ges. Stromwärme	**143,0**	**147,6**	**138,4**	**131,3**	**133,3**	**136**	**138**	**144**	**154**	**172**
"konventionelle " Wärme	140,9	144,7	134,7	126,9	128,5	122	109	98	87	79
"neue" Wärme	2,1	2,9	3,7	4,4	4,8	14	29	46	67	93
Anteil an ges. Stromverbr. (%)	27,3	28,0	26,5	25,8	25,9	26,4	26,5	27,2	27,8	30,1
davon aus EE-Quellen (TWh/a)	21,0	24,7	31,8	34,3	40,3	56	82	111	152	172
davon aus EE-Quellen (PJ/a)	**76**	**89**	**114**	**124**	**145**	**200**	**296**	**401**	**548**	**618**

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

Tabelle D 7: Energieeinsatz im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsmitteln

Energieeinsatz im Verkehr; PJ/a							SZEN-16 KLIMA2040			
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Benzin	846	778	742	741	699	642	449	219	13	3
Diesel	1163	1217	1253	1308	1355	1188	957	721	146	84
Kerosin	369	372	373	392	416	409	372	227	88	44
Biokraftstoffe	128	122	124	117	112	125	180	240	260	260
Erdgas	20	25	25	30	30	40	45	50	55	55
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	21	96	239	595	597
Elektrizität	46	44	43	42	44	47	82	127	213	235
Endenergie gesamt	**2571**	**2559**	**2561**	**2630**	**2656**	**2472**	**2180**	**1823**	**1368**	**1277**
Personenverkehr	1845	1846	1840	1861	1836	1662	1396	1100	742	670
Güterverkehr	726	713	721	769	820	809	784	723	626	606
PKW	1436	1437	1434	1440	1397	1241	978	741	441	376
LKW	648	633	641	686	731	715	683	631	538	513
Busse	43	45	44	44	44	43	42	39	38	38
Bahn	62	62	58	56	56	54	54	51	48	46
Schiff	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Flugzeug	369	372	373	392	416	409	413	350	292	292

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

Tabelle D 8: Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im Personen- und Güterverkehr

	Energieverbrauch und CO2-Emissionen im Verkehr							SZEN-16 KLIMA2040		
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Personenverkehr										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	1714	1715	1708	1736	1706	1528	1192	721	233	114
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	107	108	108	102	106	106	144	273	319	345
- CO2 (Mio. t/a)	119	121	120	122	121	107	77	44	9	5
- Strom (PJ/a)	25	23	23	23	24	28	60	105	190	211
CO2 (Mio. t /a)	5	4	4	4	4	4	6	7	1	0
Endenergie (PJ/a)	**1845**	**1846**	**1840**	**1861**	**1836**	**1662**	**1396**	**1100**	**742**	**670**
CO2 (Mio. t /a))	**124**	**125**	**124**	**126**	**125**	**110**	**83**	**51**	**10**	**6**
Güterverkehr										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	684	678	685	735	795	750	631	496	68	71
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	21	15	16	15	6	40	132	205	535	512
- CO2 (Mio. t/a)	50	49	49	53	57	55	49	37	11	7
- Strom (PJ/a)	21	21	20	19	19	19	21	22	22	23
CO2 (Mio. t /a)**)	4	3	3	3	3	3	2	1	0	0
Endenergie (PJ/a)	**726**	**713**	**721**	**769**	**820**	**809**	**784**	**723**	**626**	**606**
CO2 (Mio. t /a))	**54**	**52**	**53**	**56**	**60**	**57**	**51**	**38**	**11**	**7**
Verkehr gesamt										
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	2398	2393	2394	2470	2501	2279	1823	1217	301	186
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	128	122	124	117	112	146	276	479	855	857
- Strom (PJ/a)	46	44	43	42	44	47	82	127	213	235
Endenergie (PJ/a)	**2571**	**2559**	**2561**	**2630**	**2656**	**2472**	**2180**	**1823**	**1368**	**1277**
CO2 (Mio. t /a))	**178**	**177**	**177**	**182**	**185**	**168**	**134**	**89**	**21**	**13**
EE-Endenergie (einschl. Stromanteil)	**135**	**130**	**134**	**129**	**126**	**169**	**340**	**596**	**1067**	**1091**
Anteil EE , % (einschl. Strom)	**5,2**	**5,1**	**5,2**	**4,9**	**4,8**	**6,8**	**15,6**	**32,7**	**77,9**	**85,4**
Verbrauch nach Definition NREAP *); PJ/a			*2144*	*2198*	*2201*	*2032*	*1783*	*1559*	*1290*	*1227*
Anteil nach Definition NREAP; %			***5,8***	***5,4***	***5,3***	***8,0***	***21,0***	***44,4***		

*) = nur bodengebundener Verkehr (Kraftstoffe + 2,5fach Elektrizität Straße) lt. Nat. Aktionsplan für EE gemäß Richtlinie 2009/27/EG (NREAP

**) nur Emissionen von Kraftstoffen

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020

SZEN15-Korr. ; 18.04.15

Tabelle D 9: Endenergie, CO_2-Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten

Tabelle 5f:	Energie, CO2-Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten							SZEN-16 KLIMA2040		
	2008	**2010**	**2012**	**2014**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Industrie										
- Wärme (PJ/a)*)	1736	1741	1746	1651	1683	1473	1345	1217	930	782
- CO2 (Mio. t/a)	126	121	122	115	116	92	69	46	13	3
- Strom (PJ/a)**)	851	851	841	857	867	862	845	836	840	862
- CO2 (Mio. t/a)	149	141	145	148	146	121	91	52	4	1
Endenergie (PJ/a)	**2587**	**2592**	**2587**	**2508**	**2550**	**2335**	**2190**	**2053**	**1770**	**1644**
CO2 (Mio. t /a)	**274**	**262**	**267**	**263**	**262**	**213**	**160**	**98**	**18**	**4**
GHD										
- Wärme (PJ/a)	955	989	842	823	861	711	541	436	275	214
- CO2 (Mio. t/a)	69	69	59	57	59	44	28	16	4	1
- Strom (PJ/a)	488	494	503	475	479	479	479	479	479	482
CO2 (Mio. t /a)	85	82	87	82	81	67	52	30	2	1
Endenergie (PJ/a)	**1443**	**1483**	**1345**	**1298**	**1340**	**1190**	**1020**	**915**	**754**	**696**
CO2 (Mio. t /a)	**154**	**151**	**145**	**139**	**140**	**111**	**79**	**46**	**6**	**1**
Haushalte										
- Wärme (PJ/a)	2056	2166	1930	1754	1825	1615	1416	1254	910	774
- CO2 (Mio. t/a)	149	150	135	122	126	100	73	47	13	3
- Strom (PJ/a)	502	510	497	458	464	468	468	468	468	482
CO2 (Mio. t /a)	88	85	86	79	78	66	50	29	2	1
Endenergie (PJ/a)	**2558**	**2676**	**2427**	**2212**	**2289**	**2083**	**1884**	**1722**	**1378**	**1256**
CO2 (Mio. t /a)	**237**	**235**	**220**	**201**	**204**	**166**	**123**	**77**	**15**	**3**
Verkehr										
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2515	2515	2587	2612	2425	2099	1696	1156	1042
- CO2 (Mio. t/a)	178	177	176	182	185	168	134	89	21	13
- Strom (PJ/a)	46	44	44	42	44	47	82	127	213	235
CO2 (Mio. t /a)	8	7	8	7	7	7	9	8	1	0
Endenergie (PJ/a)	**2559**	**2559**	**2559**	**2630**	**2656**	**2472**	**2180**	**1823**	**1368**	**1277**
CO2 (Mio. t /a)	**186**	**184**	**184**	**190**	**192**	**175**	**143**	**97**	**22**	**13**
Alle Sektoren (wie Tab. 5c)										
- Wärme (PJ/a)	4759	4896	4519	4228	4369	3799	3302	2907	2115	1770
CO2 (Mio. t/a)	**344**	**340**	**315**	**294**	**301**	**236**	**169**	**110**	**30**	**7**
- Strom (PJ/a)	1887	1899	1884	1832	1854	1856	1874	1910	2000	2061
CO2 (Mio. t/a)	**330**	**315**	**325**	**317**	**313**	**261**	**202**	**119**	**10**	**2**
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2515	2515	2587	2612	2425	2099	1696	1156	1042
CO2 (Mio. t/a)	**178**	**177**	**176**	**182**	**185**	**168**	**134**	**89**	**21**	**13**
Endenergie (PJ/a)	9159	9310	8918	8648	8835	8080	7274	6513	5270	4873
Gesamtes CO2 (Mio. t/a)	**853**	**832**	**817**	**793**	**798**	**665**	**505**	**318**	**62**	**22**

*) nur Brennstoffe; einschl. Mineralöl in Spalte "stationäre Kraft"

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

Tabelle D 10 a, b: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (oben) und installierte Leistungen (unten)

EE-Stromerzeugung, TWh/a										SZEN 2016-KLIMA 2040		
	2000	2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	21,7	19,7	20,9	19,6	19,5	20,8	22,2	23,8	24,8	25,8	26,2	26,6
Wind Land	9,5	27,2	37,6	56,0	77,9	109,1	163,2	220,7	270,9	307,4	317,8	329,5
Wind Offshore	0,0	0,0	0,2	1,5	8,1	27,3	72,1	128,4	200,5	258,5	262,8	258,7
Fotovoltaik	0,1	1,3	11,7	36,1	38,5	52,3	87,5	123,1	153,1	178,3	179,9	179,4
Biogas, Klär-, Dep.gas, flüss. B	2,0	3,8	18,8	31,5	32,3	32,6	33,7	34,9	36,4	36,4	36,4	36,4
Feste Biomasse, biog. Abfall	2,8	10,4	15,5	18,0	17,7	19,1	22,3	25,1	26,2	26,5	26,5	26,5
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	2,8	6,4	11,4	16,6	18,4	19,4
Gesamt in D	**36,0**	**62,5**	**104,8**	**162,6**	**194,1**	**261,6**	**403,8**	**562,4**	**723,3**	**849,4**	**868,0**	**876,5**
Saldo Europ. Verbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	8,5	38,0	95,5	158,4	162,2	158,4
Gesamt	**36,0**	**62,5**	**104,8**	**162,6**	**194,1**	**261,8**	**412,3**	**600,5**	**818,8**	**1007,8**	**1030,1**	**1034,9**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

ARES-16-KLIMA2040; 04.02.2016

Installierte EE-Leistung; GWel										SZEN 2016-KLIMA 2040		
	2000	2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	4,8	5,2	5,4	5,6	5,6	5,8	6,1	6,5	6,7	6,9	7,0	7,1
Wind Onshore	6,1	18,4	27,0	38,2	41,4	62,1	87,5	112,3	135,4	149,9	147,8	147,4
Wind Offshore (am Netz)	0,0	0,0	0,1	1,0	3,3	7,2	17,7	31,3	48,9	63,1	64,1	63,1
Fotovoltaik	0,1	2,1	17,9	38,2	39,6	56,2	91,3	127,9	158,5	183,2	183,7	182,6
feste Biomasse, biog. Abfall	0,9	2,4	3,4	4,0	4,0	4,3	4,8	5,3	5,5	5,5	5,5	5,5
gasf., flüssige Biomasse	0,4	1,1	3,2	4,9	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	5,9	5,9	5,9
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	1,4	2,3	3,2	3,4	3,4
Gesamt in D	**12,3**	**29,1**	**57,1**	**91,9**	**98,9**	**140,9**	**213,5**	**290,2**	**363,1**	**417,8**	**417,4**	**415,0**
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,6	7,2	17,2	27,7	28,2	27,5
Gesamt für D	**12,3**	**29,1**	**57,1**	**91,9**	**98,9**	**140,9**	**217,0**	**297,4**	**380,3**	**445,4**	**445,6**	**442,5**

*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft

Tabelle D 11: Wärmebereitstellung mittels erneuerbaren Energien

TWh/a	2000	2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A) aus EEG-Anlagen (KWK)	**2,5**	**6,8**	**23,0**	**31,7**	**32,4**	**34,8**	**39,3**	**44,3**	**47,1**	**47,6**	**47,6**	**47,6**
Biomasse fest	1,2	3,7	10,0	12,2	12,3	14,2	17,9	21,9	23,5	23,9	23,9	23,9
Biogas, Deponie-, Klärgas, Flüssige Biomasse	1,4	3,0	13,0	19,5	20,1	20,6	21,4	22,4	23,7	23,7	23,7	23,7
B) weitere Biomassen	**52,4**	**76,5**	**94,7**	**101,0**	**107,9**	**110,4**	**110,9**	**111,5**	**111,7**	**111,7**	**111,7**	**111,7**
Heizwerke, feste Biomasse	3,0	12,0	16,1	17,3	17,5	18,6	19,0	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4
Einzelheizungen, fest	45,9	57,3	71,3	72,3	78,9	79,8	80,0	80,2	80,3	80,3	80,3	80,3
Biogener Abfall (KWK)	3,5	7,2	7,3	11,4	11,5	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Biowärme gesamt	**55,0**	**83,3**	**117,7**	**132,7**	**140,2**	**145,2**	**150,3**	**155,8**	**158,8**	**159,3**	**159,3**	**159,3**
davon KWK-Wärme	6,1	14,0	30,3	43,1	43,9	46,8	51,3	56,3	59,1	59,6	59,6	59,6
feste Biomasse, gesamt	50,1	73,1	97,5	101,8	108,7	112,6	116,8	121,3	123,1	123,6	123,6	123,6
Solarkollektoren	**1,3**	**3,0**	**5,6**	**7,3**	**7,6**	**11,8**	**22,4**	**35,8**	**53,1**	**69,8**	**79,9**	**79,9**
Einzelanlagen	1,3	3,0	5,6	7,2	7,6	11,7	21,2	33,1	48,1	62,3	70,7	70,1
Nahwärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,1	2,7	4,9	7,5	9,2	9,8
Umweltwärme/Geothermie	**1,8**	**2,8**	**6,9**	**10,6**	**11,7**	**20,3**	**40,8**	**61,2**	**83,6**	**103,5**	**108,5**	**111,6**
Hydrothermal, tiefe Geotherm.	0,1	0,5	0,7	1,1	1,2	2,5	8,6	16,4	25,5	35,4	40,0	42,7
Wärmepumpen	1,7	2,3	6,2	9,5	10,5	17,8	32,2	44,9	58,2	68,1	68,5	68,9
KWK aus EE-Wasserstoff	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**51,7**	**82,5**	**113,4**	**115,3**	**117,2**
EE-Wärme gesamt	**58,1**	**89,1**	**130,2**	**150,6**	**159,6**	**177,2**	**213,5**	**304,6**	**378,0**	**446,0**	**463,0**	**467,9**
Nahwärme (mit/ohne KWK)	9,2	26,5	47,1	61,5	62,6	68,0	80,0	146,3	191,5	235,2	243,4	248,6
Einzelanlagen	48,9	62,6	83,1	89,0	97,0	109,2	133,4	158,2	186,6	210,8	219,6	219,4

ARES-16-KLIMA2040; 04.02.2016

Tabelle D12: Jährliche Brutto-Installation der Anlagen zur EE-Stromerzeugung

Tab. 16a:	Jährliche Brutto-Leistungsinstallation; MW/a					SZEN 2016-KLIMA 2040		
			S T R O M (MWel/a)					**Strom**
	Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	tromimport E	Biomasse (oh. biog. Mül	**gesamt** MWel/a
2000	0	**1662**	0	**44**	**0**	**0**	**109**	**1815**
2001	19	2641	0	120	0	0	128	2908
2002	126	3238	0	150	0	0	203	3717
2003	35	2617	0	180	0	0	358	3190
2004	252	2019	0	512	0	0	312	3095
2005	**44**	**1763**	**0**	**980**	**0**	**0**	**616**	**3403**
2006	2	2193	0	1020	0	0	695	3910
2007	0	1615	0	1271	3	0	486	3376
2008	9	1632	5	1813	0	0	475	3934
2009	196	1817	15	4446	4	0	591	7069
2010	**86**	**1380**	**60**	**7338**	**0**	**0**	**523**	**9387**
2011	237	1870	120	7485	0	0	685	10397
2012	2	2204	100	7604	4	0	475	10389
2013	2	2836	250	3304	19	0	299	6710
2014	9	4588	463	1899	5	0	451	7415
2015	**40**	**3500**	**2256**	**1394**	**6**	**0**	**91**	**7286**
2016	43	3700	583	1900	7	0	51	6284
2017	49	3900	1000	2400	8	0	69	7426
2018	55	4500	700	3000	12	0	93	8360
2019	62	4900	700	4000	16	0	126	9804
2020	**75**	**5900**	**948**	**5300**	30	**50**	**207**	**12510**
2025	85	6700	2100	7100	100	330	362	16392
2030	**95**	**7500**	**2800**	**8100**	150	**1100**	**529**	**20274**
2035	83	7200	3700	8100	200	2000	440	21723
2040	**70**	**7000**	**3500**	**8100**	**200**	**2100**	**403**	**21373**
2045	58	6440	1200	4800	130	550	516	13694
2050	**45**	**7340**	**2600**	**6000**	**150**	**1050**	**484**	**17669**

Tabelle D 13: Jährliche Netto-Installation der Anlagen zur EE-Stromerzeugung

Tab. 16b:	Jährlicher Leistungszuwachs (netto); MW/a					SZEN 2016-KLIMA 2040		
			S T R O M (MWel/a)					**Strom**
	Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	tromimport E	Biomasse (oh. biog. Mül	**gesamt** MWel/a
2000	0	**1662**	**0**	**44**	**0**	**0**	**109**	**1815**
2001	0	2641	0	120	0	0	128	2888
2002	107	3238	0	150	0	0	203	3698
2003	16	2617	0	180	0	0	358	3171
2004	233	2019	0	512	0	0	312	3076
2005	**25**	**1763**	**0**	**980**	**0**	**0**	**616**	**3383**
2006	-17	2193	0	1020	0	0	695	3891
2007	-19	1615	0	1271	3	0	486	3356
2008	-10	1632	5	1813	0	0	475	3915
2009	177	1817	15	4446	4	0	591	7050
2010	**67**	**1380**	**60**	**7338**	**0**	**0**	**523**	**9368**
2011	218	1845	120	7485	0	0	685	10352
2012	-17	2139	100	7604	4	0	475	10305
2013	-17	2766	250	3304	19	0	299	6621
2014	-10	4393	463	1899	5	0	451	7201
2015	**21**	**3200**	**2256**	**1394**	**6**	**0**	**91**	**6966**
2016	24	3400	583	1899	7	0	51	5963
2017	30	3550	1000	2396	8	0	69	7053
2018	36	4151	700	2997	12	0	93	7989
2019	43	4495	700	3997	16	0	105	9355
2020	**56**	**5112**	**948**	**5294**	**30**	**50**	**179**	**11669**
2025	63	5089	2100	7027	100	**705**	133	15216
2030	**70**	**4960**	**2725**	**7307**	**149**	**725**	**145**	**16080**
2035	57	4624	3513	6114	193	2000	91	16593
2040	**43**	**2900**	**2832**	**4957**	**185**	**2090**	**15**	**13023**
2045	29	-420	210	82	30	100	5	36
2050	**14**	**-80**	**-200**	**-210**	**0**	**-130**	**5**	**-602**

E) Vergleich der Szenarien SZEN-16 „TREND“; SZEN-16 „KLIMA 2050“ und SZEN-16 „KLIMA 2040“

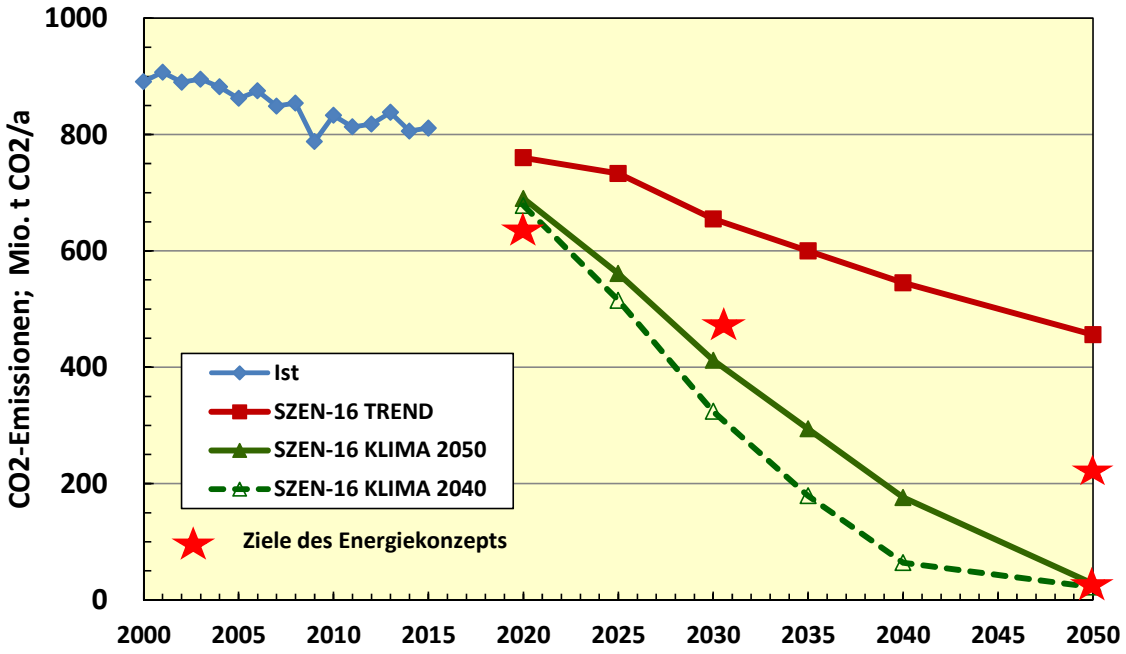


Abbildung E 1: Energiebedingte CO2-Emissionen (einschließlich Industrieprozesse)

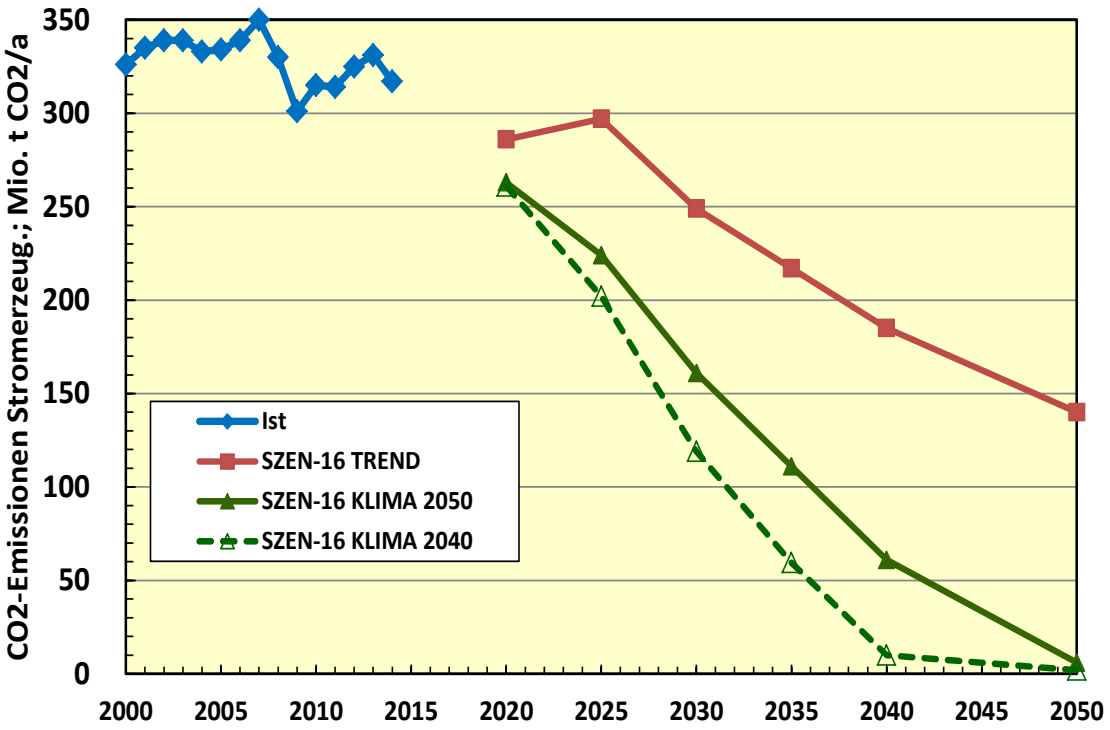


Abbildung E 2: CO2-Emissionen der Stromerzeugung

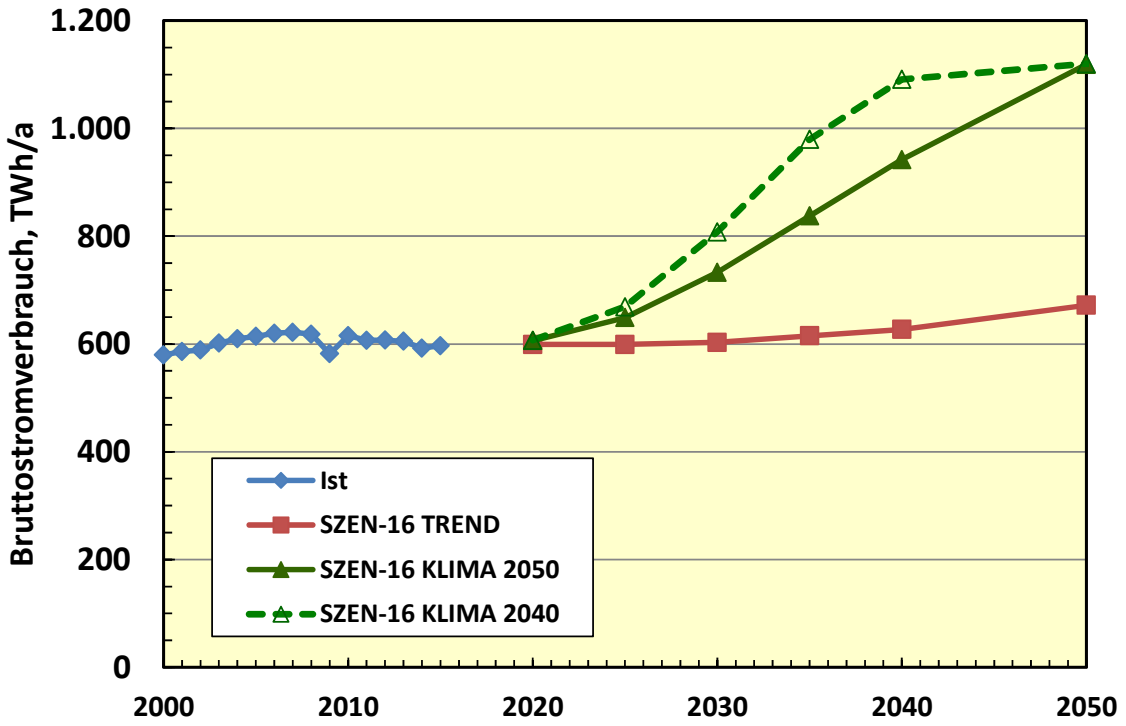


Abbildung E 3: Entwicklung des Bruttostromverbrauchs

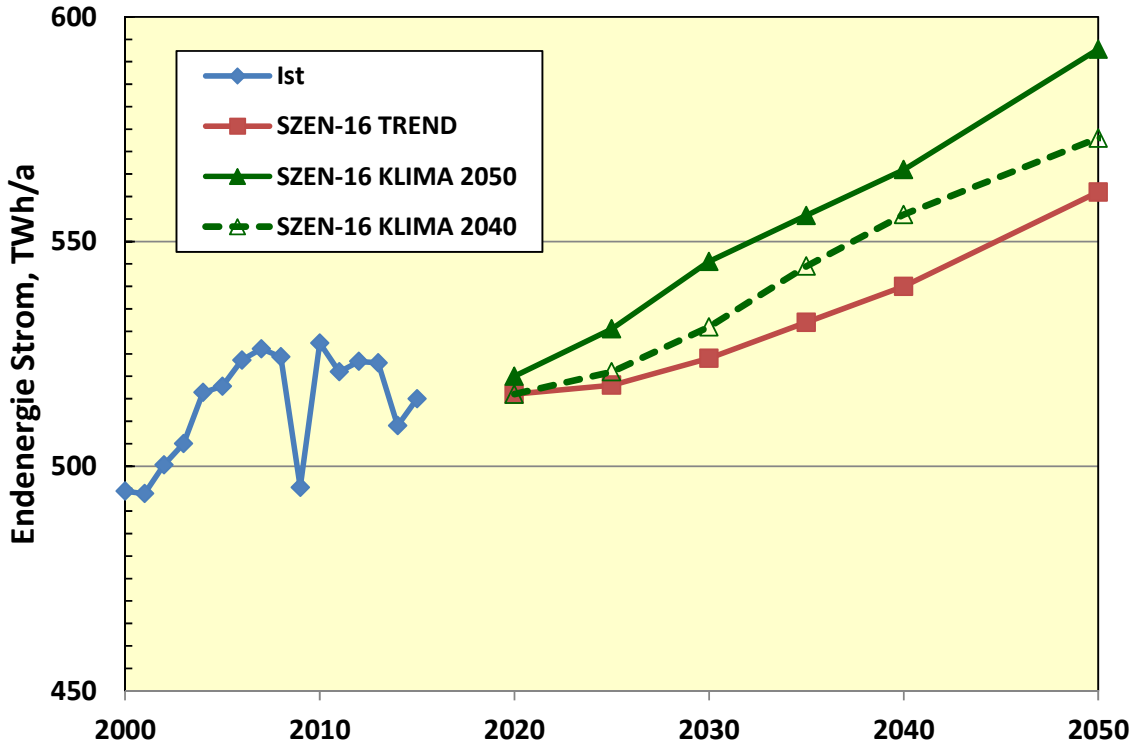


Abbildung E 4:Entwicklung des Stromendenergieverbrauchs (Unterdrückter Nullpunkt !)

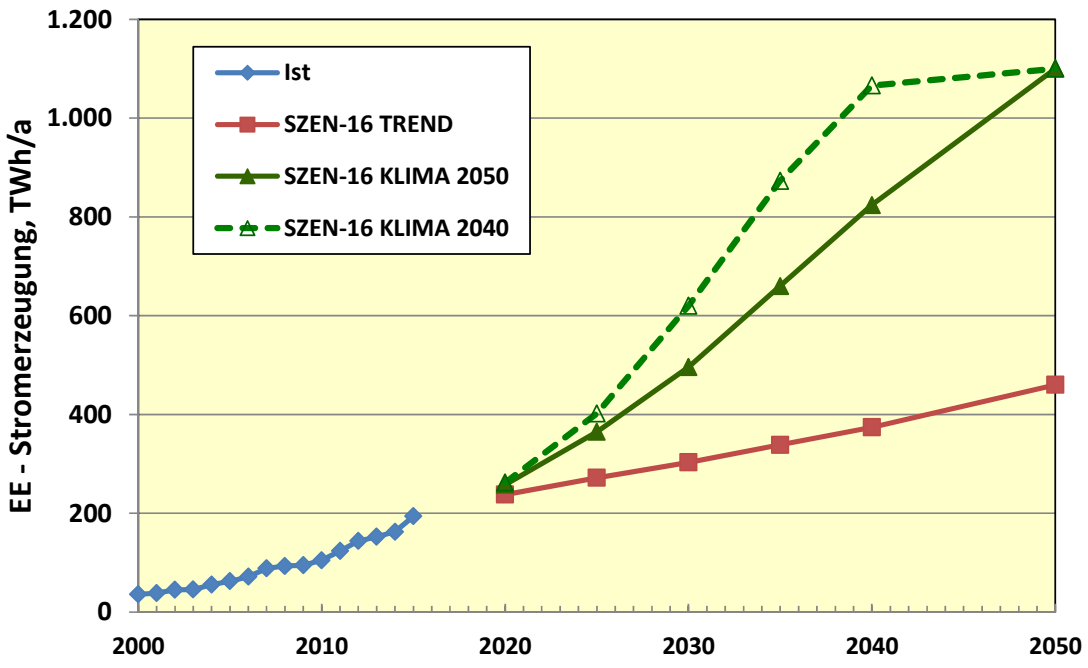


Abbildung E 5: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

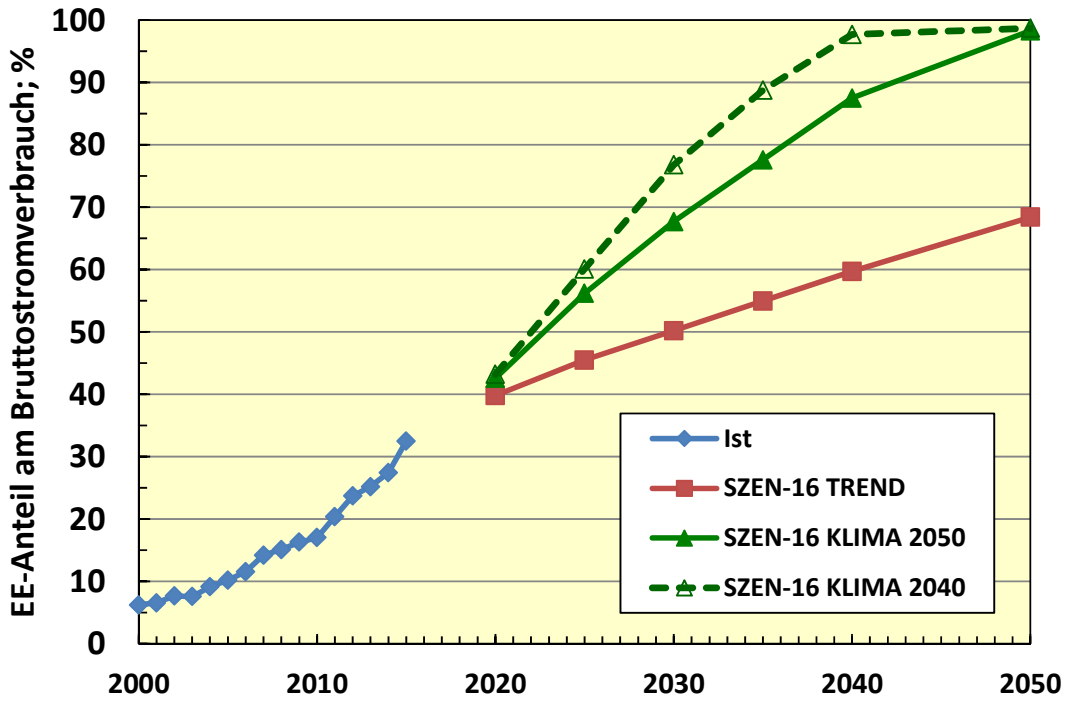


Abbildung E 6: EE-Anteil am Bruttostromverbrauch

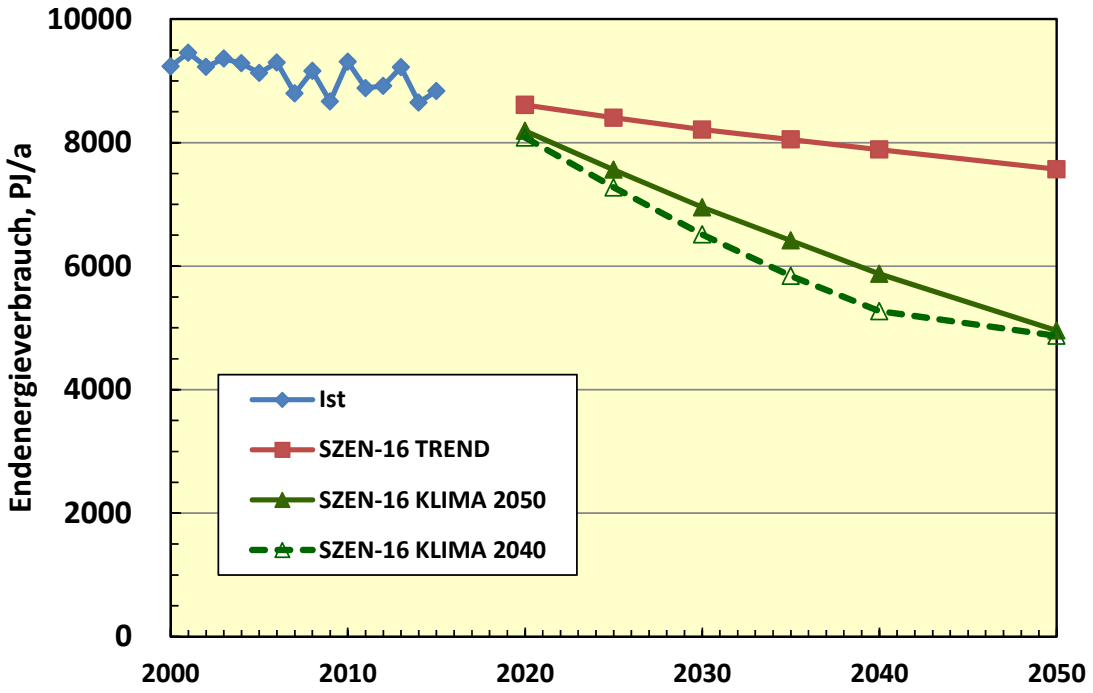


Abbildung E 7: Entwicklung des Endenergieverbrauchs

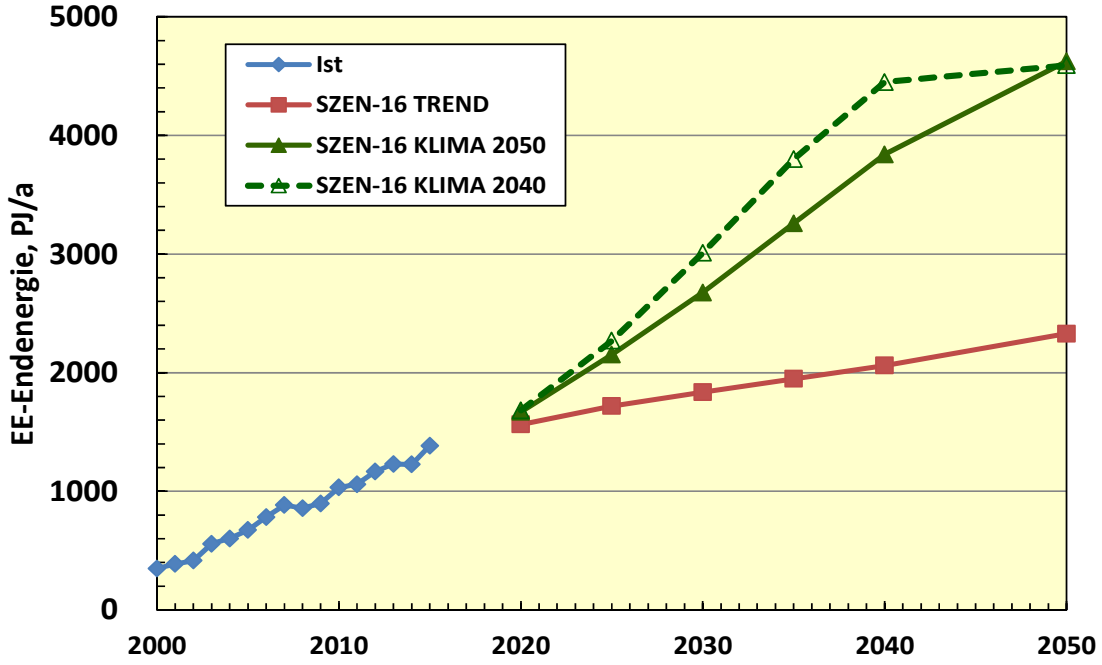


Abbildung E 8: Entwicklung des Endenergieverbrauchs erneuerbarer Energien

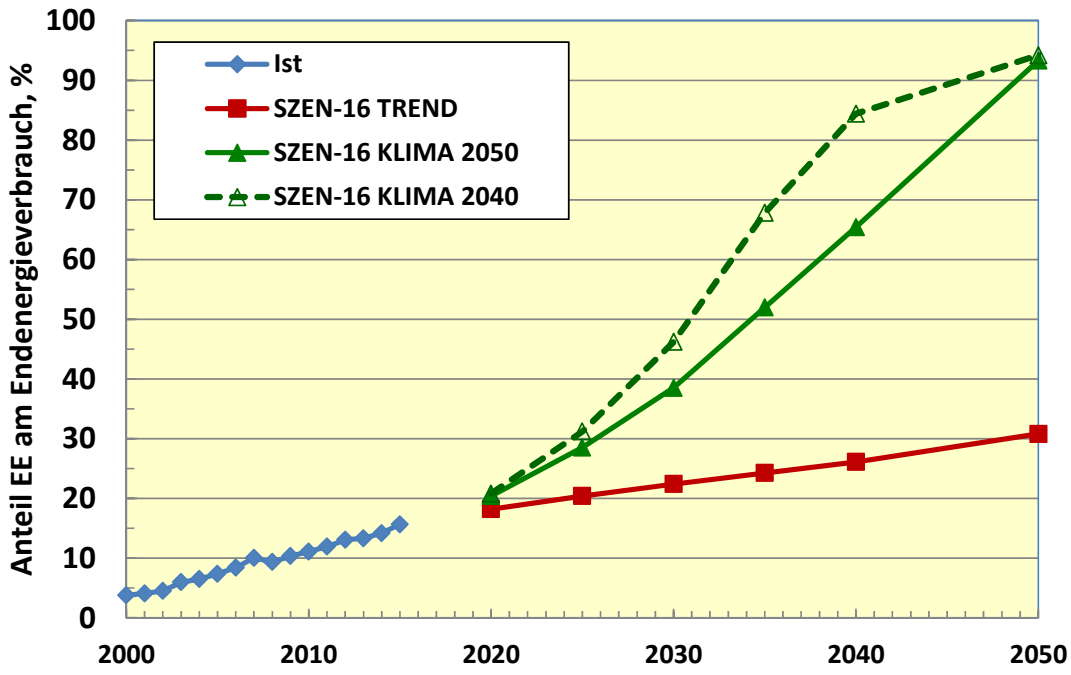


Abbildung E 8: EE-Anteil am gesamten Endenergieverbrauch

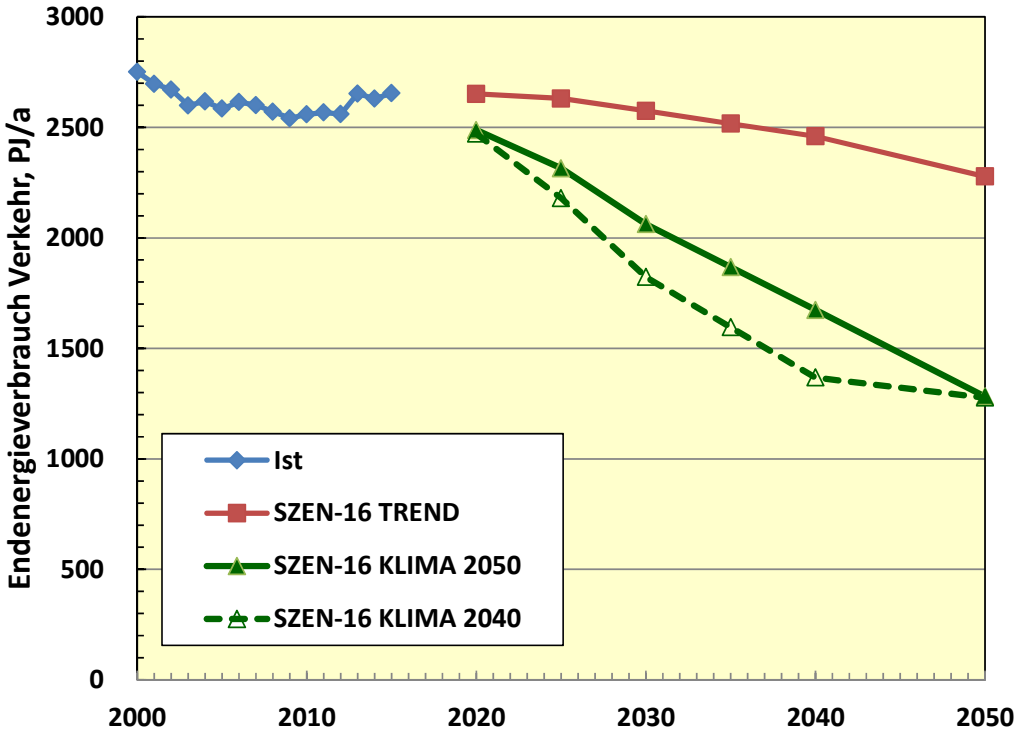


Abbildung E 9: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr

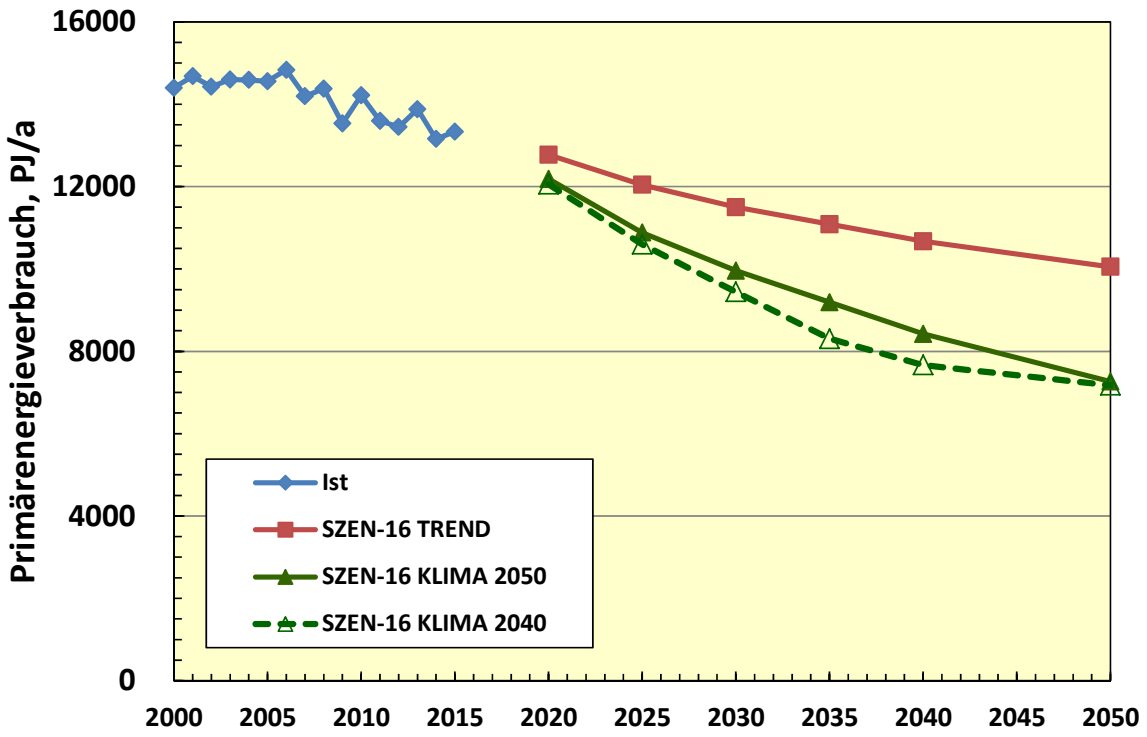


Abbildung E 10: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

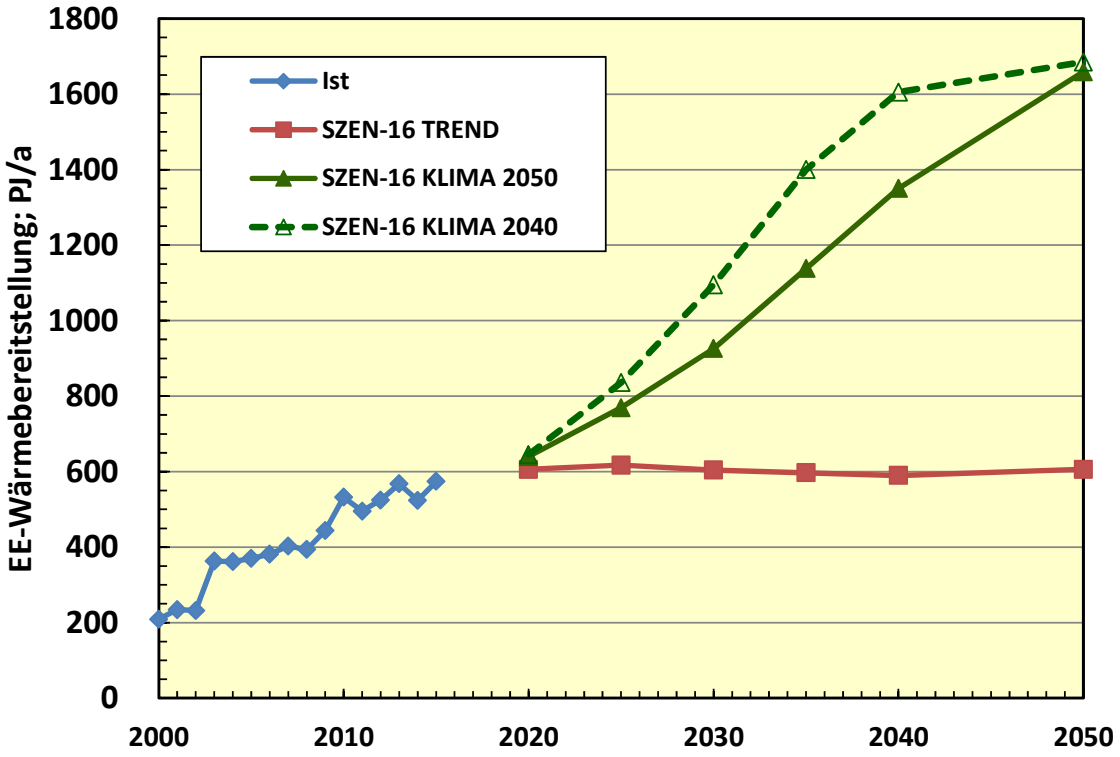


Abbildung E 11: EE-Anteil an der Wärmebereitstellung (ohne Wärmeanteil durch EE-Strom)

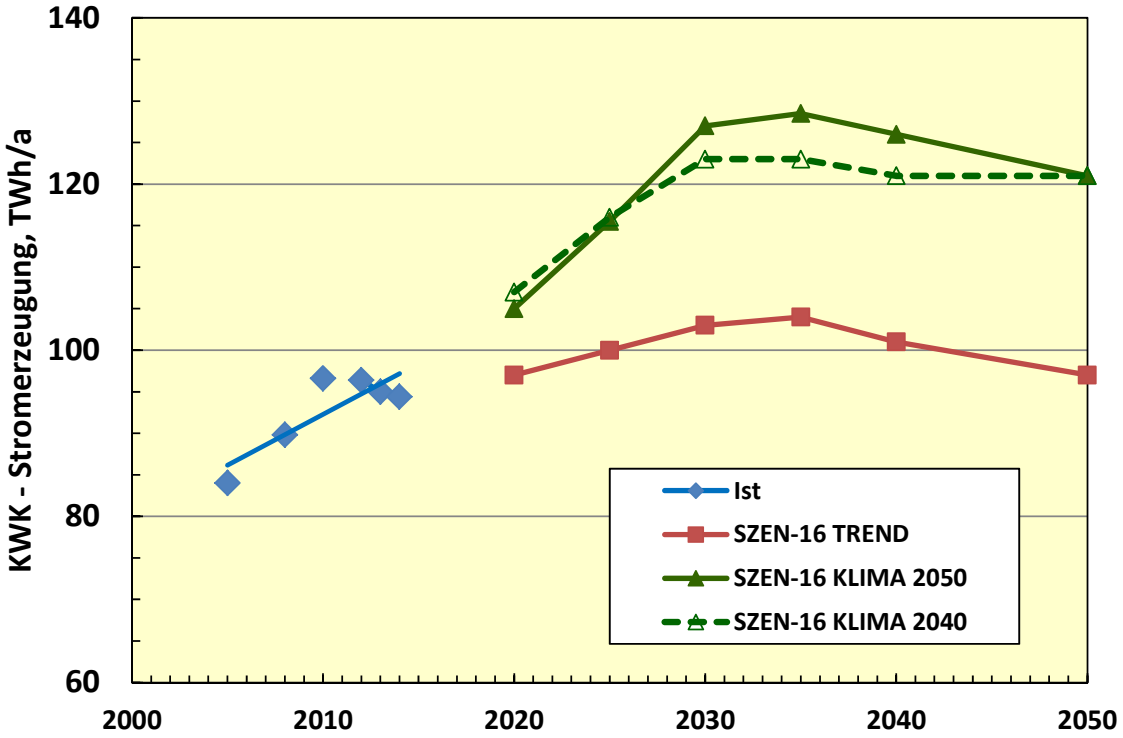


Abbildung E 12: Entwicklung der Stromerzeugung aus KWK-Anlagen

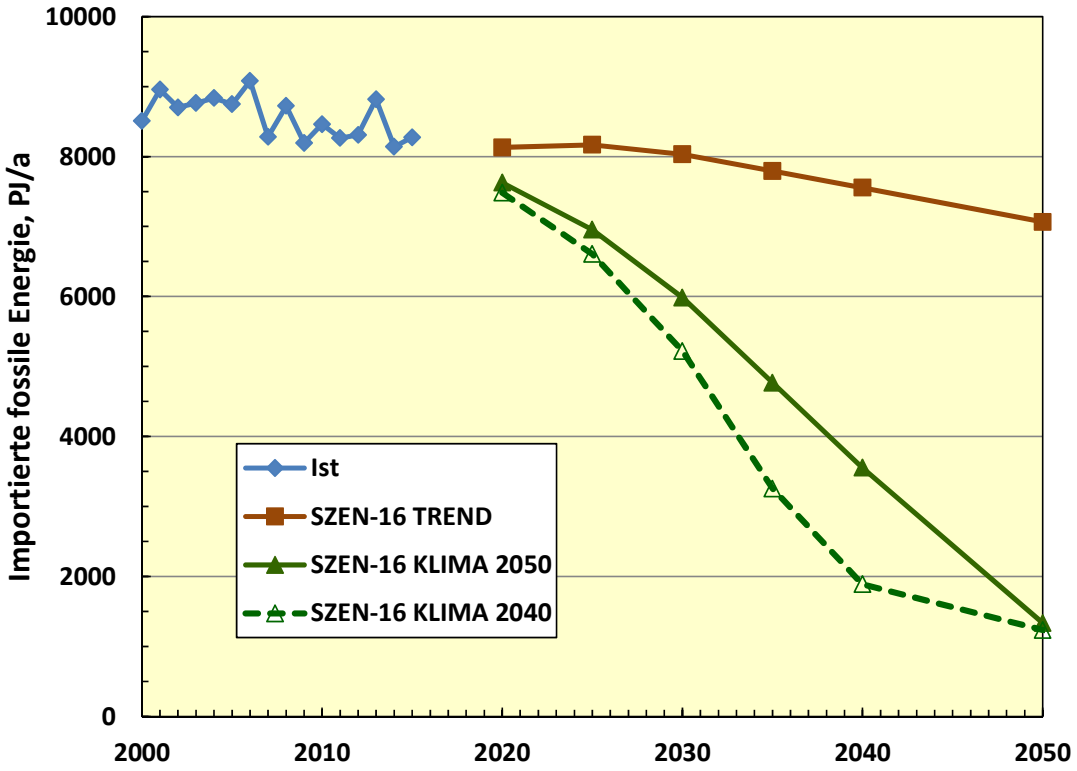


Abbildung E 13: Menge importierter fossiler Energie