

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

**Kurzstudie
für den
Bundesverband Erneuerbare Energien e.V.**

**Dr. Joachim Nitsch
Stuttgart, 17. Februar 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 CO₂-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“ CO₂-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 CO₂-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 CO₂-Minderung von 252 Mio. t CO₂/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
	Primär- energie	Gebäude- wärme ¹⁾	Endenergie Verkehr	an Brutto- endenergie	an Brutto- strom	
2020						
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 Treibhausgasminde- rung eintreten muss, damit die Klimaschutzziele erreicht werden können. Er muss bereits innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine ähnliche Wirkung erreichen, wie die CO₂-Minderung durch den Ausbau der EE. Dies ist in den Klimaschutzszenarien der Fall.

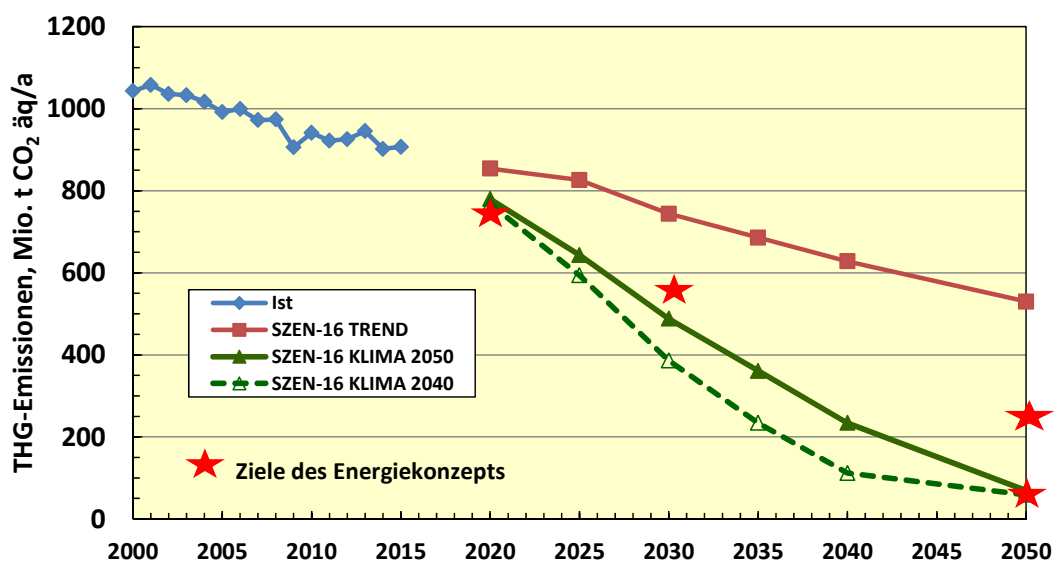


Abbildung 1: Bisheriger Verlauf der gesamten nationalen THG-Emissionen und Entwicklung in den Szenarien SZEN-16 „TREND“, SZEN-16 „KLIMA 2050“ und SZEN-16 „KLIMA 2040“ im Vergleich zu den Zielen des Energiekonzepts. Quelle für Ist: UBA 2016

Im SZEN-16 „KLIMA 2050“ wird im Jahr 2050 eine THG-Minderung von -95% erreicht. Die dazu erforderliche Minderung der CO₂-Emissionen in Höhe von insgesamt 1020 Mio. t CO₂/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%)

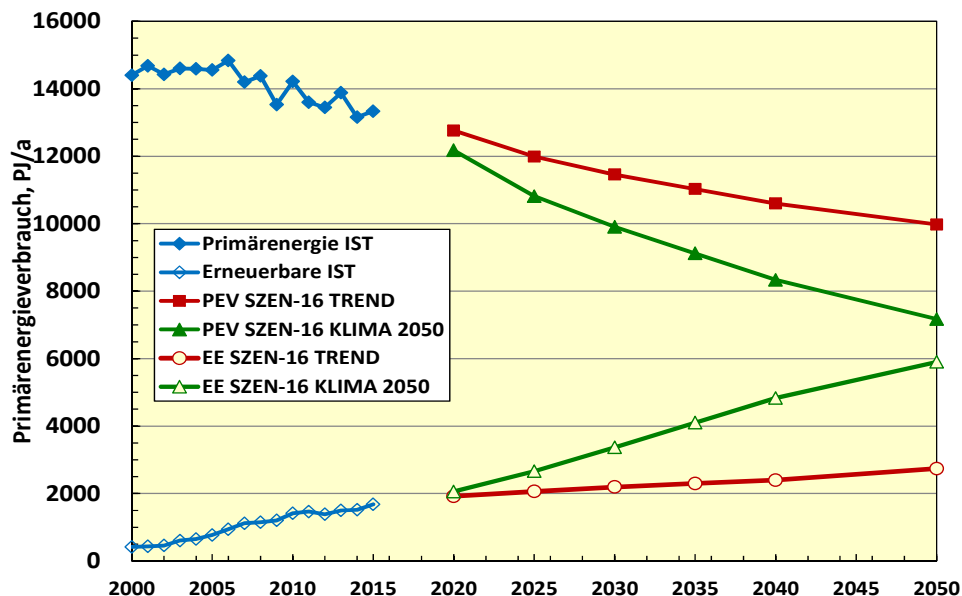


Abbildung 2: Zusammenwirken von Effizienzstrategie und EE-Ausbau zur Erreichung des Klimaschutzziels (Vergleich von SZEN-16 „TREND“ und SZEN-16 „KLIMA-2050“)

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 der heutigen fossilen Energieträger ersetzen.

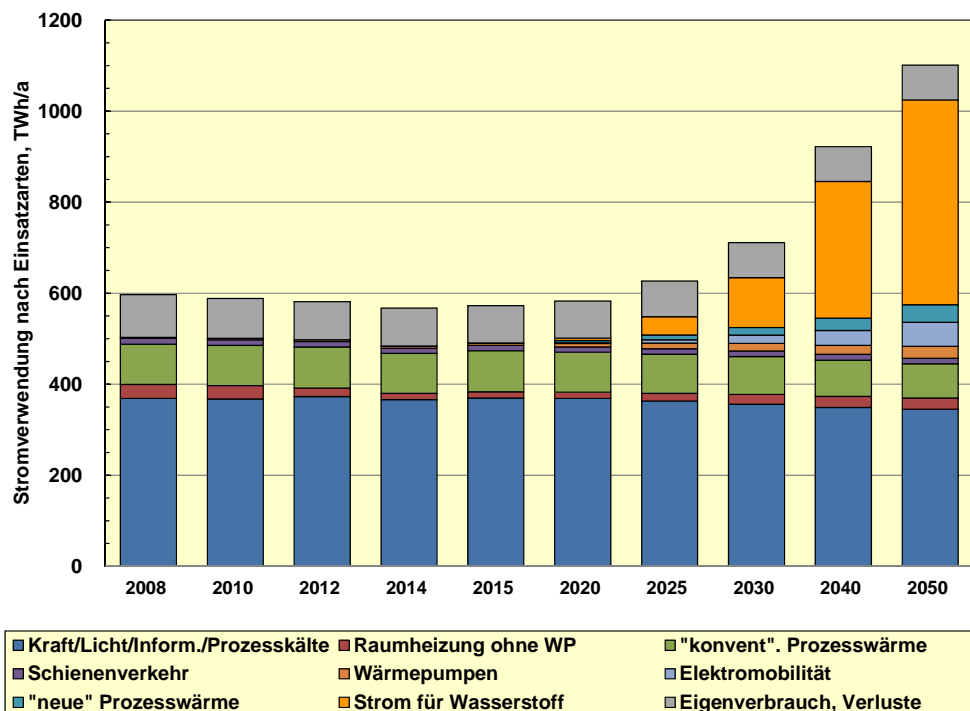


Abbildung 3: Bruttostromerzeugung für „konventionelle“ und „neue“ Stromverwendungen in SZEN-16 „KLIMA 2050“. „Neue“ Stromverwendungen sind: Wärmepumpen, Elektromobilität, „Power to Heat“ für Prozesswärme und Wärmenetze; „Power to Gas“ (Wasserstoff) für KWK, Prozesswärme und chemische Industrie sowie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

*) Technologiemiex 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

*) Technologiemiex 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 CO₂-Ausstoß des Wärmesektors beliefe sich noch auf 177 Mio. t CO₂/a (Derzeit 300 Mio. t CO₂/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.

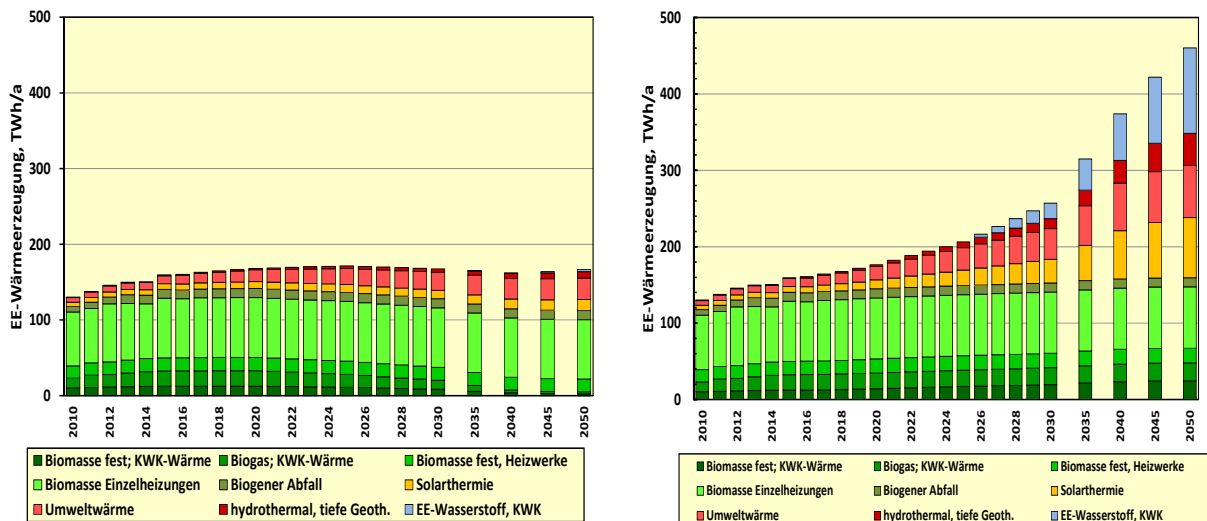


Abbildung 4: Entwicklung der EE-Wärmeerzeugung (ohne Stromanteil) im Trendszenario SZEN-16 „TREND“ (links) und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050“; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts (in TWh/a; 1 TWh/a = 3,6 PJ/a)

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 CO₂/a stammen 23% der nationalen CO₂-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 Verbrauchsenkung 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

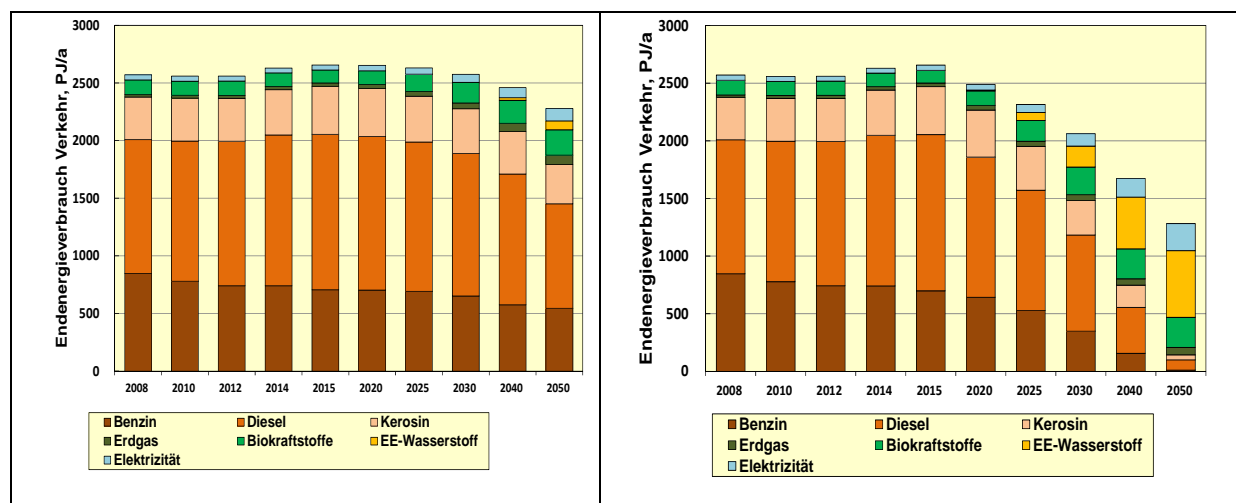


Abbildung 5: Entwicklung der Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im Verkehr im Trendszenario SZEN-16 „TREND“ (links) und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050“; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts.

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 CO₂-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 CO₂-Preise (mindestens 40-50 €/t) oder äquivalente CO₂-Steuern; im Verkehr ggf. äquivalente Besteuerung von Kraftstoffen) Dadurch würden die durch einen ungebremsen 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 angemessenen hohen CO₂-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 CO₂-

Emissionen in Höhe von nur noch 28 Mio. t CO₂/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.

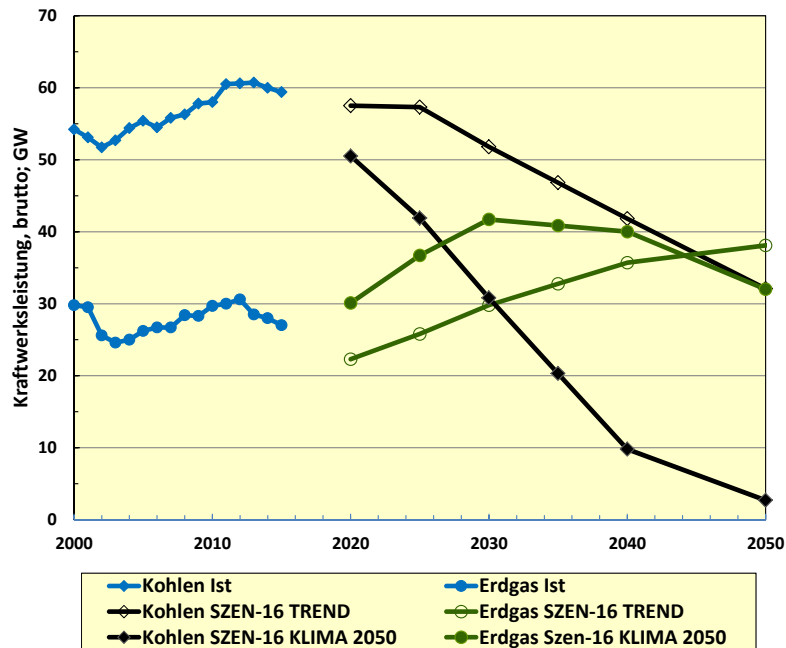


Abbildung 6: Entwicklung der Leistung von Kohle- und Erdgaskraftwerken (KOND- und KWK-Anlagen) im Trendszenario SZEN-16 „TREND“ und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050“) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts.

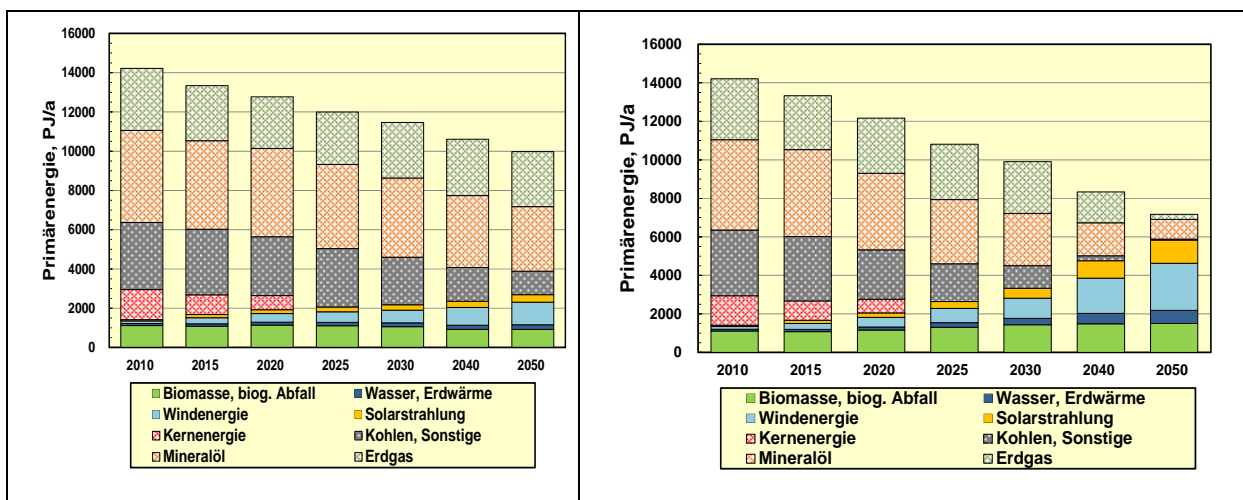


Abb. 7: Umbaudynamik der Energieversorgung (am Beispiel der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs) unter gegenwärtigen Trendentwicklungen (Szenario SZEN-16 „TREND“, links) und die aus Klimaschutzsicht mindestens notwendigen Entwicklungsgradienten (SZEN-16 „KLIMA 2050“, rechts). Der verbleibende fossile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

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

[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.

[SZEN 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

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