

**Erfolgreiche Energiewende
nur mit verbesserter Energieeffizienz
und einem klimagerechten Energiemarkt**

–

**Aktuelle Szenarien 2017 der deutschen
Energieversorgung**

**Dr. Joachim Nitsch
Stuttgart, 12. Mai 2017**

Kurzfassung

Drei Szenarien der zukünftigen Energieversorgung

Seit einigen Jahren stagniert die Reduktion von Treibhausgasen in Deutschland. Im Jahr 2016 wurden 906 Mio. t/CO_{2äq}/a emittiert. Die seit 1990 erreichte THG-Emissionsminderung beträgt -27,6%. Um das Reduktionsziel für 2020 von -40% gegenüber 1990 zu erreichen (750 Mio. t/CO_{2äq}/a), müssten weitere 156 Mio. t CO_{2äq}/a vermieden werden. Diese Reduktion kann bis 2020 nicht mehr erreicht werden, dazu ist bereits zu viel Zeit verstrichen. Günstigstenfalls ist eine weitere Reduktion von ca. 55 Mio. t CO_{2äq}/a erreichbar, womit sich die Reduktion auf -32% beläuft. Wird diese gebremste Umbaudynamik im Energiebereich über einen längeren Zeitraum beibehalten, würden die fossilen Energieträger auch noch zur Jahrhundertmitte mit 70 – 75% Anteil das Energiesystem dominieren. Das Klimaschutzziel wäre weit verfehlt. Zu diesem Ergebnis kommt das Energieszenario **TREND-17**, welches die Wirkungen der derzeit von der Bundesregierung formulierten energiepolitischen Aktionsprogramme und des derzeitigen Förderinstrumentariums für EE und EFF beschreibt. Ausgangsbasis sind die Zielsetzungen des Energie- und Klimaschutzkonzepts aus dem Jahr 2011, ergänzt um die aktuellen Zielvorgaben des im November 2016 von der Bundesregierung beschlossenen Klimaschutzplans 2050.

Gegenüber der letzten Szenarienaktualisierung [Nitsch 2016] hat sich die Ausgangslage weiter verschlechtert. Die Anreize für einen klimagerechten Umbau der Energieversorgung sind weiterhin sehr gering. Auf absehbare Zeit dominieren niedrige Preise für fossile Energien; weiter sinkende Börsenstrompreise und sehr niedrige CO₂-Preise. Klimaschutz und Energieeffizienz besitzen derzeit eine relativ geringe politische Priorität. Für die deutlich erforderliche Steigerung der Energieeffizienz kann zwar von einer gegenüber der vergangenen Entwicklung verstärkenden Wirkung des Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) und des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 ausgegangen werden, allerdings wird deren Wirkung in dem nur noch kurzen Zeitraum bis 2020 gering bleiben. Beim EE-Zubau im Stromsektor werden im Szenario 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 derzeitigen EEG 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 sind im Vergleich dazu die Szenarien **KLIMA-17 MEFF** und **KLIMA-17 HEFF**. Sie beschreiben eine Energieversorgung, die das obere Reduktionsziel des Energiekonzepts 2011 für die Treibhausgasemissionen (THG) von **-95%** im Jahr 2050 erreichen. Dazu ist eine praktisch **100%ig emissionsfreie, also ausschließlich auf EE basierende Energieversorgung** erforderlich. Das im Energiekonzept der Bundesregierung immer noch erwähnte 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 notwendigen Beitrag zur Sicherstellung des globalen 2°C-Ziels bis 2050 leisten soll [Rogelj 2016].

Die beiden Szenarien unterscheiden sich in der Intensität der Steigerung der Energieeffizienz. Generell muss die Energieproduktivität deutlich rascher steigen als in den vergangenen 20 Jahren, wenn der Primärenergieeinsatz, wie angestrebt, deutlich sinken soll. Im **MEFF-Szenario (Mittlere Effizienz)** wird von einer technisch relativ leicht erreichbaren, jedoch strukturell

und ökonomisch keineswegs gesicherten Steigerung der Energieproduktivität ausgegangen. Sie entspricht etwa der im Energiekonzept unterstellten Effizienzsteigerung bis 2050 (Halbierung des Primärenergieverbrauchs ggü. 2008). Im **HEFF-Szenario (Hohe Effizienz)** werden weitere, aus heutiger Sicht technisch durchaus mögliche Effizienzsteigerungen unterstellt. Damit fällt der „notwendige“ Beitrag der EE zur Erreichung des Klimaschutzziels entsprechend geringer aus, was die gesellschaftliche Akzeptanz dieses Szenarios erleichtern könnte. Allerdings sind bei der Umsetzung der unterstellten starken Effizienzsteigerungen entsprechend höhere strukturelle und ökonomische Hemmnisse zu erwarten.

Ergebnisse im Überblick

Im Jahr 2015 erreichten die THG-Emissionen in Deutschland mit 902 Mio. t/CO_{2äq}/a den bisher niedrigsten Wert. Die gegenüber 1990 erreichte Emissionsminderung lag bei -28%. Im Jahr 2016 sind die THG-Emissionen, einhergehend mit einem Anstieg des Primärenergieverbrauchs, jedoch wieder auf 906 Mio. t/CO_{2äq}/a gestiegen. Betrachtet man nur die CO₂-Emissionen (796 Mio. t CO₂/a = 88% der gesamten THG-Emissionen), so sind rund zwei Drittel der seit 1990 erreichten Minderung von 243 Mio. t CO₂/a durch den Ausbau der EE bewirkt worden und dort zu nahezu 75% durch den Ausbau der EE-Stromerzeugung. Lediglich ein Drittel stammt von der Verbesserung der Energieeffizienz. Um das Reduktionsziel für 2020 von -40% gegenüber 1990 zu erreichen (750 Mio. t/CO_{2äq}/a), müssen weitere 156 Mio. t CO_{2äq}/a bis 2020 vermieden werden. Im Szenario TREND-17 wird bis 2020 eine weitere Reduktion von 55 Mio. t CO_{2äq}/a erzielt, womit eine Minderung ggü. 1990 von -32% erreicht wird (**Tabelle 1; Abbildung 1**). Das Reduktionsziel von -40% wird also um rund 100 Mio. t CO_{2äq}/a verfehlt.

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

2020	Verbrauchsminderung (Bezugsbasis 2008)			Anteil Erneuerbare Energien		THG-Emissionen
	Primär- energie	Gebäude- wärme ¹⁾	Endenergie Verkehr	an Brutto- endenergie	an Brutto- strom	
Energiekonzept	-20	-20	-10	18	min. 35	min -40
TREND-17	-11,2	-17	+4,8	17,4	39,1	-32,0
KLIMA -17 MEFF	-14,3	-21	-0,4	19,6	43,5	-37,5
KLIMA -17 HEFF	-15,9	-24	-2,4	20,0	43,6	-38,7
2030						
Energiekonzept	(-30)	(-40)	(-20)	30	50	min. -55²⁾
TREND-17	-20,7	--28	+1,3	22,0	51,0	-41,2
KLIMA -17 MEFF	-31,1	-42	-12,9	36,3	71,4	-61,6
KLIMA -17 HEFF	-34,7	-45	-18,6	37,0	71,2	-63,7
2040						
Energiekonzept	(-40)	(-60)	(-30)	45	65	min. -70
TREND-17	-26,6	-45	-3,2	25,8	60,5	-50,5
KLIMA -17 MEFF	-40,6	-80	-26,8	60,1	90,1	-81,0
KLIMA -17 HEFF	-45,8	-83	-35,0	60,5	88,1	-82,5
2050						
Energiekonzept	-50	-80	-40	60	80	- (80) bis -95
TREND-17	-31,9	-51	-10,3	29,4	70,5	-59,6
KLIMA -17 MEFF	-47,5	-95	-41,7	83,4	98,4	-94,4
KLIMA -17 HEFF	-53,9	-95	-48,7	82,7	96,1	-94,5

1) In 2020 Minderung des Energieverbrauchs; 2050 Minderung nichterneuerbare Primärenergie;

2) -55% bis -56% nach Klimaschutzplan 2050 vom 14. Nov. 2016; () = interpolierte Zielwerte

Auch in den Klimaschutzszenarien KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF wird diese Zielmarke knapp verfehlt (Abb.1; Tabelle 1). Das in diesen Szenarien eingeleitete dynamischere Wachstum der EE und die verstärkte Effizienzsteigerung kann aber nach 2020 den Rückstand rasch kompensieren. Bereits in 2030 übertreffen die Klimaschutzszenarien die Zwischenziele zur THG-Minderung (-55%) mit über -60% deutlich. Dies ist auch erforderlich, um bis 2050 die Zielmarke von -95% THG-Minderung zu erreichen.

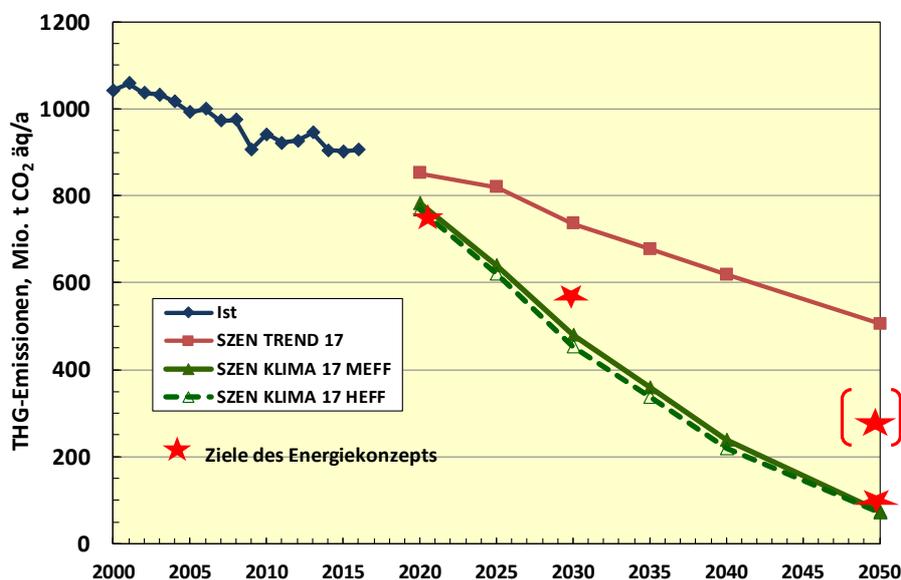


Abbildung 1: Bisheriger Verlauf der nationalen THG-Emissionen und Entwicklung in den Szenarien TREND-17, KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF im Vergleich zu den Zielen des Energiekonzepts. Quelle für Ist: [UBA 2017]

Wird die in TREND-17 modellierte gehemmte Weiterentwicklung von EFF und EE bis 2050 beibehalten, sinkt der Primärenergieverbrauch bis 2050 nur um 32%, der Beitrag der EE am Bruttoendenergieverbrauch erreicht nur 29%. Damit wird das langfristige Klimaschutzziel 2050 mit einer Minderung von knapp -60% erheblich verfehlt (Tab.1; Abb. 1). In beiden Klimaschutzszenarien wird dagegen im Jahr 2050 eine THG-Minderung von rund -94% erreicht (in 2060 von – 97%). Die dazu erforderliche Minderung der CO₂-Emissionen in Höhe von insgesamt 1000 Mio. t CO₂/a bzw. -95,2% (bezogen auf 1990) wird in KLIMA-17 MEFF zu 53% durch EE und zu 47% durch EFF erbracht. Der Primärenergieverbrauch beträgt dann mit 7561 PJ/a noch 53% des 2008er Wertes und der Deckungsanteil der EE am Endenergieverbrauch liegt bei 86% (4718 PJ/a) (**Tab. 2; Abb.2**). In KLIM-17 HEFF überwiegt der Beitrag von EFF an der CO₂-Minderung mit 58% bei, der EE-Beitrag sinkt auf 42%. Dies wird durch den deutlich geringeren Primärenergieverbrauch von 6630 PJ/a (= 46% von 2008) erreicht. Der Bedarf an EE-Endenergie kann dann bei gleichem Anteil mit 3996 PJ/a um 722 PJ/a geringer ausfallen als in KLIMA-17 MEFF.

Abbildung 2 zeigt, dass die Abweichungen zwischen der Trendentwicklung und dem notwendigen Klimaschutzpfad rasch erhebliche Ausmaße annehmen. Bereits in 2030 werden rund 1500 – 2000 PJ/a „zu viel“ Energie verbraucht und es „fehlen“ rund 800 PJ/a zusätzlich EE-Endenergie (Tab. 2). Ändern sich daher die energiepolitischen Rahmenbedingungen in nächster Zeit nicht erheblich - insbesondere hinsichtlich wesentlich deutlicher Anreize für Effizienzsteigerungen und hinsichtlich eines erheblich stärkeren Ausbaus von EE im Wärme- und im Verkehrssektor - so werden im nächsten Jahrzehnt gravierende Kursänderungen erforderlich, wenn das angestrebte längerfristige Klimaschutzziel rechtzeitig erreicht werden soll.

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

	2008	2016	2020	2025	2030	2040	2050	2060
TREND-17								
Primärenergieverbrauch, PJ/a	14380	13383	12774	11999	11413	10557	9797	9584
Endenergieverbrauch, PJ/a	9159	8962	8676	8434	8212	7838	7564	7361
EE-Endenergie, PJ/a	857	1391	1554	1719	1860	2086	2290	2455
EE-Anteil an Endenergie, % ¹⁾	9,4	15,3	17,9	20,4	22,7	26,6	30,3	33,3
KLIMA-17 MEFF								
Primärenergieverbrauch, PJ/a	14380	13383	12318	10854	9913	8546	7561	7239
Endenergieverbrauch, PJ/a	9159	8962	8346	7780	7222	6264	5478	5140
EE-Endenergie, PJ/a	857	1391	1685	2186	2703	3875	4707	4881
EE-Anteil an Endenergie, % ¹⁾	9,4	15,3	20,2	28,1	37,4	61,9	85,9	95,0
KLIMA-17 HEFF								
Primärenergieverbrauch, PJ/a	14380	13383	12102	10489	9396	7801	6630	6319
Endenergieverbrauch, PJ/a	9159	8962	8158	7461	6809	5619	4694	4356
EE-Endenergie, PJ/a	857	1391	1684	2149	2597	3501	3996	4187
EE-Anteil an Endenergie, % ¹⁾	9,4	15,3	20,6	28,8	38,1	62,3	85,1	96,1

1) Anteil am Bruttoendenergieverbrauch ist etwas geringer (2016: 14,8%; Ziel 2020: 18%)

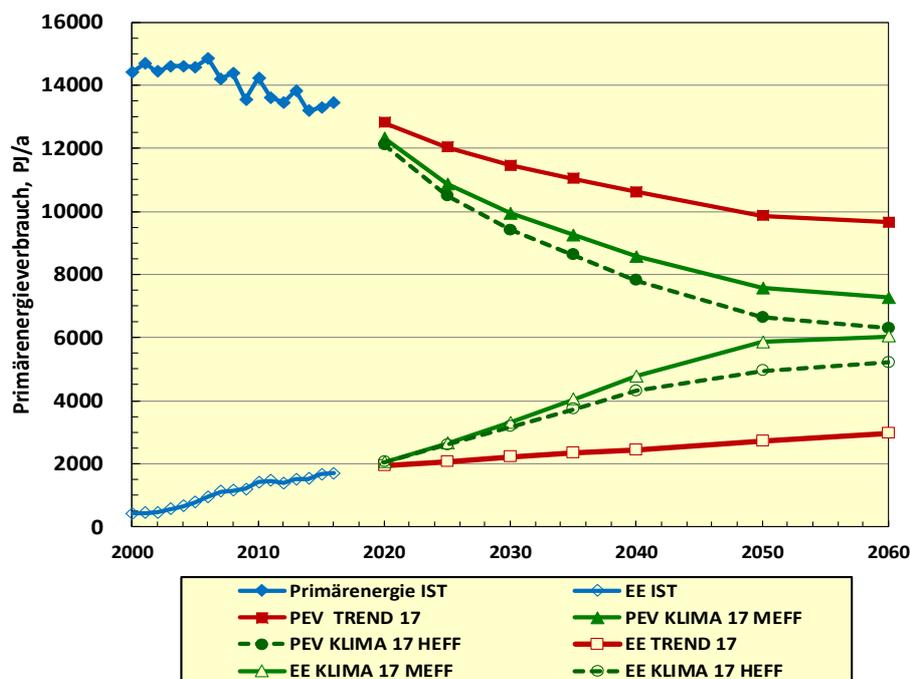


Abbildung 2: Zusammenwirken von stetiger Effizienzsteigerung und EE-Ausbau zur Erreichung des Klimaschutzziels in den Szenarien.

Bruttostromerzeugung und Einsatz von EE-Strom

EE-Strom trägt derzeit mit knapp 32 % zum Bruttostromverbrauch Deutschlands bei. Das Wachstum der EE-Stromerzeugung ist dank hoher Beiträge der Windenergie noch relativ hoch. Trotz möglicher Einbrüche bei der Umstellung auf Ausschreibungsverfahren, dem geringen Wachstum der Fotovoltaik und durch den drohenden Rückbau bei der Biomasse wird für das Szenario TREND-17 angenommen, dass der im Energiekonzept angestrebte Ausbaukorridor bis 2035 eingehalten wird. Das ehrgeizigere 80%-Ziel für 2050 wird aber verfehlt. (Tab. 3). Vor dem Hintergrund der Zielsetzung einer emissionsfreien Energieversorgung, wäre

selbst dieses Ziel unzureichend, da EE-Strom in diesem Fall seiner Aufgabe, auch im Wärme- und Verkehrsbereich fossile Energien zu verdrängen (Power to Mobility, to Heat, to Gas), nicht gerecht werden kann. EE-Strom muss dazu in deutlich größerem Umfang bereitgestellt werden. Das zeigt der Vergleich mit dem Wachstum des Bruttostromverbrauchs in KLIMA-17 MEFF, der gleichzeitig mit einem stark zunehmenden Anteil an EE-Strom verknüpft ist. In 2030 werden mit 507 TWh/a bereits 71,4% des Bruttostromverbrauchs von EE bereitgestellt. In 2050 decken EE dann mit 1079 TWh/a praktisch den gesamten Bruttostromverbrauch. In KLIMA-17 HEFF können ähnliche Deckungsanteile mit deutlich weniger EE-Strom erreicht werden. Im Jahr 2050 werden dafür 213 TWh/a weniger EE-Strom als in KLIMA-17 MEFF benötigt. Das ist mehr Strom, als derzeit insgesamt durch EE bereitgestellt werden.

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

	2016	2020	2025	2030	2040	2050	2060
TREND-17							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	595	597	602	609	623	653	718
EE-Stromerzeug., TWh/a	188	234	273	311	377	460	529
Anteil an Bruttoverbrauch, %	31,7	39,1	45,4	51,0	60,5	70,5	73,7
KLIMA-17 MEFF							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	595	602	632	709	920	1097	1113
EE-Stromerzeug., TWh/a ¹⁾	188	262	375	507	829	1079	1096
Anteil an Bruttoverbrauch, %	31,7	43,5	59,3	71,4	90,1	98,4	98,4
KLIMA-17 HEFF							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	595	599	613	660	806	901	970
EE-Stromerzeug., TWh/a ¹⁾	188	261	361	470	710	866	950
Anteil an Bruttoverbrauch, %	31,7	43,5	58,9	71,2	88,1	96,1	98,0

¹⁾ EE-Strom wird zunehmend als neue „Primärenergie“ im Wärme- und Verkehrssektor (Power to Heat, to Gas) eingesetzt

Die Verwendung der steigenden Stromerzeugung zeigt **Abbildung 3**. Ursache ist die wachsende Sektorkopplung, um fossile Energien auch aus dem Verkehrs- und Wärmesektor verdrängen zu können. EE-Strom wird in deutlich wachsendem Umfang für Mobilität, direkte Wärmenutzung und für die Erzeugung von EE- Wasserstoff eingesetzt. Der Stromverbrauch für die konventionelle Stromnutzung (Strom für Kraft/Licht/Kommunikation, Stromeinsatz für „konventionelle“ Raumheizung, Warmwasser, „heutiger“ Einsatz für Prozesswärme, Schienenverkehr) sinkt bis 2050 infolge steigender Effizienz in KLIMA-17 MEFF um 22% ggü. 2016 (bzw. um 26% ggü. 2008). Für KLIMA-17 HEFF belaufen sich die Werte auf -25% (-29%). EE-Strom als die zukünftige Hauptenergiequelle („Primärenergiequelle“) erschließt jedoch andere Nutzungsbereiche. Diese sind kurz- bis mittelfristig Wärmepumpen für Heizzwecke und Elektromobilität. Dazu kommt mittelfristig auch ein Einsatz von EE-Strom für industrielle Prozesswärme über die heute üblichen Einsatzbereiche hinaus, sowie die Einspeisung von EE-Überschussstrom in Wärmenetze (Power to Heat). In 2050 werden für Elektromobilität in KLIMA-17 MEFF mit 90 TWh/a bzw. 8,3% (in KLIMA-17 HEFF =87 TWh/a bzw. 9,7%) und für „neue“ Wärmezwecke 80 TWh/a bzw. 7,2% (in KLIMA-17 HEFF = 77 TWh/a bzw. 8,5%) des Stromverbrauchs benötigt.

Längerfristig ist die Überführung eines Teils des (fluktuierenden) EE-Stroms in eine chemisch speicherbare Form (Power to Gas) unerlässlich. In diesen 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 Rolle heutiger fossilen Energieträger ersetzen.

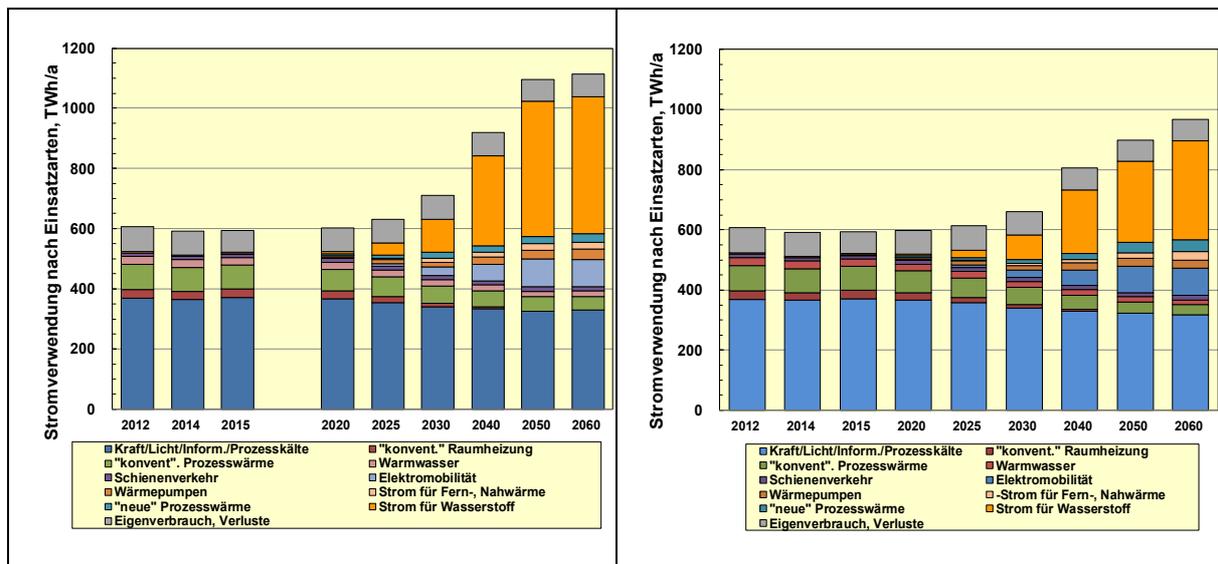


Abbildung 3: Bruttostromerzeugung für „konventionelle“ und „neue“ Stromverwendungen KLIMA-17 MEFF (links) und KLIMA-17 HEFF (rechts). „Neue“ Stromverwendungen sind: Elektromobilität, Wärmepumpen, EE-Strom für Wärmenetze und Prozesswärme sowie für Power to Gas (Wasserstoff für KWK, Prozesswärme, Kraftstoffe und chemische Industrie)

Wegen der in KLIMA-17 MEFF höheren Energienachfrage wird dort längerfristig auch ein erheblicher Anteil des EE-Stroms, nämlich 41% im Jahr 2050 in EE-Wasserstoff umgesetzt, was 450 TWh/a entspricht. Damit werden knapp 350 TWh/a Wasserstoff erzeugt, womit 23% des gesamten Endenergiebedarfs des Jahres 2050 gedeckt werden können. Der Stromeinsatz kann in KLIMA-17 HEFF bei gleicher Wirkung auf die Treibhausgasbilanz auf 270 TWh/a (30%) reduziert werden. Der erzeugte Wasserstoff (210 TWh/a) deckt dann in 2050 16% des Endenergiebedarfs dieses Szenarios.

Als **Zwischenfazit** kann festgehalten werden:

Wird lediglich der derzeit vorgegebene Ausbaukorridor des EE-Stroms im EEG eingehalten (Szenario TREND-17), so wird zwar mittelfristig der Stromsektor durch EE dominiert (EE-Anteil in 2040 = 60%, in 2050 = 70%), 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-17 (Tab. 4, oben) repräsentiert bis 2035 den derzeit vorgesehenen Ausbaukorridor (Tab.3), was mit obigem Bruttostromverbrauch in 2035 zu einer EE-Leistung von rund 170 GW führt. Erforderlich im Sinne eines wirksamen Klimaschutzes sind aber – je nach Intensität von Effizienzsteigerungen - bis dahin rund 290 bis 320 GW EE-Leistung (Tab 4, Mitte; unten). Das „Defizit“ an EE-Leistung beträgt bereits im Jahr 2020 zwischen 16 und 18 GW, wächst bis 2030 auf 80 bis 100 GW und bis 2035 sogar auf 120 bis 150 GW.

Aus den Tabellen ist auch ersichtlich, dass durch sehr erfolgreiche Effizienzbemühungen auf erhebliche EE-Leistungen verzichtet werden kann. In KLIMA-17 HEFF kann die notwendige Treibhausgasmindeung in 2050 mit 65 GW weniger EE-Leistung erbracht werden als in KLIMA-17 MEFF. Dies kommt der Akzeptanz des notwendigen weiteren EE-Ausbaus im weiteren Verlauf der „Energiewende“ zugute. Allerdings wird auch bereits für das Szenario KLIMA-

17 MEFF eine im Vergleich zur Vergangenheit deutlich verbesserte Energienutzung angenommen. Im Umkehrschluss wird also ersichtlich, dass ohne eine erhebliche Beschleunigung der Effizienzsteigerungen in allen Sektoren und Nutzungsbereichen (insbesondere auch im Verkehr !) eine erfolgreiche Treibhausgasminde rung nicht möglich sein wird. Der entsprechend notwendige Zubau von EE-Leistung bei nur geringer Effizienzsteigerung (z.B. gemäß Szenario TREND-17) würde den zumutbaren Rahmen sprengen.

Tabelle 4: Installierte Leistung aller EE-Anlagen in den Szenarien TREND-17 (oben), KLIMA-17 MEFF (Mitte) und KLIMA-17 HEFF (unten).

Installierte EE-Leistung; GWel	SZEN: KLIMA17-TREND												
	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wasserkraft	5,4	5,6	5,6	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6
Wind Onshore	27,0	30,7	37,6	45,4	54,1	59,1	63,4	68,8	71,6	77,0	81,4	84,6	87,3
Wind Offshore (am Netz)	0,1	0,3	1,0	4,2	6,7	10,6	15,2	19,4	21,0	22,9	24,1	24,6	25,5
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,3	41,3	48,5	59,0	66,5	69,6	71,9	74,0	79,5	86,0	90,5
feste Biomasse, biog. Abfall	3,0	3,0	3,6	3,6	3,4	3,5	3,6	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
gasf., flüssige Biomasse	4,0	5,4	5,7	6,0	5,5	5,1	4,6	4,0	3,4	2,9	2,6	2,4	2,3
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
Gesamt in D	57,5	78,1	91,8	106,0	124,0	143,3	159,6	171,8	178,1	187,1	198,0	208,2	216,2
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	1,1	2,4	4,1	6,3	9,0	11,8
Gesamt für D	57,5	78,1	91,8	106,0	124,0	143,5	159,9	172,9	180,5	191,2	204,3	217,2	228,0

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

Installierte EE-Leistung; GWel	SZEN: KLIMA17-MEFF												
	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wasserkraft	5,4	5,6	5,6	5,6	5,8	6,0	6,2	6,3	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6
Wind Onshore	27,0	30,7	37,6	45,4	60,2	78,6	95,9	113,3	122,8	125,7	126,0	125,0	124,5
Wind Offshore (am Netz)	0,1	0,3	1,0	4,2	7,7	15,7	25,4	36,5	47,9	58,6	66,8	68,8	69,1
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,3	41,3	55,6	85,2	116,2	142,3	165,1	185,3	193,0	198,0	202,0
feste Biomasse, biog. Abfall	3,0	3,0	3,5	3,5	4,4	4,8	5,3	5,8	6,1	6,4	6,7	6,8	7,0
gasf., flüssige Biomasse	4,0	5,4	5,7	6,0	6,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,8	1,3	1,9	2,5	3,0	3,0	3,0
Gesamt in D	57,5	78,1	91,7	106,0	139,9	197,0	256,2	311,9	356,6	391,4	408,4	414,5	418,6
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	8,8	15,8	22,4	27,1	27,3	27,3
Gesamt für D	57,5	78,1	91,7	106,0	139,9	198,6	259,4	320,6	372,4	413,7	435,5	441,8	445,9

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

Installierte EE-Leistung; GWel	SZEN: KLIMA17-HEFF												
	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wasserkraft	5,4	5,6	5,6	5,6	5,8	6,0	6,2	6,3	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6
Wind Onshore	27,0	30,7	37,6	45,4	60,2	75,6	89,9	104,8	111,8	114,6	115,4	115,5	115,5
Wind Offshore (am Netz)	0,1	0,3	1,0	4,2	7,7	14,7	22,4	30,5	38,1	43,5	47,9	52,0	56,7
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,3	41,3	55,1	81,7	107,7	130,8	150,1	164,7	168,0	175,5	182,0
feste Biomasse, biog. Abfall	3,0	3,0	3,6	3,6	4,4	4,8	5,3	5,8	6,1	6,4	6,6	6,8	7,0
gasf., flüssige Biomasse	4,0	5,4	5,7	6,0	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,8	1,3	1,9	2,5	3,0	3,0	3,0
Gesamt in D	57,5	78,1	91,8	106,0	139,3	189,4	238,6	285,8	320,7	344,5	353,7	365,6	377,0
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	2,6	5,9	9,9	13,5	16,0	17,8	19,5
Gesamt für D	57,5	78,1	91,8	106,0	139,3	190,7	241,2	291,6	330,6	358,0	369,7	383,4	396,5

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

Die Entwicklung des Wärmesektors

Die Klimaschutzziele des Energiekonzepts erfordern bis 2050 einen völligen Umbau der Wärmeversorgung. Die erheblichen Effizienzpotentiale, insbesondere bei der Reduzierung des Raumwärmebedarfs, erlauben eine Verringerung des gesamten Wärmeverbrauchs (Raumheizung, Warmwasser, Prozesswärme) um rund 50% (KLIMA-17 MEFF), bei großen Effizienzbemühungen bis zu 60% (KLIMA-17 HEFF). Solarwärme, Umweltwärme und hydrothermale Geothermie steigern ihren bisher geringen Anteil (13,5%) bereits bis 2030 auf 30%. Alle EE zusammen decken den verbleibenden Wärmebedarf im Jahr 2060 zu rund 95% (Tab.5). In KLIMA-17 MEFF werden dafür mit 1935 PJ/a EE-Wärme (536 TWh/a; Abb. 4, links) die 3,3-

fache Energiemenge benötigt, als dies heute (576 PJ/a) der Fall ist. Große Effizienzerfolge (KLIMA-17 HEFF) können den Bedarf an EE-Wärme erheblich reduzieren. Mit 1456 PJ/a (405 TWh/a; **Abb. 4, rechts**) sind dies in 475 PJ/a weniger, als in KLIMA-17 MEFF. Das sind immerhin knapp 80% der heute erzeugten EE-Wärme.

Tabelle 5: Energieverbrauch für Wärmezwecke und zukünftige Beiträge der EE

	2016	2020	2025	2030	2040	2050	2060
TREND-17							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4950	4653	4468	4295	4043	3949	3860
davon Stromwärme (PJ/a)	490	483	496	524	532	540	561
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 6,1	-11	-15	-18	-22	-25	-27
EE-Wärmemenge (PJ/a) ¹⁾	605	617	625	617	621	626	662
Anteil Erneuerbare Energien (%) ²⁾	13,5	14,8	15,7	16,4	17,7	18,4	20,1
KLIMA-17 MEFF							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4950	4463	4075	3756	3175	2805	2575
davon Stromwärme (PJ/a)	490	490	485	495	503	511	541
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 6,1	-15	-23	-29	-40	-47	-51
EE-Wärmemenge (PJ/a) ¹⁾	605	650	791	955	1381	1797	1935
Anteil Erneuerbare Energien (%) ²⁾	13,5	16,4	22,0	29,3	51,7	78,3	95,1
KLIMA-17 HEFF							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4950	4328	3832	3492	2763	2238	2060
davon Stromwärme (PJ/a)	490	479	458	450	462	486	518
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 6,1	-18	-27	-34	-48	-58	-61
EE-Wärmemenge (PJ/a) ¹⁾	605	645	766	918	1227	1387	1456
Anteil Erneuerbare Energien (%) ²⁾	13,5	16,8	22,7	30,2	53,3	79,2	94,4

1) Biomasse, Kollektoren, Umweltwärme; ohne EE-Strom für Wärmezwecke

2) Anteil an Wärme abzgl. Stromwärme

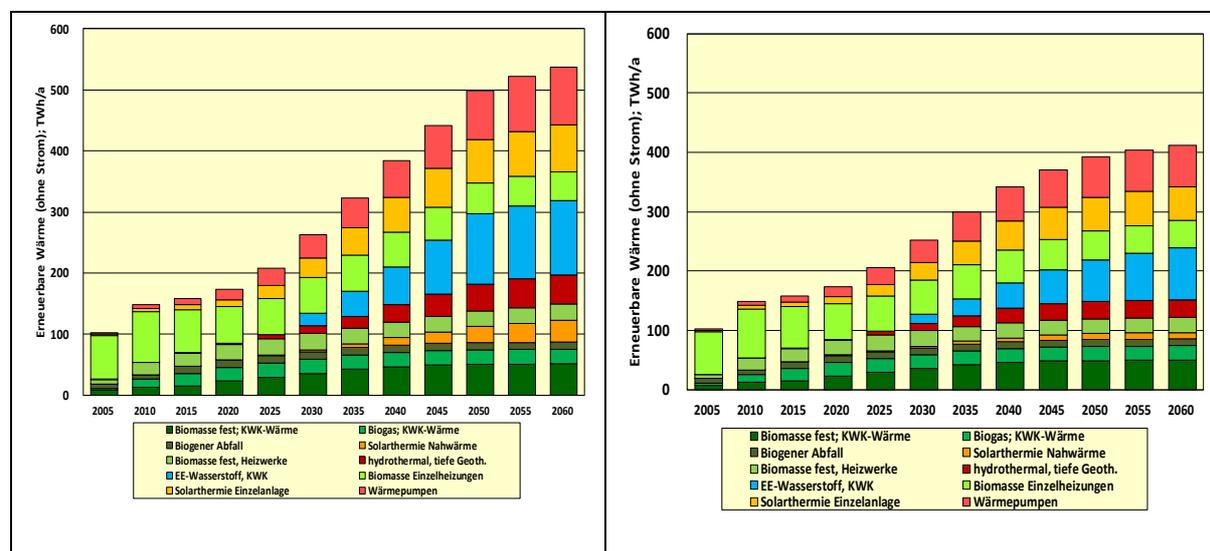


Abbildung 4: Entwicklung der EE-Wärmeerzeugung (ohne Stromanteil) in den Szenarien KLIMA-17 MEFF (links) und KLIMA-17 HEFF (rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts (in TWh/a; 1 TWh/a = 3,6 PJ/a).

Zusätzlich erschließt sich EE-Strom neue Nutzungsbereiche im Wärmesektor (vgl. Abschnitt „EE-Stromerzeugung“), so dass der Stromeinsatz für Wärmezwecke trotz deutlicher Effizienzsteigerungen im „konventionellen“ Bereich zunimmt und in den KLIMA-17 Szenarien in 2060 zwischen 21 und 25% des gesamten Wärmebedarfs deckt (derzeit 10%).

Der Umbau ist verknüpft mit einer deutlichen Reduktion von Einzelheizungen. Zwar nehmen Wärmepumpen erheblich zu, trotzdem geht der Anteil von Einzelheizungen (derzeit rund 80%) deutlich zurück, da alle Einzelversorgungen mit Heizöl und Gas in den Szenarien KLIMA-17 MEFF und HEFF verschwinden. EE-Wärme (Biomasse, Solarthermie, Geothermie, längerfristig auch EE-Wasserstoff via KWK und HT-Wärme) wird derzeit bereits zu knapp 40% mittels Netzen bereitgestellt, in den Szenarien wächst dieser Anteil auf rund 50%. In der Gesamtbilanz steigt die über Netze verteilte Wärmemenge (einschließlich industrielle Prozesswärme) von derzeit 13% auf 40% in 2050 und 44% in 2060. Betrachtet man nur die Raumwärme, werden die Strukturveränderungen noch deutlicher. Derzeit werden knapp 22% der Raumwärme als Fern- oder Nahwärme über Netze verteilt. In KLIMA-17 MEFF (HEFF) steigt dieser Anteil bis zur Jahrhundertmitte auf 54% (60%),

Die Trendentwicklung TREND-17 liefert für die dazu erforderlichen erheblichen Strukturveränderungen (u.a. verpflichtende Wärmekonzepte in allen Kommunen, weiterer Ausbau der KWK auf Gas- und Biomassebasis; Planung von Wärmenetzen in geeigneten Siedlungsquartieren) keine nennenswerten Impulse. Das ohnehin zu geringe Wachstum des EE-Wärmemarkts im Bereich der Kollektoren und der Umweltwärme/Geothermie wird durch den Zielkorridor für Biomasse im derzeitigen EEG zusätzlich gebremst. Dadurch wird insbesondere der Wärmebeitrag aus KWK-Anlagen, der sich in den letzten Jahren dank wachsender Stromerzeugung aus Biomasse deutlich erhöht hat und heute 27% (37 TWh/a) der gesamten Biomassewärme darstellt nach 2020 wieder sinken. Insgesamt verringert sich dadurch der Beitrag der Biomassewärme von derzeit 150 TWh/a auf 125 TWh/a in 2030 und auf 113 TWh/a im Jahr 2050. Das unter Trendbedingungen für möglich gehaltene Wachstum von Kollektoren, Umweltwärme und Geothermie kann diesen Rückgang bestenfalls kompensieren, ein weiteres Wachstum der gesamten EE-Wärme findet daher kaum statt. Von derzeit 160 TWh/a steigt sie bis 2030 noch auf 170 TWh/a, um dann bis zur Jahrhundertmitte etwa konstant zu bleiben (Tabelle 5, oben). Eine „Energiewende“ im Wärmebereich findet also ohne zusätzliche Impulse und energiepolitische Rahmensetzungen nicht statt. Der Anteil der fossilen Energiebereitstellung für Wärmezwecke (ohne Stromanteil) wäre nur von derzeit 87% (= 3850 PJ/a) auf 80% (= 2650 PJ/a) im Jahr 2050 gesunken, der CO₂-Ausstoß des Wärmesektors beliefe sich noch auf 185 Mio. t CO₂/a (derzeit 300 Mio. t CO₂/a).

Neben einem erheblich stärkeren Wachstum von Solarwärme und Umweltwärme/ Geothermie ist also auch die weitere Ausschöpfung und ein effizienterer Einsatz des restlichen Biomassepotenzial für Wärmezwecke (von derzeit 150 TWh/a noch auf rund 160 TWh/a) erforderlich. Diese Ausschöpfung ist aber eng an den weiteren Ausbau von KWK-Anlagen (als die effizienteste Nutzung) bei einem merklichen Rückgang von Biomasse-Einzelheizungen geknüpft. Damit kommt der weiteren Entwicklung der Biomasse im Rahmen des EEG auch für den Wärmebereich eine erhebliche Bedeutung zu.

Umstrukturierung des Verkehrssektors

Im Verkehrssektor ist noch nichts von der Energiewende bemerkbar. Seit 2009 ist sein Energieverbrauch wieder stetig gestiegen, der Verbrauch des Jahres 2016 liegt mit ca. 2660 PJ/a um 3,5% über dem für das Energiekonzept gewählten Bezugswert (2008) für die angestrebte Reduktion des Verbrauchs um -10% bis 2020. Mit 172 Mio. t CO₂/a stammen rund 22% der

nationalen CO₂-Emissionen aus dem Verkehr, eine Reduktion 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 wird das Effizienzziel im Verkehr für das Jahr 2020 (-10% Minderung ggü. 2008) weit verfehlt. Für das TREND-17 wird bis 2020 von einem noch leicht steigenden Endenergieverbrauch ausgegangen (**Tabelle 6**), da derzeit keine Maßnahmen erkennbar sind, die die gegenwärtigen Wachstumstendenzen (Wachstum Güterverkehr, weitere Zunahme SUV) stoppen könnten. 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**) und Elektrofahrzeuge nur langsam zunehmen.

Effizienzpotenziale im Verkehr sind jedoch prinzipiell groß, wenn die technisch möglichen 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 Einschränkung für den motorisierten Individualverkehr in Ballungsräumen (u.a. „City Maut“: Anpassung Steuer für Dieselkraftstoff u.a.). Im Güterverkehr ist insbesondere eine deutliche Verlagerung von Güterverkehr auf die Schiene von großer Bedeutung und längst überfällig. Diese und weitere Strukturveränderungen werden in den Szenarien KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF vorgenommen. Sie führen bis 2050 zu einer knappen Halbierung des Endenergieverbrauchs im Verkehr (MEFF) bzw. zu einer 55%igen Verringerung (HEFF) (Tab. 6; MEFF auch Abb.5). Trotz aller Bemühungen dürfte aber kurzfristig (bis 2020) allerdings nur ein leichter Rückgang um maximal 2,5% % ggü. 2008 erreichbar sein.

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

Werte in PJ/a	2008	2016	2020	2025	2030	2040	2050	2060
TREND-17								
Endenergieverbrauch,	2571	2663	2695	2644	2606	2488	2305	2187
Veränd. gegenüber 2008 (%)		+ 3,5	+4,8	+2,8	+1,3	-3,2	-10,3	-15,0
Stromeinsatz im Verkehr	48	45	47	57	71	89	117	146
Biokraftstoffe	128	108	110	140	170	200	220	220
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	18	58	139
Anteil Erneuerbare Energien (%) ¹⁾	5,1	4,7	4,8	6,5	8,4	11,6	16,5	22,5
KLIMA-17 MEFF								
Endenergieverbrauch	2571	2663	2562	2431	2239	1883	1499	1380
Veränd. gegenüber 2008 (%)		+ 3,5	-0,4	-5,4	-12,9	-26,8	-42,0	-46,3
Stromeinsatz im Verkehr	48	45	52	82	151	244	381	375
Biokraftstoffe	128	108	120	160	200	240	260	260
EE-Wasserstoff	0	0	7	69	184	459	593	593
Anteil Erneuerbare Energien (%) ¹⁾	5,1	4,7	6,0	12,0	23,3	49,8	82,3	88,9
KLIMA-17 HEFF								
Endenergieverbrauch	2571	2663	2509	2340	2093	1671	1293	1152
Veränd. gegenüber 2008 (%)		+ 3,5	-2,4	-9,0	-18,6	-35,0	-49,7	-55,2
Stromeinsatz im Verkehr	48	45	52	80	133	233	365	381
Biokraftstoffe	128	108	120	160	200	240	260	260
EE-Wasserstoff	0	0	7	50	136	333	386	440
Anteil Erneuerbare Energien (%) ¹⁾	5,1	4,7	6,0	11,6	21,8	47,9	78,2	93,9

1) einschließlich EE-Strom

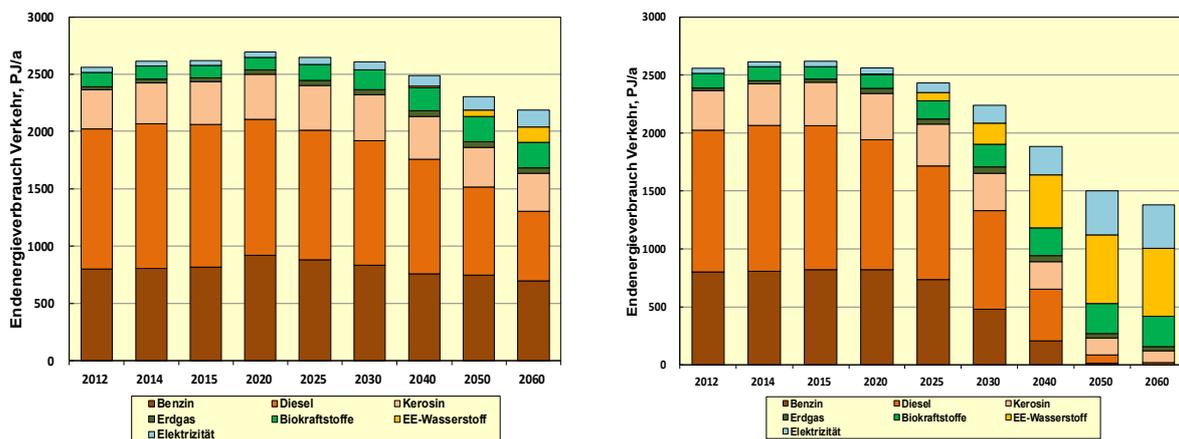


Abbildung 5: Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im Verkehr im Szenario TREND-17 (links) und notwendige Entwicklung (Szenario KLIMA-17 MEFF; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts.

Bei einer sehr aktiven Klimaschutzstrategie im Verkehr – für die derzeit allerdings keine Anzeichen erkennbar sind - kann eine 10%ige Reduktion des Energieverbrauchs frühestens um das Jahr 2025 erreicht werden. Eine erhebliche Effizienzsteigerung und eine „optimierte Mobilitätsbasis“ sind aber Voraussetzung für eine ausreichend starke Wirkung neuer Antriebe (Elektromobilität) und neuer EE-Kraftstoffe. Erst in diesem Zusammenwirken kann dann - zusammen mit einem begrenzten Beitrag von Biokraftstoffen (in den Szenarien vorwiegend für den Flugverkehr) - bis 2050 ein EE-Anteil von rund 80% und bis 2060 von rund 90% erreicht werden.

Fazit: Ein CO₂-Preis ist das effektivste Steuerungsinstrument

Wird die derzeitige, gebremste Umbaudynamik im Energiebereich über einen längeren Zeitraum beibehalten, würden die fossilen Energieträger auch noch zur Jahrhundertmitte mit 70 – 75% Anteil das Energiesystem dominieren (**Trend-17; Abb.6, links**). Das Klimaschutzziel wäre weit verfehlt. Zur Verwirklichung der eigentlichen Energiewendeziele ist eine über Jahrzehnte stabile Entwicklungsdynamik gemäß KLIMA-17 MEFF (bzw. KLIMA-17 HEFF) notwendig. Damit wären bis 2050 ein Verbrauchsrückgang um 50% (46 – 54%) und ein Beitrag der EE am Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetischen Einsatz fossiler Energieträger) von rund 95% erreichbar (**Abb.6, rechts**). Die verbleibenden THG-Emissionen beliefen sich dann auf rund 70 Mio. t CO_{2äq}/a (Reduktion um -95% ggü 1990), davon CO₂-Emissionen in Höhe von 50 Mio. t CO₂/a. Diese zwingend notwendige 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 zeigen, vor welchen enormen Herausforderungen eine Volkswirtschaft steht, wenn sie rechtzeitig einen ernsthaften Beitrag zum globalen Klimaschutz leisten will.

Die derzeitige Energiewendepolitik besitzt aber noch keine kohärente Strategie, mit der die großen Herausforderungen eines Komplettumbaus **aller Sektoren** der Energieversorgung in der notwendigen Zeit bis 2050 wirksam bewältigt werden könnte. Nur im Stromsektor hatte sich dank des EEG eine angemessene Zubaudynamik entwickelt. Dieses Gesetz hat seinerzeit das permanente Versagen des herkömmlichen Energiemarktes, welcher durch eine völlig unzulängliche Berücksichtigung der Schadenskosten des Klimawandels gekennzeichnet ist und damit ständig mit falschen Preissignalen operiert, für EE-Stromerzeugungstechnologien

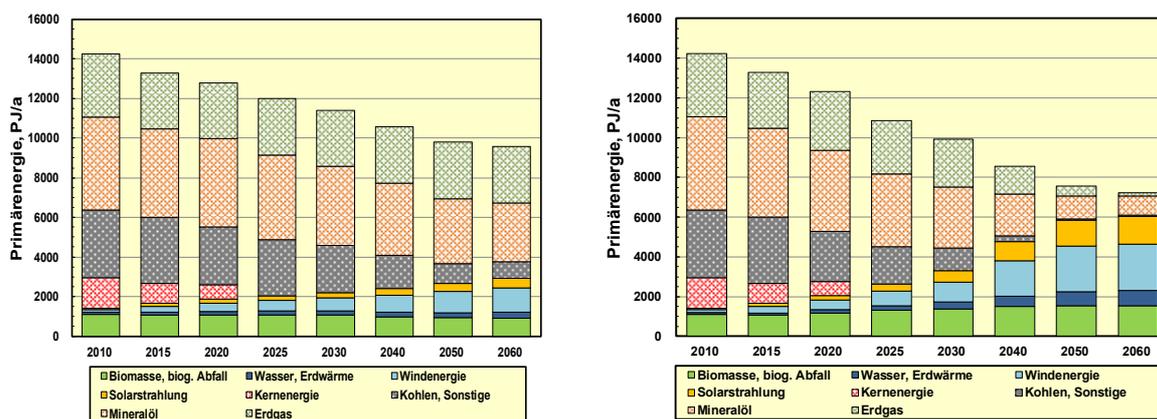


Abbildung 6: Wirksamkeit von Effizienz- und EE-Aufbaustrategien im Szenario TREND-17 (links) und im Szenario KLIMA-17 MEFF (rechts), welches bis 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von -95% erreicht.

außer Kraft gesetzt. Damit konnten diese sich technologisch rasch entwickeln und das heutige sehr günstige Kostenniveau erreichen. Diese in Deutschland initiierte „Vorleistung“ wirkt sich inzwischen sehr positiv auf die gesamte globale Entwicklung der EE aus.

Für alle anderen Energiebereiche existiert nach wie vor der „alte“ Energiemarkt, bei dem die „externalisierten“ Umweltkosten (Klimakosten, Kosten durch Luftschadstoffe u.a.) nicht bzw. nur in sehr geringfügigem Ausmaß von den Verursachern getragen werden müssen, sondern auf die Allgemeinheit bzw. auf zukünftige Generationen abgewälzt werden. Eine rein marktwirtschaftliche Durchsetzung des Klimaschutzes und damit eine effektive und volkswirtschaftlich vorteilhafte Weiterführung der Energiewende, die möglichst vielen Akteuren angemessene wirtschaftliche Anreize bietet, ist unter diesen Rahmenbedingungen nicht möglich. Deshalb führt auch der Umstieg im EEG auf Ausschreibungen nicht zu faireren Marktbedingungen für die EE, sondern konfrontiert sie weiterhin mit „falschen“ Energiepreisen, die keine Impulse für mehr Klimaschutz signalisieren. Aus demselben Grund kommt auch der erforderliche konsequente Umbau der gesamten Stromversorgung („Kohleausstieg“) nicht voran.

Auch in allen anderen Energiesektoren kommt der Transformationsprozess kaum in Gang. Seit Verkündung der Zielsetzung des Energiekonzepts ist erkennbar, dass die derzeitigen Energiepreise keine Anreize für eine deutliche Steigerung der Effizienz, für einen durchgreifenden Umbau der Wärmeversorgung, für einen weiteren Ausbau der KWK und erst recht nicht für einen durchgreifenden Wandel im Verkehrssektor liefern. Rasche Erfolge in diesen Bereichen sind aber notwendig, wenn das für Deutschland erforderliche Klimaschutzziel von -95% bis 2050 erreicht werden soll.

Die derzeitigen energiepolitischen Aktivitäten und Maßnahmenvorschläge (vgl. Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung) zeigen, dass die Politik das Problem zwar erkannt hat, aber (noch) nicht bereit ist, das Anreizsystem im Energiesektor grundsätzlich und konsequent auf die Verdrängung aller fossiler Energieträger („Dekarbonisierung“) auszurichten. Stattdessen wird das derzeitige Anreizinstrumentarium – welches trotz der herrschenden Marktbedingungen die Erreichung der Ziele des Energiekonzepts sicherstellen soll – immer komplexer, undurchschaubarer. Es ist zudem teilweise widersprüchlich und verfügt vor allem über keine eindeutige Lenkungswirkung hinsichtlich der Reduzierung fossiler Energieträger. Seine Ineffektivität wächst, und es schreckt vor allem kleinere Akteure zunehmend ab, sich mit den vielfältigen Fördermechanismen und -programmen, Ausnahmeregelungen, Anzeigepflichten und stetigen kleinteiligen Neuerungen auseinanderzusetzen.

Absehbar ist, dass das kurzfristige Ziel (-40% THG-Minderung bis 2020) um ca. -8% verfehlt wird (TREND-17). Dieser „Verzug“ kann bis 2030 aufgeholt werden, wenn in den nächsten Jahren deutlich wirksamere Maßnahmen ergriffen und insbesondere effektive ökonomische Instrumente für die Durchsetzung von Klimaschutzmaßnahmen geschaffen werden. Die Energiewende braucht einen „anderen“ Markt, der die verborgenen (externen) Kosten der fossilen Energieversorgung in wirksame Preissignale umsetzt. Von zentraler Bedeutung dafür sind deutlich höhere CO₂-Preise. Da bisher alle Versuche, den europäischen Emissionshandel zu reformieren, gescheitert sind, wird es erforderlich sein, die notwendigen CO₂-Preise mittels einer nationalen CO₂-Abgabe in den (fossilen) Energiekosten sichtbar werden zu lassen. Dadurch würden die durch einen ungebremsen Klimawandel eintretenden Schäden (bzw. Kosten) in wirksame Steuerungssignale umgewandelt, die alle Akteure zu klimaschonenden Handeln und zu entsprechenden Investitionen veranlassen würde. Effizienzsteigerungen wären dann „automatisch“ sehr viel wirtschaftlicher und die EE-Technologien könnten sich weitgehend ohne immer komplizierter werdendes Förderinstrumentarium im marktwirtschaftlichen Wettbewerb weiter etablieren.

Es wird daher höchste Zeit, dass die Politik die Empfehlungen einer wachsenden Zahl von Expertengruppen¹ aufgreift und mittels einer CO₂-Bepreisung ein wirksames Klimapolitikinstrument schafft. Im Stromsektor könnte bei angemessen hohen CO₂-Preisen ein erheblich rascherer, weil marktgetriebener Strukturwandel weg von Kohlekraftwerken und hin zu flexiblen Erdgaskraftwerken, weiteren EE-Anlagen, Speichern und sonstigen Strukturinvestitionen erfolgen. Die noch verbleibende, deutlich geringere EEG-Umlage könnte aus der CO₂-Abgabe finanziert werden, Stromsteuer und weitere Abgaben könnten wegfallen. Ein rascher und vollständiger Strukturwandel im Stromsektor ist eine zentrale Voraussetzung für das Gelingen der Energiewende (u.a. erfolgreiche Sektorkopplung), da EE-Strom der „Hauptenergieträger“ einer klimaverträglichen Energieversorgung sein wird. Zugleich würde EE-Strom der notwendige Zugang zum Wärme- und Verkehrssektor erleichtert.

Im Wärmebereich führt eine CO₂-Abgabe auf fossile Brennstoffe zu neuen Impulse zur Einleitung einer „Wärmewende“, d.h. einer verstärkten energetischen Altbausanierung, einer Beschleunigung des EE-Ausbaus und zu einem rascheren Ausbau von Wärmenetzen, die u.a. für die Sektorkopplung und den verstärkten EE-Einsatz erforderlich sind. Auch im Verkehrssektor führt eine zusätzliche CO₂-Abgabe (über die bestehende Mineralölsteuer hinaus) zu zusätzliche Anreize, rascher von fossilen Antrieben wegzukommen und die Einführung der Elektromobilität erleichtern. Beim Flugtreibstoffe führt eine CO₂-Abgabe zu der längst fälligen Besteuerung.

Der CO₂-Preis kann als einzige relevante Steuerungsgröße – im Gegensatz zu den zahlreichen Stellgrößen des derzeitigen vielfältigen, unübersichtlichen und mit zahlreichen Ausnahmeregelungen behafteten Förderinstrumentariums - in seiner Höhe und dem zeitlichen Verlauf relativ leicht und rasch an sich ändernde Rahmenbedingungen angepasst werden. Dies ist ein entscheidender Vorteil, da es sich bei einem CO₂-Preis um ein marktkonformes und transparentes Steuerungsinstrument handelt, das die notwendige Flexibilität und Schnelligkeit bei der permanent notwendigen Anpassung und Neujustierung des Transformationsprozesses im Energiebereich bis zur völligen „Dekarbonisierung“ zur Jahrhundertmitte gewährleistet.

¹ U.a. der wissenschaftliche Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) am 24. Nov. 2016: „Die essenzielle Rolle des CO₂-Preises für eine effektive Klimapolitik“ sowie die Expertengruppe zum Monitoring-Prozess in ihrer Stellungnahme zum Monitoring-Bericht für das Jahr 2015: „...die Expertenkommission schlägt eine allgemeine CO₂-Bepreisung als Leitinstrument vor...“. Siehe auch „Verein für eine nationale CO₂-Abgabe; www.co2abgabe.de

Inhaltsverzeichnis

1. Derzeitige Ausgangssituation.....	18
2. Szenariendefinition.....	21
3. Ergebnisse im Überblick.....	22
4. Wesentliche Einzelergebnisse der Szenarien.....	26
5. Zukünftiger Strombedarf und resultierende Erzeugungsstruktur.....	31
6. EE-Strombereitstellung.....	40
7. Entwicklung der Wärmeversorgung.....	43
8. Entwicklung des Verkehrssektors.....	48
9. Die Energiewende braucht einen anderen Markt.....	52
10. Literatur.....	59
11. Anhang: Ausgewählte Szenariodaten und Grafiken.....	62

Erfolgreiche Energiewende nur mit verbesserter Energieeffizienz und einem klimagerechten Markt – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung.

1. Derzeitige Ausgangssituation

Die Energiewende ist ins Stocken geraten. Seit 2009 ist der Ausstoß von Treibhausgasen – mit leichten Schwankungen- nicht mehr gesunken. Derzeit zeichnet sich eine deutliche Verfehlung bereits der kurzfristigen Ziele 2020 des Energiekonzepts der Bundesregierung ab. Im Rückblick zeigt sich deutlich, dass außer dem EEG im Stromsektor alle anderen Förderinstrumente keine durchgreifende Wirkung erzielt haben. Das zeigt sich u.a. am Primärenergieverbrauch des Landes. Insgesamt konnten zwar zusätzlicher Energieverbrauch infolge Wirtschaftswachstum und Konsumsteigerung vermieden werden, gemessen an den Zielsetzungen des Energiekonzepts, ist jedoch die notwendige deutliche Abnahme des Primärenergieverbrauchs (-20% bis 2020 ggü. 2008) bei weitem nicht erfolgt (**Abb.1**; Abnahme -6,9% zwischen 2008 und 2016). Sollte das Ziel 2020 noch rechtzeitig erreicht werden, müsste die jährliche Reduktion des Primärenergieverbrauchs **4-fach rascher** erfolgen als Zeitraum 2008 bis 2016 (und um das 8-fache im Vergleich zum langjährigen Trend seit 1990). Auch die Zunahme des EE-Anteils im Wärmesektor (12,9% in 2016) bleibt weit hinter den Notwendigkeiten der Energiewendeziele zurück; sie ist zudem auch in erheblichem Umfang den Wirkungen des EEG bei der Ausweitung der Stromerzeugung mittels Biomasse (KWK-Anlagen) zu verdanken.

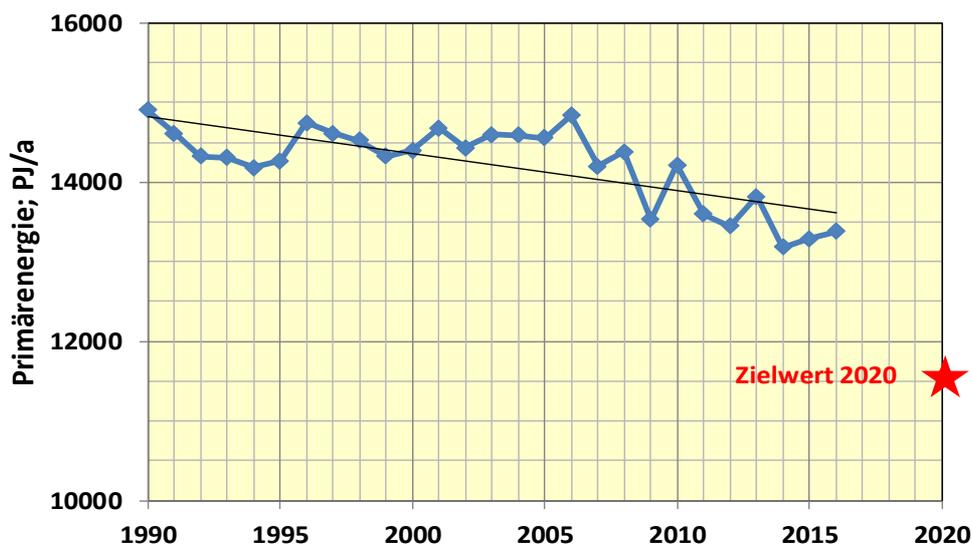


Abbildung 1: Verlauf des Primärenergieverbrauchs seit 1990, linearer Trend und Zielwert 2020 (-20% Minderung ggü. 2008 entsprechend 11 500 PJ/a) gemäß Energiekonzept (unterdrückter Nullpunkt).

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung der Klimakonferenz von Paris muss Deutschland darüber hinaus bemüht sein, im Jahr 2050 unbedingt das obere THG-Reduktionsziel des Energiekonzepts von -95% (entsprechend einer praktisch 100% „dekarbonisierten“ Energieversorgung) zu erreichen. Dies ist die Mindestvoraussetzung für einen angemessenen Beitrag eines wohlhabenden Industrielandes am angestrebtem Ziel der Pariser Konferenz, den Anstieg der globalen Mitteltemperatur unter 2° C zu halten. Jede Verzögerung bei Zwischenzielen gefährdet eine erfolgreiche Fortsetzung der Energiewende [Rogelj 2016].

Für den weiteren erforderlichen Umbau in Deutschland sind insbesondere in den Nutzungsbereichen Wärme und Mobilität eine erhebliche Reduktion des Verbrauchs (EFF) und ein sehr

viel schnellerer Ersatz der fossilen Energieträger durch erneuerbare Energien (EE) erforderlich. Weiterhin muss eine enge Vernetzung des Stromsektors mit den Nutzungsbereichen Wärme und Mobilität erfolgen, damit die zukünftige „Hauptenergiequelle EE-Strom“ auch in diesen Bereichen wirksam zur Treibhausgasminderung beitragen kann. Diese Maßnahmen verlangen in den nächsten Jahren erhebliche strukturelle Veränderungen. Die Bundesregierung hatte daher bereits in 2014 einige Aktivitäten angekündigt, die die drohende Lücke bis 2020 reduzieren bzw. möglicherweise vollständig schließen sollen. 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_{2äq}/a Emissionsminderung bis 2020 erbracht werden. Ebenfalls im Dezember 2014 hatte das BMU 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. Der fünfte Monitoring-Bericht [Monitoring 2016] betont die Notwendigkeit, dieses Aktionsprogramm konsequent umzusetzen.

Im November 2016 hat die Bundesregierung den „Klimaschutzplan 2050“ vorgelegt. In diesem werden Zielkorridore für die einzelnen Sektoren für das Jahr 2030 vorgelegt und erläutert. Damit sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, dass das THG-Minderungsziel von -55% für 2030 sicher erreicht wird. Im Lichte der Pariser Klimaschutzziele ist jedoch ersichtlich, dass dieses Zwischenziel nicht ausreichen dürfte, die notwendige Reduktion von -95% bis 2050 sicher zu erreichen. Dafür wäre mindestens eine etwa -60%ige THG-Reduktion bis 2030 notwendig. Es zeichnet sich jedoch ab, dass bereits das Klimaschutzziel 2020 (-40% Reduktion der THG-Emissionen gegenüber 1990) des Energiekonzepts [E-Konzept, 2011] um ca. 100 Mio. t CO_{2äq}/a verfehlt werden (Szenario TREND-17),

Gegenwärtig wird jedoch insbesondere die notwendige deutliche Effizienzsteigerung erheblich gehemmt. Sehr niedrige Brennstoff- und Kraftstoffpreise bieten keine ausreichenden Anreize für energiesparende Investitionen, nach dem Rückgang des Primärenergieverbrauchs in 2014 – überwiegend bedingt durch den sehr milden Winter 2014 – ist er bis 2016 wieder gestiegen. Auch die THG-Emissionen sind in 2016 wieder gestiegen. Bis 2020 müsste jetzt noch eine THG-Emissionsminderung von 156 Mio. t CO_{2äq}/a erbracht werden, also jährlich knapp 40 Mio. t CO_{2äq}/a wenn das Reduktionsziel für 2020 von -40% gegenüber 1990 erreicht werden soll **(Tabelle 1)**.

Der Endenergieverbrauch des Verkehrs liegt 3,6% 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-Gesetz 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, 2016]. Der Kohlestromexport hat in 2015 eine Rekordhöhe erreicht, Obwohl verschiedene Analysen [u.a. Agora 2015] 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 CO₂-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 und Zielwerte für 2020 gemäß Energiekonzept der Bundesregierung

IST - Werte	2008	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Ziel 2020
THG-Emissionen*)								
Absolut; Mio.t CO ₂ equiv-/a	975	922	927	945	904	902	906	750
Reduktion ggü. 1990; %	-22,0	-26,2	-25,8	-24,4	-27,7	-27,8	-27,5	-40
CO₂-Emissionen **)								
Gesamt; Mio.t CO ₂ /a	854	813	817	835	795	792	796	630
Reduktion ggü. 1990; %	-18,7	-22,6	-22,2	-20,5	-24,3	-24,6	-24,2	(-40)
nur Stromerzeugung; Mio.t CO ₂ /a	330	314	325	331	314	311	306	
Reduktion ggü. 1990; % ***)	-7,6	-12,0	-9,0	-7,3	-12,0	-12,9	-14,3	
Effizienz								
Primärenergieverbrauch; PJ/a	14380	13599	13447	13822	13180	13293	13383	11500
Reduktion bez. auf 2008; %		-5,4	-6,5	-3,9	-8,3	-7,6	-6,9	-20
Endenergieverbrauch; PJ/a	9159	8881	8919	9179	8699	8877	8963	(7810)
Reduktion bez. auf 2008; %		-3,0	-2,6	0,2	-5,0	-3,1	-2,1	
Bruttostromverbrauch; TWh/a	618	606	605	604	591	595	595	557
Reduktion bez. auf 2008; %		-2,0	-2,1	-2,3	-4,4	-3,7	-3,8	-10
Endenergie Verkehr; PJ/a	2571	2568	2560	2612	2616	2619	2663	2314
Reduktion bez. auf 2008; %		-0,1	-0,4	1,6	1,8	1,9	3,6	-10
EE-Zubau								
EE-Endenergie; PJ/a	811	1095	1182	1226	1231	1354	1391	1460
Anteil an Endenergie; %	8,9	12,3	13,3	13,4	14,1	15,2	15,5	18,7****)
EE-Strom; TWh/a	93,2	123,1	142,4	151,3	161,4	187,4	188,3	195
Anteil an Bruttoverbrauch; %	15,1	20,3	23,5	25,1	27,3	31,5	31,7	35
EE-Wärme; PJ/a *****)	394	534	546	568	533	571	605	
Anteil am Wärmeverbrauch; %	8,3	10,2	12,1	12,2	12,6	12,9	13,5	14
*) 1990 = 1252 Mio. t CO ₂ equiv								
**) Energie und Industrieprozesse (1990 = 1050 Mio. t CO ₂)								
***) 1990 = 357 Mio. t CO ₂ /a;								
****) 18% bezogen auf Brutto-Endenergieverbrauch lt. EU-Richtlinie 2009/28/EG								
*****) ohne EE-Strom für Wärmezwecke () aus Zielvorgaben abeleitete Werte								
Bilanzen; 4.4.2017								

In der Stellungnahme zum jüngsten Monitoring-Bericht [Stellungnahme Monitoring 2016; BMWi 2016] 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%“ sicher erreichen. Dafür ist im Wesentlichen die weiterhin gute Entwicklung beim Ausbau der Windenergie (Onshore) verantwortlich. Sie erreichte in 2016 mit einem Zubau von 4250 MW (brutto) nochmals einen hohen Wert (2014 rund 4900 MW), auch mit Wind-Offshore-Anlagen wurden bereits 12 TWh/a Strom erzeugt, was einen erheblichen Zuwachs gegenüber 2014 bedeutet. Damit stieg der Anteil des EE-Stroms am Bruttostromverbrauch in 2016 auf 31,7%. Der Anteil der EE an der Wärmebedarfsdeckung ist mit jetzt 13,5% 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%; Szenario TREND-17 in 2020: 17,2%).

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 besitzen dadurch nur ein geringes 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. Definition der Szenarien

Ein Szenario **TREND-17** beschreibt – ausgehend vom Status am Jahresende 2016 - 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 aktuellen EEG. Gegenüber der letzten Szenarienaktualisierung [Nitsch 2016] hat sich die Ausgangslage eher verschlechtert. Zum einen sind im Vergleich zu 2015 Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen wieder leicht gestiegen [UBA 2017; AG- Energiebilanzen 2017], zum anderen sind die Anreize für einen Umbau der Energieversorgung nicht günstiger als Ende 2015. Ungünstige Rahmenbedingungen sind auf absehbare Zeit sehr niedrige Preise für fossile Energien, weiter sinkender Börsenpreis für Strom, nach wie vor sehr niedrige CO₂-Zertifikatspreise ohne Aussicht auf eine Steigerung in nächster Zeit und eine sinkende politische Priorität für Klimaschutz und Energiewende angesichts weltweit wachsender Krisen und Konflikte.

Für die deutlich erforderliche Steigerung der Energieeffizienz wird zwar von einer gegenüber der vergangenen Entwicklung verstärkenden Wirkung des Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz und des angekündigten Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 [Klimaschutz 2014; BMUB 2015] 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 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 31,7% zumindest mittelfristig wahrscheinlich.

Die weitere Entwicklung des Wärmesektors, insbesondere die Entwicklung des EE-Zubaus wurde bereits in [Nitsch 2016] 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. Zur pünktlichen Zielerreichung wäre zwischen 2015 und 2020 etwa eine Verdreifachung der jährlichen Verbrauchsabnahmeabnahme, 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 TREND-17 wird von einer Fortsetzung des Reduktionstrends seit 2008 ausgegangen. Dies ist bereits eine relativ optimistische Annahme angesichts der derzeitigen ungünstigen Ausgangsbedingungen. Diese Annahme führt in 2020 zu einem Primärenergieverbrauch um 12 774 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 zwingend notwendigen Beitrag zur Sicherstellung des globalen 2°C-Ziels bis 2050 leisten soll. „Maßstab“ für einen erfolgreichen Umbau der Energieversorgung im Sinne eines wirksamen Klimaschutzes sind die Szenarien **KLIMA-17 MEFF** und **KLIMA-17 HEFF**. Sie beschreiben eine Energieversorgung, die das obere Reduktionsziel des Energiekonzepts 2011 für die Treibhausgasemissionen (THG) von **-95%** mittels unterschiedlicher 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. Wegen der bisher unzulänglichen Effizienzsteigerung wird aber auch in diesem Szenario der Zielwert 2020 bei der Primärenergieeinsparung nicht vollständig erreicht. Wird zwischen 2017 und 2020 von einer Verdopplung des Minderungstrends beim Primärenergieverbrauch ausgegangen, so ist ein Primärenergieverbrauch um 12 200 PJ/a im Jahr 2020 erreichbar

Der Vergleich dieser Szenarien mit dem Szenario TREND-17 veranschaulicht die Defizite der derzeitigen Energiepolitik der Bundesregierung. Bereits bis 2020 werden wesentliche Ziele des Energiekonzepts verfehlt, nach 2020 nehmen die Zielabweichungen bei unveränderter Trendentwicklung erhebliche Ausmaße an.

3. Ergebnisse im Überblick

Die THG-Emissionen des Jahres 2016 sind mit 906 Mio. t/CO_{2äquiv}/a nach einem zwischenzeitlichen Anstieg auf 945 Mio. t/CO_{2äq}/a in 2013 und einem anschließenden Minimum in 2015 mit 902 Mio. t/CO_{2äq}/a wieder auf dem Niveau des Jahres 2009 angelangt (**Abb. 2**). Die gegenüber 1990 erreichte Emissionsminderung beträgt -27,5%. Um das Reduktionsziel für 2020 von -40% gegenüber 1990 zu erreichen (750 Mio. t/CO_{2äq}/a), muss eine weitere Nettoemissionsminderung (d.h. unter Berücksichtigung des weiteren Rückgangs der Stromerzeugung aus Kernenergie) von 156 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 TREND-17 wird bis 2020 nur eine weitere Minderung von 54 Mio. t CO_{2äq}/a erzielt, was zu einer Reduktion gegenüber 1990 von knapp -32% führt. Das Reduktionsziel von -40% wird um rund 100 Mio. t CO_{2äq}/a verfehlt (vgl. auch [MUB 2016]). Die Szenarien KLIMA-17 MEFF und „KLIMA-17 HEFF“ kommen bis 2020 mit einer THG-Minderung von -37,5% bzw. -38,7% nahe an das angestrebte Minderungsziel heran. Das deutlich dynamischere Wachstum der EE im Vergleich zum Szenario TREND-17 kann das sich abzeichnende Defizit bei der Minderung des Primärenergieverbrauchs weitgehend kompensieren. In 2030 übertreffen die Klimaschutzszenarien die Zwischenziele zur THG-Minderung bereits deutlich (**Abbildung 2**). Dies ist jedoch auch erforderlich, um bis 2050 (2040) die Zielmarke von -95% THG-Minderung zu erreichen.

Bei Beibehaltung der im TREND-17 modellierten Entwicklung wird das langfristige Klimaschutzziel 2050 mit einer THG-Minderung von nur 59% erheblich verfehlt. Sowohl die Minderung des Primärenergieverbrauchs mit -32%, als auch der EE-Anteil von 29% bleiben erheblich hinter den Zielsetzungen des Energiekonzepts zurück. In den Klimaschutzszenarien zeigt sich, dass ein „Aufholen“ des Effizienzbeitrags zur Treibhausgasreduzierung 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

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

	Verbrauchs-minderung (Bezugsbasis 2008)			Anteil Erneuerbare Energien		THG-Emissio- nen
	Primär- energie	Gebäude- wärme ¹⁾	Endenergie Verkehr	an Brutto- endenergie	an Brutto- strom	
2020						
Energiekonzept	-20	-20	-10	18	min. 35	min -40
TREND-17	-11,2	-17	+4,8	17,4	39,1	-32,0
KLIMA -17 MEFF	-14,3	-21	-0,4	19,6	43,5	-37,5
KLIMA -17 HEFF	-15,9	-24	-2,4	20,0	43,6	-38,7
2030						
Energiekonzept	(-30)	(-40)	(-20)	30	50	min. -55²⁾
TREND-17	-20,7	--28	+1,3	22,0	51,0	-41,2
KLIMA -17 MEFF	-31,1	-42	-12,9	36,3	71,4	-61,6
KLIMA -17 HEFF	-34,7	-45	-18,6	37,0	71,2	-63,7
2040						
Energiekonzept	(-40)	(-60)	(-30)	45	65	min. -70
TREND-17	-26,6	-45	-3,2	25,8	60,5	-50,5
KLIMA -17 MEFF	-40,6	-80	-26,8	60,1	90,1	-81,0
KLIMA -17 HEFF	-45,8	-83	-35,0	60,5	88,1	-82,5
2050						
Energiekonzept	-50	-80	-40	60	80	- (80) bis -95
TREND-17	-31,9	-51	-10,3	29,4	70,5	-59,6
KLIMA -17 MEFF	-47,5	-95	-41,7	83,4	98,4	-94,4
KLIMA -17 HEFF	-53,9	-95	-48,7	82,7	96,1	-94,5

3) In 2020 Minderung des Energieverbrauchs; 2050 Minderung nichterneuerbare Primärenergie

4) -55% bis -56% nach Klimaschutzplan 2050 vom 14. Nov. 2016

() = interpolierte Zielwerte

EE. Diese Notwendigkeit wurde in den letzten Jahren vor dem Hintergrund des starken EE-Wachstums im Stromsektor nicht ausreichend erkannt und entsprechend zu wenig gefördert.

In den Klimaschutzszenarien wird von einer erreichbaren Verbrauchsminderung beim Primärenergieverbrauch von knapp -48% (MEFF), bei sehr engagierten Anstrengungen von – 54% (HEFF) ausgegangen. Gleichzeitig haben in diesen Szenarien die EE mit Anteilen am Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetische Verwendung fossiler Energieträger) von 87% bzw. 88% die fossilen Energien weitgehend aus der Energieversorgung verdrängt. Gelingt eine besonders anspruchsvolle Effizienzsteigerung (HEFF) kann das THG-Minderungsziel mit deutlich geringeren Absolutbeiträgen an EE erreicht werden.

Im Szenario KLIMA-17 MEFF wird die im Jahr 2050 erforderliche Minderung der CO₂-Emissionen in Höhe von rund 1000 Mio. t CO₂/a zu 56% durch EE und zu 44% durch EFF erbracht. Der Endenergieverbrauch beträgt dann noch 60% des 2008er Wertes (5478 PJ/a) und wird zu 86% durch EE erbracht (**Tabelle 3; Abbildung 3**). Dazu ist ein EE-Endenergiebeitrag in Höhe von 4718 PJ/a erforderlich (2016: 1391 PJ/a). Verläuft die Effizienzsteigerung erheblich wirksamer (KLIMA-17 HEFF) ist in 2050 nur noch eine Endenergienachfrage von 51% des 2008er Wertes (4694 PJ/a) zu decken. Der notwendige EE-Beitrag zur Erreichung der gewünschten THG-Minderung beträgt dann 4000 PJ/a (Deckungsgrad 85%). Gegenüber dem MEFF-Szenario müssen also hier in 2050 rund 720 PJ/a weniger EE bereitgestellt werden.

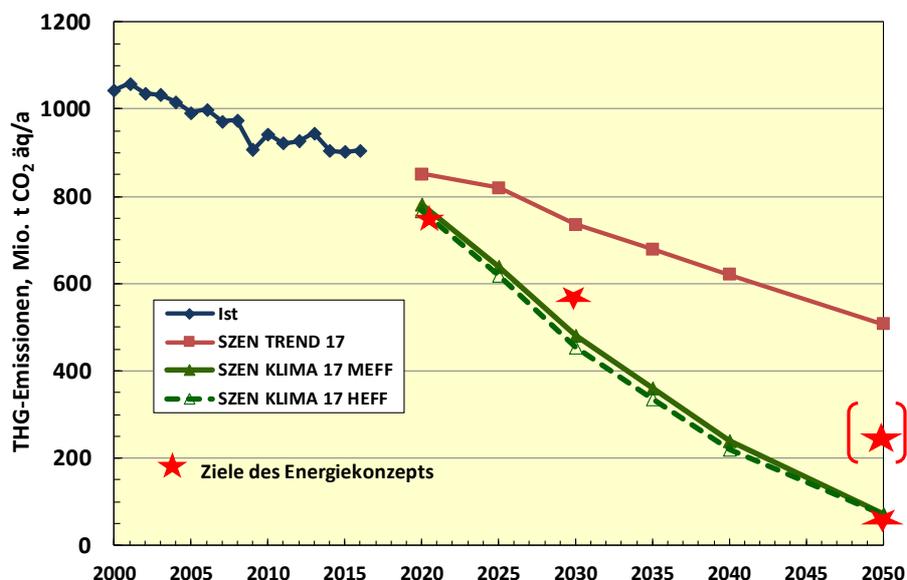


Abbildung 2: Bisheriger Verlauf der nationalen THG-Emissionen und Entwicklung in den Szenarien TREND-17, Szenarien KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF im Vergleich zu den Zielen des Energiekonzepts. Quelle für Ist: UBA 2017

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

	2008	2016	2020	2025	2030	2040	2050	2060
„TREND-17“								
Primärenergieverbrauch, PJ/a	14380	13383	12774	11999	11413	10557	9797	9584
Endenergieverbrauch, PJ/a	9159	8962	8676	8434	8212	7838	7564	7361
EE-Endenergie, PJ/a	857	1391	1554	1719	1860	2086	2290	2455
EE-Anteil an Endenergie, % ¹⁾	9,4	15,3	17,9	20,4	22,7	26,6	30,3	33,3
„KLIMA-17 MEFF“								
Primärenergieverbrauch, PJ/a	14380	13383	12318	10854	9913	8546	7561	7239
Endenergieverbrauch, PJ/a	9159	8962	8346	7780	7222	6264	5478	5140
EE-Endenergie, PJ/a	857	1391	1685	2186	2703	3875	4718	4875
EE-Anteil an Endenergie, % ¹⁾	9,4	15,3	20,2	28,1	37,4	61,9	86,1	94,8
„KLIMA-17 HEFF“								
Primärenergieverbrauch, PJ/a	14380	13383	12102	10489	9396	7801	6630	6319
Endenergieverbrauch, PJ/a	9159	8962	8158	7461	6809	5619	4694	4356
EE-Endenergie, PJ/a	857	1391	1684	2149	2597	3501	3996	4187
EE-Anteil an Endenergie, % ¹⁾	9,4	15,3	20,6	28,8	38,1	62,3	85,1	96,1

2) Anteil am Bruttoendenergieverbrauch ist etwas geringer (2016: 14,8%; Ziel 2020: 18%)

Abbildung 3 zeigt auch, dass die Abweichungen zwischen einer Trendentwicklung und dem anzustrebenden Klimaschutzpfad rasch erhebliche Ausmaße annehmen. Bereits in 2030 werden 1500 (MEFF) - 2000 PJ/a (HEFF) „zu viel“ Primärenergie verbraucht und es „fehlen“ rund 750 (HEFF) – 850 PJ/a (MEFF) zusätzlich EE-Endenergie (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.

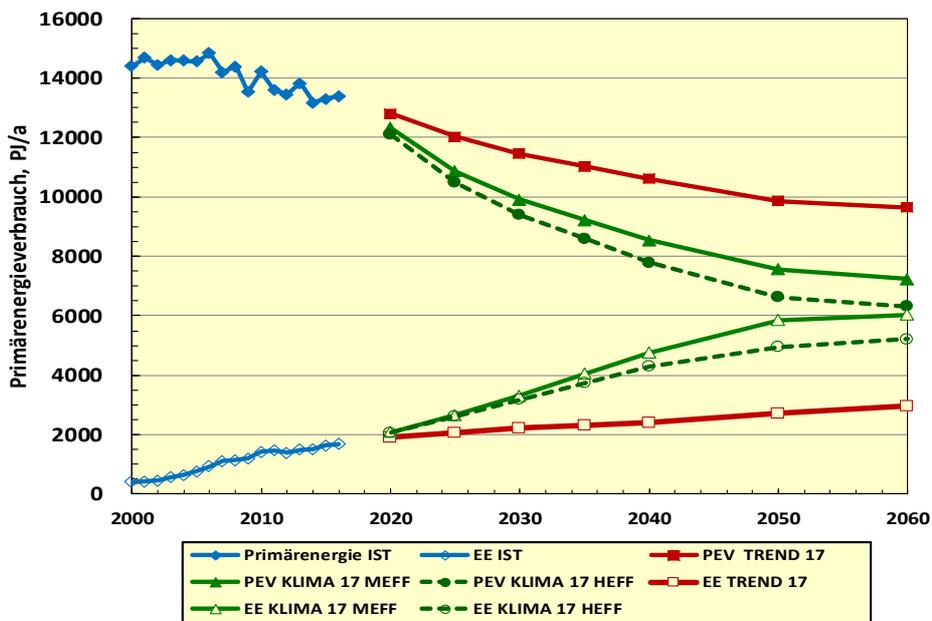


Abbildung 3: Zusammenwirken von Effizienzstrategie und EE-Ausbau zur Erreichung des Klimaschutzziels (Vergleich von TREND-17 und KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF)

Die stark unterschiedliche Transformation des Energiesystems und die sich daraus ergebenden strukturellen Unterschiede der beiden Szenarien TREND-17 und KLIMA-17 MEFF veranschaulicht **Abbildung 4**. Im Trendszenario dominieren auch in 2050 noch die fossilen Energieträger mit einem Anteil von 73%. Selbst Kohlen tragen noch zu 10% zur Primärenergie bei. In Klimaschutzszenario MEFF verschwindet die Braunkohle bis 2035, bis 2040 wird auch Steinkohle nicht mehr benötigt. In 2050 werden Mineralöl energetisch nur noch in sehr geringen Mengen im Verkehr und Erdgas für Prozesswärme eingesetzt. Der weitaus überwiegende Teil des Mineralöls (75%) und ein geringer Teil des Erdgases (15%) werden für die nichtenergetische Verwendung benötigt.

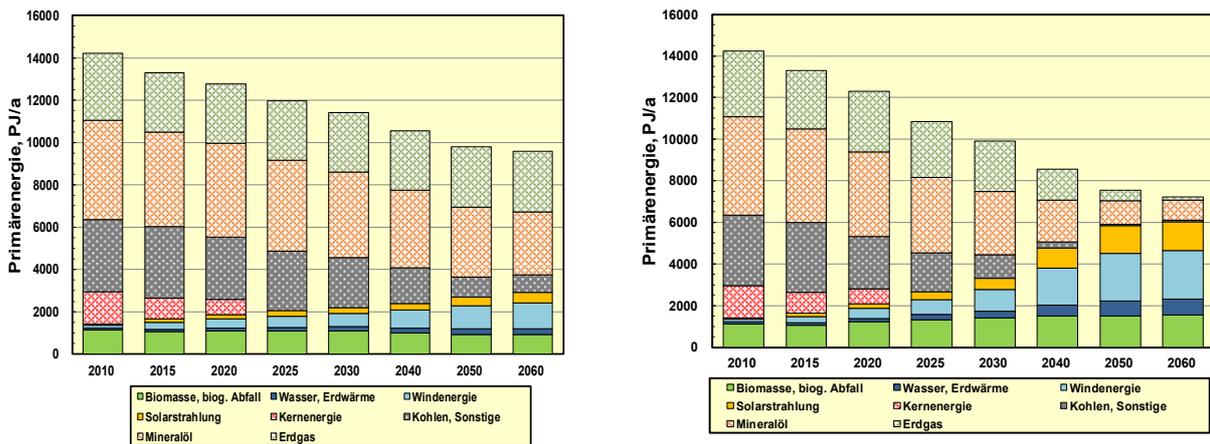


Abbildung 4: Struktur des Primärenergieverbrauchs in TREND-17 (links) und in KLIMA-17 MEFF (rechts).

Für die energiebedingten CO₂-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 2016 erkennt man die bisherigen Defizite der Effizienzstrategie. 63% der bisherigen Minderung von 254 Mio. t CO₂/a wurden durch

den Ausbau der EE bewirkt und diese Minderung zu 73% durch den Ausbau der EE-Stromerzeugung. Der EFF-Beitrag muss daher innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine erhebliche Steigerung erfahren. Das strenge Klimaschutzziel 2050 weiterhin mit einem starken Übergewicht bei EE erreichen zu wollen, dürfte an dem dafür erforderlichen massiven Ausbau von EE-Technologien scheitern. Zumindest wäre die zukünftige Akzeptanz der Energiewende massiv gefährdet.

Ohne einen wesentlichen Beitrag der Effizienzsteigerung (MEFF), besser noch mit einem leichten Übergewicht (HEFF) gegenüber dem EE-Beitrag, sind die Klimaschutzziele kaum erreichbar. Hinzu kommt, dass die umfassende Mobilisierung der vielfach sehr kostengünstigen Effizienzpotentiale auch von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung ist. Es besteht daher ein beträchtlicher und nicht aufschiebbarer energiepolitischer Handlungsbedarf zur raschen und wirksamen Erschließung von Effizienzpotentialen. Der erforderliche Minderungsbeitrag von rund 1000 Mio. t CO₂/a für 2050 wird in KLIMA-17 MEFF zu 56% mittels EE erreicht und zu 44% mittels EFF. Bereits in diesem Szenario wird also von einer erheblichen Aufwertung des EFF-Beitrags ausgegangen. Im Szenario KLIMA-17 HEFF verschieben sich die Gewichte noch deutlicher. In 2050 stammen noch 44% der CO₂-Minderung von EE, mit 56% überwiegt jetzt der EFF-Beitrag.

Tabelle 4: Verminderung der CO₂-Emissionen in den Klimaschutzszenarien seit 1990, aufgeteilt auf den Beitrag der EE und den Beitrag der Effizienzsteigerung (EFF); sowie verbleibende CO₂-Emissionen (ist-Werte nach BMWi 2017)

Mio. t CO ₂ /a	2016	2020		2030		2050	
		MEFF	HEFF	MEFF	HEFF	MEFF	HEFF
Minderung durch EE	159	208	208	355	327	564	439
Minderung durch EFF	95	162	176	285	340	440	566
Gesamt-minderung	254	370	384	640	667	1004	1005
Verbleib. Emissionen	796	680	666	410	383	46	45
Verring. seit 1990 (%)	- 24,2	-35,4	- 36,7	-61,0	-63,7	-95,6	-95,7

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 TREND-17 und das Szenario KLIMA-17 MEFF die folgenden Tabellen 5 und 6. Im Szenario **TREND-17 (Tabelle 5)** sinkt der Primärenergieverbrauch bis 2020 um -11% (2015: -7,5%; 2016: -7,0%; 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 81% des Primärenergiebedarfs fossil gedeckt, selbst zur Jahrhundertmitte würden sie mit 73% immer noch den dominierenden Anteil stellen.

Der Endenergieverbrauch des Szenarios TREND-17 sinkt bis 2020 gegenüber 2015 um 2,3% mit deutlich unterschiedlichen Gradienten in den Verbrauchssektoren. Der Wärmeverbrauch sinkt um 6%, der Kraftstoffverbrauch steigt dagegen, wie in den letzten Jahren, noch um

Tabelle 5²: Eckdaten des Szenario TREND-17; insbesondere EE-Anteile an den Verbrauchssektoren Strom, Wärme und Kraftstoffe

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Primärenergie, PJ/a	14232	13445	13179	13293	12774	11999	11413	10557	9797	9584
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1416	1385	1518	1644	1879	2053	2210	2421	2703	2955
Anteil EE an PEV, %	9,9	10,3	11,5	12,4	14,7	17,1	19,4	22,9	27,6	30,8
Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, %	10,7	11,2	12,4	13,4	15,9	18,6	21,2	25,2	30,5	34,1
Endenergie, PJ/a	9324	8918	8698	8877	8676	8434	8212	7838	7564	7361
Endenergie EE, PJ/a	1052	1182	1212	1355	1554	1719	1860	2086	2290	2455
Anteil EE an EEV, %	11,3	13,3	13,9	15,3	17,9	20,4	22,7	26,6	30,3	33,3
Anteil EE an BEEV, %; 2)	11,1	12,9	13,5	14,8	17,4	19,8	22,0	25,8	29,4	32,4
Strom Endenergie, PJ/a	1897	1884	1846	1874	1859	1873	1906	1927	1967	2021
Strom Endenergie EE, PJ/a	376	513	580	674	827	954	1073	1247	1386	1433
Anteil EE, %	19,8	27,2	31,4	36,0	44,5	50,9	56,3	64,7	70,4	70,9
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4914	4519	4281	4428	4169	3973	3771	3512	3409	3299
Wärme Endenergie EE, PJ/a	553	546	515	573	617	625	617	621	626	662
Anteil EE, %	11,3	12,1	12,0	12,9	14,8	15,7	16,4	17,7	18,4	20,1
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2513	2515	2571	2574	2648	2588	2535	2399	2188	2041
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	108	110	140	170	218	278	359
Anteil EE, %	4,9	4,9	4,6	4,2	4,2	5,4	6,7	9,1	12,7	17,6
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	595	597	602	609	623	653	718
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	104	142	161	187	234	273	311	377	460	529
Anteil EE, %	17,0	23,5	27,2	31,5	39,1	45,4	51,0	60,5	70,5	73,7
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,5	27,2	31,5	39,1	45,4	50,7	58,4	64,8	63,9
Primärenergie, PJ/a	14232	13445	13179	13293	12774	11999	11413	10557	9797	9584
Erneuerbare Energien	1416	1385	1518	1644	1879	2053	2210	2421	2703	2955
Mineralöl	4695	4526	4493	4470	4440	4257	4031	3634	3272	2963
Kohlen; 7)	3416	3529	3435	3365	2931	2840	2369	1689	980	823
Erdgas	3171	2920	2674	2812	2805	2849	2804	2813	2841	2842
Fossile Energien gesamt	11283	10975	10601	10647	10175	9946	9203	8136	7094	6629
- davon für energetische Zwecke	10249	9999	9611	9680	9205	8981	8248	7191	6164	5709
Kernenergie	1533	1085	1059	1001	720	0	0	0	0	0
CO₂-Emissionen, Mio. t CO₂/a	832	817	795	792	745	717	641	534	430	391
Verringerung seit 1990, %; 8)	21,0	22,3	24,4	24,7	29,2	31,9	39,1	49,3	59,2	62,8
durch EE vermiedene CO ₂ -Emissionen, Mio. t CO ₂ /a	119	129	138	156	188	205	217	239	252	268
THG-Emissionen, Mio. t CO₂eq/a;	942	927	904	902	851	819	736	619	506	455
Verringerung seit 1990, %	24,8	26,0	27,8	27,9	32,0	34,6	41,2	50,5	59,6	63,6
1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch							SZEN-TREND17; 8.4.2017			
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 CO ₂ /a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse)						9) 1990 = 1252 Mio. t CO ₂ eq/a				

weitere 3% an, da im Verkehrssektor keine Tendenz zu einer Trendwende erkennbar ist. Der Stromverbrauch verändert sich kaum. Der EE-Anteil am (Brutto-) Endenergieverbrauch erreicht 17,4 % (Tabelle 5), verfehlt also knapp die Verpflichtung von 18%, die die Bundesregierung gemäß EU-Richtlinie 2009/28/EG für das Jahr 2020 eingegangen ist. Die EE-Anteile an

² Weitere Einzelheiten zu den Szenarien findet man im Tabellenanhang

den einzelnen Nutzungsbereichen erreichen Werte von 44,5% bezogen auf die Strom-Endenergie (bzw. 39,1% bez. auf den Bruttostromverbrauch), von 14,8% beim Wärmeverbrauch (bezogen auf Brennstoffe, d.h. ohne Strom für Wärmezwecke) und von 4,2% beim Kraftstoffverbrauch (ebenfalls ohne Stromeinsatz im Verkehr). Bei Fortschreibung dieser insgesamt gebremsten – und hinsichtlich der einzelnen Nutzungsbereiche sehr unausgewogenen - Wachstumstendenzen würden die EE im Trendszenario in 2050 erst 30% des Endenergieverbrauchs decken, der dann auch nur um 17 % geringer wäre als im Jahr 2008.

Tabelle 6: Eckdaten des Szenario KLIMA-17 MEFF; insbesondere EE-Anteile an den Verbrauchssektoren Strom, Wärme und Kraftstoffe

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Primärenergie, PJ/a	14232	13446	13180	13293	12318	10854	9913	8546	7561	7239
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1416	1385	1518	1644	2084	2666	3315	4771	5849	6031
Anteil EE an PEV, %	9,9	10,3	11,5	12,4	16,9	24,6	33,4	55,8	77,4	83,3
Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, %	10,7	11,2	12,4	13,4	18,4	27,0	37,0	62,9	88,4	95,6
Endenergie, PJ/a	9324	8918	8698	8877	8346	7780	7222	6264	5478	5140
Endenergie EE, PJ/a	996	1183	1230	1354	1685	2186	2703	3875	4707	4881
Anteil EE an EEV, %	10,7	13,3	14,1	15,3	20,2	28,1	37,4	61,9	85,9	95,0
Anteil EE an BEEV, %; 2)	10,5	12,9	13,7	14,8	19,6	27,3	36,3	60,1	83,4	92,2
Strom Endenergie, PJ/a	1897	1884	1846	1875	1863	1841	1873	1953	2065	2100
Strom Endenergie EE, PJ/a	377	513	581	674	908	1167	1365	1795	2058	2093
Anteil EE, %	19,8	27,2	31,5	36,0	48,8	63,4	72,8	91,9	99,6	99,7
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4914	4519	4281	4428	3973	3590	3260	2672	2294	2034
Wärme Endenergie EE, PJ/a	497	546	532	572	650	791	955	1381	1797	1935
Anteil EE, %	10,1	12,1	12,4	12,9	16,4	22,0	29,3	51,7	78,3	95,1
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2513	2515	2571	2574	2510	2349	2089	1639	1119	1006
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	108	127	229	384	699	853	853
Anteil EE, %	4,9	4,9	4,6	4,2	5,1	9,8	18,4	42,6	76,2	84,8
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	595	602	632	709	920	1097	1113
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	105	142	161	187	262	375	507	829	1079	1096
Anteil EE, %	17,0	23,5	27,3	31,5	43,5	59,3	71,4	90,1	98,4	98,4
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,5	27,3	31,5	43,5	58,8	69,0	80,4	83,6	83,7
Primärenergie, PJ/a	14232	13446	13180	13293	12318	10854	9913	8546	7561	7239
Erneuerbare Energien	1416	1385	1518	1644	2084	2666	3315	4771	5849	6031
Mineralöl	4696	4526	4495	4471	4081	3631	3050	2017	1111	969
Kohlen; 7)	3416	3529	3435	3365	2503	1868	1136	292	61	58
Erdgas	3171	2920	2673	2812	2930	2688	2412	1466	540	181
Fossile Energien gesamt	11283	10975	10602	10648	9514	8188	6598	3775	1712	1208
- davon für energetische Zwecke	10249	9999	9612	9681	8544	7223	5643	2830	782	288
Kernenergie	1533	1085	1059	1001	720	0	0	0	0	0
CO₂-Emissionen, Mio. t CO₂/a	832	817	795	792	680	550	410	190	46	16
Verringerung seit 1990, %; 8)	20,9	22,3	24,4	24,7	35,4	47,7	61,0	81,9	95,6	98,5
durch EE vermiedene CO ₂ -Emissionen, Mio. t CO ₂ /a	119	129	138	156	208	279	355	484	564	575
THG-Emissionen, Mio. t CO_{2äq}/a,	942	927	904	902	782	640	481	238	70	31
Verringerung seit 1990, %	24,8	25,9	27,8	27,9	37,5	48,9	61,6	81,0	94,4	97,5

1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch

SZEN-KLIMA17-MEFF ; 6.4.2017

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 = 1252 Mio. t CO₂eq/a

Mit den Angaben in **Tabelle 6 (Szenario KLIMA-17 MEFF)** und **Tabelle 7 (Szenario KLIMA-17 MEFF)** werden der Entwicklung im Szenario TREND-17 zwei Klimaschutzszenarien gegenübergestellt, welche darlegen auf welche Weise der Transformationsprozess des Energiesystems in den nächsten 15 -20 Jahren verlaufen muss, wenn der Energiepolitik daran gelegen ist, ihre gesetzten Ziele, insbesondere das Hauptziel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen von -95% bis 2050, tatsächlich zu erreichen. Aus heutiger Sicht kann das kurzfristige Oberziel der Effizienzsteigerung einer 20%igen Reduktion des Primärenergieverbrauchs bis 2020 (gegenüber 2008) nicht mehr zeitgerecht erreicht werden. Im Szenario KLIMA-17 MEFF sinkt er um 14% (in Klima-17 HEFF um 16%), was für den kurzen Zeitraum bis 2020 bereits eine relativ optimistische Annahme ist. Ein weiterhin dynamisches Wachstum des EE-Beitrags auf 1685 PJ/a Endenergie (entsprechend einem Anteil am Bruttoendenergieverbrauch von 19,6% (MEFF) bzw. von 20,0% (HEFF)) lässt jedoch den Beitrag fossiler Primärenergie so weit sinken, dass man vom THG-Minderungsziel 2020 von -40% mit -37,5% (MEFF) bzw. -38,7% (HEFF) nicht mehr allzu weit entfernt ist. Im Jahr 2030 werden mit 6598 PJ/a (MEFF) bzw. 6222 PJ/a (HEFF) bereits 43% (47%) weniger fossile Energieträger benötigt als 2008, die THG-Emissionen sind gegenüber 1990 um nahezu 62% (64%) gesunken.

Dies macht deutlich, dass die bereits in 2000 formulierte und im Jahr 2011 bekräftigte Energie-wende-Strategie ein wirksamer Weg ist, die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen bereits mittelfristig deutlich zu verringern. Dieser Zielpfad sollte daher unter keinen Umständen verlassen werden. Die im letzten Jahrzehnt dank des raschen EE-Strom-Wachstums erreichte EE-Ausbau-dynamik (**Abbildung 5: Beispiel EE-Endenergie**) muss gemäß der Szenarien KLIMA-17 MEFF bzw. HEFF über mehrere Jahrzehnte aufrechterhalten werden. Dazu ist aber eine weit-sichtige und unbeirrbar Energiepolitik erforderlich. Nur dann kann eine nachhaltige Energie-versorgung mit einer THG-Reduktion von -95% bis zur Jahrhundertmitte erreicht werden.

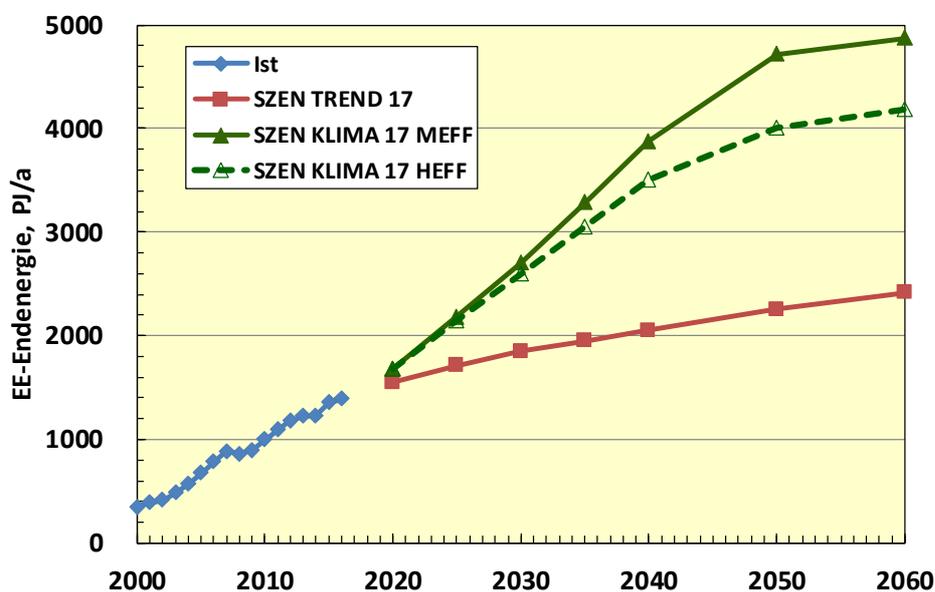


Abbildung 5: EE-Endenergieverbrauch seit 2000 und Wachstum in den Szenarien TREND-17, KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF

In den Klimaschutzszenarien werden in 2050 noch 1712 PJ/a (MEFF) bzw. 1687 PJ/a (HEFF) fossile Energieträger eingesetzt, was 15% (MEFF) bzw. 14% (HEFF) der heutigen Menge entspricht. Rund 55% davon werden nichtenergetisch verwendet. Der verbleibende energetische Einsatz von 782 PJ/a (MEFF) bzw. 757 PJ/a (HEFF) wird zu 57% von Erdgas, von 35% von

Tabelle 7: Eckdaten des Szenario KLIMA-17 HEFF; insbesondere EE-Anteile an den Verbrauchssektoren Strom, Wärme und Kraftstoffe

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Primärenergie, PJ/a	14232	13446	13180	13293	12102	10489	9396	7801	6630	6319
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1413	1385	1519	1644	2082	2611	3174	4296	4943	5212
Anteil EE an PEV, %	9,9	10,3	11,5	12,4	17,2	24,9	33,8	55,1	74,6	82,5
Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, %	10,7	11,2	12,4	13,4	18,7	27,4	37,6	62,8	86,9	96,7
Endenergie, PJ/a	9324	8918	8698	8877	8158	7461	6809	5619	4694	4356
Endenergie EE, PJ/a	996	1183	1230	1355	1684	2149	2597	3501	3996	4187
Anteil EE an EEV, %	10,7	13,3	14,1	15,3	20,6	28,8	38,1	62,3	85,1	96,1
Anteil EE an BEEV, %; 2)	10,5	12,9	13,7	14,8	20,0	28,0	37,0	60,5	82,7	93,3
Strom Endenergie, PJ/a	1897	1884	1845	1874	1852	1827	1807	1879	2014	2044
Strom Endenergie EE, PJ/a	377	513	581	674	907	1173	1344	1701	1962	2030
Anteil EE, %	19,8	27,2	31,5	36,0	49,0	64,2	74,4	90,5	97,4	99,3
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4914	4519	4282	4428	3849	3374	3042	2302	1752	1542
Wärme Endenergie EE, PJ/a	497	546	532	572	645	766	918	1227	1387	1456
Anteil EE, %	10,1	12,1	12,4	12,9	16,8	22,7	30,2	53,3	79,2	94,4
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2513	2515	2571	2574	2457	2260	1960	1439	928	770
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	108	132	210	336	573	646	700
Anteil EE, %	4,9	4,9	4,6	4,2	5,4	9,3	17,2	39,8	69,7	91,0
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	595	599	613	660	806	901	970
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	105	142	161	187	261	361	470	710	866	950
Anteil EE, %	17,0	23,5	27,3	31,5	43,6	58,9	71,2	88,1	96,1	98,0
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,5	27,3	31,5	43,6	58,4	69,1	81,1	85,4	85,8
Primärenergie, PJ/a	14232	13446	13180	13293	12102	10489	9396	7801	6630	6319
Erneuerbare Energien	1413	1385	1519	1644	2082	2611	3174	4296	4943	5212
Mineralöl	4699	4526	4493	4470	3889	3387	2803	1744	1108	879
Kohlen; 7)	3416	3529	3435	3365	2551	1892	1083	317	61	57
Erdgas	3171	2920	2674	2812	2860	2599	2336	1444	518	171
Fossile Energien gesamt	11286	10975	10601	10647	9300	7878	6222	3505	1687	1107
- davon für energetische Zwecke	10252	9999	9611	9680	8330	6913	5267	2560	757	187
Kernenergie	1533	1085	1059	1001	720	0	0	0	0	0
CO₂-Emissionen, Mio. t CO₂/a	832	817	795	792	666	531	383	171	45	9
Verringerung seit 1990, %; 8)	20,9	22,3	24,4	24,7	36,7	49,6	63,6	83,7	95,7	99,2
durch EE vermiedene CO ₂ -Emissionen, Mio. t CO ₂ /a	119	129	138	156	208	268	327	411	439	456
THG-Emissionen, Mio. t CO₂eq/a,	942	927	904	902	768	621	454	219	69	24
Verringerung seit 1990, %	24,8	26,0	27,8	27,9	38,7	50,4	63,7	82,5	94,5	98,1
1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch							SZEN KLIMA17-HEFF ; 6.4.17			
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 CO ₂ /a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse)						9) 1990 = 1252 Mio. t CO ₂ eq/a				

Mineralöl und zu 8% durch nichtorganische Abfälle gedeckt. Die Klimaschutzszenarien erreichen bis 2050 mit einer CO₂-Emission in Höhe von 46 (bzw. 45) Mio. t CO₂/a eine nahezu emissionsfreie Energieversorgung.

Der Endenergieverbrauch kann sich bei den in den Klimaschutzszenarien unterstellten Effizienzreizen bis 2020 (gegenüber 2015) um 6% reduzieren (MEFF), sind diese Anreize sehr wirksam (Szenario HEFF) kann sogar eine Reduktion von 8% erreicht werden. Differenziert

nach Nutzungsbereichen kann der Wärmeverbrauch um 10% (MEFF) bzw. um 13% (HEFF) sinken, der Kraftstoffverbrauch sinkt dagegen lediglich um 2,5% (MEFF) bzw. 4,5% (HEFF). Der Stromverbrauch steigt leicht an, da im Stromsektor trotz effizienterer Nutzung in den konventionellen Nutzungsbereichen bereits kurzfristig neue Einsatzbereiche (Elektromobilität; Wärmenutzung) mittels EE-Strom erschlossen werden. Der Brutto-Endenergieanteil der EE erreicht in 2020 im Szenario MEFF 19,6%, (in HEFF 20%), liegt also deutlich über dem EU-Pflichtanteil von 18%. Damit könnte Deutschland wieder eine glaubwürdige Vorbildfunktion für einen wirksamen Umbau der Energieversorgung in der EU einnehmen.

Der EE-Anteil am Stromendverbrauch erreicht bis 2020 rund 49% (am Bruttostromverbrauch bei 43,5%). Er liegt also deutlich über den derzeit im EEG festgelegten Korridor (für 2020 „mindestens“ 35%). Dies ist jedoch auch erforderlich, da EE-Strom sonst nicht in ausreichendem Maße und rechtzeitig seine Rolle bei der Reduzierung fossiler Energieträger im Wärme- und im Verkehrssektor (Sektorkopplung; vgl. Abschnitt 5) spielen kann. Der jetzige EEG-Korridor für EE-Strom sollte daher baldmöglichst korrigiert werden. Der EE-Anteil am Wärmeverbrauch (ohne Stromanteil) steigt auf 16,4 – 16,8% (also über das sehr bescheidene 14% -Ziel des EWärme-G) und am Kraftstoffverbrauch auf 5,1 – 5,4%. In 2025 lauten die entsprechenden Daten der beiden Szenarien für die EE-Anteile am Bruttostromverbrauch bereits 59,3% bzw. 58,9%, am Wärmeverbrauch 22% bzw. 22,7% und am Kraftstoffverbrauch 9,8% bzw. 9,3%. Damit wird ein EE-Anteil am Endenergieverbrauch von 28% erreicht. **Abbildung 5** zeigt, dass im Vergleich zur Vergangenheit die Gesamtentwicklung beim EE-Ausbau insgesamt noch beschleunigt werden muss, wenn die Energieversorgung bis 2050 dekarbonisiert werden soll. Dazu muss sich im Wärme- und Verkehrsbereich 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. In den Klimaschutzszenarien gelingt damit eine Steigerung des EE-Anteils bis 2050 auf 85-86% des Endenergieverbrauchs. Damit sind fossile Energieträger weitgehend aus der Energieversorgung verschwunden. Gleichzeitig ist der Endenergieverbrauch um 40% (MEFF) bzw. 49% (HEFF) gegenüber 2008 gesunken, seine Zusammensetzung hat sich mit einem Anteil von 38% erheblich zu Strom verschoben (2016 = 21%); „Brennstoffe“ bzw. EE-Wärme stellen noch 42% (2016 = 50%) und Kraftstoffe 20% (2016 = 29%).

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 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 Einsatzmöglichkeiten 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 CO₂-Emissionen) sinnvoll und sparsam nutzen können. Neben der Elektromobilität ist dies die direkte Nutzung von Strom zur Wärmebereitstellung in deutlich 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 Nutzungsbereiche „Strom“, „Wärme“ und „Kraftstoffe“ als dies heute der Fall ist.

Der zukünftige Stromverbrauch muss deshalb 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 selbstverständlich angestrebt werden, den eingesetzten Strom so effizient wie möglich zu nutzen.

Die Entwicklung dieses steigenden Stromverbrauchs zeigt **Abbildung 6** am Beispiel des Szenarios KLIMA-17 MEFF. Durch Effizienzmaßnahmen sinkt der Stromverbrauch bei der „konventionellen“ Nutzung bis 2050 um 22%, wobei zu berücksichtigen ist, dass auch durch „smarte“ Anwendungen und weiterwachsende Digitalisierung 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 518 TWh/a auf 520 TWh/a im Jahr 2030 (EE-Anteil am Bruttostromverbrauch = 71%) und auf 574 TWh/a im Jahr 2050 (EE-Anteil = 98%; **Tabelle 8** „mittleres“ Segment), davon sind rund 30% nach obiger Definition für „neue“ Endverbraucher bestimmt.

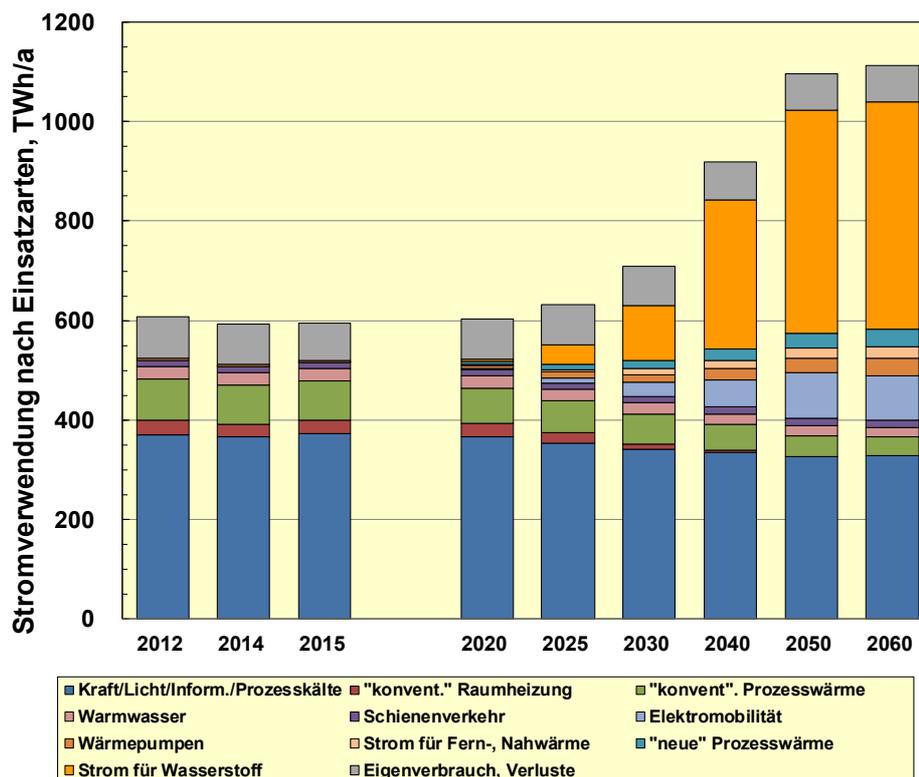


Abbildung 6: Bruttostromerzeugung für „konventionelle“ und „neue“ Stromverwendungen im Szenario KLIMA-17 MEFF. „Neue“ Stromverwendungen sind: Wärmepumpen, Elektromobilität, „Power to Heat“ für Prozesswärme und Wärmenetze; „Power to Gas“ (Wasserstoff) für KWK, Prozesswärme und chemische Industrie sowie für 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 Verkehrs-

sektor (z.B. Flugverkehr) infrage. Hierbei wird abzuwägen sein zwischen zusätzlichen Wandlungsverlusten und Kosten von Methan und flüssigen Energieträgern im Vergleich zum Wasserstoff und ihren günstigeren Einsatzmöglichkeiten in bestehenden Infrastrukturen und Nutzungstechnologien. 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-17 MEFF beginnt diese Nutzung bereits im Jahr 2025 und steigt danach erheblich. In 2050 werden rund 40% (450 TWh/a) der gesamten Bruttostromerzeugung (1097 TWh/a) zur Bereitstellung von 347 TWh/a (= 1620 PJ/a) EE-Wasserstoff verwendet.

Tabelle 8: Bruttostromverbrauch, Stromendenergie und EE-Stromerzeugung in den Szenarien

	2016	2020	2025	2030	2040	2050	2060
„TREND-17“							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	595	597	602	609	623	653	718
EE-Stromerzeug., TWh/a	188	234	273	311	377	460	529
Anteil an Bruttoverbrauch, %	31,7	39,1	45,4	51,0	60,5	70,5	73,7
Strom Endenergie, TWh/a	518	516	520	529	535	546	561
Strom für Power to Gas, TWh/a	0	0	0	0	10	35	85
„KLIMA-17 MEFF“							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	595	602	632	709	920	1097	1113
EE-Stromerzeug., TWh/a ¹⁾	188	262	375	507	829	1079	1096
Anteil an Bruttoverbrauch, %	31,7	43,5	59,3	71,4	90,1	98,4	98,4
Strom Endenergie, TWh/a	518	517	511	520	542	574	583
Strom für Power to Gas, TWh/a	0	5	40	110	300	450	450
„KLIMA-17 HEFF“							
Bruttostromverbrauch, TWh/a	595	599	613	660	806	901	970
EE-Stromerzeug., TWh/a ¹⁾	188	261	361	470	710	868	950
Anteil an Bruttoverbrauch, %	31,7	43,5	58,9	71,2	88,1	96,1	98,0
Strom Endenergie, TWh/a	518	514	507	502	522	559	568
Strom für Power to Gas, TWh/a	0	5	25	80	210	270	330

Die größeren Effizienzerfolge im Szenario KLIMA-17 HEFF (Tabelle 8, unteres Segment) ermöglichen die Erreichung des Klimaschutzziels mit einem geringeren Stromverbrauchszuwachs. Der „konventionelle“ Stromendenergieverbrauch sinkt in diesem Szenario gegenüber 2016 um 24%. Der gesamte Endenergieverbrauch (einschließlich der „neuen“ Endverbraucher) steigt bis 2050 auf 559 TWh/a. Für die Wasserstoffbereitstellung werden „nur“ 270 TWh/a benötigt, da im HEFF-Szenario in den Verbrauchssektoren Wärme (Abschnitt 8) und Verkehr (Abschnitt 9) beträchtliche zusätzliche Effizienzgewinne erreicht werden. Im Jahr 2050 müssen daher mit 901 TWh/a nahezu 200 TWh/a weniger Strom bereitgestellt werden, entsprechend geringer ist auch der notwendige Bedarf an EE-Strom (MEFF = 1079 TWh/a; HEFF = 865 TWh/a)

Wegen des zukünftig geringen Anteils von EE-Strom im TREND-17, und damit auch einem geringen Beitrag zur Sektorkopplung, steigen der Bruttostromverbrauch und der Bedarf an Strom für „neue“ Endverbraucher dort deutlich geringer (**Tabelle 8; oben**). Dafür werden natürlich die fossilen Energieträger Kohle, Mineralöl und Erdgas in wesentlich größerem Ausmaß eingesetzt.

Die Verwendung des „gespeicherten EE-Stroms“ in Form von Wasserstoff ist beispielhaft in **Abbildung 7** für das Szenario KLIMA-17 MEFF dargestellt. Frühe Einsatzgebiete können die Industrie und der Verkehrssektor sein. Längerfristig ist insbesondere eine effiziente „Rückverstromung“ des Wasserstoffs in Kraft-Wärme-Kopplung (Gesamtnutzungsgrad = 92%) von Be-

deutung. Geringe Mengen werden längerfristig als reiner Spitzenstrom (Gasturbinen) zur Unterstützung von Pumpspeichern und Batteriespeichern eingesetzt. KWK und Gasturbinen stellen so in 2050 mittels EE-Wasserstoff eine Leistung von 16 GW in Form von Kraft-Wärme-Kopplung von 13 GW in Form von Spitzenstrom-GT als Beitrag zu einer sicheren Stromversorgung bereit. Die verfügbare Wasserstoffmenge beträgt in 2050 insgesamt 1250 PJ/a, zu seiner Bereitstellung ist in fortschrittlichen Elektrolyseuren ein Stromeinsatz von 450 TWh/a erforderlich. Der wichtigste Einsatzbereich ist der Verkehrssektor mit 48% des EE-Wasserstoffs. Es folgt der Einsatz in KWK-Anlagen mit 34%, der industrielle Einsatz (Chemie, Hochtemperatur-Prozesswärme) mit 15% und schließlich der Einsatz in Gasturbinen mit 3%. Ein vergleichbarer Einsatz bei geringerem Gesamtvolumen erfolgt auch im Klimaschutzszenario KLIMA-17 HEFF. Bezogen auf den Endenergieeinsatz in Form von Kraftstoff, Strom, Nutzwärme aus KWK und Einsatz für Prozesswärme wird ein in 2050 erreichbarer Gesamtnutzungsgrad (Endenergie/Stromeinsatz) von 74% ausgegangen.

In den Szenarien wird Wasserstoff von Großverbrauchen genutzt wird (Industrie, Tankstellen, HKW, größere BHKW). Sie betreiben sowohl Elektrolyseure als auch Wasserstoffspeicher und beziehen den dazu erforderlichen Strom über das Mittelspannungsnetz. Optional ist auch eine (begrenzte) Grobverteilung von Wasserstoff möglich mit größeren (zentralen) Elektrolyseuren und Speichern. Eine (Fein-) Verteilung von Wasserstoff im Vergleich zur heutigen Erdgasnutzung bis zu Einzelgebäuden erfolgt dagegen nicht. Ein Großteil der Gebäude wird in 2050 von Wärmenetzen versorgt (vgl. Abschnitt 8)

Im Szenario TREND-17 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.

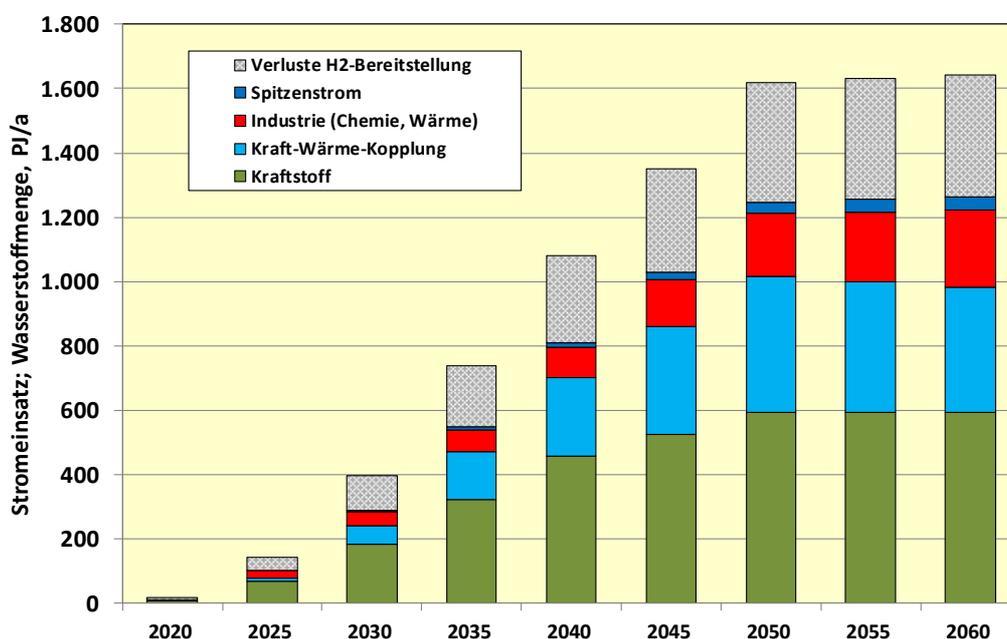


Abbildung 7: Stromeinsatz für Power to Gas und Verwendung des EE-Wasserstoffs im Szenario KLIMA-17 MEFF.

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 CO₂-Emissionen der Stromerzeugung auch im Jahr 2050 noch auf 140 Mio. t CO₂/a (2015 = 313 Mio. t CO₂/a).

Im Szenario KLIMA-17 MEFF steigt die Bruttostromerzeugung nach 2025 deutlich und erreicht im Jahr 2050 mit 1097 TWh/a, (**Abbildung 8, links**) einen um 84% höheren Wert als gegenwärtig. Die direkte Verwendung von Strom als Endenergie steigt einschließlich „neuer“ Verbraucher (Elektromobilität, Power to Heat) dagegen „nur“ um 10% (Tabelle 8). Die dominante heimische Energiequelle ist die Windenergie. On- und Offshore-Anlagen decken in 2050 mit 557 TWh/a etwa die Hälfte (51%) der Stromerzeugung, gefolgt von der Fotovoltaik mit 192 TWh/a (18%), Wasserkraft, Biomasse und Geothermie mit zusammen 115 TWh/a (10%) und Strom aus EE-Wasserstoff mit 53 TWh/a (5%). Aus nicht erneuerbaren Energieträgern (anorganischer Müll) werden nur noch 18 TWh/a (1,5%) Strom erzeugt. Damit werden rund 85% des EE-Strom im Inland (bzw. Offshore in Nord- und Ostsee) bereitgestellt.

Eine 100%ig dekarbonisierte Energieversorgung wird sich jedoch 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 Stromaus-tausch ein europäisches Stromversorgungssystem entwickeln, in welchem auch EE- Strom-mengen 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 Szenario KLIMA-17 MEFF beträgt dieses Importsaldo in 2030 rund 2% der gesamten Bruttostromerzeugung, in 2040 rund 10% und in 2050 knapp 15% (162 TWh/a). Unterstellt wird dabei EE-Strom aus einem Technologiemix von Windenergie, Solarstrahlung (Fotovoltaik und Solarthermische Kraftwerke) und ggf. Wasserkraft, dessen Zusammensetzung sich aus den zukünftigen Preisrelationen der einzelnen Energietechnologien ergeben wird. Trotz dieses Importsaldos an EE-Strom ist der Importanteil am gesamten Primärenergieverbrauch mit 30% (einschließlich nichtenergetischen Anteil am fossilen Import) wesentlich geringer als gegenwärtig mit rund 70%.

Eine effizientere Energienutzung im Szenario KLIMA-17 HEFF reduziert die in 2050 notwendige Stromerzeugung – bei gleicher Klimaschutzwirkung - um 196 TWh/a gegenüber dem MEFF-Szenario auf insgesamt 901 TWh/a (**Abbildung 8, rechts**). Das ist mehr als die gegenwärtige EE-Stromerzeugung. Dieser Vergleich zeigt die große Bedeutung, die der noch möglichen Effizienzsteigerung in allen Verbrauchssektoren zukommt. Die Einzelbeiträge der EE-Quellen reduzieren sich entsprechen. Windenergie stellt 456 TWh/a bereit, Fotovoltaik 167 TWh/a, Strom aus EE-Wasserstoff 31 TWh/a, der EE-Stromimport beläuft sich noch auf 97 TWh/a. Der Sockel aus Wasserkraft, Biomasse und Geothermie bleibt mit 115 TWh/a unverändert.

Schreibt man dagegen den derzeit im EEG vorgegebenen Ausbaukorridor für EE-Strom (Anteil am Bruttostromverbrauch 2025: 40-45%; 2030 mind. 50%; 2035: 55-60%) fort, so wird im Szenario TREND-17 mit den daraus resultierenden, gegenüber der Vergangenheit abgebremsten Wachstumstendenzen, ein EE-Anteil von 45,6% in 2020; von 50,9% in 2030 und von 57% in 2035 erreicht (Tabelle 8, oben), Der gesamte Bruttostromverbrauch steigt dabei nur mäßig und erreicht im Jahr 2050 653 TWh/a, weil mittels EE-Strom kein nennenswerter Ersatz fossiler Energieträger im Wärme- und Verkehrssektor vorgenommen wird. Die spätestens ab 2030 in größerem Umfang erforderliche Sektorkopplung kann daher nicht stattfinden. Der derzeitige EE-Korridor ist also mit dem übergeordneten THG-Reduktionsziel -95% bis 2050 nicht

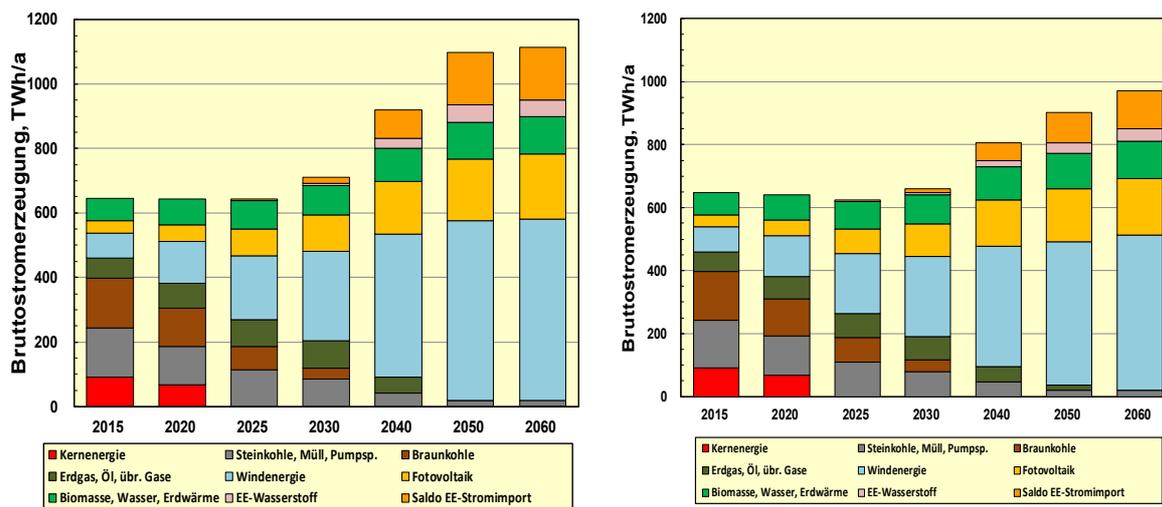


Abbildung 8: Bruttostromerzeugung nach Energiequellen für die Szenarien KLIMA-17 MEFF (links) und KLIMA-17 HEFF (rechts)

kompatibel. Dazu muss, gemäß den Klimaschutzszenarien MEFF und HEFF die Bruttostromerzeugung und entsprechend EE-Stromerzeugung deutlich und rasch über den jetzigen EEG-Korridor hinaus ausgeweitet werden.

In **Tabelle 9 a, b** sind die zu obiger Bruttostromerzeugung erforderlichen Leistungen aufgeführt. Während im Trendszenario die Leistungen bis 2050 nur mäßig bis auf 276 GW steigen, sind in im Szenario KLIMA-17 MEFF im Jahr 2050 mit 482 GW installierter Leistung deutlich mehr als das Doppelte der heutigen Leistung erforderlich. Auch im Hocheffizienz-Szenario KLIMA-17 HEFF kommt man noch auf 423 GW Leistung. Die aufsummierte Leistung der fluktuierenden EE beläuft sich in 2050 auf 386 GW (MEFF) bzw. 331 GW (in 2016: 91 GW). Sie teilt sich etwa zu gleichen Teilen auf Wind (Onshore + Offshore) und Fotovoltaik auf. Die zukünftigen Herausforderungen an ein jederzeit stabiles und sicheres Stromversorgungssystem werden daran sichtbar. In den Klimaschutzszenarien sorgt ein Mix aus Biomasse, Wasserkraft, Wasserstoff-KWK und -Spitzenlast, Geothermie, Müll-HKW, sowie Pumpspeicher und dezentrale Batteriespeicher (zusammen 12 -14 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 Szenario KLIMA-17 MEFF im Jahr 2050 rund 140 GW Elektrolyseleistung zur Verfügung. Deren mittlere Ausnutzung beträgt dann rund 3200 h/a.

Die in Tabelle 9 a, b ebenfalls aufgeführten CO₂-Emissionen der Stromerzeugung dokumentieren, dass in den Klimaschutzszenarien Strom im Jahr 2050 praktisch emissionsfrei zur Verfügung gestellt wird. Im Szenario TREND-17 wird mit 106 Mio. t CO₂/a eine Reduktion der gegenwärtigen Emissionen (313 Mio. t CO₂/a) um lediglich 64% erreicht.

Im Szenario TREND-17 verändert sich die konventionelle Kraftwerksstruktur nur langsam, da hier weiterhin ein sehr niedriger Preis für CO₂-Zertifikate unterstellt wird und keine wirksame Initiative zur vorzeitigen Abschaltung von Kohlekraftwerken erfolgt. Die Strombörsenpreise bleiben weiterhin niedrig und der Export fossilen Stroms hält weiterhin an. Von derzeit rund 56 GW sinkt die Kohlekraftwerksleistung bis 2030 nur auf 47 GW und beträgt in 2050 immer noch 32 GW. Die Gaskraftwerksleistung steigt im Trendszenario nur schwach von 29 GW auf 31 GW in 2030 und auf 35 GW in 2050 (**Abbildung 9**).

Tabelle 9 a: Installierte Kraftwerkskapazität und resultierenden Leistungen, sowie die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung in KLIMA-17 MEFF.

Installierte Leistung, GW	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Kernenergie	21,5	12,7	12,7	11,4	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, sonst.	35,3	35,0	33,7	33,0	27,8	26,2	20,3	9,9	4,0	4,0
Braunkohle	25,0	24,7	23,4	23,3	18,0	11,6	6,7	0,0	0,0	0,0
Erdgas, Öl,	29,7	32,0	30,3	29,0	30,2	33,9	33,8	22,1	0,0	0,0
Windenergie	27,2	31,3	39,2	44,5	68,0	94,4	121,5	170,8	192,8	193,6
Fotovoltaik	17,6	32,6	37,9	39,8	55,1	84,7	115,7	164,6	193,0	202,0
Biomasse, Wasser, Geoth.	10,3	11,7	13,0	13,1	14,3	16,0	18,2	21,9	24,6	25,1
EE-Wasserstoff						0,5	2,8	12,9	28,9	27,8
Speicher	6,5	6,5	6,0	6,0	7,0	9,0	11,0	11,0	12,0	12,0
EE-Importsaldo**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	15,8	27,1	27,3
Gesamte Bruttogleistung	173	186	196	200	229	278	333	429	482	492
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	71	87	94	101	134	188	244	338	389	399
Gesicherte Leistung, brutto	102	99	102	99	95	90	89	91	93	93
Bruttohöchstlast	84	84	82	83	80	75	75	76	79	79
Als Reserve verbleibend	18	15	20	16	15	15	15	15	14	13
CO₂-Emissionen (Mio. t/a)	315	326	314	311	254	194	133	45	2	1
A) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el	0,813	0,840	0,852	0,847	0,802	0,724	0,649	0,490	0,098	0,056
B) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el	0,498	0,517	0,501	0,481	0,394	0,302	0,187	0,049	0,002	0,001
*) 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										

SZEN-KLIMA17-MEFF; 6.4.2017

Tabelle 9 b: Installierte Kraftwerkskapazität und resultierenden Leistungen, sowie die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung in Szenario KLIMA-17 HEFF.

Installierte Leistung, GW	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Kernenergie	21,5	12,7	12,7	11,4	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, sonst.	35,3	35,0	33,7	33,0	27,5	24,7	18,8	10,5	4,0	4,0
Braunkohle	25,0	24,7	23,4	23,3	17,9	11,8	6,2	0,0	0,0	0,0
Erdgas, Öl,	29,7	32,0	30,3	29,0	29,7	34,0	33,3	24,9	10,7	0,0
Windenergie	27,2	31,3	39,2	44,5	68,2	91,2	113,2	150,5	163,3	172,2
Fotovoltaik	17,6	32,6	37,9	39,8	54,6	81,2	107,2	149,6	168,0	182,0
Biomasse, Wasser, Geoth.	10,5	11,7	12,9	13,1	14,7	16,7	19,1	22,7	25,1	25,6
EE-Wasserstoff						0,3	2,2	9,9	21,4	28,4
Speicher	6,5	6,5	6,0	6,0	7,0	9,0	11,0	12,0	14,0	14,0
EE-Importsaldo**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,1	10,4	16,0	19,5
Gesamte Bruttogleistung	173	187	196	200	228	271	314	390	423	446
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	71	87	94	101	133	180	227	301	333	356
Gesicherte Leistung, brutto	102	99	102	99	95	90	88	89	90	90
Bruttohöchstlast	84	84	82	83	80	75	72	74	77	77
Als Reserve verbleibend	18	15	20	16	15	15	15	15	13	13
CO₂-Emissionen (Mio. t/a)	315	326	314	311	254	195	127	47	7	2
A) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el	0,813	0,840	0,852	0,847	0,809	0,742	0,668	0,490	0,201	0,084
B) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el	0,498	0,517	0,501	0,481	0,396	0,312	0,193	0,059	0,008	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										

SZEN-KLIMA17-HEFF; 6.4.17

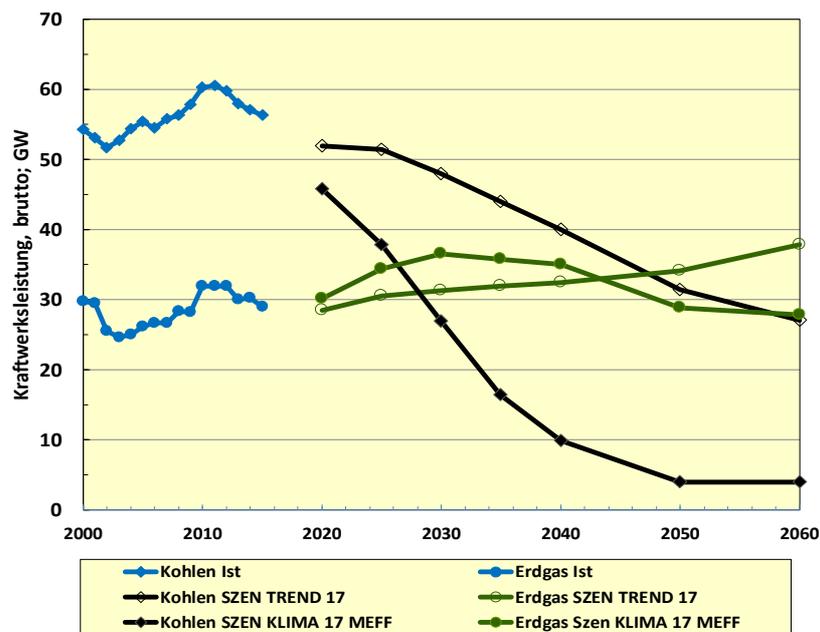


Abbildung 9: Entwicklung der Bruttoleistung von Kohle- und Gaskraftwerken in den TREND-17 und KLIMA-17 MEFF (Kohle einschl. sonstige B.; Gas einschl. Öl)

Im Stromsektor könnte bei „korrekten“ CO₂-Preisen ein erheblich rascherer, weil marktgetriebener Strukturwandel weg von Kohlekraftwerken und hin zu Erdgaskraftwerken und EE-Anlagen erfolgen. Dies wird für die Klimaschuttszenarien angenommen. Die Korrektur des gegenwärtigen Marktversagens im Strommarkts muss in Form einer „Preiskorrektur“ erfolgen, die sich an den bei ungebremstem Klimawandel auftretenden Schadenskosten orientiert. Dies 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 entsprechend Szenario KLIMA-17 MEFF eine Gasleistung von 37 GW benötigt, die Kohleleistung ist entsprechend auf rund 27 GW gesunken (2 GW Leistung von Müll-HKW sind in „Kohle“ enthalten). In 2050 werden nur noch 29 GW gasgefeuerte Anlagen betrieben (etwa so viel wie heute), die dann vollständig mit EE-Wasserstoff betrieben werden (Abbildung 9). Davon sind 16 GW stromgeführte KWK-Anlagen und 13 GW Gasturbinen, die nur wenige 100 h/a zur Spitzenstromerzeugung eingesetzt werden. Weitere 37 GW Leistung stehen aus Biomasse-, Wasserkraft-, Geothermie- Anlagen und Speichern zur Verfügung. Die letzten Braunkohlekraftwerke gehen nach 2030 vom Netz, die letzten Steinkohlekraftwerke um 2040.

Vergleicht man die Stromversorgungsstruktur der Klimaschuttszenarien mit den aktuellen Szenarien des Netzentwicklungsplans Strom 2030 (Bundesnetzagentur 2017], so zeigt lediglich das dortige „Innovationsszenario“ C näherungsweise die notwendige Umstrukturierungsdynamik, die zur Erreichung des Klimaschuttsziels von -95% THG-Reduktion erforderlich ist. Die konventionelle Kraftwerksstruktur der Klimaschuttszenarien KLIMA-17 MEFF und HEFF des Jahres 2030 ist der des Szenarios C sehr ähnlich, der dortige Zuwachs an EE-Leistung und der resultierende Nettostromverbrauch bleibt jedoch deutlich hinter dem für eine wirksame Sektorkopplung erforderliche Menge zurück.

Eine wichtige Stütze der Stromversorgung ist **Kraft-Wärme-Kopplung**. KWK ist eine lang bewährte Technologie der Sektorkopplung; nur sie ermöglicht die Stromerzeugung auf thermischer Basis mit hohen Nutzungsgraden um 90%, da die Abwärme für Heizzwecke und als Prozesswärme genutzt wird. Mit rund 97 TWh/a stellt sie heute rund 15% der Stromerzeugung.

Nach deutlichem Wachstum bis 2010 stagniert sie seither (**Abb.10, links**). Auf Grund der derzeitigen Preisrelationen am Strommarkt, die Klimaschutzinvestitionen blockieren, ist diese effiziente Art der Stromerzeugung in wirtschaftliche Schwierigkeiten geraten. Teilweise werden sogar bestehende KWK-Anlagen auf Erdgasbasis stillgelegt. Nur das jüngst neu justierte KWK-G verhindert weitere drohende Einbrüche, ein Wachstum ist derzeit jedoch nicht in Sicht.

Vor dem Hintergrund der als notwendig erkannten verstärkten Sektorkopplung, hier also die engere Verknüpfung zwischen Strom- und Wärmesektor, ist dieser Zustand ein gravierendes Hemmnis für die Weiterentwicklung der Energiewende. Neben der „neuen“ Möglichkeit Strom auf EE-Basis direkt für Heizzwecke und Prozesswärme zu nutzen (Power to Heat), da hier die bei der Bereitstellung „fossilen“ Stroms entstehenden Umweltbelastungen und Energieverluste wegfallen, ist die KWK die zweite Säule, die es ermöglicht, die Sektorkopplung bis zur völligen Dekarbonisierung des Strom- und Wärmesektors auszubauen. Während mit Power to Heat-Technologien lediglich EE-Überschüsse genutzt werden können und bei Ausfällen der EE-Strombereitstellung sogar zusätzliche Leistung bereitgestellt werden muss, können KWK-Anlagen einen großen Teil dieser Leistung effizient und flexibel bereitstellen. Mittelfristig werden dies erdgasgefeuerten Anlagen sein, längerfristig wird ein Übergang zu gasförmigen Energieträgern auf EE-Basis stattfinden (vgl. auch Abb. 7). Ihr weiterer Ausbau und langfristige Stabilisierung ist daher Bestandteil der hier erläuterten Klimaschutzenszenarien.

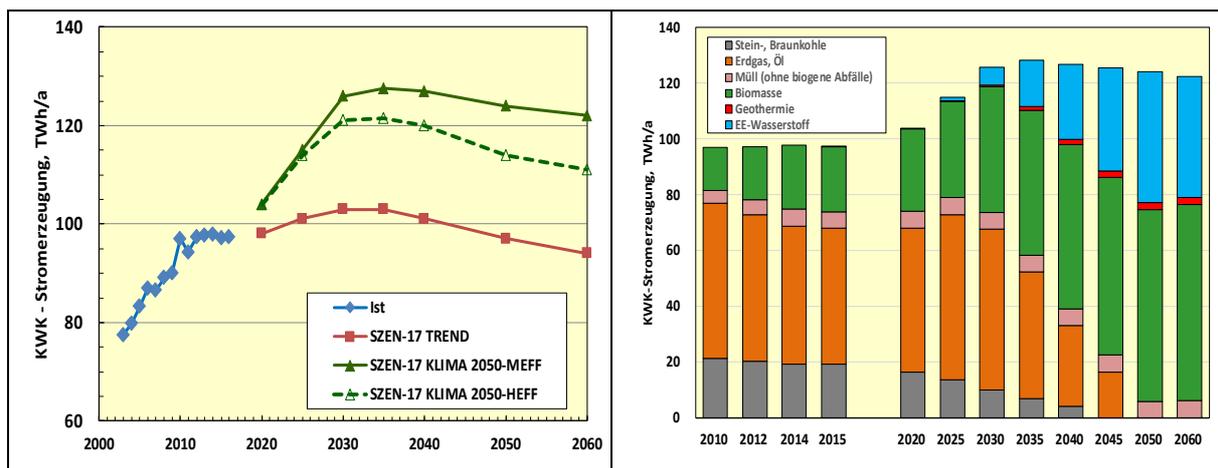


Abbildung 10: Entwicklung der KWK-Stromerzeugung in den drei Szenarien (links; unterdrückter Nullpunkt) und Struktur der Erzeugung im Szenario KLIMA-17 MEFF (rechts).

Auch wärmeseitig ist der weitere Ausbau der KWK sinnvoll und zweckmäßig. Beim Ersatz fossiler Einzelheizungen, die heute mit rund 80% der Gebäudeversorgungen dominieren, ist auch die Ausweitung von Wärmenetzen notwendig (vgl. Abschnitt 7). Diese bieten flexible Möglichkeiten, sowohl KWK-Wärme als auch EE-Wärme (Solarthermie, Umweltwärme, Geothermie, Biomasse, EE-Stromüberschüsse) aufzunehmen. KWK-Wärme kann daher einen wesentlichen Beitrag zur Ablösung fossiler Einzelheizungen leisten. Die KWK-Stromerzeugung wächst in den Klimaschutzenszenarien KLIMA-17 MEFF und HEFF bis 2035 auf ein Maximum von 120 TWh/a (HEFF) bis 128 TWh/a (MEFF) und sinkt danach wieder leicht ab. Kompatibel mit dem THG-Reduktionspfad der Szenarien läuft Kohle-KWK nach 2040 aus, während Erdgas-KWK von derzeit rund 49 TWh/a Stromproduktion bis 2030 noch auf 58 TWh/a (MEFF, **Abb. 10, rechts**) steigt. Bis 2050 wird dann Erdgas durch EE-Wasserstoff ersetzt (47 TWh/a in 2050). Eine wachsende Bedeutung gewinnt auch die Biomasse-KWK. Dazu werden, neben der Ausnutzung von Restpotenzialen, Biomasse-Heizwerke, ein Teil der Einzelheizungen und

auch derzeit noch reine Biomasse-Kondensationsanlagen in KWK-Anlagen überführt, um die begrenzten Biomassepotenziale möglichst effizient zur Strom- und Wärmeerzeugung zu nutzen. Ihre KWK-Stromerzeugung steigt daher von derzeit rund 23 TWh/a auf rund 70 TWh/a in 2060 (MEFF). Weitere geringe Beiträge liefern Müll-HKW und KWK auf der Basis von Tiefengeothermie.

Im Szenario TREND-17 verbleibt die KWK etwa auf dem heutigen Niveau mit einem leichten Anstieg bei Erdgas, während die KWK-Leistung von Biomasseanlagen, insbesondere von Biogasanlagen aufgrund der Vorgaben des EEG-Korridors rückläufig ist (vgl. Tab.10 in folgendem Abschnitt 6).

6. Entwicklung der EE-Stromerzeugung

Die Entwicklung der weiteren EE-Stromerzeugung wird gegenwärtig durch die Vorgaben des EEG-Korridors und die ab 2017 stattfindende Ausschreibung von EE-Anlagen geprägt. Auch im aktuellen Klimaschutzplan 2050 wird von diesem Korridor nicht abgewichen. Für das Szenario TREND-17 wird davon ausgegangen, dass dieser EEG-Ausbaukorridor bis 2035 (EE-Anteil 55-60%) mit 57% erfüllt wird (Tabelle 8), was unten den derzeitigen Rahmenbedingungen am Strommarkt eine eher noch optimistische Annahme darstellt. So wird die Leistung von Biomasse- und Biogasanlagen (einschl. biogenem Müll) unter diesen Bedingungen nach 2020 zurückgehen und sich im Trendszenarien statt 9,6 GW (2016) in 2035 nur noch auf rund 7 GW belaufen. Angesichts der Notwendigkeit, jederzeit über ausreichend flexible Leistung zu verfügen, wozu Biomasseanlagen einen erheblichen Beitrag leisten können, ist dies eine ungünstige Entwicklung. In den Klimaschutzszenarien steigen diese Leistungen dagegen, wobei die dortigen Werte (12 GW in 2035) eher eine Untergrenze darstellen.

Mit dem Bruttostromverbrauch des Trendszenarios führt der EEG-Korridor (EE-Anteil=57%) zu einer EE-Leistung von 173 GW in 2035, (**Tabelle 10, oben**). Erforderlich im Sinne eines wirksamen Klimaschutzes sind aber bei anspruchsvollen Effizienzerfolgen (KLIMA-17 MEFF) bis dahin etwa 320 GW EE-Leistung (**Tabelle 10, Mitte**). Werden sehr anspruchsvolle Effizienzerfolge erzielt (KLIMA-17 HEFF), so sind in 2035 rund 290 GW EE-Leistung erforderlich (**Tabelle 10, unten**).

Das „Defizit“ an EE-Leistung unter dem Gesichtspunkt des notwendigen Klimaschutzes beträgt im Jahr 2020 bereits 15 GW, in 2025 je nach Effizienzintensität (Szenarien MEFF und HEFF) rund 45-50 GW, wächst bis 2030 auf 80 -100 GW und bis 2035 sogar auf 120 - 145 GW.

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 (2016: 15,1 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 im Szenario MEFF mit höherem EE-Strombedarf 2050 193 GW (~ 126 GW Onshore; 67 GW Offshore) bereit, die Fotovoltaik ebenfalls 193 GW. Hinzu kommen noch eine „EE-Importleistung“ in Höhe von 27 GW, die größtenteils ebenfalls von Wind- und Solaranlagen stammen.

Tabelle 10: Installierte Leistung aller EE-Anlagen in den Szenarien TREND-17 (oben) und Szenario KLIMA-17 MEFF (Mitte) und Szenario KLIMA-17 HEFF (unten)

Installierte EE-Leistung; GWel	SZEN: KLIMA17-TREND													
	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	
Wasserkraft	5,4	5,6	5,6	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6	
Wind Onshore	27,0	30,7	37,6	45,4	54,1	59,1	63,4	68,8	71,6	77,0	81,4	84,6	87,3	
Wind Offshore (am Netz)	0,1	0,3	1,0	4,2	6,7	10,6	15,2	19,4	21,0	22,9	24,1	24,6	25,5	
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,3	41,3	48,5	59,0	66,5	69,6	71,9	74,0	79,5	86,0	90,5	
feste Biomasse, biog. Abfall	3,0	3,0	3,6	3,6	3,4	3,5	3,6	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	
gasf., flüssige Biomasse	4,0	5,4	5,7	6,0	5,5	5,1	4,6	4,0	3,4	2,9	2,6	2,4	2,3	
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	
Gesamt in D	57,5	78,1	91,8	106,0	124,0	143,3	159,6	171,8	178,1	187,1	198,0	208,2	216,2	
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	1,1	2,4	4,1	6,3	9,0	11,8	

Installierte EE-Leistung; GWel	SZEN: KLIMA17-MEFF													
	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	
Wasserkraft	5,4	5,6	5,6	5,6	5,8	6,0	6,2	6,3	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6	
Wind Onshore	27,0	30,7	37,6	45,4	60,2	78,6	95,9	113,3	122,8	125,7	126,0	125,0	124,5	
Wind Offshore (am Netz)	0,1	0,3	1,0	4,2	7,7	15,7	25,4	36,5	47,9	58,6	66,8	68,8	69,1	
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,3	41,3	55,6	85,2	116,2	142,3	165,1	185,3	193,0	198,0	202,0	
feste Biomasse, biog. Abfall	3,0	3,0	3,5	3,5	4,4	4,8	5,3	5,8	6,1	6,4	6,7	6,8	7,0	
gasf., flüssige Biomasse	4,0	5,4	5,7	6,0	6,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,8	1,3	1,9	2,5	3,0	3,0	3,0	
Gesamt in D	57,5	78,1	91,7	106,0	139,9	197,0	256,2	311,9	356,6	391,4	408,4	414,5	418,6	
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	8,8	15,8	22,4	27,1	27,3	27,3	
Gesamt für D	57,5	78,1	91,7	106,0	139,9	198,6	259,4	320,6	372,4	413,7	435,5	441,8	445,9	

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

Installierte EE-Leistung; GWel	SZEN: KLIMA17-HEFF													
	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	
Wasserkraft	5,4	5,6	5,6	5,6	5,8	6,0	6,2	6,3	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6	
Wind Onshore	27,0	30,7	37,6	45,4	60,2	75,6	89,9	104,8	111,8	114,6	115,4	115,5	115,5	
Wind Offshore (am Netz)	0,1	0,3	1,0	4,2	7,7	14,7	22,4	30,5	38,1	43,5	47,9	52,0	56,7	
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,3	41,3	55,1	81,7	107,7	130,8	150,1	164,7	168,0	175,5	182,0	
feste Biomasse, biog. Abfall	3,0	3,0	3,5	3,5	4,4	4,8	5,3	5,8	6,1	6,4	6,6	6,8	7,0	
gasf., flüssige Biomasse	4,0	5,4	5,7	6,0	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,8	1,3	1,9	2,5	3,0	3,0	3,0	
Gesamt in D	57,5	78,1	91,7	106,0	139,3	189,4	238,6	285,8	320,7	344,5	353,7	365,6	377,0	
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	2,6	5,9	9,9	13,5	16,0	17,8	19,5	
Gesamt für D	57,5	78,1	91,7	106,0	139,3	190,7	241,2	291,6	330,6	358,0	369,7	383,4	396,5	

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

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 11 (links)** zeigt die derzeit induzierten jährlichen Zubauraten, wenn der EEG-Korridor bis 2035 eingehalten wird (TREND-17); in **Abbildung 11 (rechts)** sind die notwendigen Zubauraten im Szenario KLIMA-17 MEFF 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 6600 MW/a (Brutto ~6800 MW/a) stetig auf unter 2000 MW/a in 2040 und steigt bis 2050 wieder leicht auf 2500 MW/a. Der dazu erforderliche Bruttozuwachs muss jedoch – nach einem Einbruch auf rund 5000 MW/a in 2017/2018 – bis 2025 wieder das heutige Niveau erreichen und dann bis 2050/2060 weiter auf rund 10 000 MW/a steigen, was dem bisherigen Spitzenniveau der Jahre 2011/2012 entspricht (Abb.9; links). Mit diesen Zubauraten wird in 2050 ein EE-Anteil am Bruttostromverbrauch von 71% erreicht, der im Energiekonzept angestrebte EE-Anteil von „mind. 80%“ also verfehlt.

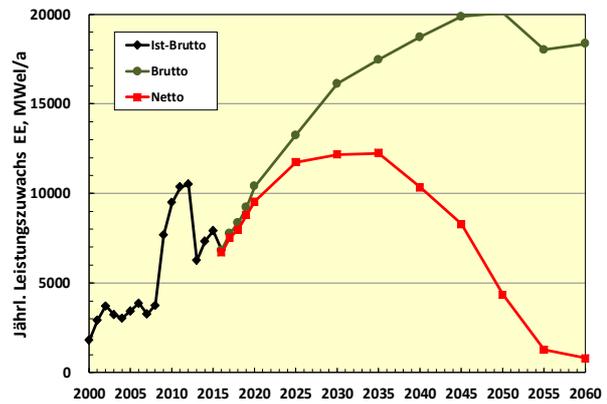
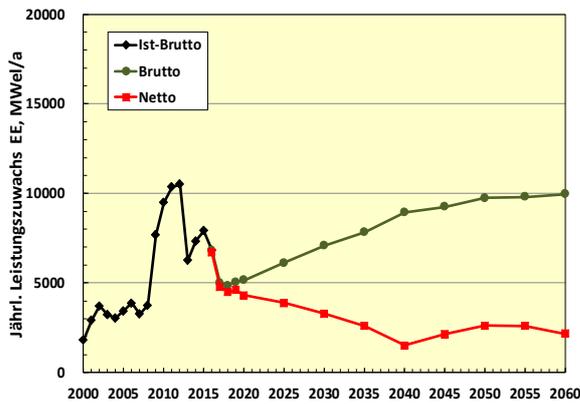


Abbildung 11: Jährlicher Brutto- und Nettoleistungszuwachs der EE-Stromerzeugung für die Szenarien TREND-17 (links) und KLIMA-17 MEFF (rechts).

Betrachtet man lediglich Onshore-Windanlagen (**Abbildung 12; links**), so zeigt sich, dass unter Trendbedingungen der Nettozubau bei rund 1000 MW/a einpendeln und der Bruttozubau überwiegend den Ersatz alter Anlagen befriedigt. Bereits dieser Nettozubau 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 (2600 MW/a, brutto) wieder stetig zunimmt und kurz nach 2040 die Marke von 4000 MW/a überschreitet. Dies ist jedoch unter den derzeitigen Rahmenbedingungen keineswegs gewährleistet.

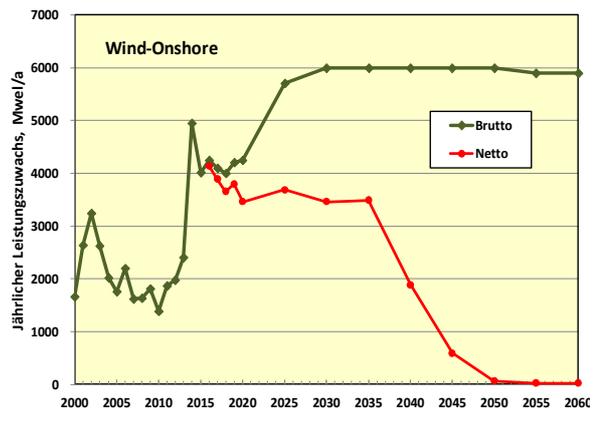
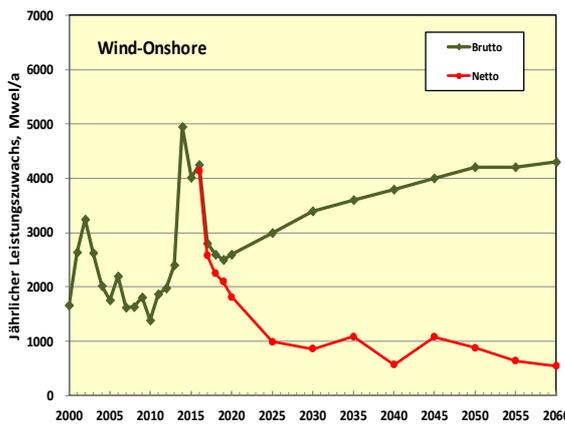


Abbildung 12: Jährlicher Brutto- und Nettozuwachs an Onshore-Windanlagen in den Szenarien TREND-17 (links) und Szenario KLIMA-17 MEFF (rechts)

Ein völlig anderes Bild zeigt sich bei dem aus Klimaschutzsicht eigentlich erforderlichen EE-Zubau (**Abbildung 11 und 12; jeweils rechts**). Für einen effektiven Klimaschutz, wie er im Szenario KLIMA-17 MEFF modelliert wird, ist ein rascher Anstieg des Nettozubaus von EE-Anlagen zur Stromerzeugung bis 2025 auf ein Maximum von rund 12 000 MW/a erforderlich, dieses Niveau muss etwa ein Jahrzehnt beibehalten werden, um dann wieder stetig zu sinken. Um auch den steigenden Ersatzbedarf zu befriedigen, muss dazu die Bruttoproduktion über nahezu drei Jahrzehnte (bis 2045) bis zu einem Spitzenwert von 20 000 MW/a steigen, der Spitzenwert von 2011/2012 muss dazu bereits kurz nach 2020 erreicht werden. 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 TREND-17. 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 sollte der Nettozubau bis 2035 auf einem Niveau von rund 3600 MW/a verharren (Abb.10, rechts). Dazu muss aber der Bruttozubau bis 2030 auf rund 6000 MW/a ansteigen; mit diesem Niveau lässt sich das im Szenario KLIMA-17 MEFF angestrebte Ausbauniveau von 126 GW stabilisieren. Die heutigen Rahmenbedingungen des Energiemarkts, die zu wenig Anreize für ausreichende klimawirksame Investitionen bieten und die politisch vorgegeben Zubaukorridore, welche u.a. die notwendige Sektorkopplung nicht berücksichtigen, reichen bei weitem nicht aus, das im Szenario KLIMA-17 MEFF modellierte EE-Wachstum zu gewährleisten.

Im Hoch-Effizienz-Szenario KLIMA-17 HEFF sind wegen des geringeren EE-Strombedarfs die erforderlichen Zubauraten etwas geringer, als im MEFF-Szenario. Das zu erreichende Maximumniveau des Bruttozubaus für alle EE-Anlagen liegt z.B. bei 17 000 MW/a (vgl. Abb.9, rechts), das für Wind-Onshore allein bei 5 500 MW/a (vgl. Abb. 10, rechts). Aber auch dieses Niveau liegt weit jenseits der derzeitigen wirksamen Marktbedingungen.

7. Entwicklung des Wärmesektors

Mit rund 4950 PJ/a (2016) werden derzeit rund 55% der Endenergie zur Wärmebereitstellung eingesetzt. Rund 50% davon 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 CO₂-Emissionen aus der Wärmebereitstellung. Daraus ist ersichtlich, dass ohne eine wesentliche Aktivierung der erheblichen Effizienzpotenzialen und des konsequenten 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 (bei Raumheizung allein 65%), KWK-Wärme (öffentlich und industriell) folgt mit 13%, der Stromanteil beträgt 10%. Die gesamte EE-Wärme hat einen Anteil von 14 % (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 KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF abgebildet. Hier wird die Diskrepanz zur mangelhaften Veränderungsdynamik unter Trendbedingungen (TREND-17) besonders deutlich (**Abbildung 13; Tabelle 11; oben**). Wegen des Fehlens wirksamer Anreize insbesondere für eine umfassende Gebäudesanierung muss davon ausgegangen werden, dass der Wärmebedarf auch längerfristig bestenfalls um 25% (gegenüber 2008) sinkt. 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 Zielkorridor für Biomasse im jetzigen EEG zusätzlich gebremst. Mit diesen Restriktionen wird insbesondere der Wärmebeitrag aus KWK-Anlagen, der sich in den letzten Jahren dank wachsender Stromerzeugung aus Biomasse (einschl. biogenen Abfall) deutlich erhöht hat und heute 32% (48 TWh/a) der gesamten Biomassewärme darstellt, nach 2020 wieder

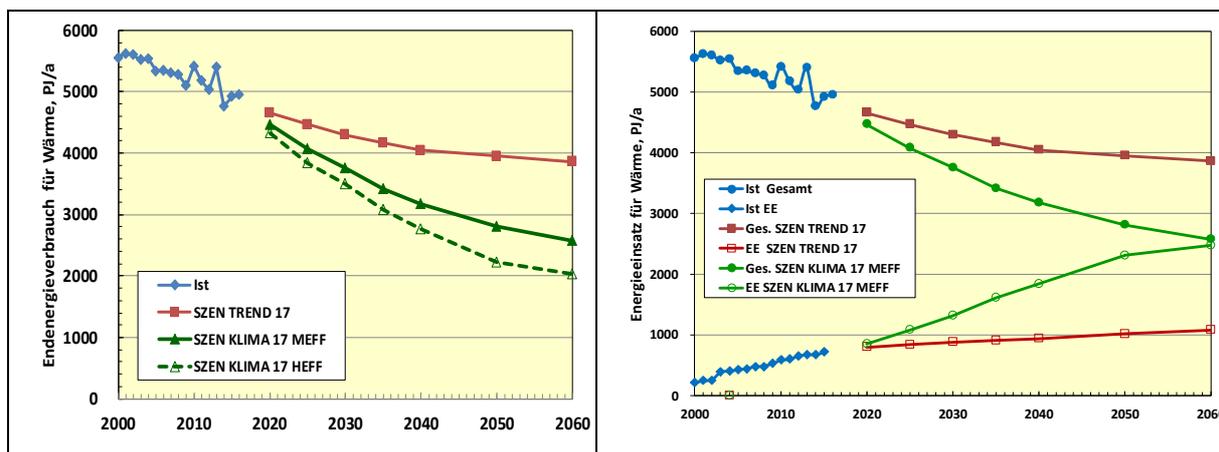


Abbildung 13: Entwicklung des Energieeinsatzes für Wärme (links) und Beitrag von Verbrauchsreduzierung und EE-Beitrag in den Szenarien TREND-17 und Szenario KLIMA-17 MEFF (rechts)

sinken. Insgesamt verringert sich dadurch der Beitrag der Biomassewärme von derzeit 148 TWh/a auf 130 TWh/a in 2030 und auf 116 TWh/a im Jahr 2050. Das unter Trendbedingungen für möglich gehaltene Wachstum von Kollektoren, Umweltwärme und Geothermie kann diesen Rückgang lediglich näherungsweise kompensieren. Von derzeit 168 TWh/a steigt sie bis 2025 noch auf 172 TWh/a, um dann bis zur Jahrhundertmitte etwa konstant zu bleiben; eine „Energiewende“ im Wärmebereich fände also nicht statt (**Abbildung 14; links**). Der Anteil der fossilen Energiebereitstellung für Wärmezwecke wäre nur von derzeit 87% (= 3900 PJ/a) auf 82% (= 2800 PJ/a) im Jahr 2050 gesunken, der CO₂-Ausstoß des Wärmesektors beliefe sich noch auf 190 Mio. t CO₂/a (derzeit 310 Mio. t CO₂/a).

Tabelle 11: Energieverbrauch für Wärmezwecke und zukünftige Beiträge der EE

	2016	2020	2025	2030	2040	2050	2060
„TREND-17“							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4950	4653	4468	4295	4043	3949	3860
davon Stromwärme (PJ/a)	490	483	496	524	532	540	561
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 6,1	-11	-15	-18	-22	-25	-27
EE-Wärmemenge (PJ/a) ¹⁾	605	617	625	617	621	626	662
Anteil Erneuerbare Energien (%) ²⁾	13,5	14,8	15,7	16,4	17,7	18,4	20,1
„KLIMA-17 MEFF“							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4950	4463	4075	3756	3175	2805	2575
davon Stromwärme (PJ/a)	490	490	485	495	503	511	541
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 6,1	-15	-23	-29	-40	-47	-51
EE-Wärmemenge (PJ/a) ¹⁾	605	650	791	955	1381	1797	1935
Anteil Erneuerbare Energien (%) ²⁾	13,5	16,4	22,0	29,3	51,7	78,3	95,1
„KLIMA-17 HEFF“							
Energieverbr. für Wärme (PJ/a)	4950	4328	3832	3492	2763	2238	2060
davon Stromwärme (PJ/a)	490	479	458	450	462	486	518
Verring. gegenüber 2008 (%)	- 6,1	-18	-27	-34	-48	-58	-61
EE-Wärmemenge (PJ/a) ¹⁾	605	645	766	918	1227	1387	1456
Anteil Erneuerbare Energien (%) ²⁾	13,5	16,8	22,7	30,2	53,3	79,2	94,4

3) Biomasse, Kollektoren, Umweltwärme; ohne EE-Strom für Wärmezwecke

4) Anteil an Wärme abzgl. Stromwärme

Um einen angemessenen Beitrag des Wärmesektors am das Klimaschutzziel von -95% zu erreichen, müssen hier die großen Effizienzpotentiale - insbesondere im Gebäudebereich – weitgehend ausgenutzt werden. Der gesamte Wärmeverbrauch (Raumheizung, Warmwasser, Prozesswärme) kann so bis 2050 ggü. 2008 um rund 47% (MEFF) bis 58% (HEFF) reduziert werden, (**Abbildung 13; Tabelle 11; Mitte und unten**).

Parallel müssen in der zukünftigen Wärmeversorgung alle Optionen zur Reduktion fossil gefeuerter Einzelversorgungen konsequent genutzt werden. Dies kann einerseits durch eine Konsolidierung der Fernwärme (Kohle-Abbau und Gas-Zubau bei HKW; Modernisierung und Verdichtung der Netze; Erhöhung von Anschlussgraden; Integration von Wärmespeichern und EE-Wärme u.a.) und den Bau zahlreicher neuer Nahwärmenetze (für KWK-Anlagen, Solarthermie, Umweltwärme, Geothermie) und KWK-Insellösungen im Altbaubestand geschehen. Zusätzlich geht der Anteil von Einzelheizungen durch den Zubau von Wärmepumpen erheblich zurück. Einzelversorgungen mit Heizöl und Gas verschwinden bis 2050 völlig. Neben Wärmepumpen verbleibt lediglich ein Sockel von Biomasse-Einzelheizungen. EE-Wärme (Biomasse, Solarkollektoren, Umweltwärme und Geothermie; längerfristig auch EE-Wasserstoff via KWK und HT-Wärme) werden zu großen Teilen mittels Netzen bereitgestellt. Damit steigert EE-Wärme ihren bisher geringen Anteil (13,6%; ohne Stromwärme) bereits bis 2030 erheblich (29%) und deckt den verbleibenden Wärmebedarf (ohne Stromwärme) des Jahres 2050 bereits zu 80%. Die Wärmebereitstellung mittels KWK-Anlagen in Wärmnetzen (fossil, Biomasse, Geothermie, längerfristig EE-Wasserstoff) erhöht ihren Anteil stetig auf rund 24% des (deutlich sinkenden) Wärmebedarfs (derzeit 15%). Mit 1800 PJ/a (500 TWh/a) in 2050 stellt EE-Wärme nahezu die dreifache Energiemenge bereit, als dies heute (605 PJ/a = 168 TWh/a) der Fall ist (**Abbildung 14, rechts**).

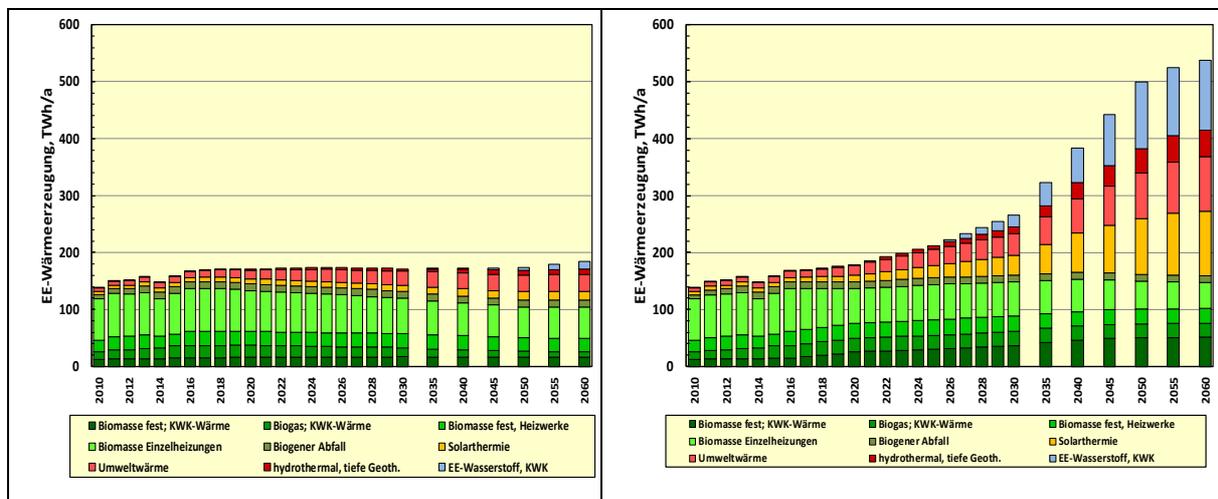


Abbildung 14: Entwicklung der EE-Wärmeerzeugung (ohne Stromanteil) im Szenario TREND-17 (links) und notwendige Entwicklung (Szenario KLIMA-17 MEFF; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts (in TWh/a; 1 TWh/a = 3,6 PJ/a)

Neben einem erheblich stärkeren Wachstum von Solarwärme und Umweltwärme/ Geothermie (etwa eine Verzehnfachung ihres heutigen Beitrags bis 2050) ist also auch die weitere Ausschöpfung des restlichen Biomassepotenzial für Wärmezwecke (von derzeit 148 TWh/a auf 160 TWh/a) erforderlich. Diese Ausschöpfung ist aber eng an den weiteren Ausbau von KWK-Anlagen, als die effizienteste Nutzung der wertvollen Ressource Biomasse, geknüpft. Der Anteil der KWK-Wärme an der gesamten Wärme aus Biomasse wächst in MEFF von derzeit 32% (48 TWh/a einschließlich biogenem Abfall) auf 53% in 2050 (= 87 TWh/a; Abb. 14 rechts).

Damit kommt der Beseitigung der Ausbauehemmnisse für die Biomasse im derzeitigen EEG auch für den Wärmebereich eine erhebliche Bedeutung zu.

Sind höherer Effizienzerfolge bei der Wärmenutzung erzielbar, wie sie im Szenario KLIMA-17 HEFF modelliert werden, wird weniger EE-Wärme benötigt um dieselbe Klimaschutzwirkung zu erreichen. Die Differenz zum Szenario KLIMA-17 MEFF beläuft sich in 2050 auf 114 TWh/a (= 414 PJ/a), das sind immerhin 70% der heute insgesamt erzeugten EE-Wärme (Tabelle 11, unten). Trotzdem ist auch hiergegenüber der Trendentwicklung eine erhebliche Beschleunigung des EE-Ausbaus erforderlich

Der Stromeinsatz für Wärmezwecke (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme) 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 Szenario KLIMA-17 MEFF trotz dieser Effizienzgewinne von derzeit 490 PJ/a (136 TWh/a = 26% des gesamten Stromverbrauchs) auf 511 PJ/a (142 TWh/a) in 2050 (Tabelle 11, Mitte) und deckt dann 18% des gesamten Wärmebedarfs. Während gegenwärtig etwa 3,5% dieses Stromverbrauchs aus „neuen“ Anwendungen stammen (Wärmepumpen), werden in 2050 mehr als die Hälfte (56%) des Gesamtverbrauchs dafür eingesetzt (Wärmepumpen, strombeheizte Wärmespeicher für Wärmenetze; verstärkter Einsatz bei Prozesswärme).

Der notwendige Strukturwandel im Wärmesektor ist mit einer stärkeren Vernetzung der Wärmeversorgung verbunden. Derzeit werden rund 13% des gesamten Wärmebedarfs (Raumwärme allein 22%) über Wärmenetze bereitgestellt. Eine effektive Umsetzung der Sektorkopplung macht es notwendig, die große Flexibilität von Wärmenetzen zu nutzen, damit die deutlich wachsenden Beiträge von KWK-Wärme und EE-Wärme effizient genutzt werden können. Wärmenetze und dort integrierte Wärmespeicher sind auch gut geeignet, Überschüsse von EE-Strom thermisch zu verwerten. Daher steigt der Anteil der mittels Netzen bereitgestellten Wärme bis 2030 auf 23% (Raumwärme allein 36%) und bis 2050 auf 39% (Raumwärme 54%). Bei den verbleibenden Einzelversorgungen dominieren Wärmepumpen mit einem Anteil von rund 50%, es folgen mit etwa gleichen Anteilen Biomasseheizungen, Klein-BHKW und solarthermische Anlagen.

Die erhebliche Diskrepanz zwischen der Trendentwicklung (TREND-17) und dem notwendigen Wachstum des EE-Wärmemarkts, um die Klimaschutzziele zu erreichen (KLIMA-17 MEFF) wird besonders deutlich, wenn die jährlichen Brutto- und Nettowachstumsraten der thermischen Leistungen der EE-Technologien (Biomasse (ohne KWK-Anlagen); Solarkollektoren, Wärmepumpen, Hydrothermale Wärmeversorgungen) der Szenarien gegenübergestellt werden. Sie ist wesentlich größer als im Stromsektor. Im Trendszenario bewegt sich der jährliche Zubau in der bis 2012 üblichen Bandbreite zwischen 3000 – 5000 MW_{th}, da keine neuen Wachstumsimpulse zu erwarten sind (**Abbildung 15; links**). Ein gewisses Wachstum besitzen nur Solarthermie- und Umwelt-/Erdwärmeanlagen, bei Biomasseanlagen findet ein Rückbau statt. Der Nettozubau ist entsprechen gering.

Um einen deutlich steigenden Nettozubau zu erreichen, wie er den Klimaschuttszenarien erforderlich ist (**Abbildung 15, rechts**), müssen die jährlichen Umsätze beträchtlich wachsen. Innerhalb der nächsten 10 Jahre muss der jährliche Gesamtumsatz auf rund 10 000 MW_{th}/a steigen, bis 2050 muss er ein Niveau von 20 000 MW_{th}/a erreichen. Das ist etwa das Vierfache des bisherigen Maximums um das Jahr 2010. Der Nettozuwachs liegt dann im Maximum (um 2040) beim Zweifachen des bisherigen Höchstwertes.

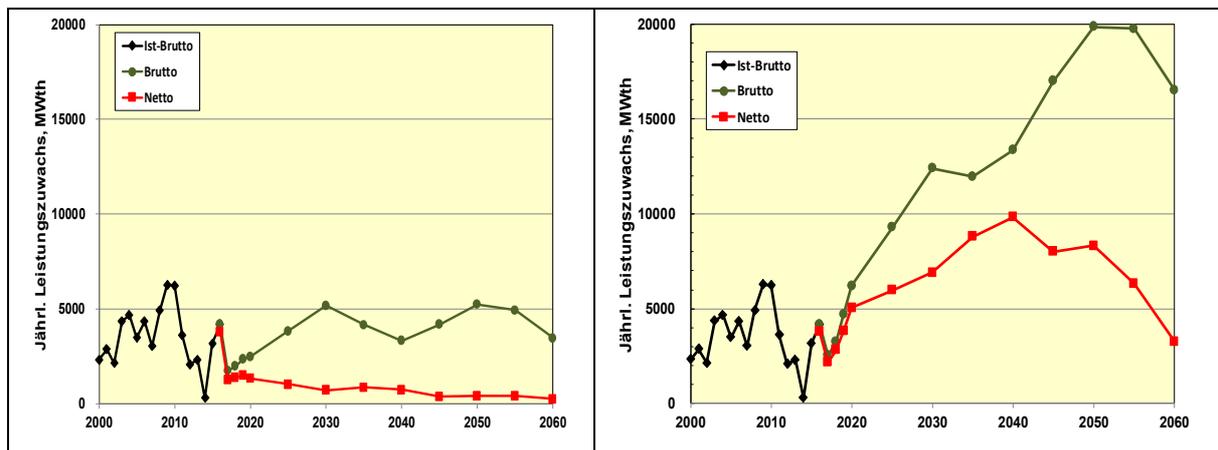


Abbildung 15: Jährlicher Brutto- und Nettoleistungszuwachs der EE-Wärmeerzeugung für die Szenarien TREND-17 (links) und KLIMA-17 MEFF (rechts).

Wegen der starken Heterogenität der Wärmeverbraucher (bzw. der entsprechenden Siedlungsstrukturen) und der Vielzahl der Akteure (alle Gebäudebesitzer, alle Unternehmen) ist ein derartiger 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. Am effektivsten kann dies durch eine angemessene Bepreisung (CO₂-Abgabe) der CO₂-Emissionen fossiler Brennstoffe erreicht werden. Fossile Brennstoffe sind derzeit mit relativ niedrigen Abgaben belastet (Erdgas-, Heizölsteuer), die praktisch keine Wirkung auf eine substantielle Vermeidung von THG-Emissionen haben (Agora 2017; FÖS 2016). Von ebenso zentraler Bedeutung ist jedoch, dass die zielgerichtete und vorausschauende Umgestaltung von Siedlungsquartieren, Stadtteilen, Gewerbegebieten etc. in allen Kommunen als eine zentrale Gestaltungsaufgabe begriffen wird.

Die Herausforderungen der Energiewende im Wärmesektor erfordern auch eine aktive und zielgerichtete 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 nichts von der Energiewende bemerkbar. Seit 1990 ist der Endenergieverbrauch um 11% gestiegen. Der Verbrauch des Jahres 2016 liegt mit 2663 PJ/a zwar unter dem Spitzenwert des Jahres 1999, er ist jedoch immer noch 3,5% höher als der für das Effizienzziel maßgebenden Referenzwert des Jahres 2008 (**Abbildung 16**) Mit 172 Mio. t CO₂/a (ohne Stromanteil) stammen 22% der 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 4,7 % 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 16: Endenergieverbrauch des Verkehrs 1990-2016 und Zielwert 2020 des Energiekonzepts (Nullpunkt unterdrückt).

Das kurzfristige Effizienzziel im Verkehr für das Jahr 2020 (-10% Minderung ggü. 2008 entsprechend 2310 PJ/a; vgl. Abb. 15) ist nicht mehr erreichbar. Für TREND-17 wird bis 2020 ein praktisch gleichbleibender Endenergieverbrauch angenommen (**Tabelle 12 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 (insbesondere SUV) kompensiert; (2) es findet keine Verlagerung des (noch wachsenden) Güterverkehrs 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 nach 2025 wieder auf das Referenzniveau von 2008, erst gegen 2050 wird die Zielsetzung von 2020 von -10% erreicht. Auch der Ersatz fossiler Kraftstoffe durch EE-Strom, Biokraftstoffe und weitere EE-Kraftstoffe (im Szenario EE-Wasserstoff) verläuft im Trendszenario nur schleppend.

Tabelle 12 a: Kraftstrom- und Stromverbrauch, sowie CO₂-Emissionen des Verkehrs aufgeteilt auf Personen- und Güterverkehr im Szenario TREND-17

	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen im Verkehr						SZEN: TREND-17				
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Personenverkehr											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	1707	1737	1734	1764	1775	1831	1719	1610	1450	1226	1007
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	108	106	104	102	94	97	113	132	172	211	294
- CO ₂ (Mio. t/a)	119	121	121	123	124	128	120	112	101	85	70
- Strom (PJ/a)	26	25	25	26	26	29	38	51	68	94	121
CO ₂ (Mio. t/a)	5	4	4	4	4	4	6	7	6	5	6
Endenergie (PJ/a)	1840	1868	1864	1891	1895	1957	1870	1794	1690	1531	1422
CO₂ (Mio. t/a)**)	124	126	125	128	128	132	126	119	107	90	76
Güterverkehr											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	689	654	657	690	691	706	729	755	731	684	675
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	20	16	20	15	14	13	27	38	46	67	66
- CO ₂ (Mio. t/a)	48	46	46	48	48	49	51	53	51	48	47
- Strom (PJ/a)	23	21	19	18	19	18	18	20	21	23	24
CO ₂ (Mio. t/a)**)	4	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1
Endenergie (PJ/a)	731	691	696	724	724	738	775	812	798	773	765
CO₂ (Mio. t/a)**)	52	49	49	51	51	52	54	55	53	49	48
Verkehr gesamt											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	2395	2390	2391	2454	2466	2538	2448	2365	2181	1910	1682
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	128	122	124	117	108	110	140	170	218	278	359
- CO ₂ (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	177	171	165	152	133	117
- Strom (PJ/a)	48	46	44	44	44	47	57	71	89	117	146
- CO ₂ (Mio. t/a)	9	8	8	8	7	7	9	9	8	6	7
Endenergie (PJ/a)	2571	2559	2560	2615	2619	2695	2644	2606	2488	2305	2187
CO₂ (Mio. t/a)**)	176	175	175	179	180	184	179	174	160	139	124
EE-Endenergie (einschl. Stromanteil)	135	130	134	128	121	130	173	219	288	381	492
Anteil EE , % (einschl. Strom)	5,2	5,1	5,2	4,9	4,7	4,8	6,5	8,4	11,6	16,5	22,5
**)	einschließlich Stromanteil						SZEN-TREND17; 8.4.2017				
***)	einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020										

Für die Klimaschutzszenarien (hier: KLIMA-17 MEFF) wird, angesichts der derzeit geringen politischen Bereitschaft, am Anreiz- und Regelsystems des Verkehrs etwas zu ändern, kurzfristig auch nur von einem geringen Rückgang um 3,8% (ggü. 2016; 0,4% ggü. 2008) ausgegangen (**Tabelle 12 b**). Erst danach wird die Wirkung einer Effizienzstrategie im Verkehr sichtbar, falls, wie in diesen Szenarien angenommen, 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, weitere Anreize für kleinere PKW und Abschaffung von Privilegien für eher große Fahrzeuge, z.B. Dienstwagenbesteuerung) 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% für das gesamte Energiesystem bis 2050 erreichen will. Dies und weitere Strukturveränderungen werden im Szenario KLIMA-17 MEFF unterstellt (**Abbildung 17; rechts**). Da in Deutschland das Umsteuern im Verkehr wegen der Schlüsselstellung der Automobilindustrie ein sehr schwieriger politischer Prozess ist, wird auch in diesem Szenario das Reduktionsziel des Energiekonzepts für 2020 erst kurz vor dem Jahr 2030 erreicht. Danach sinkt der Endenergieverbrauch deutlicher; er

beläuft sich im Jahr 2050 nur noch auf 58% des Bezugswerts von 2008 (im Szenario KLIMA-17 HEFF noch auf 50%).

Tabelle 12 b: Kraftstrom- und Stromverbrauch, sowie CO₂-Emissionen des Verkehrs aufgeteilt auf Personen- und Güterverkehr im Szenario KLIMA-17 MEFF

	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen im Verkehr						SZEN KLIMA17 - MEFF				
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Personenverkehr											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	1707	1737	1734	1764	1775	1694	1480	1139	688	219	124
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	108	106	104	102	94	104	136	209	277	324	357
- CO ₂ (Mio. t/a)	119	121	121	123	124	118	103	79	48	15	8
- Strom (PJ/a)	26	25	25	26	26	32	57	120	203	321	313
CO ₂ (Mio. t/a)	5	4	4	4	4	4	6	8	5	0	0
Endenergie (PJ/a)	1840	1868	1864	1891	1895	1830	1673	1468	1167	864	794
CO₂ (Mio. t/a)**)	124	126	126	128	128	123	109	88	52	15	8
Güterverkehr											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	689	654	657	690	691	690	640	566	252	47	28
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	20	16	20	15	14	22	93	174	422	529	496
- CO ₂ (Mio. t/a)	48	46	46	48	48	48	45	39	17	3	2
- Strom (PJ/a)	23	21	19	18	19	20	24	31	42	59	62
CO ₂ (Mio. t/a)**)	4	3	3	3	3	3	3	2	1	0	0
Endenergie (PJ/a)	731	691	696	724	724	732	757	771	716	635	586
CO₂ (Mio. t/a)**)	52	49	49	51	51	51	47	42	18	3	2
Verkehr gesamt											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	2395	2390	2391	2454	2466	2384	2120	1705	940	266	153
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	128	122	124	117	108	127	229	384	699	853	853
- CO ₂ (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	166	148	119	65	18	10
- Strom (PJ/a)	48	46	44	44	44	52	82	151	244	381	375
- CO ₂ (Mio. t/a)	9	8	8	7	7	7	9	11	6	0	0
Endenergie (PJ/a)	2571	2559	2560	2615	2619	2562	2431	2239	1883	1499	1380
CO₂ (Mio. t/a)**)	176	175	175	179	180	173	156	129	71	18	10
EE-Endenergie (einschl. Stromanteil)	135	130	134	128	121	148	277	493	917	1224	1225
Anteil EE, % (einschl. Strom)	5,2	5,1	5,2	4,9	4,6	5,8	11,4	22,0	48,7	81,6	88,8
**) einschließlich Stromanteil								SZEN KLIMA17-HEFF; 6.4.17			
***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020											

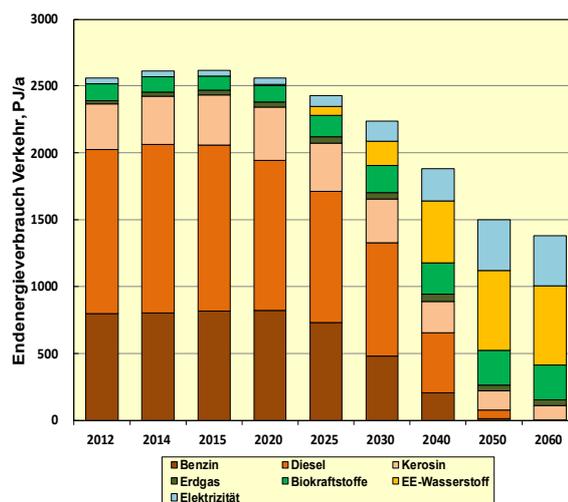
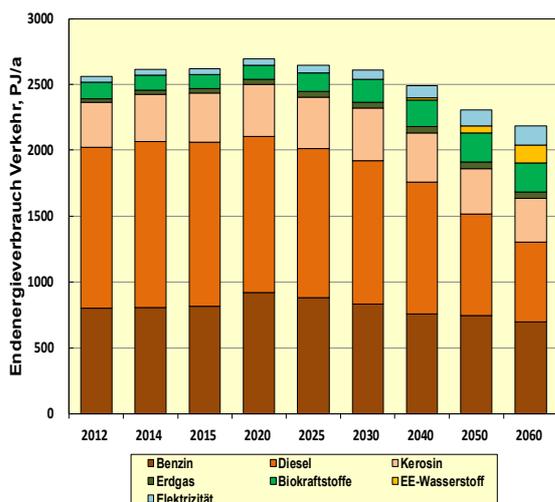


Abbildung 17: Struktur des Endenergieverbrauchs im Verkehr im Szenario TREND-17 (links) und Szenario KLIMA-17 MEFF (rechts) im Vergleich.

Mittelfristig stammt der wesentliche EE-Beitrag im Verkehr von Biokraftstoffen. Im Szenario TREND-17 kommen sie damit auf einem 6,5%igen Anteil (170 PJ/a) in 2030 und auf 10% (220 PJ/a) in 2050. Zusammen mit EE-Wasserstoff und EE-Strom decken EE in 2050 rund 17% (**Tabelle 13, oben**). Hier ist man also von einer Ablösung fossiler Kraftstoffe noch weit entfernt. Entsprechend langsam verläuft die Reduktion der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen. Im Szenario TREND-17 lassen sie sich bis 2050 nur auf 139 Mio. tCO₂/a reduzieren, was noch 77% der heutigen CO₂-Emissionen entspricht.

Tabelle 13: Energieverbrauch im Verkehr und zukünftige Beiträge von Strom und von EE

Werte in PJ/a	2008	2016	2020	2025	2030	2040	2050	2060
„TREND-17“								
Endenergieverbrauch,	2571	2663	2695	2644	2606	2488	2305	2187
Veränd. gegenüber 2008 (%)		+ 3,5	+4,8	+2,8	+1,3	-3,2	-10,3	-15,0
Stromeinsatz im Verkehr	48	45	47	57	71	89	117	146
Biokraftstoffe	128	108	110	140	170	200	220	220
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	18	58	139
Anteil Erneuerbare Energien (%) ¹⁾	5,1	4,7	4,8	6,5	8,4	11,6	16,5	22,5
„KLIMA-17 MEFF“								
Endenergieverbrauch	2571	2663	2562	2431	2239	1883	1499	1380
Veränd. gegenüber 2008 (%)		+ 3,5	-0,4	-5,4	-12,9	-26,8	-42,0	-46,3
Stromeinsatz im Verkehr	48	45	52	82	151	244	381	375
Biokraftstoffe	128	108	120	160	200	240	260	260
EE-Wasserstoff	0	0	7	69	184	459	593	593
Anteil Erneuerbare Energien (%) ¹⁾	5,1	4,7	6,0	12,0	23,3	49,8	82,3	88,9
„KLIMA-17 HEFF“								
Endenergieverbrauch	2571	2663	2509	2340	2093	1671	1293	1152
Veränd. gegenüber 2008 (%)		+ 3,5	-2,4	-9,0	-18,6	-35,0	-49,7	-55,2
Stromeinsatz im Verkehr	48	45	52	80	133	233	365	380
Biokraftstoffe	128	108	120	160	200	240	260	260
EE-Wasserstoff	0	0	7	50	136	333	386	440
Anteil Erneuerbare Energien (%) ¹⁾	5,1	4,7	6,0	11,6	21,8	47,9	78,2	93,9

1) einschließlich EE-Strom

Im Szenario KLIMA-17 MEFF“ (**Tabelle 13, Mitte**) steigt der Biomasseanteil bis 2030 auf knapp 9% (200 PJ/a). Der Anteil aller EE beläuft sich in 2030 auf 23%. Danach decken EE-Strom und EE-Wasserstoff rasch wachsende Anteile. Bis 2050 werden 80% des Individualverkehrs elektrisch abgewickelt, der Rest nutzt EE-Wasserstoff und noch geringe Mengen fossiler Kraftstoffe. Im Straßengüterverkehr wird sehr weitgehend (85%) EE-Wasserstoff verwendet, 10% des Verkehrsaufkommens wird mit strombetriebenen LKW abgewickelt, den Rest teilen sich geringe Mengen an Biokraftstoffen und Diesel. Biokraftstoffe werden zu diesem Zeitpunkt vor allem im Flugverkehr eingesetzt, sie decken dort 65% der Verkehrsnachfrage. In 2050 werden im Verkehr insgesamt 83% der Energienachfrage durch EE gedeckt. Mit einer CO₂-Emission von nur noch 18 Mio. t CO₂/a ist damit auch der Verkehrssektor in 2050 nahezu emissionsfrei.

Bei hoher Effizienzsteigerung, die bei einer konsequenten Umstrukturierung im Verkehrssektor durchaus möglich ist (Szenario KLIMA-17 HEFF), kann die notwendige CO₂-Reduktion mit merklich geringerem EE-Einsatz erreicht werden. Im HEFF-Szenario wird in 2050 insbesondere die EE-Wasserstoffmenge um rund 200 PJ/a gegenüber dem MEFF-Szenario reduziert (**Tabelle 13, unten**). Diese durch Ausnutzung von Effizienzpotenzialen „eingesparte“ Kraftstoffmenge entspricht etwa dem Doppelten der derzeit eingesetzten Biokraftstoffmenge.

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 traditionellen, hinsichtlich Klimaschutz praktisch unwirksamen und teilweise sogar kontraproduktiven Verkehrspolitik ist nicht mit den ehrgeizigen Klimaschutzziele, 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 kurz- bis mittelfristig nicht aus, den vom Verkehr zu erbringenden Beitrag zum Klimaschutz zu gewährleisten. Grundvoraussetzung für eine effektive Substitution fossiler Kraftstoffe durch EE-Antriebstechnologien sind vor allem strukturelle Maßnahmen. Dazu gehören Maßnahmen zur Vermeidung von motorisiertem Individualverkehr durch stärkere Förderung von Fahrrad- und Fußgängerverkehr im städtischen Nahbereich, deutliche Anreize zur Umstellung auf eine PKW-Flotte mit wesentlich kleineren Fahrzeugen und eine noch stärkere Verkehrsverlagerung auf den ÖPNV. Im Güterverkehr bedarf es insbesondere einer „Wiederbelebung“ und konsequente Modernisierung des Güterverkehrs auf der Schiene, damit auch hier eine deutliche Verlagerung von der Straße erfolgen kann. In einem strukturell optimierten Güterverkehr können dann auch EE-Antriebstechnologien (EE-Strom, EE-Wasserstoff auf Basis Brennstoffzellen oder Verbrennungsmotoren) sinnvoll eingesetzt werden.

Unverzichtbar für eine derartige Umstrukturierung des Verkehrs ist eine steuerliche Gleichbehandlung aller Kraftstoffe einschließlich der Flugtreibstoffe. Dabei empfiehlt sich eine Unterscheidung in eine „Verkehrssteuer“ und eine „Klimasteuer bzw. -abgabe“. Erstere entspricht der heutigen Kraftstoffsteuer und dient wie diese der Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur und der Abdeckung der durch den Verkehr verursachten lokalen Belastungen. Sie kann entweder wie bisher über den Kraftstoffverbrauch oder auch vollständig durch eine umfassende Maut erhoben werden und ist unabhängig von der Art des Antriebs oder Kraftstoffs. Die „Klimasteuer bzw. -abgabe“ ergibt sich zusätzlich aus einer CO₂-Bepreisung sämtlicher fossiler Energieträger und setzt zusätzliche Anreize zur Vermeidung fossiler Kraftstoffe.

Die Herausforderungen an eine „neue“, klimagerechte Verkehrspolitik sind wegen der hohen wirtschaftlichen Bedeutung der derzeitigen, „traditionellen“ Automobilindustrie und der immer noch starken Affinität der meisten Bürger zu „ihrem“ PKW besonders hoch. Notwendig ist hier eine Politik des „langen Atems“, eine sehr große und verständnisvolle Bereitschaft bei allen Verkehrsteilnehmern, sich zukünftig „klimagerechter“ fortzubewegen und eine aktive und konstruktive Mitgestaltung der gesamten Automobilwirtschaft (und ihrer Lobbyverbände) bei dem notwendigen und durchgreifenden Strukturwandel.

9. Die Energiewende braucht einen klimagerechten Markt

Die derzeitige Energiepolitik besitzt noch keine kohärente Strategie, 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 dank des EEG eine angemessene Zubaudynamik entwickelt. Dieses Gesetz hat seinerzeit das permanente Versagen des herkömmlichen Energiemarktes, welcher durch eine völlig unzureichende Berücksichtigung der Schadenskosten des Klimawandels gekennzeichnet ist und damit ständig mit falschen Preissignalen operiert, für EE-Stromerzeugungstechnologien außer Kraft gesetzt. Damit konnten diese sich technologisch rasch entwickeln und das heutige sehr günstige Kostenniveau erreichen. Diese in Deutschland initiierte „Vorleistung“ wirkt sich inzwischen sehr positiv auf die gesamte globale Entwicklung der EE aus.

Für alle anderen Energiebereiche existiert nach wie vor der „alte“ Energiemarkt, bei dem die „externalisierten“ Umweltkosten (Klimakosten, Kosten durch Luftschadstoffe u.a.) nicht bzw. nur in sehr geringfügigem Ausmaß von den Verursachern getragen werden müssen, sondern auf die Allgemeinheit bzw. auf zukünftige Generationen (Klimakosten) abgewälzt werden. Auch der europäische Emissionshandel hat, nach kurzen Anfangserfolgen, keine grundsätzliche Veränderung bewirkt, da er Klimakosten nur in minimalem Umfang internalisiert. Derzeit ist er daher praktisch wirkungslos. Zudem haben sich die Randbedingungen für einen wirksamen Klimaschutz zusätzlich wegen dauerhaft niedriger fossiler Energiepreise noch weiter verschlechtert.

Eine rein marktwirtschaftliche Durchsetzung des Klimaschutzes und damit eine effektive und volkswirtschaftlich vorteilhafte Weiterführung der Energiewende, die möglichst vielen Akteuren angemessene wirtschaftliche Anreize bietet, ist unter diesen Rahmenbedingungen nicht möglich. Deshalb führt auch der Umstieg im EEG auf Ausschreibungen nicht zu faireren Marktbedingungen für die EE, sondern konfrontiert sie weiterhin mit „falschen“ Energiepreisen, die keine Impulse für mehr Klimaschutz signalisieren. Aus demselben Grund kommt auch der erforderliche konsequente Umbau der gesamten Stromversorgung (u.a. konsequenter Rückbau von Kohlekraftwerken und Ausstieg bis ca. 2040) nicht voran.

Auch in allen anderen Energiesektoren kommt der Transformationsprozess kaum in Gang. Seit Verkündung der Zielsetzung des Energiekonzepts ist erkennbar, dass die derzeitigen Energiepreise keine Anreize für die angestrebte deutliche Steigerung der Effizienz, für einen durchgreifenden Umbau der Wärmeversorgung, für einen weiteren Ausbau der KWK und erst recht nicht für einen durchgreifenden Wandel im Verkehrssektor liefern. Rasche Erfolge in diesen Bereichen sind aber notwendig, wenn das aus der Sicht eines wirksamen globalen Klimaschutzes für Deutschland erforderliche Klimaschutzziel von -95% bis 2050 erreicht werden soll.

Die derzeitigen energiepolitischen Aktivitäten (Aktionsprogramm „Klimaschutz“; NAPE; Anpassung des Strommarkts, modifiziertes KWK-G und EEG 2017; Klimaschutzplan 2050) zeigen, dass die Politik das Problem zwar erkannt hat, aber (noch) nicht bereit ist, das Anreizsystem im Energiesektor grundsätzlich und konsequent auf mehr Klimaschutz und auf die Verdrängung aller fossiler Energieträger („Dekarbonisierung“) auszurichten. Stattdessen wird das derzeitige Anreizinstrumentarium – welches trotz der herrschenden Marktbedingungen die Erreichung der Ziele des Energiekonzepts sicherstellen soll – immer komplexer, undurchschaubarer und teilweise widersprüchlich und verfügt vor allem über keine eindeutige Lenkungswirkung hinsichtlich der Reduzierung fossiler Energieträger. Seine Ineffektivität wächst, und es schreckt vor allem kleinere Akteure zunehmend ab, sich mit den vielfältigen Fördermechanismen und -programmen, Ausnahmeregelungen, Anzeigepflichten und stetigen Neuerungen auseinanderzusetzen.

Die jetzigen Aktionsprogramme und Novellierungsvorschläge werden daher nicht ausreichend wirksame Impulse entwickeln bzw. wirken generell zu schwach, um das Kurzfristziel (-40% THG-Minderung bis 2020) zu erreichen. Dieser „Verzug“ kann bis 2030 aufgeholt werden, wenn in den nächsten Jahren deutlich wirksamere Maßnahmen ergriffen und insbesondere effektive ökonomische Instrumente für die Durchsetzung von Klimaschutzmaßnahmen im Energiemarkt geschaffen werden. Die Energiewende braucht dafür einen „anderen“ Markt, der die verborgenen (externen) Kosten der fossil/nuklearen Energieversorgung in wirksame Preissignale umsetzt [Nitsch 2013]. Von zentraler Bedeutung dafür sind deutlich höhere (Einstieg mit 40-50 €/t) und längerfristig steigende CO₂-Preise. Da bisher alle Versuche, den europäischen Emissionshandel angemessen zu reformieren, gescheitert sind und dieser ohnehin nur einen Teilbereich des Energiemarktes umfasst, wird es dazu erforderlich sein, die notwendigen

CO₂-Preise mittels einer nationalen CO₂-Abgabe in den fossilen Energiekosten sichtbar werden zu lassen. Dadurch würden die durch einen ungebremsen Klimawandel eintretenden Schäden (bzw. Kosten) in wirksame Steuerungssignale umgewandelt, die alle Akteure zu klimaschonenden Handeln und zu entsprechenden Investitionen veranlassen würde. Effizienzsteigerungen wären dann „automatisch“ sehr viel wirtschaftlicher und die EE-Technologien könnten sich im Wesentlichen ohne immer komplizierter werdendes Förderinstrumentarium im marktwirtschaftlichen Wettbewerb weiter etablieren.

Beispielhaft zeigt **Abbildung 18** die Wirkungen angemessen hoher CO₂-Preise auf die Stromkosten. Die Preise an der Strombörse (Base), die seit 2011 stets gesunken sind, lagen im Jahresmittel 2016 bei rund 3,0 ct/kWh (Mix A), der Anteil der Kosten für Emissionszertifikate (derzeit knapp 5 €/t CO₂) ist mit rund 0,3 ct/kWh sehr gering. Die Vollkosten aller EE-Neuanlagen, die zwischen 8 und 14 ct/kWh liegen, können mit diesen an der Strombörse maßgebenden Grenzkosten nicht konkurrieren und benötigen daher die Kostenumlage des EEG. (Auch neue fossiler Kraftwerke, deren Stromgestehungskosten je nach Typ, Brennstoffpreis und Auslastung um 7 – 10 ct/kWh liegen, sind nicht konkurrenzfähig).

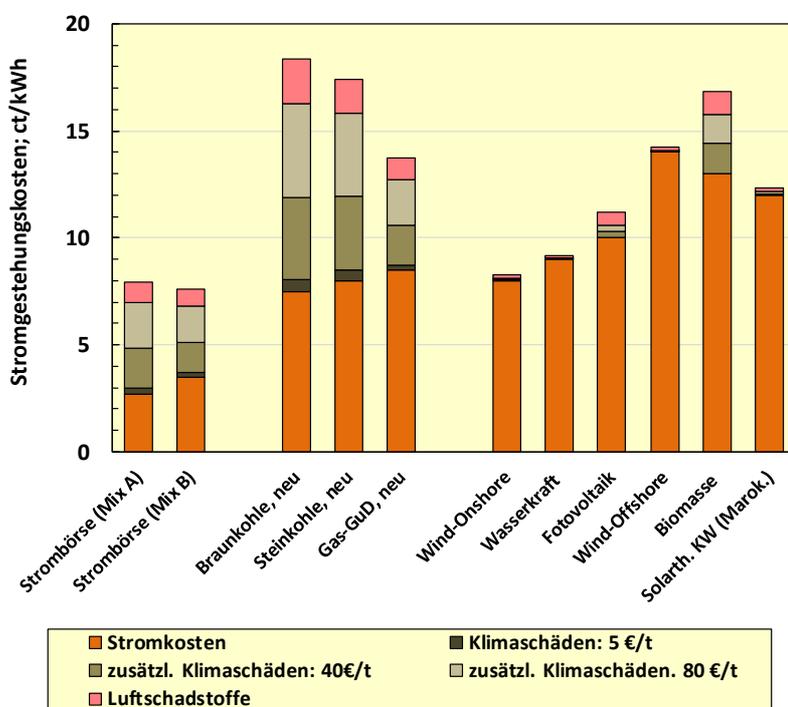


Abbildung 18: Stromkosten 2016 (Strombörse, Vollkosten (Mittelwerte) von Neukraftwerken) einschließlich Klimaschadenskosten und Umweltkosten von Luftschadstoffen (Kosten von Luftschadstoffen und Klimakosten von EE nach UBA 2012; übrige eigene Berechnungen).

Bei einem CO₂-Preis von 40 €/t würden sich, an der Börse Strompreise um etwa 5 ct/kWh (ohne Kosten für übrige Luftschadstoffe) ergeben, da sich die Klimakosten des fossilen Kraftwerksmixes bei diesem CO₂-Preisniveau, bezogen auf die gesamte Stromerzeugung und je nach sich einstellender Merit Order (in Abb. 18 näherungsweise durch Mix A, Mix B gekennzeichnet), auf 1,6 – 2,1 ct/kWh belaufen. Bei CO₂-Preisen von 80 €/t³ und unter Berücksichtigung der Kosten der übrigen Luftschadstoffe erreicht die Strombörsenpreise eine Höhe von

³ Das UBA [UBA 2012] empfiehlt einen „Best-Practice-Wert“ von etwa 80 €₂₀₁₀/tCO₂ als Mittelwert für die kurzfristigen Klimakosten bei einer Bandbreite von 40 – 120 €₂₀₁₀/tCO₂; mittelfristig (um 2030) steigt der Wert auf 145 €₂₀₁₀/tCO₂ und langfristig (um 2050) auf über 200 €₂₀₁₀/tCO₂

etwa 7,5- 8 ct/kWh. In diesem „klimagerechten“ Markt wären Wind- Onshore und Wasserkraft und u.U. auch Fotovoltaik-Freiflächenanlagen selbst mit ihren Vollkosten (einschließlich ihrer Umweltkosten) praktisch konkurrenzfähig; die jetzige EEG-Umlage als Merkmal des heutigen unzulänglichen Strommarkts, würde für diese Neuanlagen nicht mehr benötigt. Übrige Fotovoltaik- Biomasse- und Wind-Offshore- Anlagen benötigten bei heutigen Gestehungskosten noch eine geringe Unterstützung, bei Fotovoltaik und Wind-Offshore sind aber noch weitere Kostendegressionen erwartbar. Die klimagerechten Vollkosten fossiler Neukraftwerke liegen bei diesem Niveau der CO₂-Preise (und derzeitigen Brennstoffpreisen) zwischen 16 und 18 ct/kWh. Ein CO₂-Preis von 80 €/t würde also im Stromsektor bereits ein starkes Signal zur „Dekarbonisierung“ liefern, längerfristig sind sogar noch höhere CO₂-Preise angemessen [UBA 2012]. Neue fossile Kraftwerke (auf Gasbasis) würden nur noch errichtet, wenn sie auch Erlöse für ihre Systemdienstleistungen erhalten, also gesicherte, flexibel verfügbare Leistung bereitstellen und als KWK-Anlagen parallel Nutzwärme liefern. Der Rückbau von Kohlekraftwerken wäre ein selbstverständlicher „Nebeneffekt“.

Ähnliche Überlegungen können für den klimagerechten Vergleich von Wärmekosten fossil gefeuerter Anlagen mit entsprechenden EE-Anlagen angestellt werden, wobei hier die Unterschiede und damit die Anreizwirkung in Richtung Klimaschutz nicht so ausgeprägt sind, da einerseits bereits auf Vollkostenbasis verglichen wird und andererseits die Umweltkosten (insbesondere diejenigen von Luftschadstoffen) geringere Unterschiede aufweisen [UBA 2012].

Es wird daher höchste Zeit, das die Politik die eindeutigen Empfehlungen einer wachsenden Zahl von Expertengruppen [BMW 2016; ; FÖS 2016; ZEIT 2016; Agora Energiewende 2017; Stellungnahme Monitoring 2016; Bürgerlobby Klimaschutz 2016] aufgreift und mittels einer CO₂-Abgabe bzw. der Festlegung von CO₂-Mindestpreisen in angemessener Höhe, ein wirksames Klimapolitikinstrument schafft. Im Stromsektor könnte bei angemessen hohen CO₂-Preisen der notwendige rasche, weil marktgetriebene Strukturwandel weg von Kohlekraftwerken und hin zu flexiblen Erdgaskraftwerken, weiteren EE-Anlagen, Speichern und sonstigen Strukturinvestitionen erfolgen. Die noch verbleibende, deutlich geringere und rasch abnehmende EEG-Umlage könnte aus dieser CO₂-Abgabe finanziert werden, Stromsteuer, Heizöl- und Erdgassteuer und ggf. weitere Abgaben könnten wegfallen bzw. in der CO₂-Abgabe aufgehen [CO₂-Abgabe 2017]. Der notwendige Strukturwandel im Stromsektor würde dadurch erheblich beschleunigt, er würde in einem klaren, durch klimagerechte Strompreise betriebenen marktwirtschaftlichem Rahmen ablaufen. Dies ist eine zentrale Voraussetzung für die Herausforderungen der Energiewende, da EE-Strom der „Hauptenergieträger“ einer klimaverträglichen Energieversorgung sein wird.

Die Einführung eines CO₂-Preises erleichtert auch die notwendige stärkere Sektorkopplung. Die derzeitigen Anreize zur Verringerung fossiler Brennstoffe und Kraftstoffe sind einerseits kaum wirksam, andererseits ist die vergleichsweise hohe Belastung von Strom durch Umlagen und Steuern ein Hemmnis für die längerfristig erforderliche verstärkte Nutzung von EE-Strom im Wärmesektor und im Verkehr [Agora 2017; Stellungnahme Monitoring 2017].

Im Wärmebereich würde eine Preiserhöhung von Brennstoffen durch eine zusätzliche CO₂-Abgabe (80 €/t entsprechen bei Heizöl leicht einer Preiserhöhung von 2,5 ct/kWh, bei Erdgas von 2 ct/kWh) neue Impulse zur Einleitung einer „Wärmewende“, d.h. einer verstärkten energetischen Altbausanierung, einer Beschleunigung des EE-Ausbaus und zu einem rascheren Ausbau von Wärmenetzen führen, in die u.a. auch EE-Strom eingespeist werden kann. Laufende Förderprogramme könnten reduziert werden oder ggf. sogar wegfallen. Im Verkehrssektor würde eine zusätzliche CO₂-Abgabe (über die bestehende Mineralölsteuer hinaus, die der Finanzierung von Verkehrsinfrastrukturen und zu Teilen der Staatsfinanzierung dient und daher

hinsichtlich ihres Aufkommens als „Verkehrssteuer“ beibehalten werden muss) ebenfalls zusätzliche Anreize schaffen, rascher von fossilen Antrieben wegzukommen und die Einführung der Elektromobilität erleichtern. Auch für Flugtreibstoffe würde eine CO₂-Abgabe zu der längst fälligen Besteuerung führen, wobei wegen der stärkeren Klimawirkungen des Flugverkehrs, die Belastung höher liegen sollte (nach UBA 2012 etwa um den Faktor 2) als für den bodengebundenen Verkehr.

Die hier vorgestellten Klimaschutzszenarien Klima-17 MEFF oder HEFF sind in ihrer Umsetzungsintensität und ihrem zeitlichen Ablauf sehr anspruchsvoll. Bis 2050 erreichen sie eine Reduktion der THG-Emissionen um rund 95%. Wie gezeigt wurde, wird die dazu erforderliche Beschleunigung des Transformationsprozesses in allen Energiesektoren nur durch ein sehr effizientes und in Bezug auf die notwendige „Dekarbonisierung“ sehr zielgenaues Instrument erreicht werden können. Nach obigen Darlegungen sollte dies eine entsprechend angepasste CO₂-Abgabe sein. Die Klimaschutzszenarien können daher zur Illustration einer möglichen Entwicklung dieser CO₂-Abgabe dienen. **Tabelle 14** zeigt dazu die Entwicklung der gesamten CO₂-Emissionen der fossilen Energieträger im MEFF-Szenario. Ausgehend vom aktuellen Wert 2016 mit Emissionen in Höhe von 796 Mio. t CO₂/a wird in 2050 mit 46 Mio. t CO₂/a gegenüber dem Wert von 1990 eine Reduktion um 95,6% erreicht.⁴

Tabelle 14: CO₂-Emissionen nach Energieträgern im Szenario KLIMA-17 MEFF zwischen 2015 und 2050 und jeweilige Reduktion ggü. 1990 (CO₂-Emissionen = 1050 Mio. tCO₂/a)

CO ₂ -Emissionen (Mio.t/a)																
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Braunkohle	186	181	172	163	153	144	132	121	109	97	85	76	67	58	50	41
Steinkohle	188	179	169	159	150	140	135	130	125	120	115	108	100	92	85	77
Mineralöl	266	272	263	255	246	237	231	224	218	211	204	196	188	179	171	162
Erdgas	152	164	163	161	160	159	156	153	151	148	145	142	139	136	133	130
Gesamt	792	796	767	738	709	680	654	628	602	576	550	522	494	466	438	410
Reduktion ggü. 1990 (%)	24,5	24,2	26,9	29,7	32,5	35,2	37,7	40,2	42,7	45,1	47,6	50,3	53,0	55,6	58,3	61,0

Fortsetzung Tabelle 14:

2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
37	33	29	24	20	16	12	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	67	62	57	52	47	42	37	32	27	25	22	19	17	14	11	9	6	4	1
155	147	139	132	124	117	109	101	94	86	80	73	66	60	53	47	40	33	27	20
124	119	114	109	103	98	93	87	82	77	72	66	61	56	51	46	41	35	30	25
388	366	344	322	300	278	256	234	212	190	176	161	147	133	118	104	90	75	61	46
63,1	65,2	67,3	69,4	71,4	73,5	75,6	77,7	79,8	81,9	83,3	84,6	86,0	87,4	88,7	90,1	91,5	92,8	94,2	95,6

Ein Vorschlag des Vereins für eine nationale CO₂-Abgabe [CO₂-Abgabe 2017] sieht vor, dass der Verlauf des CO₂-Preises so bemessen wird, dass er zum einen sehr rasch ein Aufkommen erzielt, welches der Summe aus EEG-Umlage, der Energiesteuern für Heizöl und Erdgas, der Stromsteuer und der KWK-G-Umlage entspricht. Diese beliefen sich in 2015 auf insgesamt 37,8 Mrd.€ und in 2016 auf 40,8 Mrd. €/a. Die EEG-Umlage stellt davon mit 27 bzw. 29 Mrd. €/a den größten Anteil. Da der Zielsetzung der Szenarien gemäß die CO₂-Emissionen abneh-

⁴ Die Reduktionsziele des Energiekonzepts beziehen sich auf alle Treibhausgase. Bis 2016 wurde für diese mit einem Gesamtwert von 906 Mio. t CO_{2äq}/a gegenüber 1990 eine Reduktion um -27,9% erreicht. Im Szenario KLIMA-17 MEFF wird bis 2050 eine Reduktion um -94,4% erreicht (2060 um -97,5%)

men, muss der CO₂-Preis kontinuierlich steigen, um über einen gewissen Zeitraum ein ausreichendes Aufkommen zu erzielen und um die erwünschte Lenkungswirkung ausreichend lang aufrechtzuerhalten. Dabei kann man sich an den Schadenskosten des Klimawandels orientieren (vgl. Fußnote 3) bzw. [UBA 2012]).

Die Abbildungen 19 und 20 zeigen zwei mögliche Entwicklungen des CO₂-Aufkommens gemäß dem Mengengerüst des Szenarios KLIMA-17 MEFF. Mit einem Einstiegspreis von 40 €/t CO₂ im Jahr 2018 – was nach [UBA 2012] dem unteren Wert vorliegender Schätzungen der kurzfristigen Schadens- und Vermeidungskosten des Klimawandels entspricht – wird damit ein Aufkommen von 29,5 Mrd. €/a erzielt. Bei einem jährlichen Anstieg um 5 € wird bis 2026 ein CO₂-Preis von 80 €/t erreicht. Im Jahr 2026 wird damit ein Aufkommen von 41,8 Mrd.€/a erreicht, also eine Größenordnung, die der o.g. Summe der verschiedenen Umlagen und Steuern entspricht. Bleibt der CO₂-Preis danach konstant (**Abbildung 19**) – wobei 80 €/t einem relativ niedrigen Wert der geschätzten längerfristigen Klimakosten entspricht – sinkt das Aufkommen entsprechend auf 33 Mrd. €/a in 2030 und auf 15 Mrd. €/a in 2040. Bis 2030 würde so ein Gesamtaufkommen von 476 Mrd. € kumuliert; zwischen 2031 und 2050 nochmals 320 Mrd. €.

Die Schätzungen für mittelfristig sich einstellende Klimaschäden liegen laut [UBA 2012] zwischen 70 und 215 €/t CO₂ bei einem Mittelwert von 145 €/t CO₂. Orientiert man sich daran, so ist auch ein weiterer, abgeschwächter Anstieg des CO₂-Preises nach 2026 angemessen (**Abbildung 20**). Wird der Anstieg bis 2050 mit abnehmendem Gradienten bis auf diesen Mittelwert fortgesetzt, so fällt das Aufkommen nach dem Maximum in 2026 mit 41,8 Mrd. €/a deutlich langsamer ab. In der Periode 2031 – 2050 wird jetzt mit 470 Mrd. € ein annähernd gleicher Betrag kumuliert, wie im Zeitanschnitt 2018-2030 (490 Mrd. €); die Lenkungswirkung des CO₂-Preises bleibt länger auf hohem Niveau.

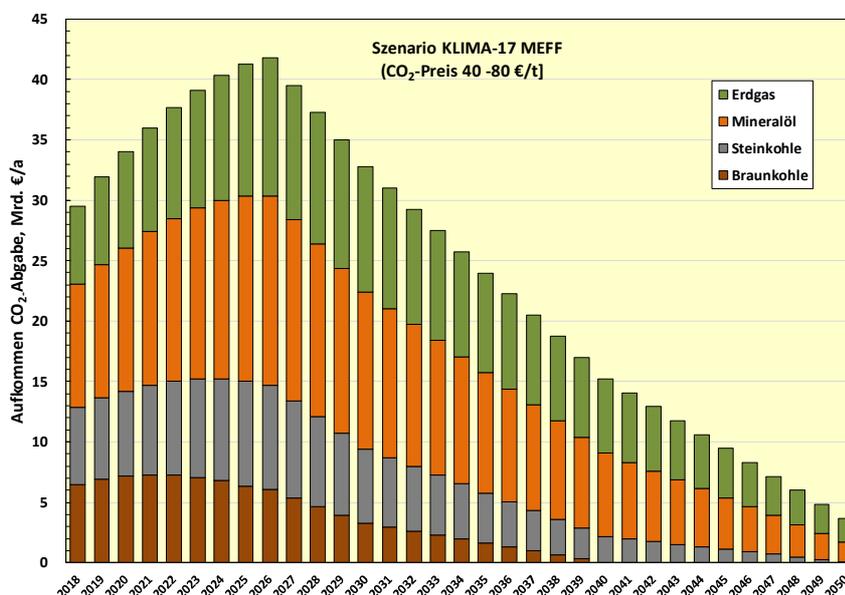


Abbildung 19: Entwicklung des Aufkommens einer CO₂-Abgabe mit einem Einstiegswert von 40 €/t CO₂ im Jahr 2018, Anstieg auf 80 €/t CO₂ bis zum Jahr 2026 und danach konstant. (gemäß Mengengerüst des Szenarios KLIMA-17 MEFF; in realen Preisen, Geldwert 2016)

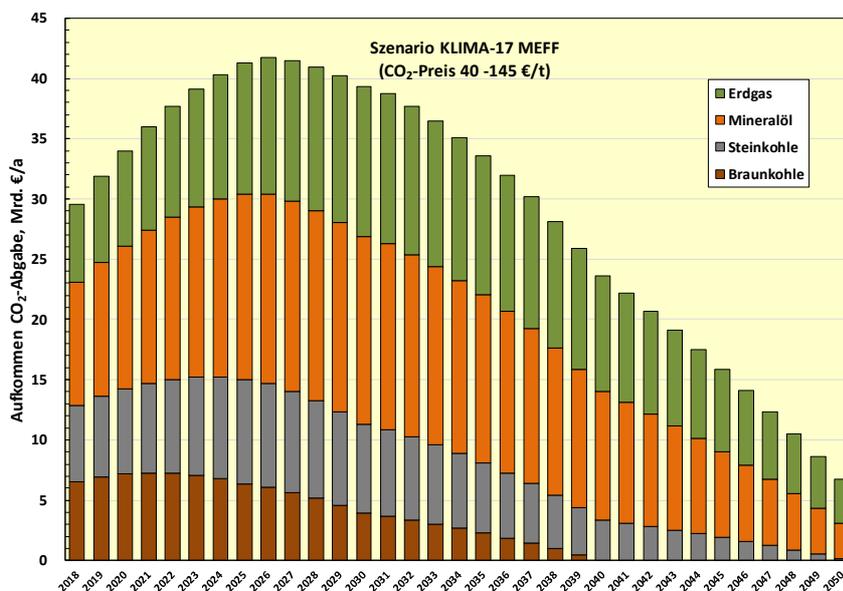


Abbildung 20: Entwicklung des Aufkommens einer CO₂-Abgabe mit einem Einstiegswert von 40 €/t CO₂ im Jahr 2018, Anstieg auf 80 €/t CO₂ bis zum Jahr 2026, danach weiter steigend auf maximal 145 €/t CO₂ bis 2046 (gemäß Mengengerüst des Szenarios KLIMA-17 MEFF; in realen Preisen, Geldwert 2016)

Ziel der CO₂-Abgabe ist eine verursachergerechtere und effektivere Anreizwirkung zur Vermeidung von Klimaschäden infolge der CO₂-Emissionen fossiler Energieträger bei gleichzeitigem Ersatz bestehender Umlagen, Abgaben und Steuern, die sehr unterschiedliche, teilweise unzulängliche ökologische Lenkungswirkungen besitzen, zu kleinteilig regeln und zu stark durch Partikularinteressen und Ausnahmeregelungen geprägt sind. Ein weiteres Kriterium des Vorschlags ist daher eine annähernde Aufkommensneutralität hinsichtlich der jetzigen einschlägigen Umlagen und Steuern (gegenwärtig rund 40 Mrd.€/a), damit diese vollständig ersetzt bzw. auf eine andere Finanzierungsgrundlage gestellt werden können. Diese Aufkommensneutralität wird mit der erläuterten Größenordnung und zeitlichen Veränderung des CO₂-Preises in erster Näherung erreicht. In der Praxis wird jedoch in gewissen Abständen ein Nachjustieren und Anpassen erforderlich sein, da der zukünftige Verlauf insbesondere der EEG-Umlage als derzeit größter Bestandteil unter den deutlich veränderten Randbedingungen eines Strommarktes mit nennenswert hohen CO₂-Preisen nur näherungsweise bestimmt werden kann. Der CO₂-Preis kann jedoch als einzige relevante Steuerungsgröße – im Gegensatz zu den zahlreichen Stellgrößen des derzeitigen vielfältigen, unübersichtlichen und mit zahlreichen Ausnahmeregelungen behafteten Förderinstrumentariums - in seiner Höhe und dem zeitlichen Verlauf relativ leicht und rasch an sich ändernde Rahmenbedingungen angepasst werden.

Dies ist auch ein entscheidender Vorteil, wenn sich herausstellt, dass die Lenkungswirkung eines vorgegeben CO₂-Preises, der sich nur am Volumen des derzeitigen Aufkommens an einschlägigen Umlagen und Steuern orientiert, trotz größerer Effektivität nicht ausreicht, um das ehrgeizige Klimaschutzziel einer vollständigen Dekarbonisierung bis zur Jahrhundertmitte zu erreichen. Da es sich bei einem CO₂-Preis um ein marktkonformes und transparentes Steuerungsinstrument handelt, erlangt man durch seine konsequente Einführung eine erhebliche Flexibilität und zusätzliche Schnelligkeit bei dem notwendigen permanenten Anpassungsprozess, der für einen vollständigen Umbau unserer Energieversorgung unverzichtbar ist.

10. Literaturangaben

[AGEE 2017]: Erneuerbare Energien in Deutschland. Daten zur Entwicklung im Jahr 2016. Hintergrundpapier; Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik; Hrsg.: Umweltbundesamt; März 2017

[AG Energiebilanzen 2017]: Energieverbrauch 2016. Pressedienst AG Energiebilanzen 01/2017; Berlin/Köln 2. März 2017.

[AGORA 2016]: „Elf Eckpunkte für einen Kohlekonsens.“ Konzept zur schrittweisen Dekarbonisierung des deutschen Stromsektors (Langfassung), Berlin, Januar 2016.

[AGORA Energiewende 2017]: Neue Preismodelle für Energie. Grundlagen einer Reform der Entgelte, Steuern, Abgaben und Umlagen auf Strom und fossile Energieträger. Hintergrund; Berlin, April 2017

[BMUB 2016]: Bundesministerium für Umwelt und Bau [BMUB]: „Projektionsbericht 2015 der Bundesregierung gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU“, Langfassung und Zusammenfassung, Berlin, September 2016

(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

[BMWi 2014]: Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/M-O/nationaler-energieeffizienz-aktionsplan-2014,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>

[BMWi 2016]: Fünfter Monitoringbericht zur Energiewende „Die Energie der Zukunft“; Berichtsjahr 2015; Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, Dezember 2016

[Bürgerlobby Klimaschutz 2016]: „Nachhaltiger Klimaschutz = wirksamer Preis auf CO₂ plus Klimadividende.“ Positionspapier (Langfassung) der Bürgerlobby Klimaschutz, München, 27. Dez. 2016.

[CO₂-Abgabe, 2017]: „CO₂-Emissionen brauchen einen Preis“. Gründungsversammlung des „Vereins für eine nationale CO₂-Abgabe“ Freiburg 27. März 2017; Positionspapier; www.co2abgabe.de

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

[FÖS 2016]: „Energieeffizienz intelligent steuern.“ Hintergrundpapier 08/2016 zum Thema „Energiesteuer“ im Grünbuch Energieeffizienz. Forum Ökologisch-soziale Marktwirtschaft (FÖS), Berlin 2016

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

[Klimaschutz 2016]: Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Bau und Reaktorsicherheit(BMUB): „Klimaschutzplan 2050, Kabinettsbeschluss der Bundesregierung – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, 14. November 2016

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

[Nitsch 2013]: J. Nitsch: „Die Energiewende braucht einen anderen Markt.“ Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 63. Jg. (2013), Heft 1/2.

[Nitsch 2016]: J. Nitsch „Die Energiewende nach COP 21 – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung“ Kurzexpertise für den Bundesverband Erneuerbare Energien e.V.; Stuttgart, 7. März 2016

[Öko-ISI 2015]: Öko-Institut, Fraunhofer ISI (Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung) (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Berlin, Karlsruhe: Öko-Institut, Fraunhofer ISI. <http://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf>

[Rogelj 2016:] Rogelj, J., Elzen, M. den, Höhne, N., u. a. (2016): Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C. Nature 534 (7609), S. 631–639.

[Stellungnahme Monitoring 2016]: A. Löschel, G. Erdmann, F. Staiß, H-J. Ziesing: „Stellungnahme zum fünften Monitoring-Bericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2015. Kommission zum Monitoring-Bericht, Berlin, Münster, Stuttgart, Dezember 2016

[UBA 2012]: „Schätzung der Umweltkosten in den Bereichen Energie und Verkehr.“ UBA, Pressestelle, August 2012

[UBA 2017]: „Klimagase in Deutschland 2014 deutlich gesunken.“ Pressemitteilung vom 3. Februar 2016, BMUB Berlin und UBA Dessau.

[Übertragungsnetzbetreiber 2017]: Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2017; 1. Entwurf, Übertragungsnetzbetreiber Berlin, Dortmund, Bayreuth, Stuttgart, Januar 2017

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

[Zeit 2016]: C. Bals, H. Lösch, O. Edenhofer: Gebt dem Schmutz einen Preis!“ Forum in DIE ZEIT vom 1.9.2016



Joachim Nitsch, Jahrgang 1940, wohnhaft in Stuttgart, Studium des Maschinenbaus und der Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart, 1966 Diplom-Ingenieur, 1971 Promotion an der RWTH Aachen. Seit 1973 wissenschaftliche Arbeiten im Energiebereich, von 1976 bis 2005 Leiter der Abteilung „Systemanalyse und Technikbewertung“ am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart.

U.a. Hauptautor der Leitstudien zu Erneuerbaren Energiesystemen für das Bundesumweltministerium in den Jahren 2004 bis 2012. Seit 2006 Gutachter und Berater für innovative Energieversorgungssysteme und Klimaschutzstrategien. 2005 Solarpreis der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS); 2010 Deutscher Solarpreis von EUROSOLAR, Sonderpreis für persönliches Engagement. jo.nitsch@t-online.de

11. Anhang:

Eckdaten zu den Szenarien REND-17; KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF

A) Übersicht

Tabelle A1: Ausgewählte Ist-Werte und Zielwerte 2020

IST - Werte	2008	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Ziel 2020	
THG-Emissionen*)									
Absolut; Mio.t CO ₂ equiv./a	975	922	927	945	904	902	906	750	
Reduktion ggü. 1990; %	-22,0	-26,2	-25,8	-24,4	-27,7	-27,8	-27,5	-40	
CO₂-Emissionen **)									
Gesamt; Mio.t CO ₂ /a	854	813	817	835	795	792	796	630	
Reduktion ggü. 1990; %	-18,7	-22,6	-22,2	-20,5	-24,3	-24,6	-24,2	(-40)	
nur Stromerzeugung; Mio.t CO ₂ /a	330	314	325	331	314	311	306		
Reduktion ggü. 1990; % ***)	-7,6	-12,0	-9,0	-7,3	-12,0	-12,9	-14,3		
Effizienz									
Primärenergieverbrauch; PJ/a	14380	13599	13447	13822	13180	13293	13383	11500	
Reduktion bez. auf 2008; %		-5,4	-6,5	-3,9	-8,3	-7,6	-6,9	-20	
Endenergieverbrauch; PJ/a	9159	8881	8919	9179	8699	8877	8963	(7810)	
Reduktion bez. auf 2008; %		-3,0	-2,6	0,2	-5,0	-3,1	-2,1		
Bruttostromverbrauch; TWh/a	618	606	605	604	591	595	595	557	
Reduktion bez. auf 2008; %		-2,0	-2,1	-2,3	-4,4	-3,7	-3,8	-10	
Endenergie Verkehr; PJ/a	2571	2568	2560	2612	2616	2619	2663	2314	
Reduktion bez. auf 2008; %		-0,1	-0,4	1,6	1,8	1,9	3,6	-10	
EE-Zubau									
EE-Endenergie; PJ/a	811	1095	1182	1226	1231	1354	1391	1460	
Anteil an Endenergie; %	8,9	12,3	13,3	13,4	14,1	15,2	15,5	18,7****)	
EE-Strom; TWh/a	93,2	123,1	142,4	151,3	161,4	187,4	188,3	195	
Anteil an Bruttoverbrauch; %	15,1	20,3	23,5	25,1	27,3	31,5	31,7	35	
EE-Wärme; PJ/a *****)	394	534	546	568	533	571	605		
Anteil am Wärmeverbrauch; %	8,3	10,2	12,1	12,2	12,6	12,9	13,5	14	
*) 1990 = 1252 Mio. t CO ₂ equiv		**) Energie und Industrieprozesse (1990 = 1050 Mio. t CO ₂)					Bilanzen; 4.4.2017		
) 1990 = 357 Mio. t CO ₂ /a;		*) 18% bezogen auf Brutto-Endenergieverbrauch lt. EU-Richtlinie 2009/28/EG							
*****) ohne EE-Strom für Wärmezwecke		() aus Zielvorgaben abgeleitete Werte							

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

	2016	Energie- konzept 2020	SZEN-17 Werte 2020		
			TREND	KLIMA 17 MEFF	KLIMA 17 HEFF
THG-Emissionen					
Gesamte THG-Emissionen (1990 = 1250 Mio. t CO ₂ eq/a)	906	750	851	782	768
Reduktion bez. auf 1990; (%)	-27,5	-40,0	-31,9	-37,4	-38,6
Energieverbrauch					
Primärenergieverbrauch (PJ/a)	13383	11500	12774	12318	12102
Bruttoendenergieverbr. (PJ/a)*	9277	(8100)	8936	8596	8403
Bruttostromverbrauch (TWh/a)	595	557**)	597	602	599
Endenergie Verkehr (PJ/a)	2663	2314	2695	2562	2509
Raumwärme (PJ/a)	2380	2300	2315	2200	2140
EE-Energiebeiträge					
EE-Endenergie (PJ/a)	1391	1460	1554	1685	1684
Anteil an Bruttoendverbr. (%)	15,0	18,0	17,4	19,6	20,0
EE-Strom (TWh/a)	188	195	234	260	260
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	31,7	35,0	39,2	43,2	43,4
EE-Wärme (PJ/a)***)	605		617	650	645
Anteil an Wärmeverbrauch (%)***)	13,1	14,0	14,6	16,5	17,0
Kraft-Wärme-Kopplung					
KWK- Strom, TWh/a	97,3	139	98	104	104
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	15,7	25,0	16,4	17,3	17,4
*) Bruttoendenergieverbrauch = 1,03 x Endenergieverbrauch Bilanzen; 4.4.2017					
**) ohne Berücksichtigung neuer Einsatzfelder für EE-Strom (Elektromobilität, neue Wärmenutzung)					
***) ohne Stromeinsatz für Wärmezwecke () aus Zielvorgaben abgeleitete Werte					
	2016	Energie- konzept 2030	SZEN-17 Werte 2030		
			TREND	KLIMA 17 MEFF	KLIMA 17 HEFF
THG-Emissionen					
Gesamte THG-Emissionen (1990 = 1250 Mio. t CO ₂ eq/a)	906	563	736	481	454
Reduktion bez. auf 1990; (%)	-27,5	-55,0	-41,1	-61,5	-63,7
Energieverbrauch					
Primärenergieverbrauch (PJ/a)	13383	10065	11413	9914	9396
Bruttoendenergieverbr. (PJ/a)*	9277	(7550)	8417	7403	6979
Bruttostromverbrauch (TWh/a)	595	525**)	609	709	660
Endenergie Verkehr (PJ/a)	2663	1535	2606	2239	2093
Raumwärme + WW (PJ/a)	2380		2140	1800	1660
EE-Energiebeiträge					
EE-Endenergie (PJ/a)	1391	2265	1860	2703	2597
Anteil an Bruttoendverbr. (%)	15,0	30,0	22,1	36,5	37,2
EE-Strom (TWh/a)	188	263**)	311	505	471
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	31,7	50,0	51,1	71,2	71,4
EE-Wärme (PJ/a)***)	605		617	955	918
Anteil an Wärmeverbrauch (%)***)	13,1		15,8	30,5	37,7
Kraft-Wärme-Kopplung					
KWK- Strom, TWh/a	97,3		103	126	121
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	15,7		16,9	17,8	18,3
*) Bruttoendenergieverbrauch = 1,03 x Endenergieverbrauch Bilanzen; 4.4.2017					
**) ohne Berücksichtigung neuer Einsatzfelder für EE-Strom (Elektromobilität, neue Wärmenutzung, längerfristig Power to Gas)					
***) ohne Stromeinsatz für Wärmezwecke					
() aus Zielvorgaben abgeleitete Werte					

	2016	Energie- konzept 2050	SZEN-17 Werte 2050		
			TREND	KLIMA 17	KLIMA 17
				MEFF	HEFF
THG-Emissionen					
Gesamte THG-Emissionen (1990 = 1250 Mio. t CO ₂ eq/a)	906	63 +++)	506	73	71
Reduktion bez. auf 1990; (%)	-27,5	-95,0	-59,5	-94,1	-94,3
Energieverbrauch					
Primärenergieverbrauch (PJ/a)	13383	7190	9797	7561	6628
Bruttoendenergieverbr. (PJ/a)*	9277	(4750)	7715	5588	4788
Bruttostromverbrauch (TWh/a)	595	495**)	653	1097	899
Endenergie Verkehr (PJ/a)	2663	2055	2305	1499	1293
Raumwärme + WW (PJ/a)	2380		1950	1320	1045
EE-Energiebeiträge					
EE-Endenergie (PJ/a)	1391	2730	2290	4718	3996
Anteil an Bruttoendverbr. (%)	15,0	60,0	29,7	84,4	83,5
EE-Strom (TWh/a)	188	400**)	460	1079	865
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	31,7	80,0	70,4	98,4	96,2
EE-Wärme (PJ/a)***)	605		626	1797	1387
Anteil an Wärmeverbrauch (%)***)	13,1		17,8	93,3	95,2
Kraft-Wärme-Kopplung					
KWK- Strom, TWh/a	97,3		97	124	114
Anteil an Bruttoverbrauch (%)	15,7		14,9	11,3	12,7

*) Bruttoendenergieverbrauch = 1,03 x Endenergieverbrauch

Bilanzen; 4.4.2017

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

***) ohne Stromeinsatz für Wärmezwecke

() aus Zielvorgaben abgeleitete Werte

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

B) Szenario TREND-17

Tabelle B1: Eckdaten, insbesondere Beiträge der Erneuerbaren Energien

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Primärenergie, PJ/a	14232	13445	13179	13293	12774	11999	11413	10557	9797	9584
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1416	1385	1518	1644	1879	2053	2210	2421	2703	2955
Anteil EE an PEV, %	9,9	10,3	11,5	12,4	14,7	17,1	19,4	22,9	27,6	30,8
Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, %	10,7	11,2	12,4	13,4	15,9	18,6	21,2	25,2	30,5	34,1
Endenergie, PJ/a	9324	8918	8698	8877	8676	8434	8212	7838	7564	7361
Endenergie EE, PJ/a	1052	1182	1212	1355	1554	1719	1860	2086	2290	2455
Anteil EE an EEV, %	11,3	13,3	13,9	15,3	17,9	20,4	22,7	26,6	30,3	33,3
Anteil EE an BEEV, %; 2)	11,1	12,9	13,5	14,8	17,4	19,8	22,0	25,8	29,4	32,4
Strom Endenergie, PJ/a	1897	1884	1846	1874	1859	1873	1906	1927	1967	2021
Strom Endenergie EE, PJ/a	376	513	580	674	827	954	1073	1247	1386	1433
Anteil EE, %	19,8	27,2	31,4	36,0	44,5	50,9	56,3	64,7	70,4	70,9
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4914	4519	4281	4428	4169	3973	3771	3512	3409	3299
Wärme Endenergie EE, PJ/a	553	546	515	573	617	625	617	621	626	662
Anteil EE, %	11,3	12,1	12,0	12,9	14,8	15,7	16,4	17,7	18,4	20,1
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2513	2515	2571	2574	2648	2588	2535	2399	2188	2041
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	108	110	140	170	218	278	359
Anteil EE, %	4,9	4,9	4,6	4,2	4,2	5,4	6,7	9,1	12,7	17,6
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	595	597	602	609	623	653	718
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	104	142	161	187	234	273	311	377	460	529
Anteil EE, %	17,0	23,5	27,2	31,5	39,1	45,4	51,0	60,5	70,5	73,7
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,5	27,2	31,5	39,1	45,4	50,7	58,4	64,8	63,9
Primärenergie, PJ/a	14232	13445	13179	13293	12774	11999	11413	10557	9797	9584
Erneuerbare Energien	1416	1385	1518	1644	1879	2053	2210	2421	2703	2955
Mineralöl	4695	4526	4493	4470	4440	4257	4031	3634	3272	2963
Kohlen; 7)	3416	3529	3435	3365	2931	2840	2369	1689	980	823
Erdgas	3171	2920	2674	2812	2805	2849	2804	2813	2841	2842
Fossile Energien gesamt	11283	10975	10601	10647	10175	9946	9203	8136	7094	6629
- davon für energetische Zwecke	10249	9999	9611	9680	9205	8981	8248	7191	6164	5709
Kernenergie	1533	1085	1059	1001	720	0	0	0	0	0
CO₂-Emissionen, Mio. t CO₂/a	832	817	795	792	745	717	641	534	430	391
Verringerung seit 1990, %; 8)	20,7	22,2	24,3	24,5	29,1	31,8	38,9	49,2	59,0	62,8
durch EE vermiedene CO ₂ -Emissionen, Mio. t CO ₂ /a	119	129	138	156	188	205	217	239	252	268
THG-Emissionen, Mio. t CO₂eq/a	942	927	904	902	851	819	736	619	506	455
Verringerung seit 1990, %; 9)	24,7	26,0	27,8	27,9	32,1	34,6	41,2	50,5	59,6	63,7
1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch SZEN-TREND17; 16.4.2017										
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 CO ₂ /a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse) 9) 1990 = 1252 Mio. t CO₂eq/a										

Tabelle B2: Primärenergieeinsatz von Erdgas, Kohlen und Mineralöl

Erdgaseinsatz, PJ/a	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kond. Kraftwerke	335	98	120	194	187	229	271	315	360	402	443
Kraft-Wärme-Kopplung	778	664	656	691	681	631	581	531	482	435	389
Raumheizung, WW	1240	1130	1050	1010	990	990	990	995	1000	1020	1040
Prozesswärme	700	750	730	700	710	730	750	765	780	765	750
Kraftstoffe	25	30	40	45	45	48	50	50	50	50	50
NE-Verwendung	62	68	97	97	96	95	95	94	93	93	92
Verluste	31	72	112	112	95	86	77	77	77	77	78
Primärenergieeinsatz	3171	2812	2805	2849	2804	2808	2813	2827	2841	2842	2842
<i>EE-Wasserstoff</i>	0	0	0	0	0	14	27	62	97	166	236
Erdgas + Wasserstoff	3171	2812	2805	2849	2804	2822	2840	2889	2938	3008	3078
Kohleinsatz, PJ/a (Braun- und Steinkohle)	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kond. Kraftwerke	2424	2551	2266	2273	1842	1534	1227	895	564	521	479
KWK (einschl. Müll-HKW)	375	354	323	284	268	279	290	278	265	246	226
Prozess-, Raumwärme	460	395	290	220	180	150	120	110	100	90	80
Verluste	157	65	52	63	79	66	53	52	50	45	39
Primärenergieeinsatz	3416	3365	2931	2840	2369	2029	1689	1334	980	901	823
Mineralöleinsatz, PJ/a	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kraftwerke	49	27	21	9	0	0	0	0	0	0	0
Raum-, Prozesswärme	1208	903	852	818	705	614	524	498	472	442	412
Kraftstoffe	2365	2436	2498	2403	2320	2226	2131	1995	1860	1746	1632
NE-Verwendung	879	870	873	869	860	855	851	844	837	833	828
Verluste	194	234	196	158	146	138	129	116	103	97	91
Primärenergieeinsatz	4695	4470	4440	4257	4031	3832	3634	3453	3272	3118	2963

SZEN-TREND17; 16.4.2017

Tabelle B3: Struktur des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern und Verbrauchssektoren

SZEN-TREND17; 16.4.2017										
Primärenergie, (PJ/a)	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Kernenergie	1851	1779	1533	1001	720	0	0	0	0	0
Kohlen, Sonstige	3649	3594	3416	3365	2931	2840	2369	1689	980	823
Mineralöl	5499	5166	4695	4470	4440	4257	4031	3634	3272	2963
Erdgas	2985	3250	3171	2812	2805	2849	2804	2813	2841	2842
Biomasse, biog. Abfall	294	575	1117	1059	1104	1106	1102	1018	968	961
Wasser, Erdwärme	84	81	101	114	147	179	197	225	248	268
Windenergie	34	98	136	305	429	525	638	862	1095	1234
Solarstrahlung	5	16	62	166	199	243	273	316	392	492
Gesamt	14401	14558	14232	13293	12774	11999	11413	10557	9797	9584
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Private Haushalte	2584	2591	2690	2289	2181	2113	2055	1968	1920	1876
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	1478	1437	1483	1393	1305	1245	1180	1080	1055	1034
Industrie	2421	2514	2592	2576	2495	2432	2370	2302	2285	2264
Verkehr	2751	2585	2559	2619	2695	2644	2606	2488	2305	2187
NE-Verbrauch	1068	1114	1034	967	970	965	955	945	930	920
Umwandl. Strom	3319	3527	3231	2804	2395	1863	1546	1147	714	654
Umwandl. Übrige	780	790	643	645	734	737	701	627	589	649
Gesamt	14401	14558	14232	13293	12774	11999	11413	10557	9797	9584
davon Endenergie	9234	9127	9324	8877	8676	8434	8212	7838	7564	7361

SZEN-TREND17; 16.4.2017

Tabelle B4: Eckdaten der Stromversorgung; Erzeugung und Leistung, CO₂-Emissionen

Stromerzeugung, TWh/a	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Kernenergie	141	100	97	92	67	0	0	0	0	0
Steinkohle, Müll, Pumpsp.	144	143	143	151	139	148	123	104	69	67
Braunkohle	146	161	156	155	140	138	115	70	30	20
Erdgas, Öl, übr. Gase	98	85	70	62	65	79	81	88	95	103
Windenergie	38	51	57	79	116	146	176	231	282	300
Fotovoltaik	12	26	36	39	45	57	64	70	79	90
Biomasse, Wasser, Erdwärme	55	65	68	69	72	70	68	61	57	57
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	0	0	1	5	11
Saldo EE-Stromimport	0	0	0	0	0	0	2	13	37	70
Bruttostromerzeugung*)	633	630	628	647	644	637	629	638	653	718
Bruttostromverbrauch*)	615	607	592	595	597	602	609	623	653	718
Endenergie Strom	527	523	513	521	516	520	529	535	546	561
Installierte Leistung, GW	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Kernenergie	21,5	12,7	12,7	11,4	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, sonstige B.	35,3	35,0	33,7	33,0	31,0	30,8	29,3	26,2	23,5	22,4
Braunkohle	25,0	24,7	23,4	23,3	21,0	20,6	18,6	13,8	8,0	4,7
Erdgas, Öl,	29,7	32,0	30,3	29,0	29,8	31,4	31,5	31,3	31,5	33,1
Windenergie	27,2	31,3	39,2	44,5	60,7	69,6	78,5	92,7	105,5	112,8
Fotovoltaik	17,6	32,6	37,9	39,8	48,0	58,5	66,0	71,4	79,5	90,5
Biomasse, Wasser, Geoth.	10,9	12,5	13,3	13,4	13,0	12,8	12,5	11,8	11,4	11,3
EE-Wasserstoff						0,0	0,0	0,4	1,5	3,6
Speicher	6,5	6,5	6,2	6,2	7,0	7,5	8,0	8,5	8,5	8,5
EE-Importsaldo**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	2,4	6,3	11,8
Gesamte Bruttoleistung	174	187	197	201	219	231	245	258	276	299
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	71	87	94	101	120	138	153	168	188	207
Gesicherte Leistung, brutto	103	100	103	100	99	94	91	90	88	92
Bruttohöchstlast	84	84	82	83	80	77	76	76	78	76
Als Reserve verbleibend	19	16	20	17	19	17	15	14	10	15
CO₂-Emissionen (Mio. t/a)	315	326	315	311	286	290	244	176	104	94
A) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el	0,813	0,840	0,852	0,846	0,830	0,797	0,763	0,675	0,539	0,496
B) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el	0,498	0,517	0,501	0,481	0,443	0,456	0,387	0,277	0,160	0,131
*) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a.feste Brennstoffe; einschl. EE-Import										
**)Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft										
***) insbesondere Wind (90-95%), PV(~99%); unvorhergesehen. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung										
A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung										

SZEN-TREND17; 16.4.2017

Tabelle B5: Eckdaten und Struktur der Wärmeversorgung

Struktur der Wärmeversorgung, (PJ/a)						SZEN: TREND-17					
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Solkollektoren	16	20	24	26	28	32	37	38	47	53	58
Umweltw., Geotherm.	17	25	31	38	41	64	89	103	125	135	141
Biomasse	339	452	491	468	503	521	499	476	445	420	418
Wasserstoff (KWK, Ind.)	0	0	0	0	0	0	0	0	4	18	45
Fern- +Nahwärme, fos.	424	443	443	425	422	405	396	382	346	289	230
Industr. KWK, fossil	266	286	271	257	256	225	204	187	161	141	124
Gase; direkt	1950	2020	1970	1920	1880	1780	1710	1700	1740	1780	1790
Kohlen; direkt	450	460	432	425	395	290	220	180	120	100	80
Heizöl; direkt	1297	1208	857	722	903	852	818	705	524	472	412
Stromwärme*)	512	515	508	484	491	483	496	524	532	540	561
Gesamte Wärme	5271	5429	5028	4766	4919	4653	4468	4295	4043	3949	3860
2008 = 100	100	103,0	95,4	90,4	93,3	88,3	84,8	81,5	76,7	74,9	73,2
- davon aus EE-Quellen (einschl. Stromanteil)	447	583	650	666	715	794	840	879	940	1012	1080
Anteil EE (%)	8,5	10,7	12,9	14,0	14,5	17,1	18,8	20,5	23,2	25,6	28,0
Gesamte Wärme ohne Stromwärme	4759	4914	4519	4281	4428	4169	3973	3771	3512	3409	3299
- davon EE	372	497	546	532	572	617	625	617	621	626	662
Anteil EE (%)	7,8	10,1	12,1	12,4	12,9	14,8	15,7	16,4	17,7	18,4	20,1
KWK-Wärme (fossil, Biomasse, Geoth.)	699	758	750	746	749	711	682	639	569	507	459
Anteil an ges. Wärme, (%)	13,3	14,0	14,9	15,6	15,2	15,3	15,3	14,9	14,1	12,9	11,9

*) Summe aller Einsatzarten von Strom zur Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebereitstellung SZEN-TREND17; 16.4.2017

Anteil Biomasse (%)	6,4	8,3	9,8	9,8	10,2	11,2	11,2	11,1	11,0	10,6	10,8
Anteil Kollektorwärme (%)	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,3	1,5
Anteil Umweltw., Geother	0,3	0,5	0,6	0,8	0,8	1,4	2,0	2,4	3,1	3,4	3,7
Anteil fossil (%)	83,2	81,4	79,0	78,7	78,4	76,3	74,9	73,4	71,5	70,5	68,3
Anteil Strom (%)	9,7	9,5	10,1	10,2	10,0	10,4	11,1	12,2	13,2	13,7	14,5

Tabelle B6: Stromverwendung im Wärmesektor

Strom für Wärmezwecke (TWh/a)										
	2008	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060	
konvent. Raumheizung	30,9	35,3	28,5	26	23	21	19	17	15	
Warmwasser	21,3	26,8	24,4	23	22	21	20	19	18	
"konvent." Prozesswärme	88,0	78,2	78,6	73	70	68	66	63	60	
Wärmepumpen	2,1	2,9	4,7	7	9	10	11	11	11	
Wärmenetze	0	0	0	1	2	4	11	16	20	
"neue" Prozesswärme	0	0	0	4	11	21	20	23	32	
Ges. Stromwärme	142,3	143,2	136,3	134	138	146	148	150	156	
"konventionelle " Wärme	140,2	140,3	131,6	122	115	110	105	99	93	
"neue" Wärme	2,1	2,9	4,7	12	22	36	42	51	63	
Anteil an ges. Stromverbr. (%)	27,1	27,2	26,2	26,0	26,5	27,5	27,6	27,5	27,8	
aus EE-Quellen (TWh/a)	20,9	23,9	39,9	49	60	73	88	107	116	
aus EE-Quellen (PJ/a)	75	86	143	177	215	262	318	386	418	

SZEN-TREND17; 16.4.2017

Tabelle B7: Energieeinsatz im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsmitteln

Energieeinsatz im Verkehr; PJ/a	SZEN: TREND-17										
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Benzin	885	829	800	805	819	918	884	834	758	747	698
Diesel	1178	1211	1225	1261	1243	1188	1129	1085	1000	765	608
Kerosin	313	326	341	359	375	391	390	402	372	348	326
Biokraftstoffe	128	122	124	117	108	110	140	170	200	220	220
Erdgas	20	25	25	30	30	40	45	45	50	50	50
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	0	0	0	18	58	139
Elektrizität	48	46	44	44	44	47	57	71	89	117	146
Endenergie gesamt	2571	2559	2560	2615	2619	2695	2644	2606	2488	2305	2187
Personenverkehr	1840	1868	1864	1891	1895	1957	1870	1794	1690	1531	1422
Güterverkehr	731	691	696	724	724	738	775	812	798	773	765
PKW	1502	1517	1503	1514	1511	1561	1458	1354	1261	1109	997
LKW	648	612	611	638	632	644	675	707	688	659	651
Busse	35	34	34	34	35	34	33	34	36	38	41
Bahn	61	59	59	59	56	54	52	52	51	51	50
Schiff	12	12	11	11	10	10	11	13	14	13	13
Flugzeug	313	326	341	359	375	391	415	446	438	434	434

SZEN-TREND17; 16.4.2017

Tabelle B8: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen im Personen- und Güterverkehr

Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen im Verkehr	SZEN: TREND-17										
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Personenverkehr											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	1707	1737	1734	1764	1775	1831	1719	1610	1450	1226	1007
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	108	106	104	102	94	97	113	132	172	211	294
- CO ₂ (Mio. t/a)	119	121	121	123	124	128	120	112	101	85	70
- Strom (PJ/a)	26	25	25	26	26	29	38	51	68	94	121
CO ₂ (Mio. t/a)	5	4	4	4	4	4	6	7	6	5	6
Endenergie (PJ/a)	1840	1868	1864	1891	1895	1957	1870	1794	1690	1531	1422
CO₂ (Mio. t/a)**)	124	126	125	128	128	132	126	119	107	90	76
Güterverkehr											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	689	654	657	690	691	706	729	755	731	684	675
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	20	16	20	15	14	13	27	38	46	67	66
- CO ₂ (Mio. t/a)	48	46	46	48	48	49	51	53	51	48	47
- Strom (PJ/a)	23	21	19	18	19	18	18	20	21	23	24
CO ₂ (Mio. t/a)**)	4	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1
Endenergie (PJ/a)	731	691	696	724	724	738	775	812	798	773	765
CO₂ (Mio. t/a)**)	52	49	49	51	51	52	54	55	53	49	48
Verkehr gesamt											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	2395	2390	2391	2454	2466	2538	2448	2365	2181	1910	1682
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	128	122	124	117	108	110	140	170	218	278	359
- CO ₂ (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	177	171	165	152	133	117
- Strom (PJ/a)	48	46	44	44	44	47	57	71	89	117	146
- CO ₂ (Mio. t/a)	9	8	8	8	7	7	9	9	8	6	7
Endenergie (PJ/a)	2571	2559	2560	2615	2619	2695	2644	2606	2488	2305	2187
CO₂ (Mio. t/a)**)	176	175	175	179	180	184	179	174	160	139	124
EE-Endenergie (einschl. Stromanteil)	135	130	134	128	121	130	173	219	288	381	492
Anteil EE , % (einschl. Strom)	5,2	5,1	5,2	4,9	4,7	4,8	6,5	8,4	11,6	16,5	22,5

**) einschließlich Stromanteil

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2040

SZEN-TREND17; 16.4.2017

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

	Energie, CO2-Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten										SZEN: TREND-17
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Industrie											
- Wärme (PJ/a)*	1738	1780	1774	1724	1759	1684	1601	1511	1432	1396	1346
- CO2 (Mio. t/a)	130	127	127	124	123	114	103	93	84	79	73
- Strom (PJ/a)**	849	812	813	821	817	811	831	859	870	889	918
- CO2 (Mio. t/a)	149	135	141	140	136	125	129	110	80	47	43
Endenergie (PJ/a)	2587	2592	2587	2545	2576	2495	2432	2370	2302	2285	2264
CO2 (Mio. t/a)	279	262	268	264	258	238	232	203	163	126	116
GHD											
- Wärme (PJ/a)*	955	954	812	836	856	772	719	658	562	540	519
- CO2 (Mio. t/a)	72	68	58	60	60	52	46	41	33	31	28
- Strom (PJ/a)	488	529	533	514	537	533	526	522	518	515	515
CO2 (Mio. t/a)	85	88	92	88	89	82	81	67	47	27	24
Endenergie (PJ/a)	1443	1483	1345	1350	1393	1305	1245	1180	1080	1055	1034
CO2 (Mio. t/a)	157	156	150	148	149	134	128	107	80	58	52
Haushalte											
- Wärme (PJ/a)*	2056	2180	1934	1721	1814	1713	1652	1602	1518	1473	1433
- CO2 (Mio. t/a)	154	155	138	124	127	116	106	99	89	83	78
- Strom (PJ/a)	502	510	493	467	475	468	461	454	450	446	443
CO2 (Mio. t/a)	88	85	85	80	79	72	71	58	41	24	21
Endenergie (PJ/a)	2558	2690	2427	2188	2289	2181	2113	2055	1968	1920	1876
CO2 (Mio. t/a)	242	240	224	204	205	188	178	157	130	107	99
Verkehr											
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2513	2513	2571	2574	2648	2588	2535	2399	2188	2041
- CO2 (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	177	171	165	152	133	117
- Strom (PJ/a)	48	46	46	44	44	47	57	71	89	117	146
CO2 (Mio. t/a)	8	8	8	8	7	7	9	9	8	6	7
Endenergie (PJ/a)	2561	2559	2559	2615	2619	2695	2644	2606	2488	2305	2187
CO2 (Mio. t/a)	175	175	175	179	180	184	179	174	160	139	124
Alle Sektoren											
- Wärme (PJ/a)*	4759	4914	4519	4281	4428	4169	3973	3771	3512	3409	3299
CO2 (Mio. t/a)	357	350	324	309	309	282	255	233	205	193	180
- Strom (PJ/a)	1887	1897	1886	1846	1874	1859	1873	1906	1927	1967	2021
CO2 (Mio. t/a)	330	315	326	315	311	286	290	244	176	104	94
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2513	2513	2571	2574	2648	2588	2535	2399	2188	2041
CO2 (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	177	171	165	152	133	117
Endenergie (PJ/a)	9159	9324	8918	8698	8877	8676	8434	8212	7838	7564	7361
Gesamtes CO2 (Mio. t/a)	854	832	817	795	792	745	717	641	534	430	391
*) nur Brennstoffe; einschl. Mineralöl in Spalte "stationäre Kraft"										SZEN-TREND17; 16.4.2017	
Aufteilung Wärme	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
- Raumwärme + WW (PJ/a)		3128	2760	2524	2634	2534	2425	2326	2151	2076	2013
CO2 (Mio. t/a)	220	223	198	182	184	171	156	143	126	118	110
- Prozeßwärme (PJ/a)		1786	1759	1757	1794	1636	1548	1444	1360	1333	1285
CO2 (Mio. t/a)	137	127	126	127	125	111	100	89	80	76	70
- Wärme gesamt *)	4759	4914	4519	4281	4428	4169	3973	3771	3512	3409	3299
CO2 (Mio. t/a)	357	350	324	309	309	282	255	233	205	193	180
										SZEN-TREND17; 16.4.2017	

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

EE-Stromerzeugung, TWh/a	SZEN: KLIMA17-TREND												
	2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wasserkraft	20,9	22,1	19,6	21,0	21,1	22,0	22,7	23,3	23,8	24,0	24,2	24,2	24,2
Wind Land	37,6	49,9	55,9	65,0	95,5	109,3	120,4	135,9	146,8	165,6	183,2	190,4	196,5
Wind Offshore	0,2	0,7	1,5	12,4	21,3	37,0	56,1	75,6	84,2	93,9	98,9	101,0	104,5
Fotovoltaik	11,7	26,4	36,1	38,2	45,6	57,3	64,7	67,7	70,4	73,0	78,9	85,4	89,8
Biogas, Klär-, Dep.gas, flüss.	18,8	27,5	31,4	34,6	33,3	30,2	27,2	23,8	20,4	17,4	15,5	14,5	13,5
Feste Biomasse, biog. Abfall	15,1	15,6	16,5	17,0	17,0	17,0	17,0	16,3	15,6	15,3	15,1	15,1	15,1
Geothermie	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,3	3,1	3,9
Gesamt in D	104,4	142,3	161,0	188,3	234,1	273,3	309,0	343,5	362,5	390,9	418,0	433,6	447,5
Saldo Europ. Verbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	6,1	13,3	23,8	37,1	53,8	70,4
Gesamt	104,4	142,3	161,0	188,3	234,1	273,3	310,9	349,6	375,8	414,7	455,2	487,4	517,9
*) Technologiemiex aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft									ARES-KLIMA17-TREND 14.3.2017				

Installierte EE-Leistung; GWel	SZEN: KLIMA17-TREND												
	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wasserkraft	5,4	5,6	5,6	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6
Wind Onshore	27,0	30,7	37,6	45,4	54,1	59,1	63,4	68,8	71,6	77,0	81,4	84,6	87,3
Wind Offshore (am Netz)	0,1	0,3	1,0	4,2	6,7	10,6	15,2	19,4	21,0	22,9	24,1	24,6	25,5
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,3	41,3	48,5	59,0	66,5	69,6	71,9	74,0	79,5	86,0	90,5
feste Biomasse, biog. Abfall	3,0	3,0	3,6	3,6	3,4	3,5	3,6	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
gasf., flüssige Biomasse	4,0	5,4	5,7	6,0	5,5	5,1	4,6	4,0	3,4	2,9	2,6	2,4	2,3
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
Gesamt in D	57,5	78,1	91,8	106,0	124,0	143,3	159,6	171,8	178,1	187,1	198,0	208,2	216,2
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	1,1	2,4	4,1	6,3	9,0	11,8
Gesamt für D	57,5	78,1	91,8	106,0	124,0	143,5	159,9	172,9	180,5	191,2	204,3	217,2	228,0
*) Technologiemiex aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft													

Tabelle B11: Wärmebereitstellung mittels erneuerbaren Energien

Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien (TWh/a); ohne EE-Stromwärme								SZEN: KLIMA17-TREND					
TWh/a	2000	2005	2010	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2060
A) aus EEG-Anlagen (KWK)	1,9	11,3	25,7	33,2	36,8	37,4	34,9	33,2	30,8	28,8	27,5	26,4	26,0
Biomasse fest	0,6	7,7	12,4	13,8	15,1	16,6	16,5	16,8	16,5	16,3	16,5	16,1	16,1
Biogas, Deponie-, Klärgas, Flüssige Biomasse	1,4	3,7	13,3	19,5	21,7	20,7	18,4	16,5	14,3	12,5	11,0	10,2	9,9
B) weitere Biomassen	44,4	85,6	99,9	96,9	111,3	107,4	103,8	99,0	96,7	94,8	92,1	90,3	90,3
Heizwerke, feste Biomasse	2,0	6,8	20,5	20,0	24,6	24,2	24,6	24,9	25,1	25,3	24,5	23,9	23,9
Einzelheizungen, fest	38,9	71,7	72,2	65,5	74,8	71,2	67,3	62,2	59,7	57,5	55,6	54,4	54,4
Biogener Abfall (KWK)	3,5	7,2	7,3	11,4	11,8	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Biowärme gesamt	46,4	97,0	125,6	130,1	148,1	144,7	138,7	132,3	127,5	123,6	119,6	116,6	116,2
davon KWK-Wärme	5,5	18,5	33,0	44,6	48,6	49,4	46,9	45,2	42,8	40,8	39,5	38,4	38,0
feste Biomasse, gesamt	41,5	86,1	105,1	99,3	114,5	112,0	108,3	103,8	101,3	99,1	96,6	94,4	94,4
Solkollektoren	1,3	3,0	5,6	7,3	7,7	8,9	10,7	11,2	12,5	13,6	14,1	14,8	16,2
Einzelanlagen	1,2	3,0	5,6	7,2	7,6	8,8	10,5	10,9	11,9	12,8	13,1	13,5	14,3
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	1,8
Umweltwärme/Geothermie	1,8	2,8	6,9	10,7	12,4	17,3	24,6	28,6	31,9	34,6	36,3	37,6	39,0
Hydrothermal, tiefe Geotherm.	0,1	0,5	0,7	1,0	1,2	1,7	3,0	4,2	5,5	6,8	7,7	8,4	9,4
Wärmepumpen	1,7	2,3	6,2	9,7	11,2	15,6	21,6	24,4	26,4	27,8	28,5	29,2	29,6
KWK aus EE-Wasserstoff	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,2	3,1	5,0	12,5
EE-Wärme gesamt	49,4	102,8	138,1	148,1	168,1	170,9	174,0	172,0	172,5	172,9	173,0	174,1	184,0
	2000	2005	2010	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2060
KWK (Biomasse)	5,5	18,5	33,0	44,6	48,6	49,4	46,9	45,2	42,8	40,8	39,5	38,4	38,0
KWK (EE-H2)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,2	3,1	5,0	12,5
Andere Nahwärme*)	2,1	7,3	21,2	21,0	25,8	25,9	27,8	29,4	31,1	32,9	33,2	33,6	35,2
Nahwärme (mit/ohne KWK)	7,6	25,8	54,2	65,7	74,5	75,3	74,7	74,6	74,5	74,9	75,8	77,0	85,7
Biomasse-Einzelheiz.	38,9	71,7	72,2	65,5	74,8	71,2	67,3	62,2	59,7	57,5	55,6	54,4	54,4
Solarthermie-Einzel	1,2	3,0	5,6	7,2	7,6	8,8	10,5	10,9	11,9	12,8	13,1	13,5	14,3
Wärmepumpen	1,7	2,3	6,2	9,7	11,2	15,6	21,6	24,4	26,4	27,8	28,5	29,2	29,6
Einzelanlagen	41,8	77,0	84,0	82,4	93,7	95,6	99,3	97,4	98,0	98,1	97,2	97,0	98,3

*) Biomasse-Heizwerke, Solarthermie, Hydrothermale Wärme,

ARES-KLIMA17-TREND 14.3.2017

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

		Jährliche Brutto-Leistungsinstallation; MW/a				SZEN: KLIMA17-TREND			
		STROM (MWe/a)						Strom gesamt MWe/a	
		Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	Import E (oh. biog. Mü)		Biomasse
2000		0	1662	0	44	0	0	108	1814
2001		19	2641	0	120	0	0	127	2907
2002		126	3238	0	150	0	0	201	3715
2003		35	2617	0	180	0	0	400	3232
2004		252	2019	0	512	0	0	241	3024
2005		44	1763	0	980	0	0	480	3267
2006		2	2193	0	1020	0	0	657	3872
2007		0	1615	0	1271	2	0	436	3324
2008		9	1632	10	1813	0	0	337	3801
2009		196	1817	25	4446	3	0	737	7224
2010		86	1380	45	7338	0	0	924	9773
2011		237	1870	108	7485	0	0	652	10352
2012		2	1973	80	7604	13	0	722	10394
2013		2	2410	354	3304	16	0	514	6600
2014		9	4943	372	2006	0	0	111	7441
2015		29	4016	2303	1456	0	0	75	7879
2016		35	4250	853	1477	5	0	163	6783
2017		45	2800	850	1500	5	0	35	5235
2018		55	2600	610	1700	6	0	0	4971
2019		62	2500	607	1900	7	0	55	5131
2020		70	2600	448	2100	8	0	66	5292
2025		68	3000	779	2180	9	0	95	6201
2030		65	3400	975	2300	10	75	284	7109
2035		61	3600	1025	2600	14	150	251	7700
2040		56	3800	1050	3600	18	250	206	8980
2045		49	4000	1100	3700	22	350	197	9417
2050		41	4200	1100	3700	28	500	218	9787
2055		38	4200	1100	3600	35	700	129	9802
2060		35	4300	1100	3500	45	800	78	9858

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

		Jährlicher Leistungszuwachs (netto); MW/a				SZEN: KLIMA17-TREND			
		STROM (MWel/a)						Strom gesamt MWel/a	
		Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	romimport E (oh. biog. Mü)		Biomasse
2000		0	1662	0	44	0	0	108	1814
2001		0	2641	0	120	0	0	127	2888
2002		107	3238	0	150	0	0	201	3696
2003		16	2617	0	180	0	0	400	3213
2004		233	2019	0	512	0	0	241	3004
2005		25	1763	0	980	0	0	480	3248
2006		-17	2193	0	1020	0	0	657	3853
2007		-19	1615	0	1271	2	0	436	3304
2008		-10	1632	10	1813	0	0	337	3782
2009		177	1817	25	4446	3	0	737	7205
2010		67	1380	45	7338	0	0	924	9753
2011		218	1845	108	7485	0	0	652	10307
2012		-17	1854	80	7604	13	0	722	10255
2013		-17	2258	354	3304	16	0	514	6429
2014		-10	4651	372	2006	0	0	111	7130
2015		10	3624	2303	1456	0	0	75	7467
2016		16	4139	853	1476	5	0	163	6653
2017		26	2586	850	1496	5	0	35	4998
2018		36	2251	610	1697	6	0	-115	4485
2019		43	2095	607	1897	7	0	-41	4608
2020		51	1812	448	2094	8	0	-60	4353
2025		48	989	779	2107	9	38	-90	3880
2030		45	860	921	1507	9	38	-93	3287
2035		35	1085	842	614	8	150	-115	2620
2040		29	567	334	457	12	250	-115	1533
2045		20	1080	370	423	13	350	-99	2157
2050		10	880	243	1100	18	425	-66	2609
2055		5	640	105	1300	21	550	-28	2593
2060		1	540	170	900	27	550	-28	2160

C) Szenario KLIMA-17 MEFF

Tabelle C1: Eckdaten, insbesondere Beiträge der Erneuerbaren Energien

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Primärenergie, PJ/a	14232	13446	13180	13293	12318	10854	9913	8546	7561	7241
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1416	1385	1518	1644	2084	2666	3315	4771	5849	6031
Anteil EE an PEV, %	9,9	10,3	11,5	12,4	16,9	24,6	33,4	55,8	77,4	83,3
Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, %	10,7	11,2	12,4	13,4	18,4	27,0	37,0	62,9	88,4	95,6
Endenergie, PJ/a	9324	8918	8698	8877	8346	7780	7222	6264	5478	5142
Endenergie EE, PJ/a	996	1183	1230	1354	1685	2186	2703	3875	4707	4881
Anteil EE an EEV, %	10,7	13,3	14,1	15,3	20,2	28,1	37,4	61,9	85,9	94,9
Anteil EE an BEEV, %; 2)	10,5	12,9	13,7	14,8	19,6	27,3	36,3	60,1	83,4	92,2
Strom Endenergie, PJ/a	1897	1884	1846	1875	1863	1841	1873	1953	2065	2100
Strom Endenergie EE, PJ/a	377	513	581	674	908	1167	1365	1795	2058	2093
Anteil EE, %	19,8	27,2	31,5	36,0	48,8	63,4	72,8	91,9	99,6	99,7
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4914	4519	4281	4428	3973	3590	3260	2672	2294	2034
Wärme Endenergie EE, PJ/a	497	546	532	572	650	791	955	1381	1797	1935
Anteil EE, %	10,1	12,1	12,4	12,9	16,4	22,0	29,3	51,7	78,3	95,2
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2513	2515	2571	2574	2510	2349	2089	1639	1119	1008
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	108	127	229	384	699	853	853
Anteil EE, %	4,9	4,9	4,6	4,2	5,1	9,8	18,4	42,6	76,2	84,6
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	595	602	632	710	920	1097	1113
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	105	142	161	187	262	375	507	829	1079	1096
Anteil EE, %	17,0	23,5	27,3	31,5	43,5	59,2	71,3	90,1	98,4	98,4
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,5	27,3	31,5	43,5	58,7	68,9	80,4	83,6	83,7
Primärenergie, PJ/a	14232	13446	13180	13293	12318	10854	9913	8546	7561	7241
Erneuerbare Energien	1416	1385	1518	1644	2084	2666	3315	4771	5849	6031
Mineralöl	4696	4526	4495	4471	4081	3631	3050	2017	1111	971
Kohlen; 7)	3416	3529	3435	3365	2503	1868	1136	292	61	58
Erdgas	3171	2920	2673	2812	2930	2688	2412	1466	540	181
Fossile Energien gesamt	11283	10975	10602	10648	9514	8188	6598	3775	1712	1210
- davon für energetische Zwecke	10249	9999	9612	9681	8544	7223	5643	2830	782	290
Kernenergie	1533	1085	1059	1001	720	0	0	0	0	0
CO₂-Emissionen, Mio. t CO₂/a	832	817	795	792	680	550	410	190	46	16
Verringerung seit 1990, %; 8)	20,7	22,2	24,3	24,5	35,2	47,6	61,0	81,9	95,6	98,4
durch EE vermiedene CO ₂ -Emissionen, Mio. t CO ₂ /a	119	129	138	156	208	279	355	484	564	575
THG-Emissionen, Mio. t CO_{2äq}/a,	942	927	904	902	782	640	481	238	70	31
Verringerung seit 1990, %	24,7	26,0	27,8	27,9	37,5	48,9	61,6	81,0	94,4	97,5

1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch

SZEN-KLIMA17-MEFF : 29.4.2017

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 = 1252 Mio. t CO₂eq/a

Tabelle C2: Primärenergieeinsatz von Erdgas, Kohlen und Mineralöl

Erdgaseinsatz, PJ/a	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kond. Kraftwerke	335	98	215	184	212	193	175	87	0	0	0
Kraft-Wärme-Kopplung	778	664	679	741	659	483	307	153	0	0	0
Raumheizung, WW	1240	1130	1050	800	615	418	220	147	73	37	0
Prozesswärme	700	750	730	725	710	646	582	444	305	165	25
Kraftstoffe	25	30	40	45	50	50	50	48	45	45	45
NE-Verwendung	62	68	97	97	96	95	95	94	93	93	92
Verluste	31	72	119	97	71	55	38	31	24	21	19
Primärenergieeinsatz	3171	2812	2930	2688	2412	1939	1466	1003	540	360	181
EE-Wasserstoff	0	0	12	101	287	549	810	1029	1247	1256	1264
Erdgas + Wasserstoff	3171	2812	2943	2789	2699	2488	2276	2032	1788	1616	1445
Kohleeinsatz, PJ/a (Braun- und Steinkohle)	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kond. Kraftwerke	2422	2552	1903	1398	833	504	176	88	0	0	0
KWK (einschl. Müll-HKW)	375	354	305	243	183	144	106	83	59	58	56
Prozess-, Raumwärme	460	395	250	140	50	25	0	0	0	0	0
Verluste	159	64	45	87	70	40	10	6	2	2	2
Primärenergieeinsatz	3416	3365	2503	1868	1136	714	292	176	61	60	58
Mineralöleinsatz, PJ/a	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kraftwerke	49	27	21	9	0	0	0	0	0	0	0
Raum-, Prozesswärme	1208	903	657	535	413	307	200	111	22	11	0
Kraftstoffe	2365	2436	2344	2075	1655	1273	890	556	221	165	110
NE-Verwendung	879	870	873	869	860	855	851	844	837	833	828
Verluste	194	235	186	144	123	99	76	53	31	32	33
Primärenergieeinsatz	4696	4471	4081	3631	3050	2534	2017	1564	1111	1041	971

SZEN-KLIMA17-MEFF ; 29.4.2017

Tabelle C3: Struktur des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern und Verbrauchssektoren

SZEN-KLIMA17-MEFF ; 29.4.2017										
Primärenergie, (PJ/a)	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Kernenergie	1851	1779	1533	1001	720	0	0	0	0	0
Kohlen, Sonstige	3649	3594	3416	3365	2503	1868	1136	292	61	58
Mineralöl	5499	5166	4696	4471	4081	3631	3050	2017	1111	971
Erdgas	2985	3250	3171	2812	2930	2688	2412	1466	540	181
Biomasse, biog. Abfall	294	575	1117	1048	1211	1309	1397	1499	1518	1521
Wasser, Erdwärme	84	81	101	117	159	246	329	523	709	781
Windenergie	34	98	136	313	482	733	1032	1769	2298	2322
Solarstrahlung	5	16	62	166	232	378	557	980	1324	1407
Gesamt	14401	14558	14232	13293	12318	10854	9913	8546	7561	7241
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Private Haushalte	2584	2591	2690	2289	2131	1982	1830	1568	1411	1319
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	1478	1437	1483	1393	1243	1083	975	865	770	719
Industrie	2421	2514	2592	2576	2410	2285	2178	1948	1798	1721
Verkehr	2751	2585	2559	2619	2562	2431	2239	1883	1499	1382
NE-Verbrauch	1068	1114	1034	967	970	965	955	945	930	920
Umwandl. Strom	3319	3527	3232	2805	2269	1396	984	472	192	149
Umwandl. Übrige	780	790	643	645	732	713	752	864	961	1030
Gesamt	14401	14558	14232	13293	12318	10854	9913	8546	7561	7241
davon Endenergie	9234	9127	9324	8877	8346	7780	7222	6264	5478	5142

SZEN-KLIMA17-MEFF ; 29.4.2017

Tabelle C 4: Eckdaten der Stromversorgung; Erzeugung und Leistung, CO₂-Emissionen

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Stromerzeugung, TWh/a										
Kernenergie	141	100	97	92	67	0	0	0	0	0
Steinkohle, Müll, Pumpsp.	144	143	143	151	119	114	86	41	18	18
Braunkohle	146	161	156	155	119	72	35	0	0	0
Erdgas, Öl, übr. Gase	98	85	70	62	78	82	83	51	0	0
Windenergie	38	51	57	79	129	200	276	443	557	564
Fotovoltaik	12	26	36	39	52	83	113	162	192	200
Biomasse, Wasser, Erdwärme	55	65	68	69	80	87	93	104	115	117
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	1	7	30	53	51
Saldo EE-Stromimport	0	0	0	0	0	3	17	90	162	164
Bruttostromerzeugung*)	633	630	628	647	644	642	710	920	1097	1113
Bruttostromverbrauch*)	615	607	592	595	602	632	710	920	1097	1113
Endenergie Strom	527	523	513	521	517	511	520	542	574	583
Installierte Leistung, GW	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Kernenergie	21,5	12,7	12,7	11,4	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, sonst.	35,3	35,0	33,7	33,0	27,8	26,2	20,3	9,9	4,0	4,0
Braunkohle	25,0	24,7	23,4	23,3	18,0	11,6	6,7	0,0	0,0	0,0
Erdgas, Öl,	29,7	32,0	30,3	29,0	30,2	33,9	33,8	22,1	0,0	0,0
Windenergie	27,2	31,3	39,2	44,5	68,0	94,4	121,5	170,8	192,8	193,6
Fotovoltaik	17,6	32,6	37,9	39,8	55,1	84,7	115,7	164,6	193,0	202,0
Biomasse, Wasser, Geoth.	11,0	12,5	13,3	13,4	14,4	15,8	18,3	21,9	24,4	24,9
EE-Wasserstoff						0,5	2,8	12,9	28,9	27,8
Speicher	6,5	6,5	6,2	6,2	7,0	9,0	11,0	11,0	12,0	12,0
EE-Importsaldo**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	15,8	27,1	27,3
Gesamte Bruttoleistung	174	187	197	201	229	278	333	429	482	492
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	71	87	94	101	134	188	244	338	389	399
Gesicherte Leistung, brutto	103	100	103	100	95	90	89	91	93	93
Bruttohöchstlast	84	84	82	83	80	75	75	76	79	79
Als Reserve verbleibend	19	16	20	16	15	15	15	15	14	13
CO₂-Emissionen (Mio. t/a)	315	326	314	311	254	194	133	45	2	1
A) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el	0,813	0,840	0,852	0,846	0,802	0,724	0,649	0,490	0,098	0,056
B) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el	0,498	0,517	0,501	0,481	0,394	0,302	0,187	0,049	0,002	0,001
*) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe; einschl. EE-Stromimport										
**) Technologiemiex 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										

SZEN-KLIMA17-MEFF ; 29.4.2017

Tabelle C 5: Eckdaten und Struktur der Wärmeversorgung

Struktur der Wärmeversorgung, (PJ/a)	SZEN KLIMA17 - MEFF										
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Solkollektoren	16	20	24	26	28	40	79	124	248	351	406
Umweltw., Geotherm.	17	25	31	38	41	69	126	180	319	445	513
Biomasse	361	452	491	468	503	536	559	578	594	583	575
Wasserstoff (KWK, Ind.)	0	0	0	0	0	5	27	73	220	418	441
Fern- + Nahwärme, fos.	424	443	443	425	422	425	418	393	268	83	68
Industr. KWK, fossil	266	286	271	257	256	212	202	154	49	37	29
Gase; direkt	1950	2020	1970	1920	1880	1780	1505	1295	775	356	2
Kohlen; direkt	450	460	432	425	395	250	140	50	0	0	0
Heizöl; direkt	1275	1208	857	722	903	657	535	413	200	22	0
Stromwärme	512	515	508	484	491	490	485	495	503	511	541
Gesamte Wärme	5271	5429	5028	4766	4919	4463	4075	3756	3175	2805	2575
2008 = 100	100	103,0	95,4	90,4	93,3	84,7	77,3	71,3	60,2	53,2	48,9
- davon aus EE-Quellen (einschl. Stromanteil)	469	583	649	667	716	851	1078	1313	1839	2305	2473
Anteil EE (%)	8,9	10,7	12,9	14,0	14,5	19,1	26,4	35,0	57,9	82,2	96,1
Gesamte Wärme ohne Stromwärme	4759	4914	4519	4281	4428	3973	3590	3260	2672	2294	2034
- davon EE	394	497	546	532	572	650	791	955	1381	1797	1935
Anteil EE (%)	8,3	10,1	12,1	12,4	12,9	16,4	22,0	29,3	51,7	78,3	95,2
KWK-Wärme (fossil, Biomasse, Geoth.)	699	758	750	746	749	751	764	760	709	649	608
Anteil an ges. Wärme, (%)	13,3	14,0	14,9	15,6	15,2	16,8	18,7	20,2	22,3	23,1	23,6
*) Summe aller Einsatzarten von Strom zur Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebez. SZEN-KLIMA17-MEFF ; 29.4.2017											
Netze Stromwärme; PJ/a					0	3	18	45	61	74	80
Netze fossil; PJ/a	424	443	443	425	422	425	418	393	268	83	68
Netze EE; PJ/a	120	164	178	194	225	274	334	443	678	924	994
Netze Summe	544	607	621	619	647	701	770	881	1007	1081	1142
Netze Anteil (%)	10,3	11,2	12,4	13,0	13,2	15,7	18,9	23,4	31,7	38,5	44,3

Tabelle C 6: Stromverwendung im Wärmesektor

Strom für Wärmezwecke (TWh/a)	SZEN KLIMA17 - MEFF									
	2008	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060	
konvent. Raumheizung	30,9	35,3	28,5	26	20	10	5	0	0	
Warmwasser	21,3	26,8	24,4	24	23	22	20	19	19	
"konvent. Prozesswärme"	88,0	78,2	78,7	72	65	61	52	43	37	
Wärmepumpen	2,1	2,9	4,7	7	12	16	24	31	36	
Wärmenetze	0	0	0	1	5	13	17	21	22	
"neue" Prozesswärme (Ind)	0,0	0,0	0,0	6	10	16	21	28	37	
Ges. Stromwärme	142,3	143,2	136,4	136	135	138	140	142	150	
"konventionelle " Wärme	140,2	140,3	131,7	122	108	93	77	62	56	
"neue" Wärme	2,1	2,9	4,7	14	27	45	62	79	95	
Anteil an ges. Stromverbr. (%)	27,1	27,2	26,2	26,3	26,3	26,4	25,7	24,7	25,8	
davon aus EE-Quellen (TWh/a)	20,9	23,9	39,9	56	80	100	127	141	150	
davon aus EE-Quellen (PJ/a)	75	86	144	201	287	358	458	508	538	
SZEN-KLIMA17-MEFF ; 29.4.2017										

Tabelle C 7: Energieeinsatz im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsmitteln

Energieeinsatz im Verkehr; PJ/a	SZEN KLIMA17 - MEFF										
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Benzin	885	829	800	805	819	823	733	478	206	14	0
Diesel	1178	1211	1225	1261	1243	1121	981	850	447	63	7
Kerosin	313	326	341	359	375	400	361	326	238	144	102
Biokraftstoffe	128	122	124	117	108	120	160	200	240	260	260
Erdgas	20	25	25	30	30	40	45	50	50	45	45
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	7	69	184	459	593	593
Elektrizität	48	46	44	44	44	52	82	151	244	381	375
Endenergie gesamt	2571	2559	2560	2615	2619	2562	2431	2239	1883	1499	1382
Personenverkehr	1840	1868	1864	1891	1895	1830	1673	1468	1167	864	794
Güterverkehr	731	691	696	724	724	732	757	771	716	635	588
PKW	1502	1517	1503	1514	1511	1425	1251	1033	763	480	430
LKW	648	612	611	638	632	635	652	659	607	526	483
Busse	35	34	34	34	35	33	33	33	35	38	40
Bahn	61	59	59	59	56	59	60	61	55	53	54
Schiff	12	12	11	11	10	10	11	13	13	13	13
Flugzeug	313	326	341	359	375	400	424	441	410	390	362

SZEN-KLIMA17-MEFF ; 29.4.2017

Tabelle C 8: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen im Personen- und Güterverkehr

	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen im Verkehr					SZEN KLIMA17 - MEFF					
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Personenverkehr											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	1707	1737	1734	1764	1775	1694	1480	1139	688	219	124
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	108	106	104	102	94	104	136	209	277	324	357
- CO ₂ (Mio. t/a)	119	121	121	123	124	118	103	79	48	15	8
- Strom (PJ/a)	26	25	25	26	26	32	57	120	203	321	313
CO ₂ (Mio. t/a)	5	4	4	4	4	4	6	8	5	0	0
Endenergie (PJ/a)	1840	1868	1864	1891	1895	1830	1673	1468	1167	864	794
CO₂ (Mio. t/a)**)	124	126	126	128	128	123	109	88	52	15	8
Güterverkehr											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	689	654	657	690	691	690	640	566	252	47	31
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	20	16	20	15	14	22	93	174	422	529	496
- CO ₂ (Mio. t/a)	48	46	46	48	48	48	45	39	17	3	2
- Strom (PJ/a)	23	21	19	18	19	20	24	31	42	59	62
CO ₂ (Mio. t/a)**)	4	3	3	3	3	3	3	2	1	0	0
Endenergie (PJ/a)	731	691	696	724	724	732	757	771	716	635	588
CO₂ (Mio. t/a)**)	52	49	49	51	51	51	47	42	18	3	2
Verkehr gesamt											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	2395	2390	2391	2454	2466	2384	2120	1705	940	266	155
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	128	122	124	117	108	127	229	384	699	853	853
- CO ₂ (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	166	148	119	65	18	10
- Strom (PJ/a)	48	46	44	44	44	52	82	151	244	381	375
- CO ₂ (Mio. t/a)	9	8	8	7	7	7	9	11	6	0	0
Endenergie (PJ/a)	2571	2559	2560	2615	2619	2562	2431	2239	1883	1499	1382
CO₂ (Mio. t/a)**)	176	175	175	179	180	173	156	129	71	18	10
EE-Endenergie (einschl. Stromanteil)	135	130	134	129	122	153	292	521	938	1233	1227
Anteil EE , % (einschl. Strom)	5,2	5,1	5,2	4,9	4,7	6,0	12,0	23,3	49,8	82,3	88,8

**) einschließlich Stromanteil

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020

SZEN KLIMA17-MEFF ; 25.17

Tabelle C 9: Endenergie, CO₂-Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten

	Energie, CO ₂ -Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten						SZEN KLIMA17 - MEFF				
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Industrie											
- Wärme (PJ/a)*	1738	1780	1774	1724	1758	1600	1501	1395	1175	1039	946
- CO ₂ (Mio. t/a)	130	127	127	125	123	105	87	68	35	12	2
- Strom (PJ/a)**	849	812	813	821	818	810	784	783	773	759	775
- CO ₂ (Mio. t/a)	149	135	141	140	136	110	83	56	18	1	0
Endenergie (PJ/a)	2587	2592	2587	2545	2576	2410	2285	2178	1948	1798	1721
CO₂ (Mio. t/a)	279	262	268	264	258	215	170	123	53	13	3
GHD											
- Wärme (PJ/a)*	955	954	812	836	856	710	565	471	361	270	208
- CO ₂ (Mio. t/a)	72	68	58	60	60	47	33	23	11	3	1
- Strom (PJ/a)	488	529	533	514	537	533	518	504	504	500	511
CO ₂ (Mio. t/a)	85	88	92	88	89	73	55	36	12	0	0
Endenergie (PJ/a)	1443	1483	1345	1350	1393	1243	1083	975	865	770	719
CO₂ (Mio. t/a)	157	156	150	148	149	119	87	59	22	4	1
Haushalte											
- Wärme (PJ/a)*	2056	2180	1934	1721	1814	1663	1525	1395	1136	986	880
- CO ₂ (Mio. t/a)	154	155	138	124	127	109	88	68	34	11	2
- Strom (PJ/a)	502	510	493	467	475	468	457	436	432	425	439
CO ₂ (Mio. t/a)	88	85	85	80	79	64	48	31	10	0	0
Endenergie (PJ/a)	2558	2690	2427	2188	2289	2131	1982	1830	1568	1411	1319
CO₂ (Mio. t/a)	242	240	224	204	205	173	137	99	44	12	2
Verkehr											
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2513	2513	2571	2574	2510	2349	2089	1639	1119	1008
- CO ₂ (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	166	148	119	65	18	10
- Strom (PJ/a)	48	46	46	44	44	52	82	151	244	381	375
CO ₂ (Mio. t/a)	8	8	8	7	7	7	9	11	6	0	0
Endenergie (PJ/a)	2561	2559	2559	2615	2619	2562	2431	2239	1883	1499	1382
CO₂ (Mio. t/a)	175	175	175	179	180	173	156	129	71	18	10
Alle Sektoren (wie Tab. 5c)											
- Wärme (PJ/a)*	4759	4914	4519	4281	4428	3973	3590	3260	2672	2294	2034
CO₂ (Mio. t/a)	357	350	324	309	309	260	208	158	80	27	5
- Strom (PJ/a)	1887	1897	1886	1846	1875	1863	1841	1873	1953	2065	2100
CO₂ (Mio. t/a)	330	315	326	314	311	254	194	133	45	2	1
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2513	2513	2571	2574	2510	2349	2089	1639	1119	1008
CO₂ (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	166	148	119	65	18	10
Endenergie (PJ/a)	9159	9324	8918	8698	8877	8346	7780	7222	6264	5478	5142
Gesamtes CO₂ (Mio. t/a)	854	832	817	795	792	680	550	410	190	46	16
*) nur Brennstoffe											SZEN-KLIMA17-MEFF ; 29.4.2017
Aufteilung Wärme	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
- Raumwärme (PJ/a)		2802	2378	2201	2311	2078	1857	1661	1354	1135	1001
CO₂ (Mio. t/a)	220	200	170	159	161	136	108	81	41	13	3
- Prozesswärme + WW (PJ/a)		2112	2141	2080	2116	1896	1734	1599	1318	1160	1032
CO₂ (Mio. t/a)	137	151	153	150	148	124	100	78	39	13	3
- Wärme gesamt *)	4759	4914	4519	4281	4428	3973	3590	3260	2672	2294	2034
CO₂ (Mio. t/a)	357	350	324	309	309	260	208	158	80	27	5
*) nur Brennstoffe											SZEN-KLIMA17-MEFF ; 29.4.2017

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

SZEN: KLIMA17-MEFF													
EE-Stromerzeugung, TWh/a	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wasserkraft	20,9	22,1	19,6	21,0	21,1	22,0	22,7	23,3	23,8	24,0	24,2	24,2	24,2
Wind Land	37,6	49,9	55,9	65,0	105,3	145,5	182,3	223,9	251,7	270,3	283,6	283,8	284,0
Wind Offshore	0,2	0,7	1,5	12,4	24,1	55,0	94,1	142,4	191,7	240,3	273,9	281,9	283,4
Fotovoltaik	11,7	26,4	36,1	38,2	51,5	82,7	113,0	138,4	161,7	182,7	191,5	196,5	200,5
Biogas, Klär-, Dep.gas, flüss.	18,8	27,5	31,4	34,6	36,9	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
Feste Biomasse, biog. Abfall	15,1	15,6	16,5	17,0	21,7	25,2	28,6	31,6	33,3	34,6	35,8	36,4	37,1
Geothermie	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	2,0	3,9	6,3	9,7	13,5	17,1	18,0	18,0
Gesamt in D	104,4	142,3	161,0	188,3	261,2	369,8	482,0	603,3	709,3	802,8	863,6	878,3	884,6
Saldo Europ. Verbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	17,0	48,1	89,6	131,0	162,0	163,6	163,6
Gesamt	104,4	142,3	161,0	188,3	261,2	373,0	499,0	651,4	798,9	933,9	1025,5	1041,9	1048,2
*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft									ARES-KLIMA17-MEFF: 6.4.17				

SZEN: KLIMA17-MEFF													
Installierte EE-Leistung; GWel	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wasserkraft	5,4	5,6	5,6	5,6	5,8	6,0	6,2	6,3	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6
Wind Onshore	27,0	30,7	37,6	45,4	60,2	78,6	95,9	113,3	122,8	125,7	126,0	126,1	126,2
Wind Offshore (am Netz)	0,1	0,3	1,0	4,2	7,7	15,7	25,4	36,5	47,9	58,6	66,8	68,8	69,1
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,3	41,3	55,6	85,2	116,2	142,3	165,1	185,3	193,0	198,0	202,0
feste Biomasse, biog. Abfall	3,0	3,0	3,5	3,5	4,4	4,8	5,3	5,8	6,1	6,4	6,7	6,8	7,0
gasf., flüssige Biomasse	4,0	5,4	5,7	6,0	6,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,8	1,3	1,9	2,5	3,0	3,0	3,0
Gesamt in D	57,5	78,1	91,7	106,0	139,9	197,0	256,2	311,9	356,6	391,4	408,4	415,6	420,3
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	8,8	15,8	22,4	27,1	27,3	27,3
Gesamt für D	57,5	78,1	91,7	106,0	139,9	198,6	259,4	320,6	372,4	413,7	435,5	442,9	447,6
*) Technologiemix aus Windkraft, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft													

Tabelle C11: Wärmebereitstellung mittels erneuerbaren Energien

Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien (TWh/a).							SZEN: KLIMA17-MEFF						
TWh/a	2000	2005	2010	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2060
A) aus EEG-Anlagen (KWK)	1,9	11,3	25,7	33,2	36,8	49,4	54,7	61,1	67,1	70,9	73,4	74,6	75,8
Biomasse fest	0,6	7,7	12,4	13,8	15,1	25,4	30,2	36,6	42,6	46,4	48,9	50,2	51,3
Biogas, Deponie-, Klärgas, Flüssige Biomasse	1,4	3,7	13,3	19,5	21,7	24,0	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
B) weitere Biomassen	44,4	85,6	99,9	96,9	111,3	99,5	100,6	99,6	95,9	94,1	90,6	87,2	83,8
Heizwerke, feste Biomasse	2,0	6,8	20,5	20,0	24,6	25,8	27,5	27,6	25,2	25,6	25,6	25,6	25,6
Einzelheizungen, fest	38,9	71,7	72,2	65,5	74,8	61,7	61,1	60,0	58,7	56,4	53,0	49,6	46,2
Biogener Abfall (KWK)	3,5	7,2	7,3	11,4	11,8	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Biowärme gesamt	46,4	97,0	125,6	130,1	148,1	148,9	155,3	160,7	163,0	165,0	164,1	161,9	159,6
davon KWK-Wärme	5,5	18,5	33,0	44,6	48,6	61,4	66,7	73,1	79,1	82,9	85,4	86,6	87,8
feste Biomasse, gesamt	41,5	86,1	105,1	99,3	114,5	112,9	118,8	124,2	126,5	128,5	127,6	125,4	123,1
Solarkollektoren	1,3	3,0	5,6	7,3	7,8	11,1	21,9	34,4	50,8	69,0	83,1	97,4	112,8
Einzelanlagen	1,2	3,0	5,6	7,2	7,7	10,9	20,7	31,3	44,6	57,3	64,5	71,1	77,0
Nahwärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,1	3,1	6,2	11,7	18,6	26,4	35,9
Umweltwärme/Geothermie	1,8	2,8	6,9	10,6	12,3	18,8	35,0	50,1	68,2	88,7	105,9	123,5	142,6
Hydrothermal, tiefe Geotherm.	0,1	0,5	0,7	1,0	1,1	2,0	6,7	11,8	19,1	28,6	36,3	43,1	47,6
Wärmepumpen	1,7	2,3	6,2	9,7	11,2	16,9	28,3	38,2	49,1	60,1	69,6	80,4	95,0
KWK aus EE-Wasserstoff	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,4	40,8	61,2	88,7	116,2	122,6
EE-Wärme gesamt	49,4	102,8	138,1	148,1	168,2	178,8	212,2	265,6	322,8	383,8	441,8	499,0	537,6

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

		Jährliche Brutto-Leistungsinstallation; MW/a				SZEN: KLIMA17-MEFF			
		STROM (MWe/a)						Strom	
		Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	Stromimport E (oh. biog. Mü)	Biomasse	gesamt MWe/a
	2000	0	1662	0	44	0	0	108	1814
	2001	19	2641	0	120	0	0	127	2907
	2002	126	3238	0	150	0	0	201	3715
	2003	35	2617	0	180	0	0	400	3232
	2004	252	2019	0	512	0	0	241	3024
	2005	44	1763	0	980	0	0	480	3267
	2006	2	2193	0	1020	0	0	657	3872
	2007	0	1615	0	1271	2	0	436	3324
	2008	9	1632	10	1813	0	0	337	3801
	2009	196	1817	25	4446	3	0	737	7224
	2010	86	1380	45	7338	0	0	924	9773
	2011	237	1870	108	7485	0	0	652	10352
	2012	2	1973	80	7604	13	0	722	10394
	2013	2	2410	354	3304	16	0	514	6600
	2014	9	4943	372	2006	0	0	111	7441
	2015	29	4016	2303	1456	0	0	75	7879
	2016	28	4250	853	1477	5	0	163	6776
	2017	45	4100	850	2500	8	0	329	7832
	2018	55	4000	850	3200	12	0	271	8388
	2019	62	4200	850	3800	16	0	272	9200
	2020	70	4250	1000	4800	20	0	292	10432
	2025	68	5125	1600	6000	60	125	295	13292
	2030	65	6000	2000	7000	80	525	483	16153
	2035	61	6000	2400	7200	100	1100	579	17439
	2040	56	6000	3000	7700	140	1400	493	18789
	2045	49	6000	3400	8200	180	1450	568	19846
	2050	41	6000	3400	8500	180	1465	487	20073
	2055	38	5900	2550	8000	100	1150	390	18128
	2060	35	5900	2410	8000	140	1400	467	18352

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

		Jährlicher Leistungszuwachs (netto); MW/a						SZEN: KLIMA17-MEFF	
	S T R O M (MWel/a)							Strom gesamt MWel/a	
	Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	Stromimport E	Biomasse (oh. biog. Mü)		
2000	0	1662	0	44	0	0	108	1814	
2001	0	2641	0	120	0	0	127	2888	
2002	107	3238	0	150	0	0	201	3696	
2003	16	2617	0	180	0	0	400	3213	
2004	233	2019	0	512	0	0	241	3004	
2005	25	1763	0	980	0	0	480	3248	
2006	-17	2193	0	1020	0	0	657	3853	
2007	-19	1615	0	1271	2	0	436	3304	
2008	-10	1632	10	1813	0	0	337	3782	
2009	177	1817	25	4446	3	0	737	7205	
2010	67	1380	45	7338	0	0	924	9753	
2011	218	1845	108	7485	0	0	652	10307	
2012	-17	1854	80	7604	13	0	722	10255	
2013	-17	2258	354	3304	16	0	514	6429	
2014	-10	4651	372	2006	0	0	111	7130	
2015	10	3624	2303	1456	0	0	75	7467	
2016	9	4139	853	1476	5	0	163	6646	
2017	26	3886	850	2496	8	0	329	7595	
2018	36	3651	850	3197	12	0	271	8017	
2019	43	3795	850	3797	16	0	251	8752	
2020	51	3462	1000	4794	20	0	264	9590	
2025	48	3689	1600	5927	60	325	99	11748	
2030	45	3460	1946	6207	79	325	106	12168	
2035	35	3485	2217	5214	94	1100	100	12245	
2040	29	1887	2284	4557	128	1400	63	10347	
2045	20	590	2135	4043	120	1325	53	8286	
2050	10	60	1640	1540	100	940	52	4342	
2055	5	20	390	1000	0	50	35	1501	
2060	1	20	70	800	0	0	37	928	

D) Szenario KLIMA-17 HEFF

Tabelle D 1: Eckdaten, insbesondere Beiträge der Erneuerbaren Energien

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Primärenergie, PJ/a	14232	13446	13180	13293	12102	10489	9396	7801	6630	6320
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1413	1385	1519	1644	2082	2611	3174	4296	4943	5212
Anteil EE an PEV, %	9,9	10,3	11,5	12,4	17,2	24,9	33,8	55,1	74,6	82,5
Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, %	10,7	11,2	12,4	13,4	18,7	27,4	37,6	62,8	86,9	96,7
Endenergie, PJ/a	9324	8918	8698	8877	8158	7461	6809	5619	4694	4356
Endenergie EE, PJ/a	996	1183	1230	1355	1684	2149	2597	3501	3996	4187
Anteil EE an EEV, %	10,7	13,3	14,1	15,3	20,6	28,8	38,1	62,3	85,1	96,1
Anteil EE an BEEV, %; 2)	10,5	12,9	13,7	14,8	20,0	28,0	37,0	60,5	82,7	93,3
Strom Endenergie, PJ/a	1897	1884	1845	1874	1852	1827	1807	1879	2014	2044
Strom Endenergie EE, PJ/a	377	513	581	674	907	1173	1344	1701	1962	2030
Anteil EE, %	19,8	27,2	31,5	36,0	49,0	64,2	74,4	90,5	97,4	99,3
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4914	4519	4282	4428	3849	3374	3042	2302	1752	1542
Wärme Endenergie EE, PJ/a	497	546	532	572	645	766	918	1227	1387	1456
Anteil EE, %	10,1	12,1	12,4	12,9	16,8	22,7	30,2	53,3	79,2	94,4
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2513	2515	2571	2574	2457	2260	1960	1439	928	771
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	124	117	108	132	210	336	573	646	700
Anteil EE, %	4,9	4,9	4,6	4,2	5,4	9,3	17,2	39,8	69,7	90,9
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	615	607	592	595	599	613	660	806	901	970
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	105	142	161	187	261	361	470	710	866	950
Anteil EE, %	17,0	23,5	27,3	31,5	43,6	58,9	71,2	88,1	96,1	98,0
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,5	27,3	31,5	43,6	58,4	69,1	81,1	85,4	85,8
Primärenergie, PJ/a	14232	13446	13180	13293	12102	10489	9396	7801	6630	6320
Erneuerbare Energien	1413	1385	1519	1644	2082	2611	3174	4296	4943	5212
Mineralöl	4699	4526	4493	4470	3889	3387	2803	1744	1108	879
Kohlen; 7)	3416	3529	3435	3365	2551	1892	1083	317	61	57
Erdgas	3171	2920	2674	2812	2860	2599	2336	1444	518	171
Fossile Energien gesamt	11286	10975	10601	10647	9300	7878	6222	3505	1687	1108
- davon für energetische Zwecke	10252	9999	9611	9680	8330	6913	5267	2560	757	188
Kernenergie	1533	1085	1059	1001	720	0	0	0	0	0
CO₂-Emissionen, Mio. t CO₂/a	850	817	795	792	666	531	382	171	45	9
Verringerung seit 1990, %; 8)	19,0	22,2	24,3	24,5	36,5	49,5	63,6	83,7	95,7	99,2
durch EE vermiedene CO ₂ -Emissionen, Mio. t CO ₂ /a	119	129	138	156	208	268	327	411	439	456
THG-Emissionen, Mio. t CO_{2äq}/a,	960	927	904	902	768	621	453	219	69	24
Verringerung seit 1990, %	23,3	26,0	27,8	27,9	38,6	50,4	63,8	82,5	94,5	98,1
1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch							SZEN KLIMA17-HEFF ; 2.5.17			
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 CO ₂ /a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse)						9) 1990 = 1252 Mio. t CO ₂ eq/a				

Tabelle D 2: Primärenergieeinsatz von Erdgas, Kohlen und Mineralöl

Erdgaseinsatz, PJ/a	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kond. Kraftwerke	335	98	145	137	146	145	144	76	9	4	0
Kraft-Wärme-Kopplung	778	664	686	714	649	501	354	250	146	73	0
Raumheizung, WW	1240	1130	1050	800	640	425	209	105	0	0	0
Prozesswärme	700	750	730	700	670	606	541	366	191	107	23
Kraftstoffe	25	30	35	40	40	40	40	40	40	40	40
NE-Verwendung	62	68	97	97	96	95	95	94	93	93	92
Verluste	31	72	117	111	96	79	61	50	39	28	16
Primärenergieeinsatz	3171	2812	2860	2599	2336	1890	1444	981	518	345	171
EE-Wasserstoff	0	0	12	63	207	387	567	658	748	832	915
Erdgas + Wasserstoff	3171	2812	2872	2662	2543	2277	2011	1639	1267	1176	1086
Kohleeinsatz, PJ/a (Braun- und Steinkohle)	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kond. Kraftwerke	2422	2551	1943	1413	816	511	206	103	0	0	0
KWK (einschl. Müll-HKW)	375	354	312	249	148	124	100	79	59	57	56
Prozess-, Raumwärme	460	395	250	140	50	25	0	0	0	0	0
Verluste	159	65	46	90	69	40	11	6	2	2	2
Primärenergieeinsatz	3416	3365	2551	1892	1083	700	317	189	61	59	57
Mineralöleinsatz, PJ/a	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kraftwerke	49	27	21	9	0	0	0	0	0	0	0
Raum-, Prozesswärme	1208	903	531	360	246	123	0	0	0	0	0
Kraftstoffe	2365	2436	2290	2011	1583	1205	826	534	241	136	30
NE-Verwendung	879	870	873	869	860	855	851	844	837	833	828
Verluste	197	234	174	138	114	90	67	49	30	26	21
Primärenergieeinsatz	4699	4470	3889	3387	2803	2273	1744	1426	1108	994	879

SZEN KLIMA17-HEFF ; 2.5.17

Tabelle D3: Struktur des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern und Verbrauchssektoren

SZEN KLIMA17-HEFF ; 2.5.17										
Primärenergie, (PJ/a)	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Kernenergie	1851	1779	1533	1001	720	0	0	0	0	0
Kohlen, Sonstige	3649	3594	3416	3365	2551	1892	1083	317	61	57
Mineralöl	5499	5166	4699	4470	3889	3387	2803	1744	1108	879
Erdgas	2985	3250	3171	2812	2860	2599	2336	1444	518	171
Biomasse, biog. Abfall	294	575	1114	1059	1212	1301	1388	1484	1488	1488
Wasser, Erdwärme	84	81	101	114	159	245	329	497	625	628
Windenergie	34	98	136	305	481	707	945	1475	1790	1931
Solarstrahlung	5	16	62	166	230	358	512	840	1040	1165
Gesamt	14401	14558	14232	13293	12102	10489	9396	7801	6630	6320
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Private Haushalte	2584	2591	2690	2289	2071	1897	1733	1386	1177	1082
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	1478	1437	1483	1393	1223	1029	930	794	681	634
Industrie	2421	2514	2592	2576	2355	2195	2053	1768	1543	1489
Verkehr	2751	2585	2559	2619	2509	2340	2093	1671	1293	1152
NE-Verbrauch	1068	1114	1034	967	970	965	955	945	930	920
Umwandl. Strom	3319	3527	3232	2804	2260	1366	922	477	206	161
Umwandl. Übrige	780	790	643	645	713	697	710	760	801	882
Gesamt	14401	14558	14232	13293	12102	10489	9396	7801	6630	6320
davon Endenergie	9234	9127	9324	8877	8158	7461	6809	5619	4694	4356

SZEN KLIMA17-HEFF ; 2.5.17

Tabelle D 4: Eckdaten der Stromversorgung; Erzeugung und Leistung, CO₂-Emissionen

	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Stromerzeugung, TWh/a										
Kernenergie	141	100	97	92	67	0	0	0	0	0
Steinkohle, Müll, Pumpsp.	144	143	143	151	125	110	79	45	20	20
Braunkohle	146	161	156	155	118	78	37	0	0	0
Erdgas, Öl, übr. Gase	98	85	70	62	71	75	75	52	16	0
Windenergie	38	51	57	79	129	191	254	382	456	492
Fotovoltaik	12	26	36	39	51	79	105	147	167	181
Biomasse, Wasser, Erdwärme	55	65	68	69	80	86	92	104	114	116
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	1	5	21	32	42
Saldo EE-Stromimport	0	0	0	0	0	3	14	57	97	119
Bruttostromerzeugung*)	633	630	628	647	641	623	660	806	901	970
Bruttostromverbrauch*)	615	607	592	595	599	613	660	806	901	970
Endenergie Strom	527	523	513	521	514	507	502	522	559	568
Installierte Leistung, GW										
Kernenergie	21,5	12,7	12,7	11,4	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, sonst.	35,3	35,0	33,7	33,0	27,5	24,7	18,8	10,5	4,0	4,0
Braunkohle	25,0	24,7	23,4	23,3	17,9	11,8	6,2	0,0	0,0	0,0
Erdgas, Öl,	29,7	32,0	30,3	29,0	29,7	34,3	33,6	25,1	11,5	0,0
Windenergie	27,2	31,3	39,2	44,5	68,2	91,2	113,2	150,5	163,3	172,2
Fotovoltaik	17,6	32,6	37,9	39,8	54,6	81,2	107,2	149,6	168,0	182,0
Biomasse, Wasser, Geoth.	11,0	12,5	13,3	13,4	14,4	16,3	18,6	22,3	25,1	25,5
EE-Wasserstoff						0,3	2,3	10,1	23,1	30,8
Speicher	6,5	6,5	6,2	6,2	7,0	9,0	11,0	12,0	14,0	14,0
EE-Importsaldo**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,1	10,4	16,0	19,5
Gesamte Bruttoleistung	174	187	197	201	228	270	314	391	425	448
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	71	87	94	101	133	180	227	301	333	356
Gesicherte Leistung, brutto	103	100	103	100	95	90	87	89	92	92
Bruttohöchstlast	84	84	82	83	80	75	72	74	77	77
Als Reserve verbleibend	19	16	20	17	15	15	15	15	15	15
CO2-Emissionen (Mio. t/a)	315	326	314	311	254	195	127	47	7	2
A) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,813	0,840	0,852	0,846	0,809	0,742	0,668	0,490	0,203	0,085
B) CO2-Faktoren, kg/kWh el	0,498	0,517	0,501	0,481	0,396	0,313	0,193	0,059	0,008	0,002
*) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe; einschl. EE-Stromimport										
**) 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										
SZEN KLIMA17-HEFF; 2.5.17										

Tabelle D 5: Eckdaten und Struktur der Wärmeversorgung

Struktur der Wärmeversorgung, (PJ/a)						SZEN: KLIMA17 - HEFF					
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Solkollektoren	16	20	24	26	28	39	72	110	201	237	242
Umweltw., Geotherm.	17	25	31	38	41	70	125	179	294	352	356
Biomasse	339	452	491	468	503	536	559	578	590	579	569
Wasserstoff (KWK, Ind.)	0	0	0	0	0	0	10	51	142	219	289
Fern- +Nahwärme, fos.	424	443	443	425	422	427	417	383	277	146	72
Industr. KWK, fossil	266	286	271	257	256	216	191	137	47	28	11
Gase; direkt	1950	2020	1970	1920	1880	1780	1500	1310	750	191	3
Kohlen; direkt	450	460	432	425	395	250	140	50	0	0	0
Heizöl; direkt	1297	1208	857	723	903	531	360	246	0	0	0
Stromwärme*)	512	515	508	483	491	479	458	450	462	486	518
Gesamte Wärme	5271	5429	5028	4766	4919	4328	3832	3492	2763	2238	2060
2008 = 100	100	103,0	95,4	90,4	93,3	82,1	72,7	66,3	52,4	42,5	39,1
- davon aus EE-Quellen (einschl. Stromanteil)	447	583	650	666	716	842	1035	1243	1640	1861	1971
Anteil EE (%)	8,5	10,7	12,9	14,0	14,5	19,5	27,0	35,6	59,4	83,1	95,7
Gesamte Wärme ohne Stromwärme	4759	4914	4519	4282	4428	3849	3374	3042	2302	1752	1542
- davon EE	372	497	546	532	572	645	766	918	1227	1387	1456
Anteil EE (%)	7,8	10,1	12,1	12,4	12,9	16,8	22,7	30,2	53,3	79,2	94,4
KWK-Wärme (fossil, Biomasse, Geoth.)	699	758	750	746	749	751	756	728	666	593	542
Anteil an ges. Wärme, (%)	13,3	14,0	14,9	15,6	15,2	17,3	19,7	20,8	24,1	26,5	26,3
*) Summe aller Einsatzarten von Strom zur Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebereitstellung SZEN KLIMA17-HEFF; 2.5.17											
Netze Stromwärme; PJ/a					0	2	10	23	43	68	100
Netze fossil; PJ/a	424	443	443	425	422	427	417	383	277	146	72
Netze EE; PJ/a	120	164	178	194	217	274	343	434	585	688	735
Netze Summe	544	607	621	619	639	703	770	840	905	902	907
Netze Anteil (%)	10,3	11,2	12,4	13,0	13,0	16,3	20,1	24,1	32,8	40,3	44,0

Tabelle D 6: Stromverwendung im Wärmesektor

Strom für Wärmezwecke (TWh/a)						SZEN: KLIMA17 - HEFF					
	2008	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060		
"konvent." Raumheizung	30,9	35,3	28,5	24	17	12	6	0	0		
Warmwasser	21,3	26,8	24,4	23	22	21	19	18	16		
"konvent." Prozesswärme	88,0	78,2	78,6	72	65	56	47	40	33		
Wärmepumpen	2,1	2,9	4,7	7	12	16	23	26	26		
Wärmenetze	0	0	0	1	3	7	12	19	28		
"neue" Prozesswärme (Ind)	0,0	0,0	0,0	6	8	14	21	32	41		
Ges. Stromwärme	142,3	143,2	136,3	133	127	125	128	135	144		
"konventionelle " Wärme	140,2	140,3	131,6	119	104	89	72	58	49		
"neue" Wärme	2,1	2,9	4,7	14	23	36	56	77	95		
Anteil an ges. Stromverbr. (%)	27,1	27,2	26,2	25,9	25,1	24,9	24,6	24,1	25,3		
davon aus EE-Quellen (TWh/a)	20,9	23,9	39,9	55	75	90	115	132	143		
davon aus EE-Quellen (PJ/a)	75	86	143	197	269	325	413	474	515		
SZEN KLIMA17-HEFF : 2.5.17											

Tabelle D 7: Energieeinsatz im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsmitteln

Energieeinsatz im Verkehr; PJ/a						SZEN: KLIMA17 - HEFF					
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Benzin	885	829	800	805	819	773	667	475	202	25	0
Diesel	1178	1211	1225	1261	1243	1125	962	789	425	124	11
Kerosin	313	326	341	359	375	391	381	319	199	92	20
Biokraftstoffe	128	122	124	117	108	120	160	200	240	260	260
Erdgas	20	25	25	30	30	35	40	40	40	40	40
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	12	50	136	333	386	440
Elektrizität	48	46	44	44	44	52	80	133	233	365	381
Endenergie gesamt	2571	2559	2560	2615	2619	2509	2340	2093	1671	1293	1152
Personenverkehr	1840	1868	1864	1891	1895	1792	1615	1386	1057	788	691
Güterverkehr	731	691	696	724	724	717	725	706	614	505	461
PKW	1502	1517	1503	1514	1511	1395	1202	979	700	473	397
LKW	648	612	611	638	632	621	621	599	513	411	370
Busse	35	34	34	34	35	33	33	33	34	37	39
Bahn	61	59	59	59	56	59	60	61	55	53	55
Schiff	12	12	11	11	10	10	11	13	13	12	12
Flugzeug	313	326	341	359	375	391	415	409	356	306	279

SZEN KLIMA17-HEFF ; 2.5.17

Tabelle D 8: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen im Personen- und Güterverkehr

Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen im Verkehr						SZEN: KLIMA17 - HEFF					
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Personenverkehr											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	1707	1737	1734	1764	1775	1655	1426	1098	582	186	55
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	108	106	104	102	94	105	133	190	314	362	382
- CO ₂ (Mio. t/a)	119	121	121	123	124	116	99	76	40	13	3
- Strom (PJ/a)	26	25	25	26	26	32	56	98	161	239	254
CO ₂ (Mio. t/a)	5	4	4	4	4	4	6	7	4	1	0
Endenergie (PJ/a)	1840	1868	1864	1891	1895	1792	1615	1386	1057	788	691
CO₂ (Mio. t/a)**)	124	126	125	128	128	120	105	83	44	14	4
Güterverkehr											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	689	654	657	690	691	670	625	525	284	95	15
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	20	16	20	15	14	27	76	146	258	284	319
- CO ₂ (Mio. t/a)	48	46	46	48	48	47	44	37	20	6	1
- Strom (PJ/a)	23	21	19	18	19	20	24	35	72	126	127
CO ₂ (Mio. t/a)	4	3	3	3	3	3	3	2	2	0	0
Endenergie (PJ/a)	731	691	696	724	724	717	725	706	614	505	461
CO₂ (Mio. t/a)**)	52	49	49	51	51	49	46	39	22	7	1
Verkehr gesamt											
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)	2395	2390	2391	2454	2466	2325	2051	1623	866	281	70
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***)	128	122	124	117	108	132	210	336	573	646	700
- CO ₂ (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	162	143	113	60	19	4
- Strom (PJ/a)	48	46	44	44	44	52	80	133	233	365	381
- CO ₂ (Mio. t/a)	9	8	8	8	7	7	9	9	6	1	0
Endenergie (PJ/a)	2571	2559	2560	2615	2619	2509	2340	2093	1671	1293	1152
CO₂ (Mio. t/a)**)	176	175	175	179	180	169	152	122	66	20	5
EE-Endenergie (einschl. Stromanteil)	135	130	134	129	122	158	271	456	800	1010	1081
Anteil EE , % (einschl. Strom)	5,2	5,1	5,2	4,9	4,7	6,3	11,6	21,8	47,9	78,2	93,9

***) einschließlich Stromanteil

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2025

SZEN KLIMA17-HEFF ; 2.5.17

Tabelle D 9: Endenergie, CO₂-Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten

Energie, CO ₂ -Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten											
SZEN: KLIMA17 - HEFF											
	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Industrie											
- Wärme (PJ/a)*	1738	1780	1774	1725	1759	1549	1413	1304	1025	787	733
- CO ₂ (Mio. t/a)	130	133	127	125	123	101	81	61	28	8	1
- Strom (PJ/a)**	849	812	813	820	817	806	782	749	743	756	756
- CO ₂ (Mio. t/a)	149	135	141	140	136	110	83	53	19	3	1
Endenergie (PJ/a)	2587	2592	2587	2545	2576	2355	2195	2053	1768	1543	1489
CO₂ (Mio. t/a)	279	268	268	264	258	211	164	114	47	11	2
GHD											
- Wärme (PJ/a)*	955	954	812	836	856	694	514	433	308	199	144
- CO ₂ (Mio. t/a)	72	72	58	60	60	45	29	20	9	2	0
- Strom (PJ/a)	488	529	533	514	537	529	515	497	486	482	490
CO ₂ (Mio. t/a)	85	88	92	88	89	72	55	35	12	2	0
Endenergie (PJ/a)	1443	1483	1345	1350	1393	1223	1029	930	794	681	634
CO₂ (Mio. t/a)	157	159	150	148	149	118	84	55	21	4	1
Haushalte											
- Wärme (PJ/a)*	2056	2180	1934	1721	1814	1607	1447	1305	968	767	664
- CO ₂ (Mio. t/a)	154	163	139	124	127	105	83	61	27	8	1
- Strom (PJ/a)	502	510	493	467	475	464	450	428	418	410	418
CO ₂ (Mio. t/a)	88	85	85	80	79	64	48	30	11	1	0
Endenergie (PJ/a)	2558	2690	2427	2188	2289	2071	1897	1733	1386	1177	1082
CO₂ (Mio. t/a)	242	248	224	204	205	168	131	91	37	10	2
Verkehr											
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2513	2513	2571	2574	2457	2260	1960	1439	928	771
- CO ₂ (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	162	143	113	60	19	4
- Strom (PJ/a)	48	46	46	44	44	52	80	133	233	365	381
CO ₂ (Mio. t/a)	8	8	8	8	7	7	9	9	6	1	0
Endenergie (PJ/a)	2561	2559	2559	2615	2619	2509	2340	2093	1671	1293	1152
CO₂ (Mio. t/a)	175	175	175	179	180	169	152	122	66	20	5
Alle Sektoren (wie Tab. 5c)											
- Wärme (PJ/a)*	4759	4914	4519	4282	4428	3849	3374	3042	2302	1752	1542
CO₂ (Mio. t/a)	357	368	324	309	309	251	193	142	64	18	3
- Strom (PJ/a)	1887	1897	1886	1845	1874	1852	1827	1807	1879	2014	2044
CO₂ (Mio. t/a)	330	315	326	314	311	254	195	127	47	7	2
- Kraftstoffe (PJ/a)	2513	2513	2513	2571	2574	2457	2260	1960	1439	928	771
CO₂ (Mio. t/a)	167	167	167	171	172	162	143	113	60	19	4
Endenergie (PJ/a)	9159	9324	8918	8698	8877	8158	7461	6809	5619	4694	4356
Gesamtes CO₂ (Mio. t/a)	854	850	817	795	792	666	531	382	171	45	9
*) nur Brennstoffe; einschl. Mineralöl in Spalte "stationäre Kraft"											
											SZEN KLIMA17-HEFF ; 2.5.17
Aufteilung Wärme	2008	2010	2012	2014	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060
- Raumwärme + WW (PJ/a)		3128	2760	2524	2634	2321	2022	1794	1340	1021	872
CO₂ (Mio. t/a)	220	235	198	182	184	151	115	84	37	11	2
- Prozeßwärme (PJ/a)		1786	1759	1758	1794	1528	1352	1249	961	731	670
CO₂ (Mio. t/a)	137	134	126	127	125	99	77	58	27	8	1
- Wärme gesamt *)	4759	4914	4519	4282	4428	3849	3374	3042	2302	1752	1542
CO₂ (Mio. t/a)	357	368	324	309	309	251	193	142	64	18	3
											SZEN KLIMA17-HEFF ; 2.5.17

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

EE-Stromerzeugung, TWh/a	SZEN: KLIMA17-HEFF													
	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	
Wasserkraft	20,9	22,1	19,6	21,0	21,1	22,0	22,7	23,3	23,8	24,0	24,2	24,2	24,2	
Wind Land	37,6	49,9	55,9	65,0	105,3	139,9	170,9	207,1	229,1	246,5	259,7	259,9	259,9	
Wind Offshore	0,2	0,7	1,5	12,4	24,0	51,3	82,8	118,8	152,5	178,4	196,2	213,0	232,4	
Fotovoltaik	11,7	26,4	36,1	38,2	51,1	79,3	104,7	127,3	147,0	162,4	166,7	174,2	180,6	
Biogas, Klär-, Dep.gas, flüss. I	18,8	27,5	31,4	34,6	36,9	37,1	37,2	37,2	37,2	37,2	37,2	37,2	37,2	
Feste Biomasse, biog. Abfall	15,1	15,6	16,5	17,0	21,7	25,2	28,6	31,5	33,1	34,4	35,6	36,2	36,9	
Geothermie	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	2,0	3,9	6,3	9,7	13,5	17,1	18,0	18,0	
Gesamt in D	104,4	142,3	161,0	188,3	260,6	356,8	450,8	551,4	632,4	696,2	736,7	762,7	789,2	
Saldo Europ. Verbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	13,9	32,7	56,6	79,7	96,5	107,4	118,8	
Gesamt	104,4	142,3	161,0	188,3	260,6	360,0	464,7	584,1	689,0	776,0	833,2	870,1	908,0	

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

ARES-KLIMA17-HEFF; 6.4.17

Installierte EE-Leistung; GWel	SZEN: KLIMA17-HEFF													
	2010	2012	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	
Wasserkraft	5,4	5,6	5,6	5,6	5,8	6,0	6,2	6,3	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6	
Wind Onshore	27,0	30,7	37,6	45,4	60,2	75,6	89,9	104,8	111,8	114,6	115,4	115,5	115,5	
Wind Offshore (am Netz)	0,1	0,3	1,0	4,2	7,7	14,7	22,4	30,5	38,1	43,5	47,9	52,0	56,7	
Fotovoltaik	17,9	33,0	38,3	41,3	55,1	81,7	107,7	130,8	150,1	164,7	168,0	175,5	182,0	
feste Biomasse, biog. Abfall	3,0	3,0	3,5	3,5	4,4	4,8	5,3	5,8	6,1	6,4	6,6	6,8	7,0	
gasf., flüssige Biomasse	4,0	5,4	5,7	6,0	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,8	1,3	1,9	2,5	3,0	3,0	3,0	
Gesamt in D	57,5	78,1	91,7	106,0	139,3	189,4	238,6	285,8	320,7	344,5	353,7	365,6	377,0	
Saldo Europ. Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	2,6	5,9	9,9	13,5	16,0	17,8	19,5	
Gesamt für D	57,5	78,1	91,7	106,0	139,3	190,7	241,2	291,6	330,6	358,0	369,7	383,4	396,5	

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

Tabelle D11: Wärmebereitstellung mittels erneuerbaren Energien (ohne EE-Stromwärme)

Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien (TWh/a).						SZEN: KLIMA17-HEFF							
TWh/a	2000	2005	2010	2014	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2060
A) aus EEG-Anlagen (KWK)	1,9	11,3	25,7	33,2	36,8	49,4	54,4	60,9	66,7	70,3	72,8	74,0	75,2
Biomasse fest	0,6	7,7	12,4	13,8	15,1	25,4	30,2	36,6	42,4	46,1	48,6	49,8	50,9
Biogas, Deponie-, Klärgas, Flüssige Biomasse	1,4	3,7	13,3	19,5	21,0	24,0	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2
B) weitere Biomassen	53,0	85,6	99,9	96,9	111,3	99,5	100,6	99,6	95,6	93,5	90,1	86,7	83,3
Heizwerke, feste Biomasse	2,0	6,8	20,5	20,0	24,6	25,8	27,5	27,6	25,1	25,5	25,5	25,5	25,5
Einzelheizungen, fest	47,5	71,7	72,2	65,5	74,8	61,7	61,1	60,0	58,5	56,0	52,6	49,2	45,8
Biogener Abfall (KWK)	3,5	7,2	7,3	11,4	11,8	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Biowärme gesamt	55,0	97,0	125,6	130,1	148,1	148,9	155,0	160,4	162,3	163,8	162,9	160,7	158,5
davon KWK-Wärme	5,5	18,5	33,0	44,6	48,6	61,4	66,4	72,9	78,7	82,3	84,8	86,0	87,2
feste Biomasse, gesamt	50,1	86,1	105,1	99,3	114,5	112,9	118,8	124,2	126,0	127,5	126,6	124,5	122,2
Solarkollektoren	1,3	3,0	5,6	7,3	7,8	10,9	19,9	30,4	43,8	55,8	62,2	65,8	67,1
Einzelanlagen	1,2	3,0	5,6	7,2	7,7	10,8	19,1	28,4	39,6	49,4	53,8	55,8	56,3
Nahwärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	2,1	4,1	6,4	8,4	10,0	10,8
Umweltwärme/Geothermie	1,8	2,8	6,9	10,6	12,3	19,0	34,7	49,8	66,0	81,6	91,4	97,8	98,9
Hydrothermal, tiefe Geotherm.	0,1	0,5	0,7	1,0	1,1	2,0	6,4	11,5	17,5	23,9	27,9	29,6	29,1
Wärmepumpen	1,7	2,3	6,2	9,7	11,2	17,0	28,3	38,3	48,5	57,7	63,5	68,1	69,7
KWK aus EE-Wasserstoff	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	26,8	39,5	50,2	60,9	80,4
EE-Wärme gesamt	58,0	102,8	138,1	148,1	168,2	178,8	209,6	254,8	298,9	340,7	366,6	385,2	404,8

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

		Jährliche Brutto-Leistungsinstallation; MW/a				SZEN: KLIMA17-HEFF			
		STROM (MWel/a)						Strom gesamt MWel/a	
	Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	romimport E	Biomasse (oh. biog. Mü)		
2000	0	1662	0	44	0	0	108	1814	
2001	19	2641	0	120	0	0	127	2907	
2002	126	3238	0	150	0	0	201	3715	
2003	35	2617	0	180	0	0	400	3232	
2004	252	2019	0	512	0	0	258	3041	
2005	44	1763	0	980	0	0	666	3453	
2006	2	2193	0	1020	0	0	656	3871	
2007	0	1615	0	1271	2	0	384	3272	
2008	9	1632	10	1813	0	0	291	3755	
2009	196	1817	25	4446	3	0	1189	7676	
2010	86	1380	45	7338	0	0	636	9485	
2011	237	1870	108	7485	0	0	651	10351	
2012	2	1973	80	7604	13	0	845	10517	
2013	2	2410	354	3304	16	0	182	6268	
2014	9	4943	372	2006	0	0	5	7335	
2015	29	4016	2303	1456	0	0	107	7911	
2016	28	4250	853	1477	5	0	213	6826	
2017	45	4100	850	2400	8	0	284	7687	
2018	55	4000	850	3000	12	0	223	8140	
2019	62	4200	850	3700	16	0	298	9126	
2020	70	4250	950	4700	20	0	254	10244	
2025	68	4825	1400	5400	60	125	324	12127	
2030	65	5400	1600	6000	80	400	465	14010	
2035	61	5500	1800	6600	100	650	609	15319	
2040	56	5500	2250	7000	140	800	434	16180	
2045	49	5500	2250	7000	180	850	584	16413	
2050	41	5500	2350	7000	180	900	503	16474	
2055	38	5500	2500	7500	100	1000	375	17013	
2060	35	5500	2700	7900	140	1150	478	17903	

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

		Jährlicher Leistungszuwachs (netto); MW/a					SZEN: KLIMA17-HEFF			
		S T R O M (MWel/a)							Strom	
		Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	romimport E	Biomasse (oh. biog. Mü	gesamt MWel/a	
	2000	0	1662	0	44	0	0	108	1814	
	2001	0	2641	0	120	0	0	127	2888	
	2002	107	3238	0	150	0	0	201	3696	
	2003	16	2617	0	180	0	0	400	3212	
	2004	233	2019	0	512	0	0	258	3021	
	2005	25	1763	0	980	0	0	666	3434	
	2006	-17	2193	0	1020	0	0	656	3852	
	2007	-19	1615	0	1271	2	0	384	3253	
	2008	-10	1632	10	1813	0	0	291	3736	
	2009	177	1817	25	4446	3	0	1189	7656	
	2010	67	1380	45	7338	0	0	636	9466	
	2011	218	1845	108	7485	0	0	651	10307	
	2012	-17	1854	80	7604	13	0	845	10379	
	2013	-17	2258	354	3304	16	0	182	6097	
	2014	-10	4651	372	2006	0	0	5	7024	
	2015	10	3624	2303	1456	0	0	107	7500	
	2016	9	4139	853	1476	5	0	213	6695	
	2017	26	3886	850	2396	8	0	284	7450	
	2018	36	3651	850	2997	12	0	223	7769	
	2019	43	3795	850	3697	16	0	277	8677	
	2020	51	3462	950	4694	20	0	226	9403	
	2025	48	3089	1400	5327	60	263	88	10274	
	2030	45	2860	1546	5207	79	263	108	10107	
	2035	35	2985	1617	4614	94	650	97	10093	
	2040	29	1387	1534	3857	128	800	60	7794	
	2045	20	570	1075	2923	120	725	53	5485	
	2050	10	160	870	660	100	500	52	2351	
	2055	5	20	820	1500	0	350	35	2731	
	2060	1	0	945	1300	0	350	36	2632	

E) Vergleich der Szenarien TREND-17; KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF

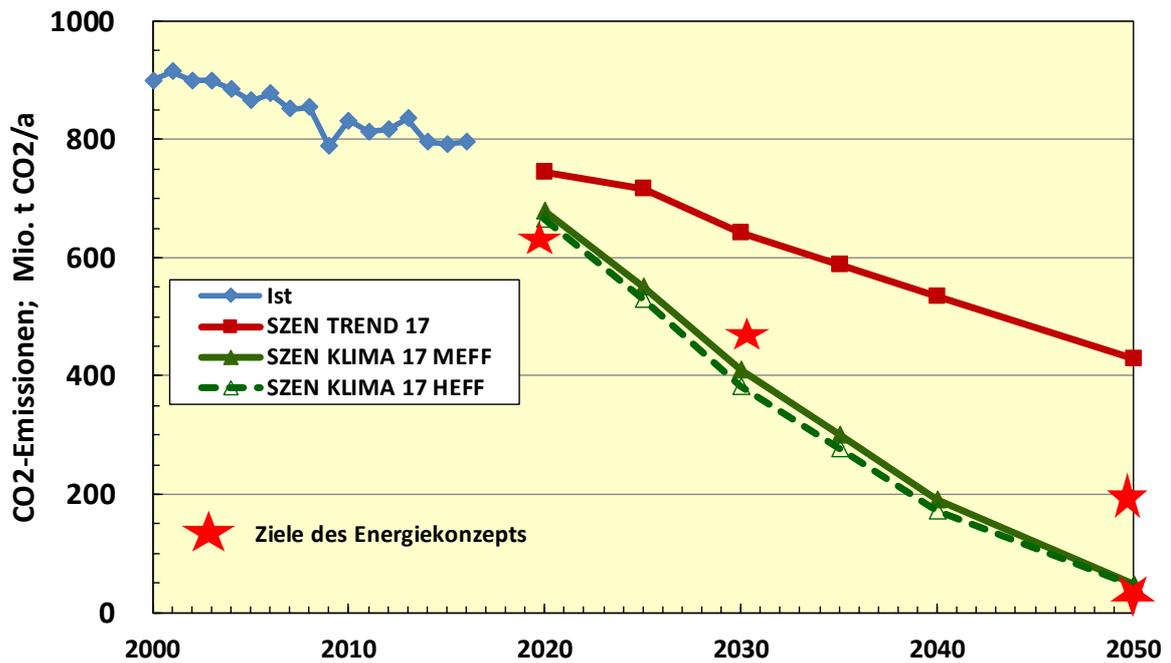


Abbildung E 1: Energiebedingte CO₂-Emissionen (einschließlich Industrieprozesse)

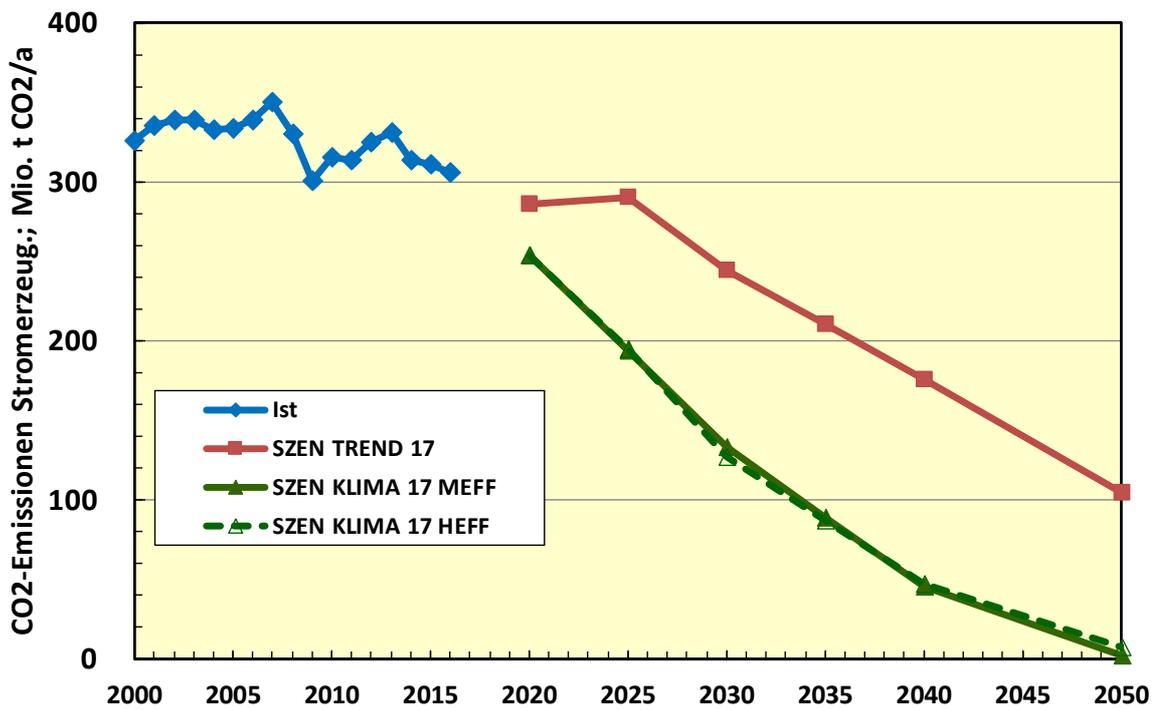


Abbildung E 2: CO₂-Emissionen der Stromerzeugung

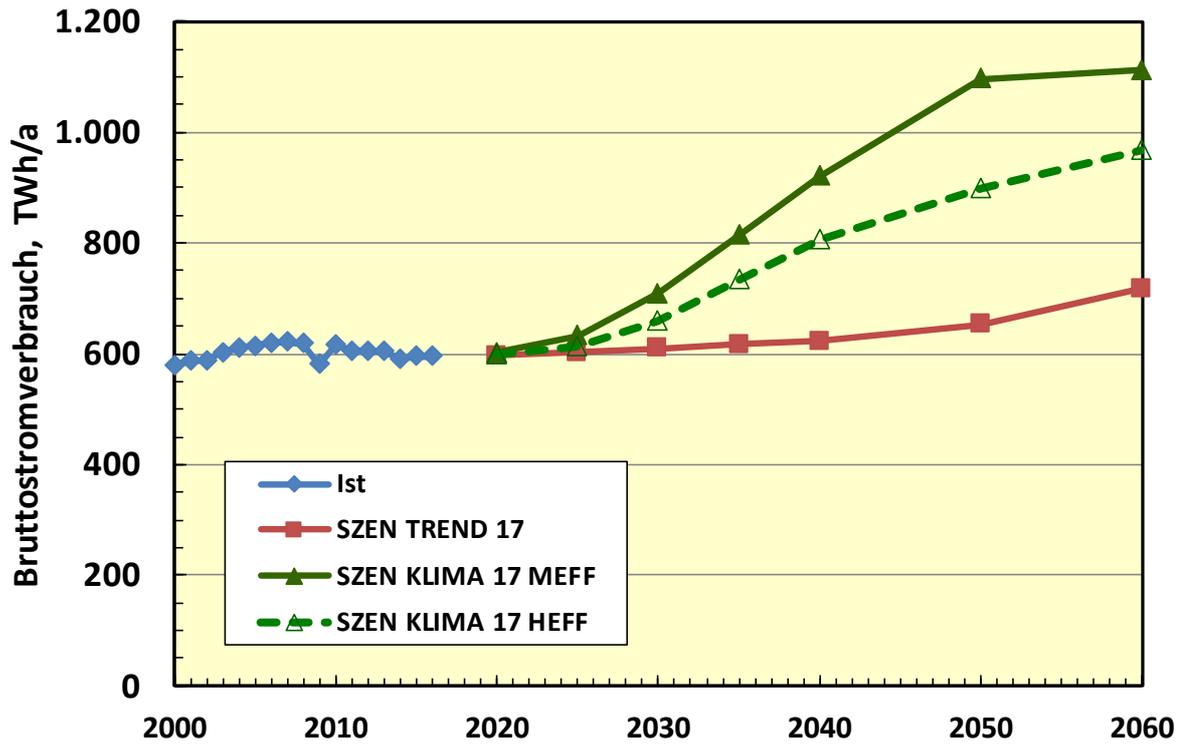


Abbildung E 3: Entwicklung des Bruttostromverbrauchs

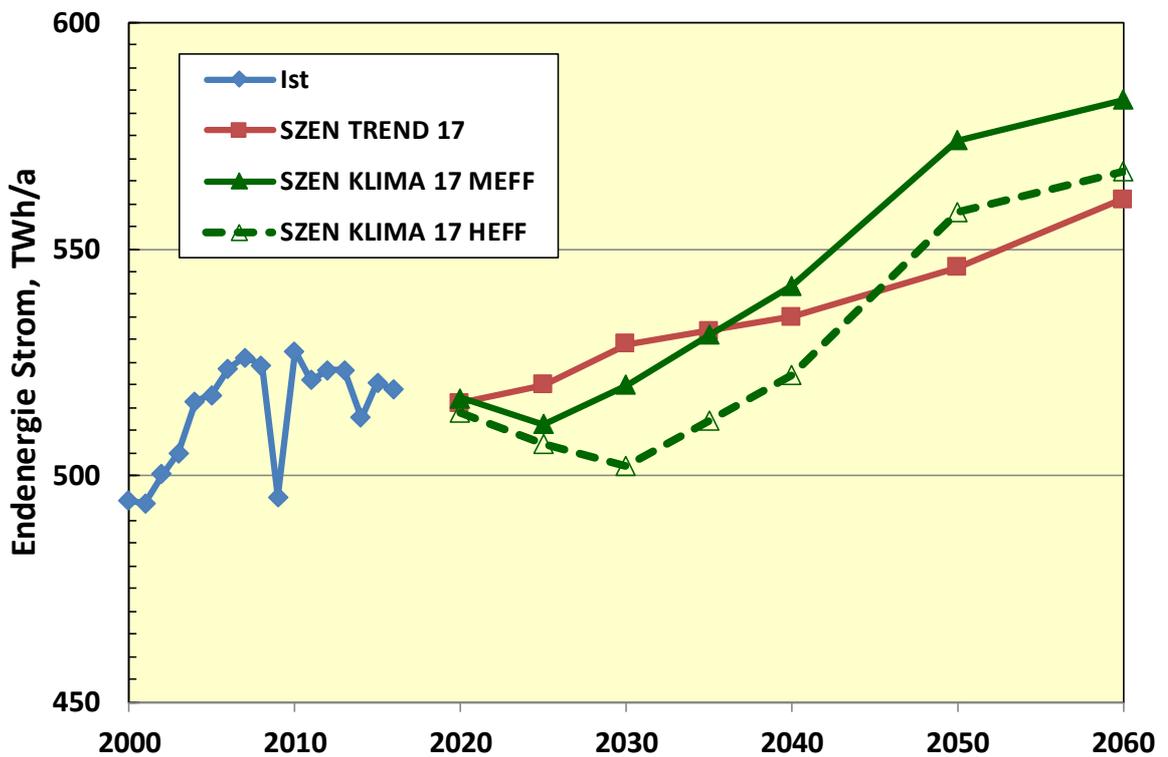


Abbildung E 4: Entwicklung des Stromendenergieverbrauchs (Unterdrückter Nullpunkt !)

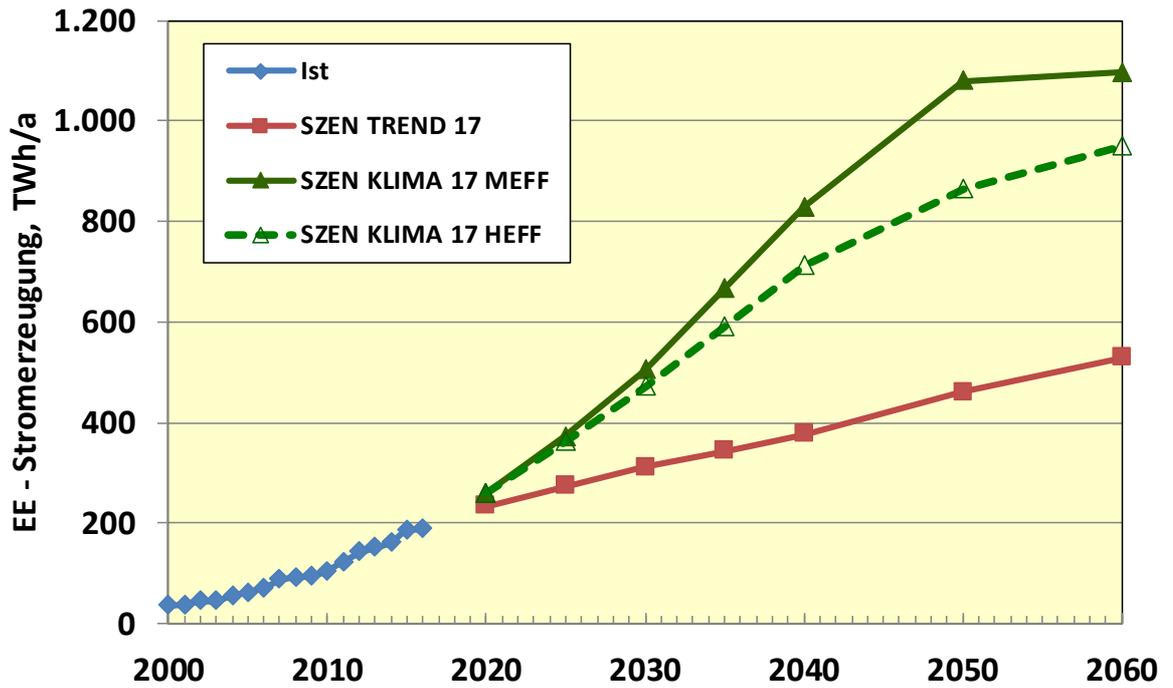


Abbildung E 5: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

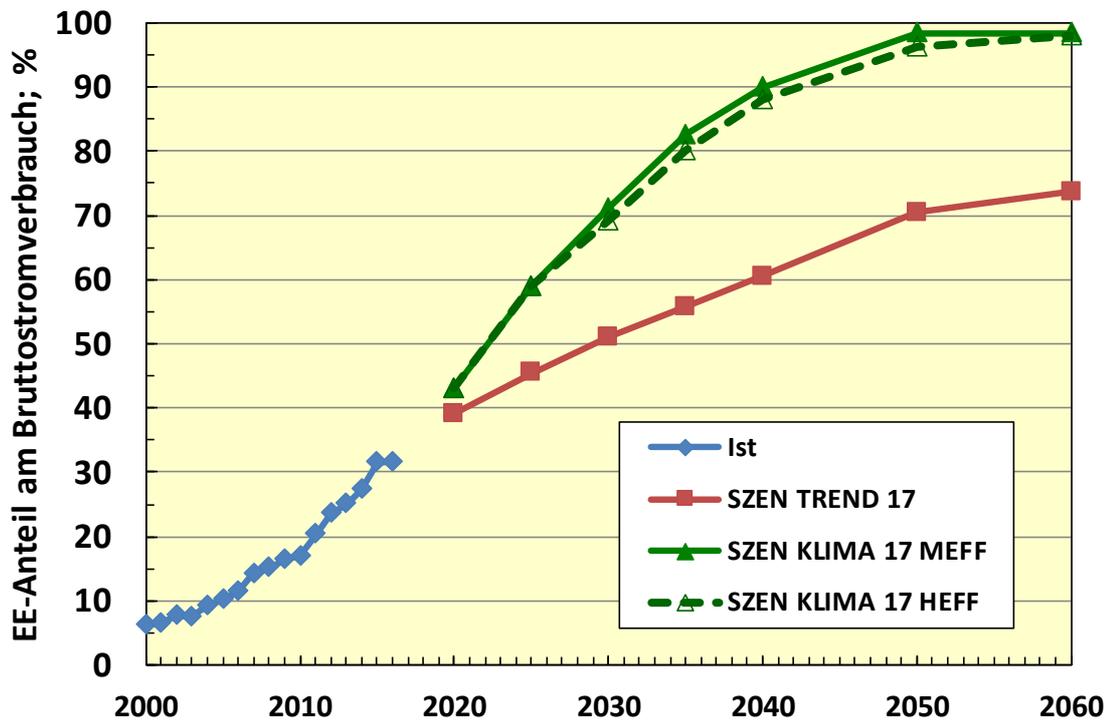


Abbildung E 6: EE-Anteil am Bruttostromverbrauch

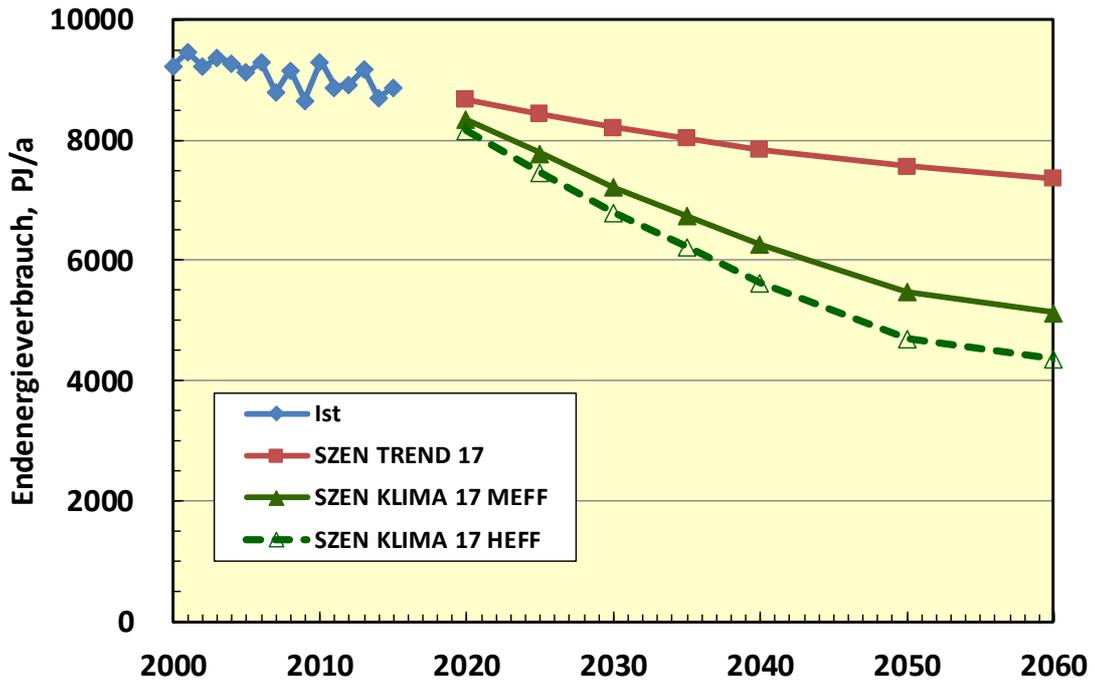


Abbildung E 7: Entwicklung des Endenergieverbrauchs

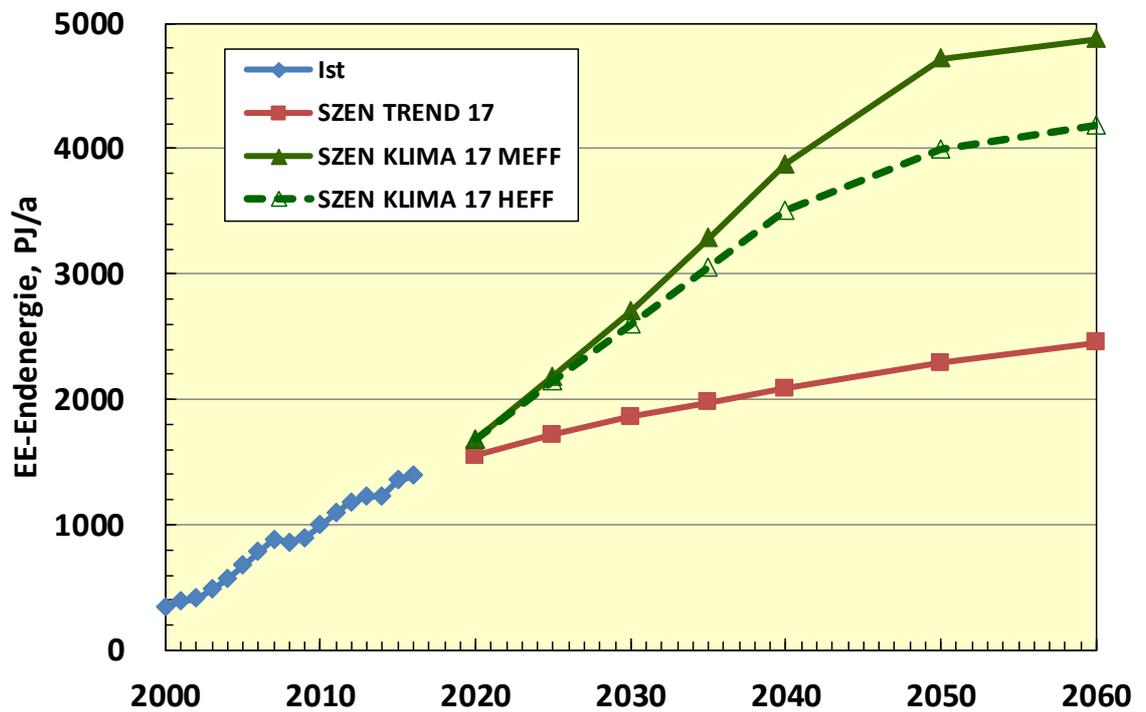


Abbildung E 8: Entwicklung des Endenergieverbrauchs erneuerbarer Energien

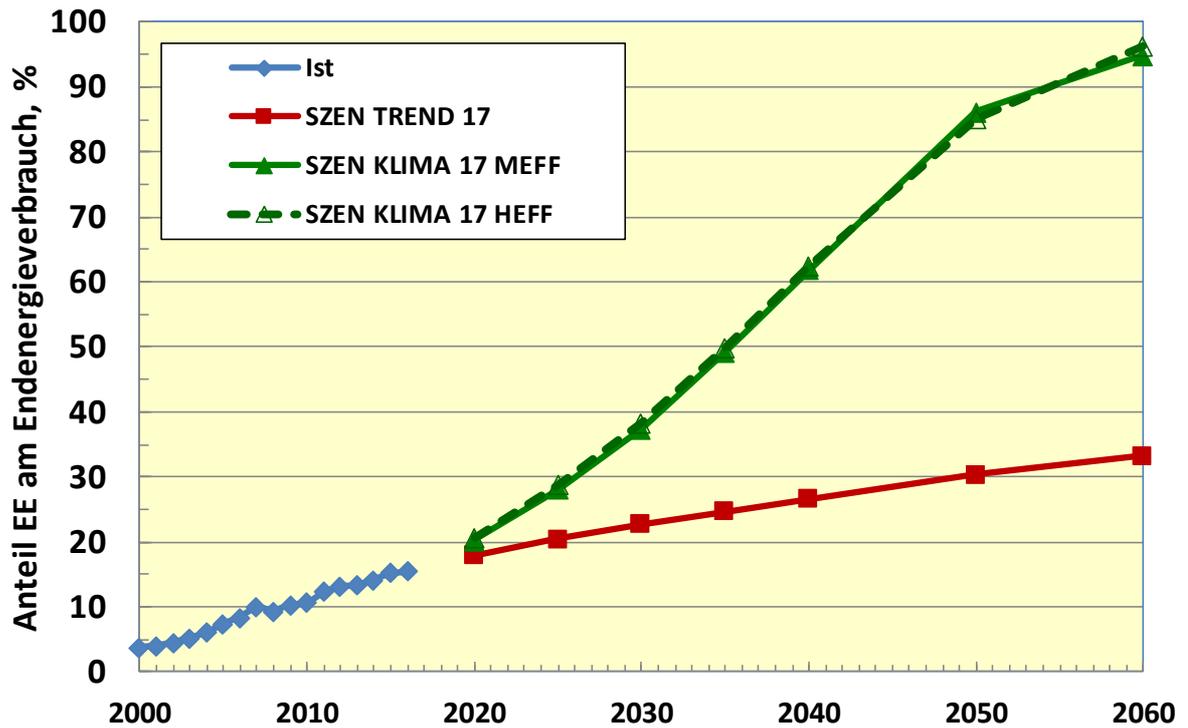


Abbildung E 8: EE-Anteil am gesamten Endenergieverbrauch

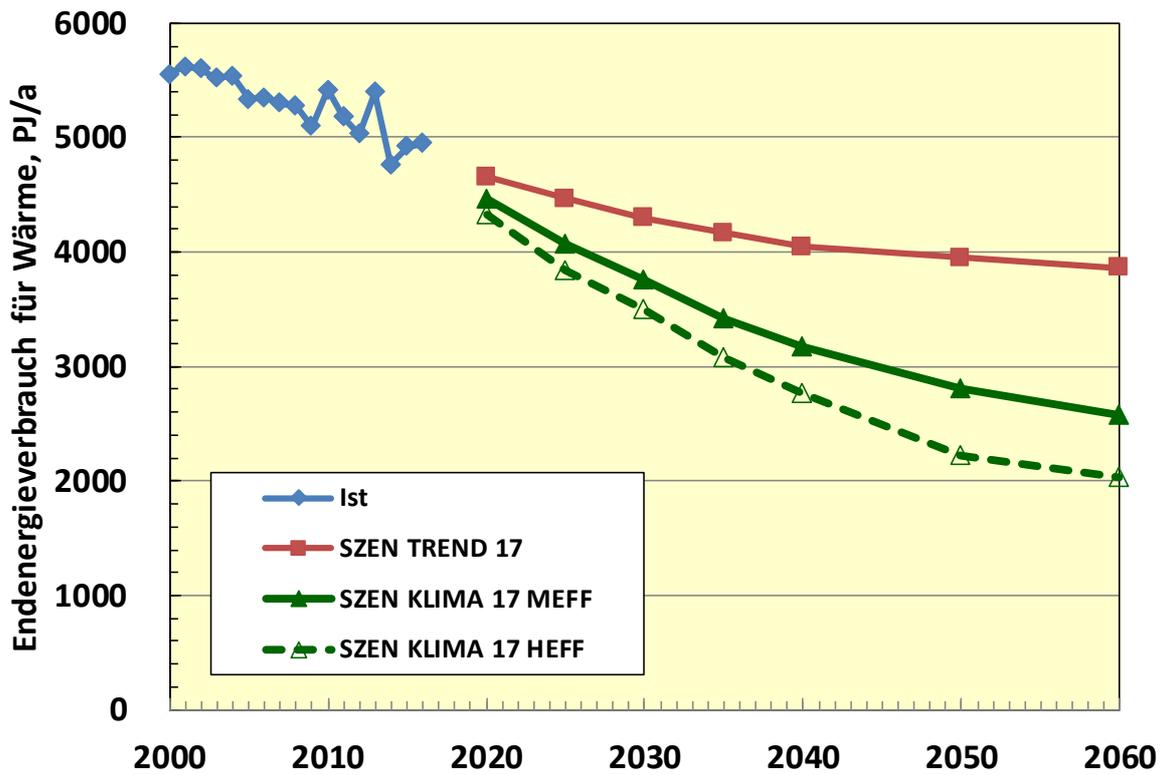


Abbildung E 9: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Wärmezwecke

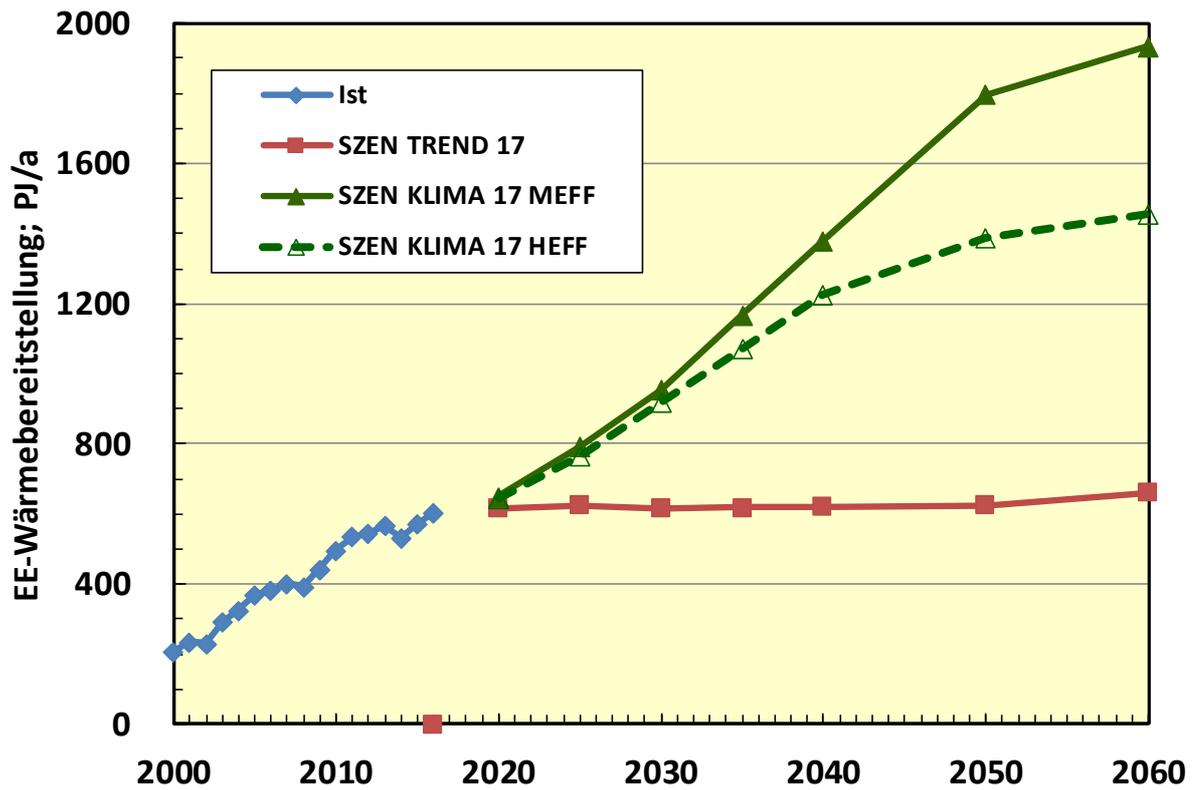


Abbildung E 10: EE-Anteil an der Wärmebereitstellung (ohne Wärmeanteil durch EE-Strom)

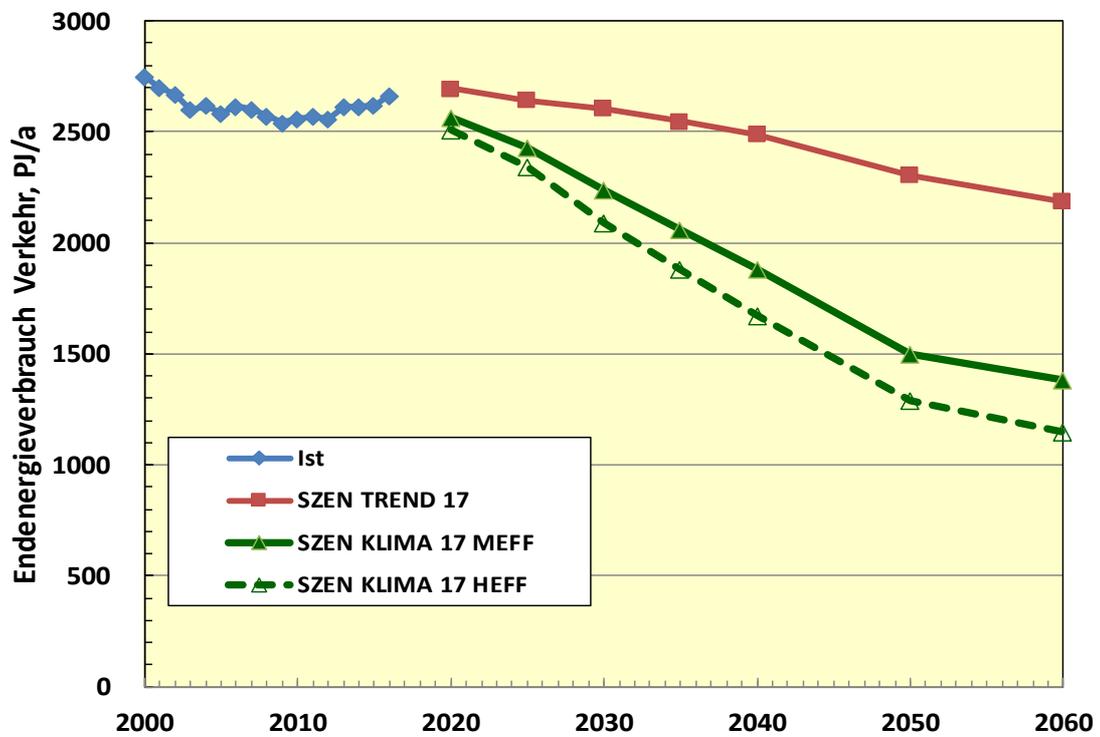


Abbildung E11: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr

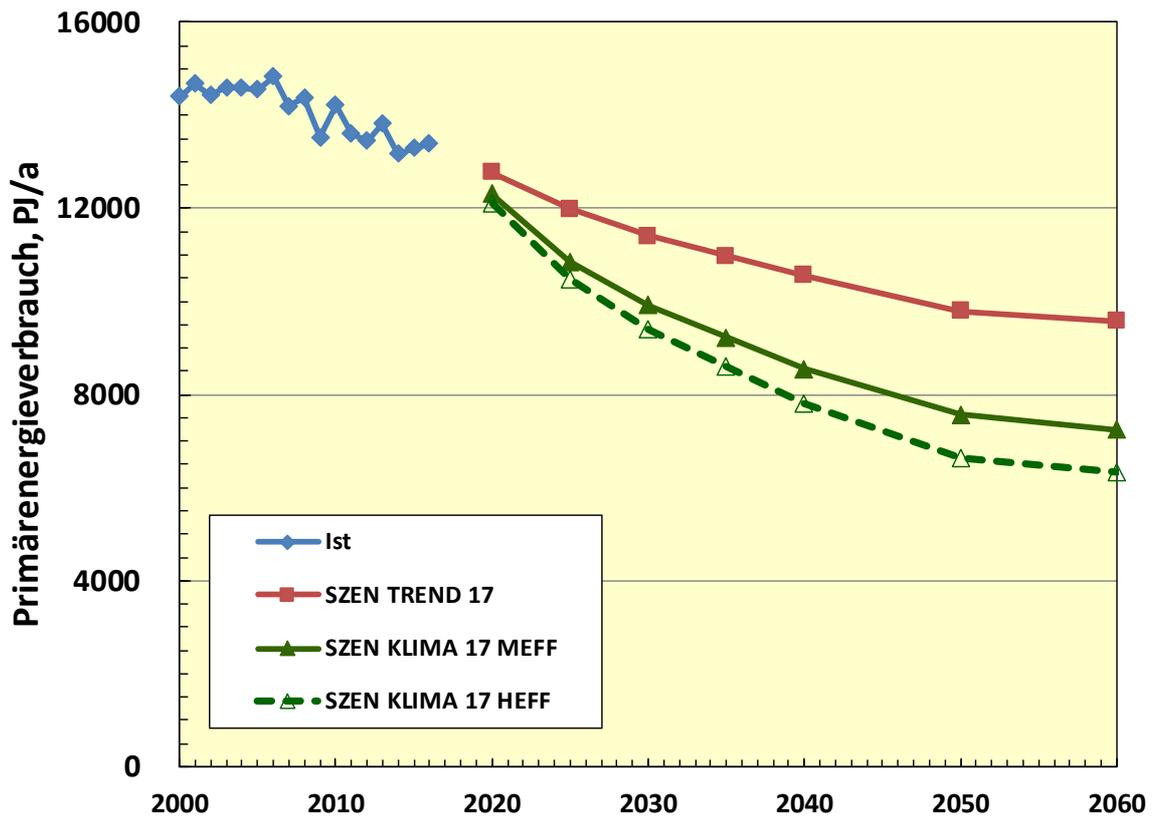


Abbildung E 12: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

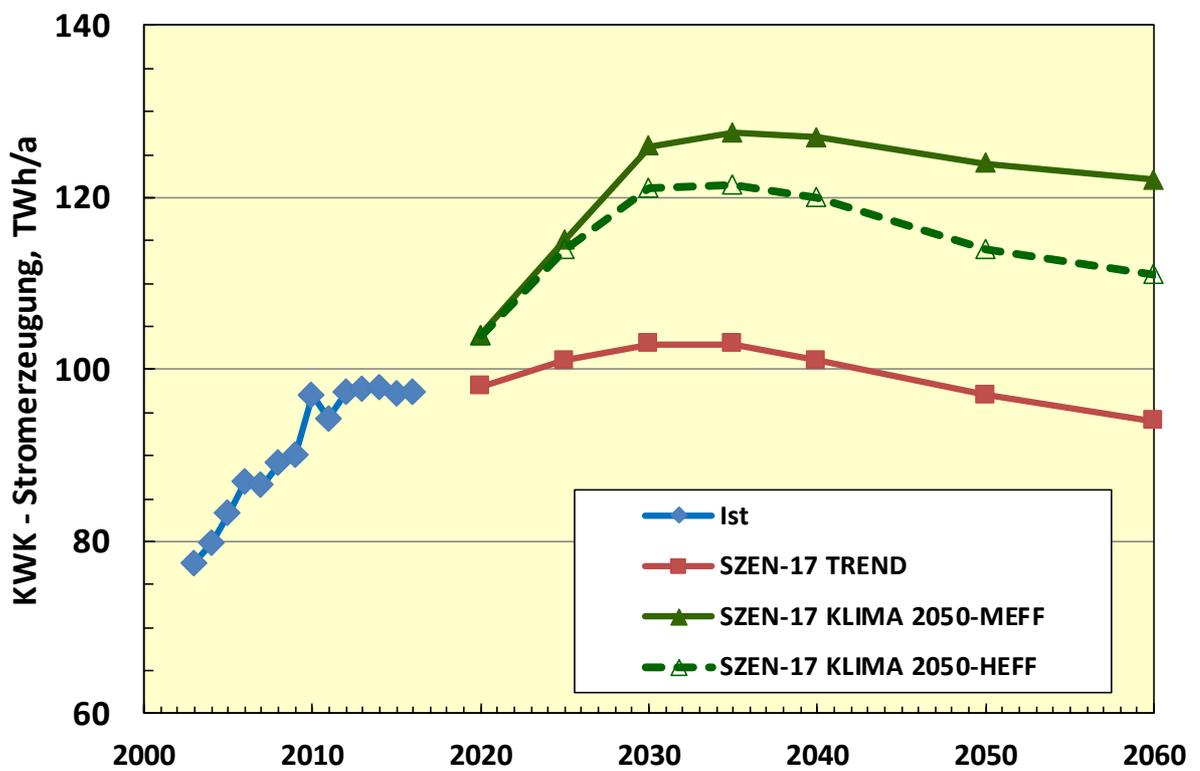


Abbildung E 13: Entwicklung der Stromerzeugung aus KWK-Anlagen

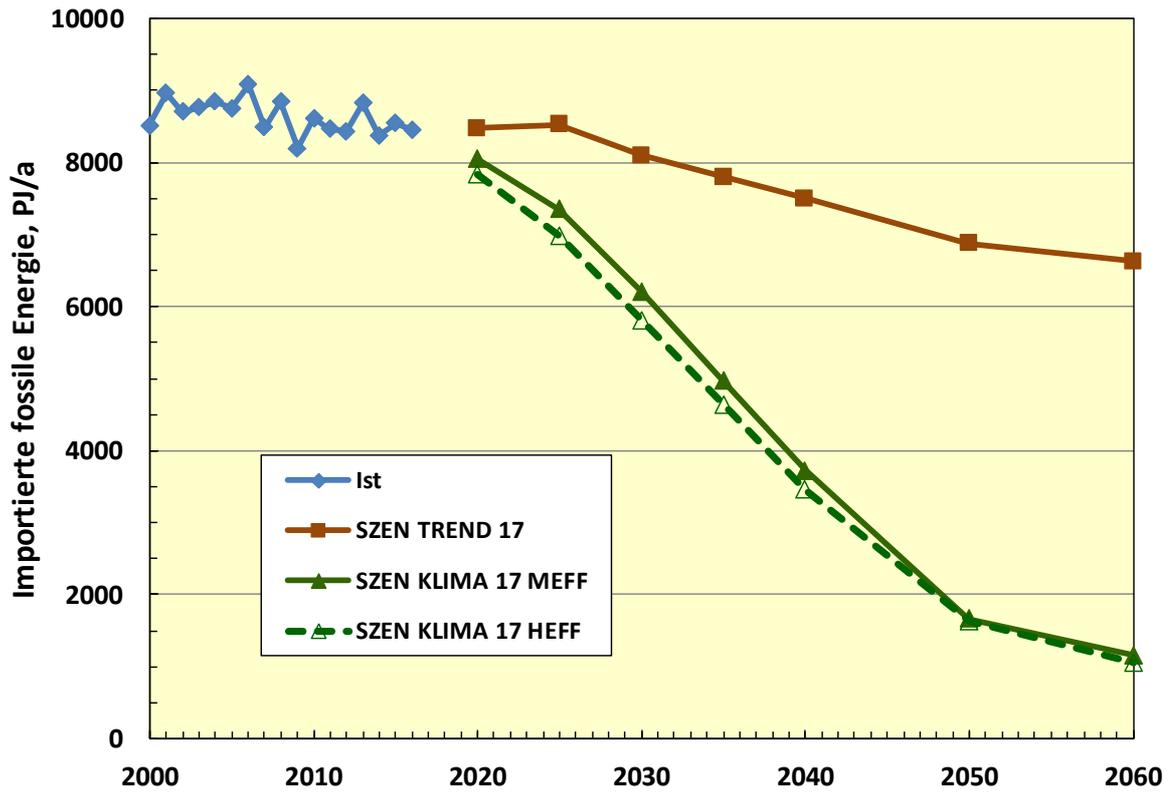


Abbildung E 14: Menge importierter fossiler Energieträger

