

**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.

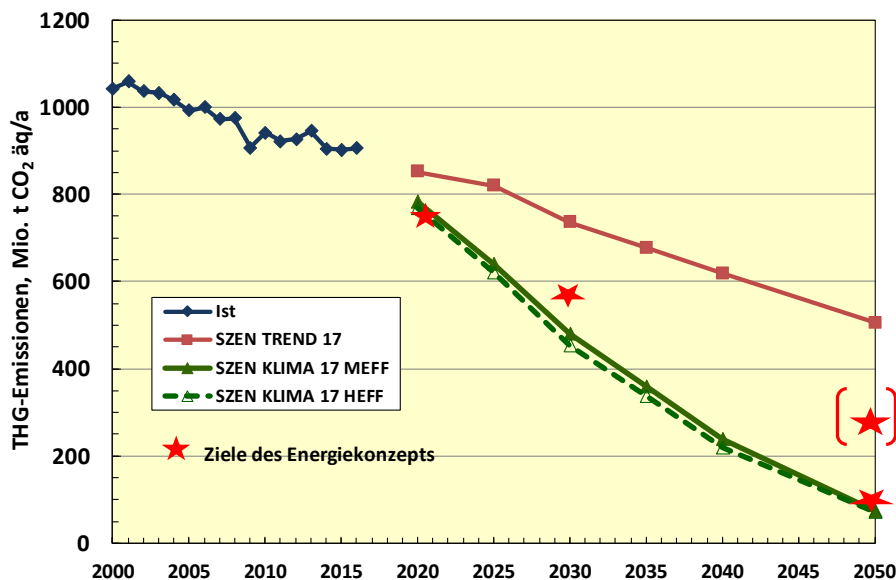


Abbildung 1: Bisheriger Verlauf der nationalen THG-Emissionen und Entwicklung in den Szenarien TREND-17, KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF im Vergleich zu den Zielen des Energiekonzepts. Quelle für Ist: [UBA 2017]

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%)

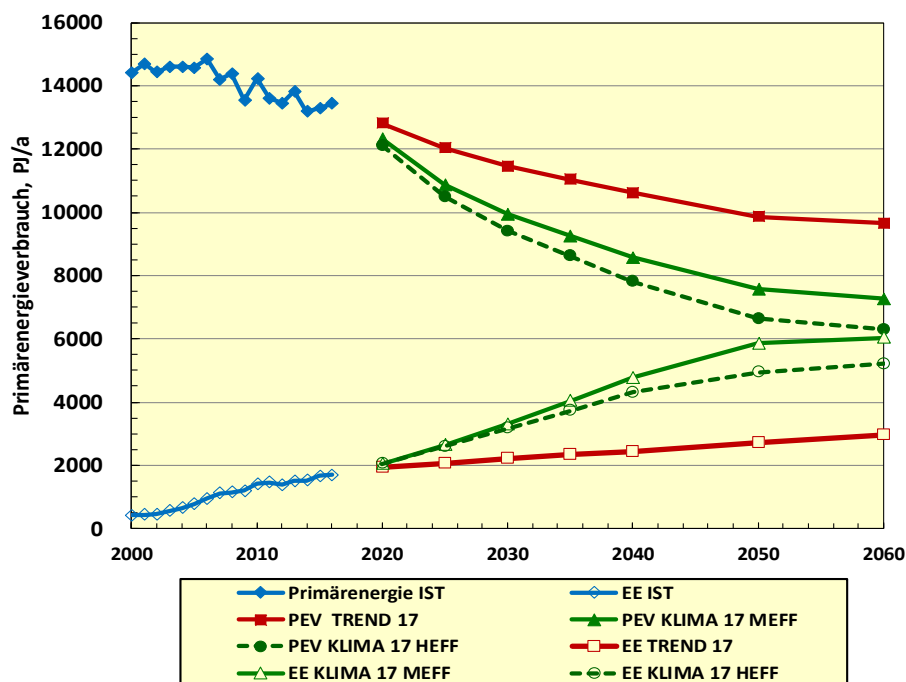


Abbildung 2: Zusammenwirken von stetiger Effizienzsteigerung und EE-Ausbau zur Erreichung des Klimaschutzziels in den Szenarien.

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.

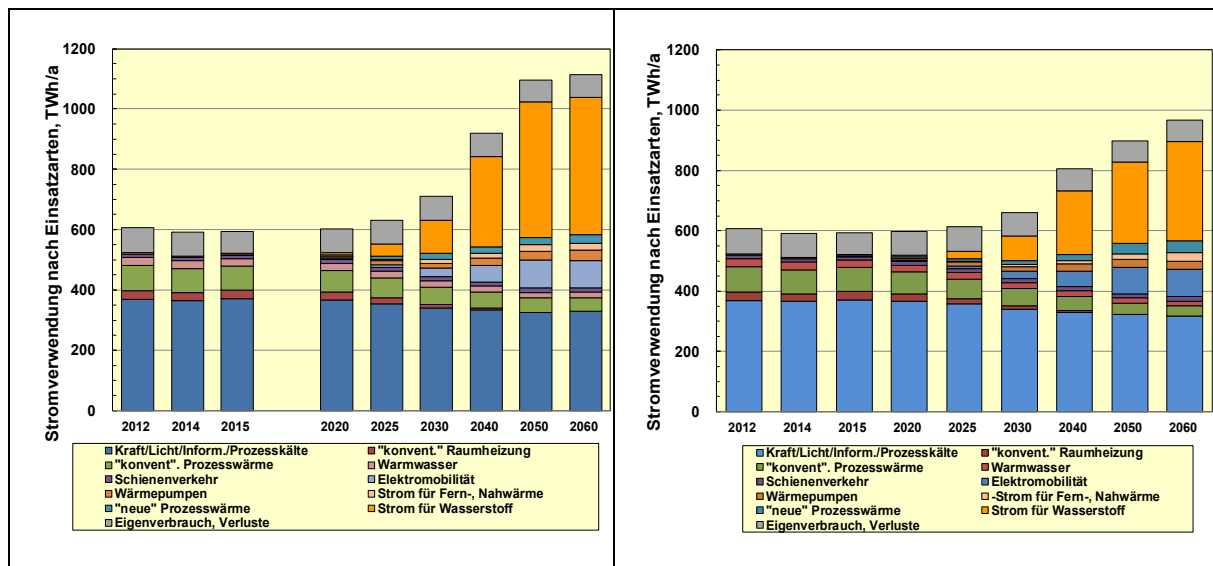


Abbildung 3: Bruttostromerzeugung für „konventionelle“ und „neue“ Stromverwendungen KLIMA-17 MEFF (links) und KLIMA-17 HEFF (rechts). „Neue“ Stromverwendungen sind: Elektromobilität, Wärmepumpen, EE-Strom für Wärmenetze und Prozesswärme sowie für Power to Gas (Wasserstoff für KWK, Prozesswärme, Kraftstoffe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

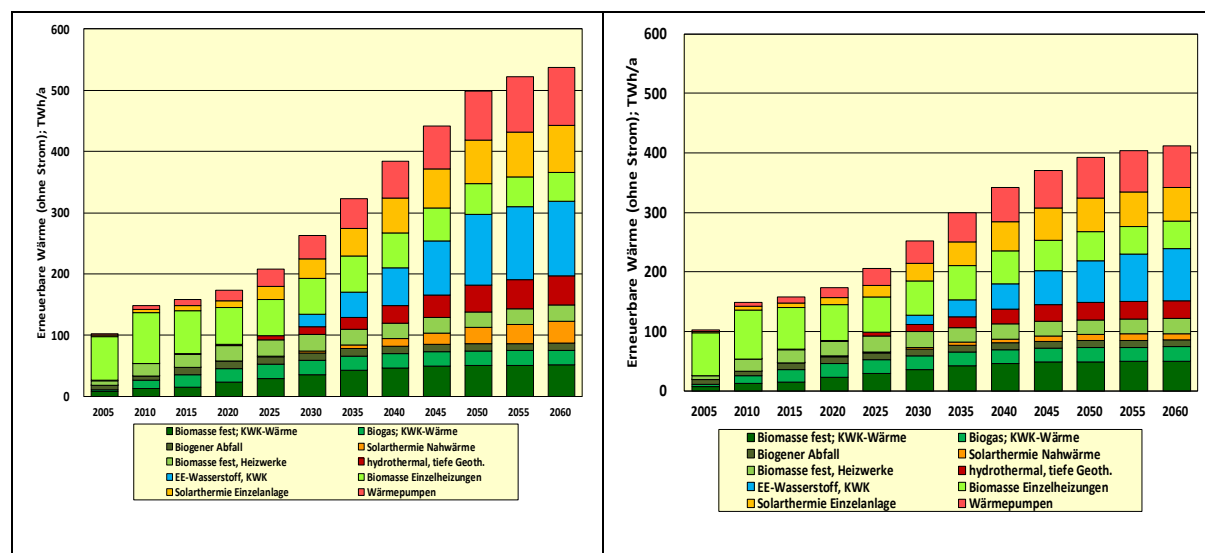


Abbildung 4: Entwicklung der EE-Wärmeerzeugung (ohne Stromanteil) in den Szenarien KLIMA-17 MEFF (links) und KLIMA-17 HEFF (rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts (in TWh/a; 1 TWh/a = 3,6 PJ/a).

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

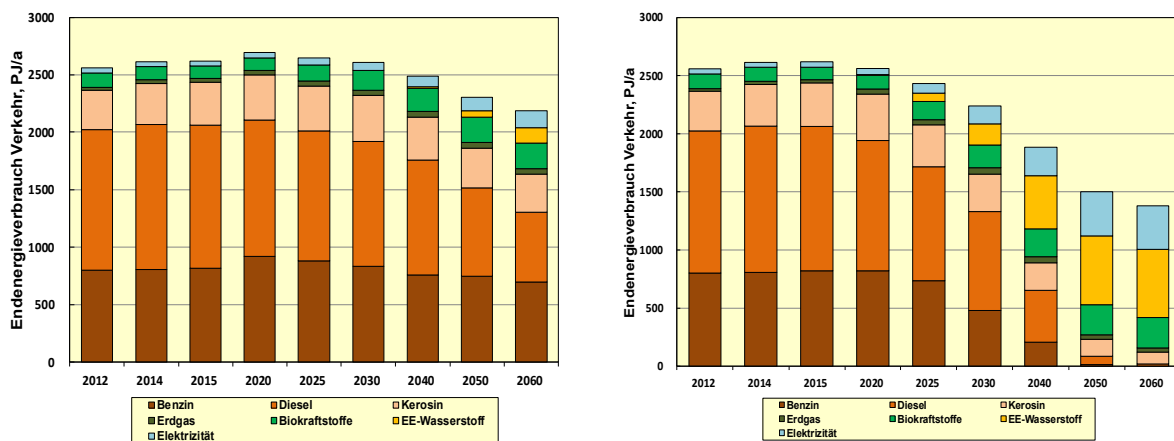


Abbildung 5: Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im Verkehr im Szenario TREND-17 (links) und notwendige Entwicklung (Szenario KLIMA-17 MEFF; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts.

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

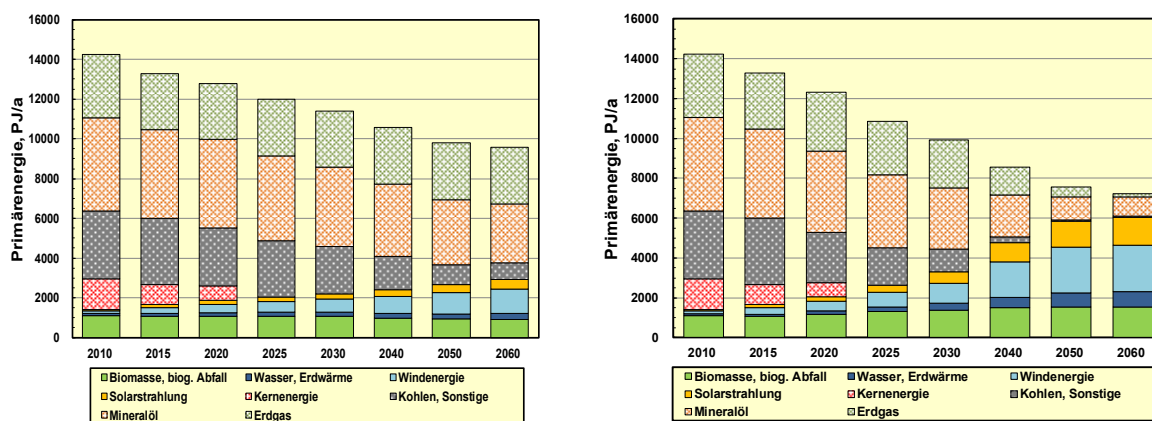


Abbildung 6: Wirksamkeit von Effizienz- und EE-Aufbaustrategien im Szenario TREND-17 (links) und im Szenario KLIMA-17 MEFF (rechts), welches bis 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von -95% erreicht.

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.

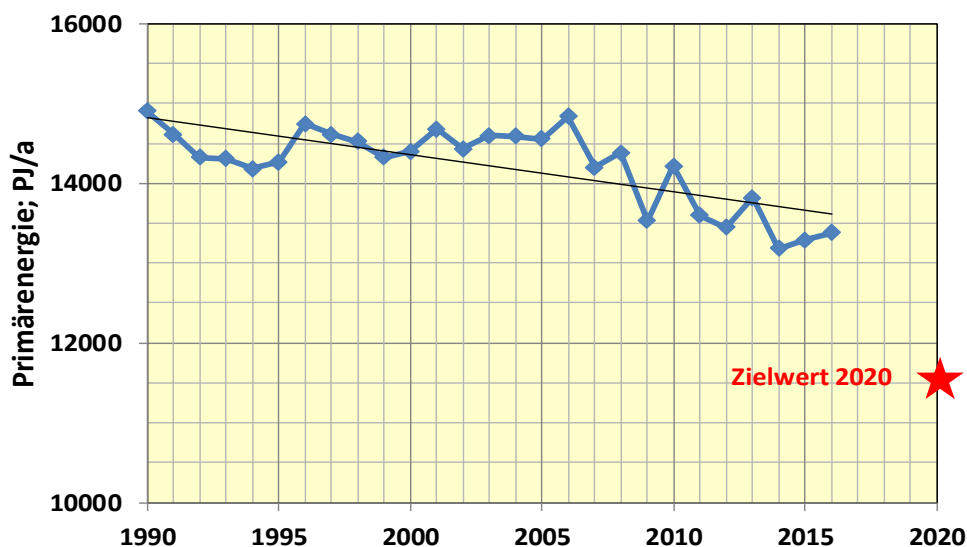


Abbildung 1: Verlauf des Primärenergieverbrauchs seit 1990, linearer Trend und Zielwert 2020 (-20% Minderung ggü. 2008 entsprechend 11 500 PJ/a) gemäß Energiekonzept (unterdrückter Nullpunkt).

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 äquiv./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 äquiv | | | | | | | | |
| **) 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 Treibhausgasemissionen 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.

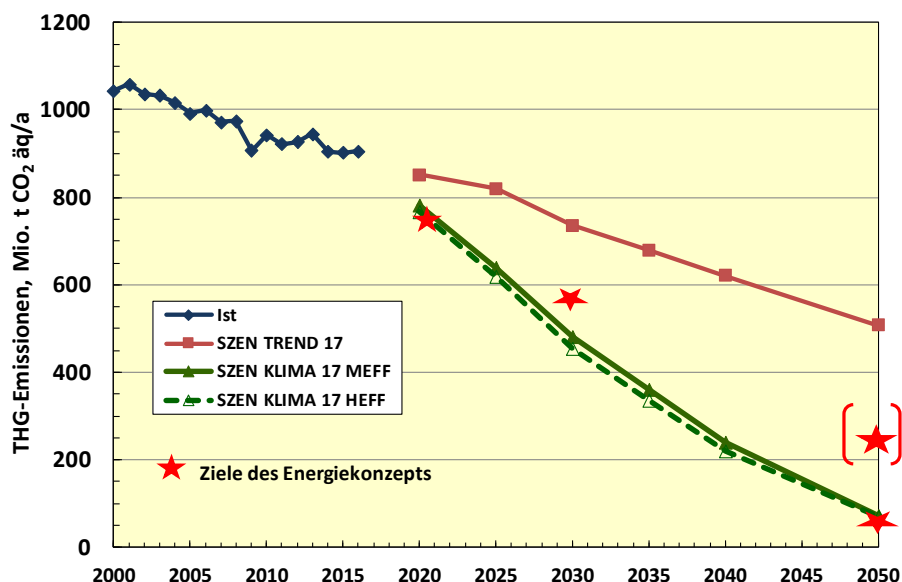


Abbildung 2: Bisheriger Verlauf der nationalen THG-Emissionen und Entwicklung in den Szenarien TREND-17, Szenarien KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF im Vergleich zu den Zielen des Energiekonzepts. Quelle für Ist: UBA 2017

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.

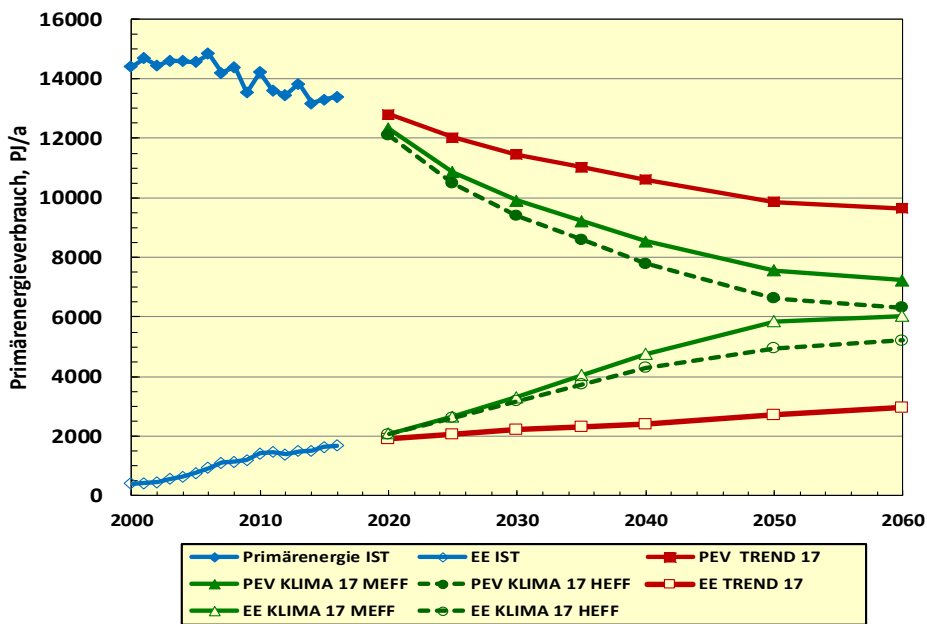


Abbildung 3: Zusammenwirken von Effizienzstrategie und EE-Ausbau zur Erreichung des Klimaschutzziels (Vergleich von TREND-17 und KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF)

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.

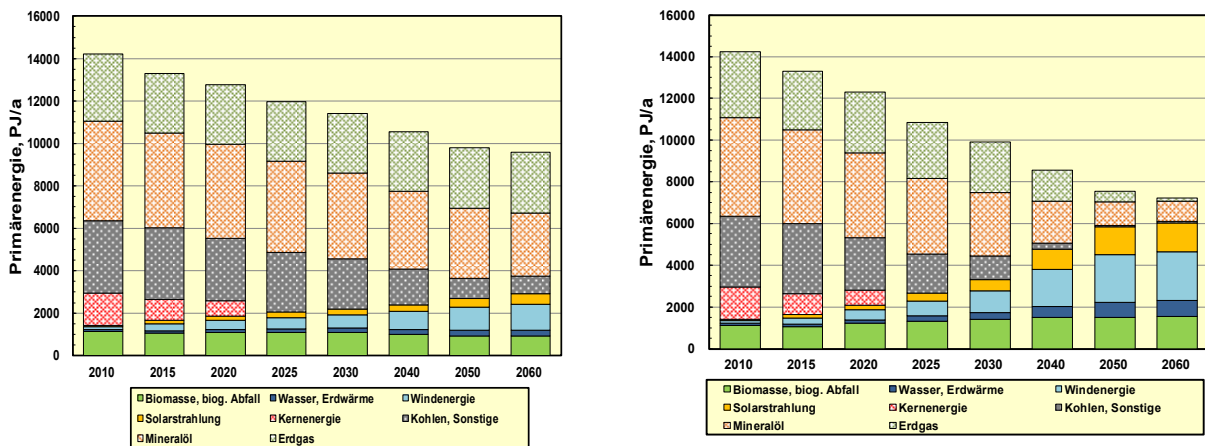


Abbildung 4: Struktur des Primärenergieverbrauchs in TREND-17 (links) und in KLIMA-17 MEFF (rechts).

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 Klimaschuttszenarien 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 HEFF)** 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.

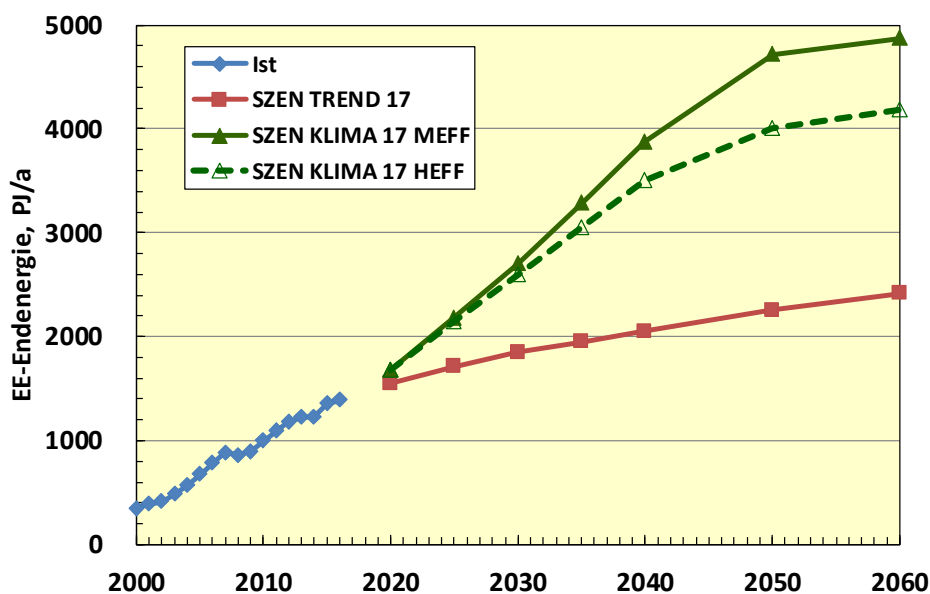


Abbildung 5: EE-Endenergieverbrauch seit 2000 und Wachstum in den Szenarien TREND-17, KLIMA-17 MEFF und KLIMA-17 HEFF

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.

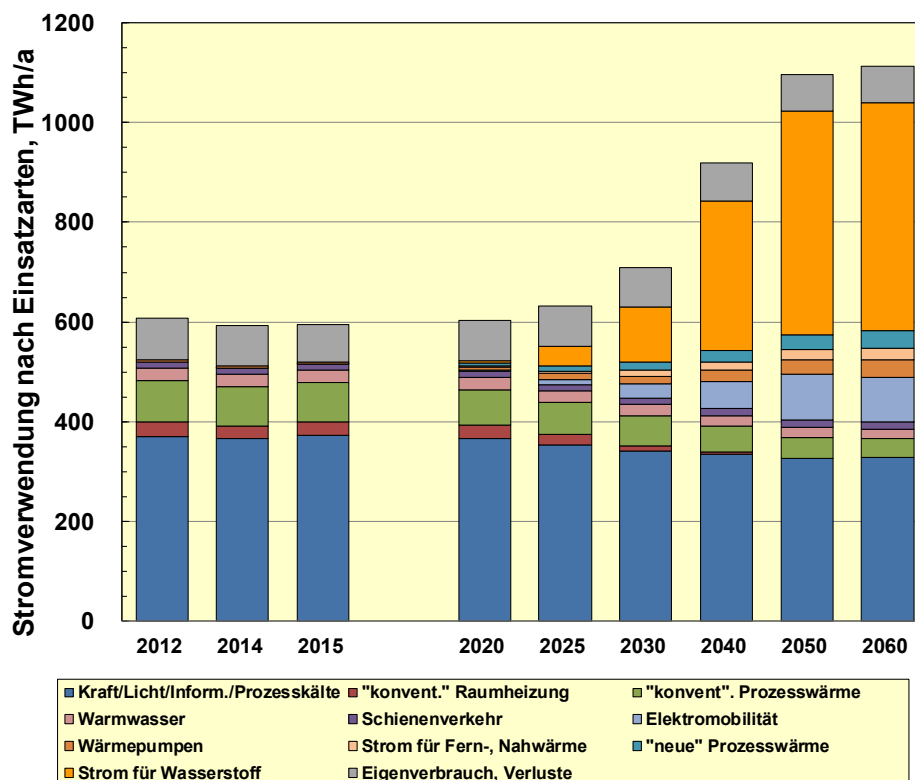


Abbildung 6: Bruttostromerzeugung für „konventionelle“ und „neue“ Stromverwendungen im Szenario KLIMA-17 MEFF. „Neue“ Stromverwendungen sind: Wärmepumpen, Elektromobilität, „Power to Heat“ für Prozesswärme und Wärmenetze; „Power to Gas“ (Wasserstoff) für KWK, Prozesswärme und chemische Industrie sowie 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 Wasserstoffherzeugung eingesetzt, da Überschüsse aus EE-Strom erst spät (nach 2040) und nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen.

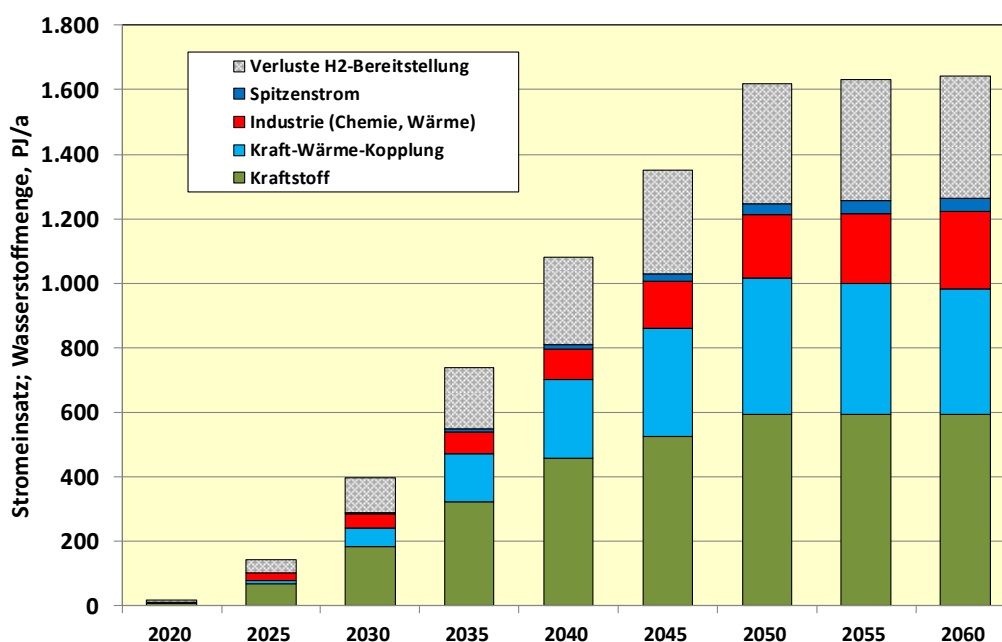


Abbildung 7: Stromeinsatz für Power to Gas und Verwendung des EE-Wasserstoffs im Szenario KLIMA-17 MEFF.

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 Stromaustausch ein europäisches Stromversorgungssystem entwickeln, in welchem auch EE- Strommengen in größerem Umfang zwischen den einzelnen Ländern ausgetauscht werden. Für Deutschland dürfte sich aus ökonomischer Sicht insgesamt ein positives EE-Importsaldo empfehlen, weil es sowohl an den europäischen Küsten, wie im Süden Europas prinzipiell große und kostengünstige EE-Potenziale gibt [BMU 2012]. Im 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

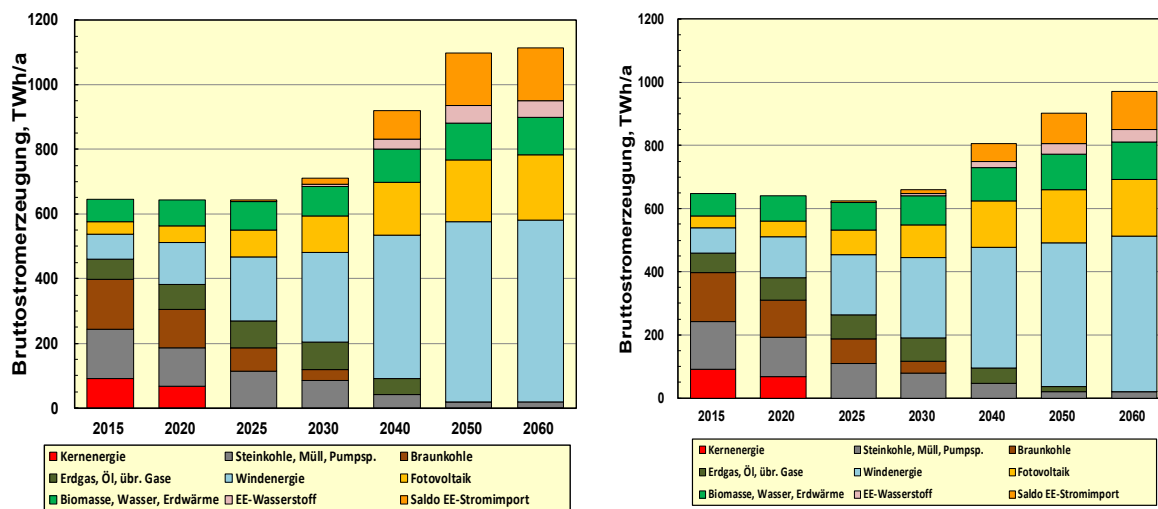


Abbildung 8: Bruttostromerzeugung nach Energiequellen für die Szenarien KLIMA-17 MEFF (links) und KLIMA-17 HEFF (rechts)

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 Bruttoleistung | 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 Bruttoleistung | 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

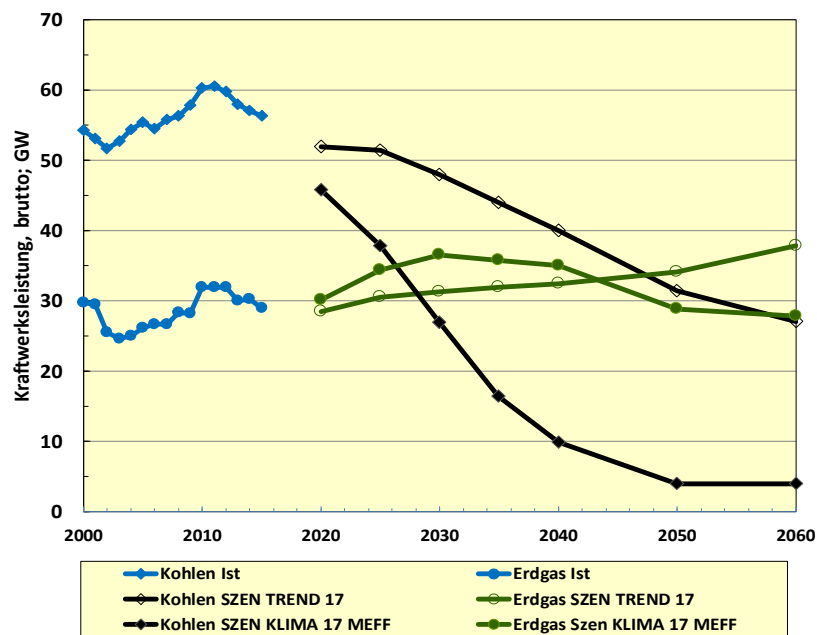


Abbildung 9: Entwicklung der Bruttoleistung von Kohle- und Gaskraftwerken in den TREND-17 und KLIMA-17 MEFF (Kohle einschl. sonstige B.; Gas einschl. Öl)

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 Klimaschutzszenarien 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 Klimaschutzszenarien 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 Klimaschutzziels von -95% THG-Reduktion erforderlich ist. Die konventionelle Kraftwerksstruktur der Klimaschutzszenarien 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.

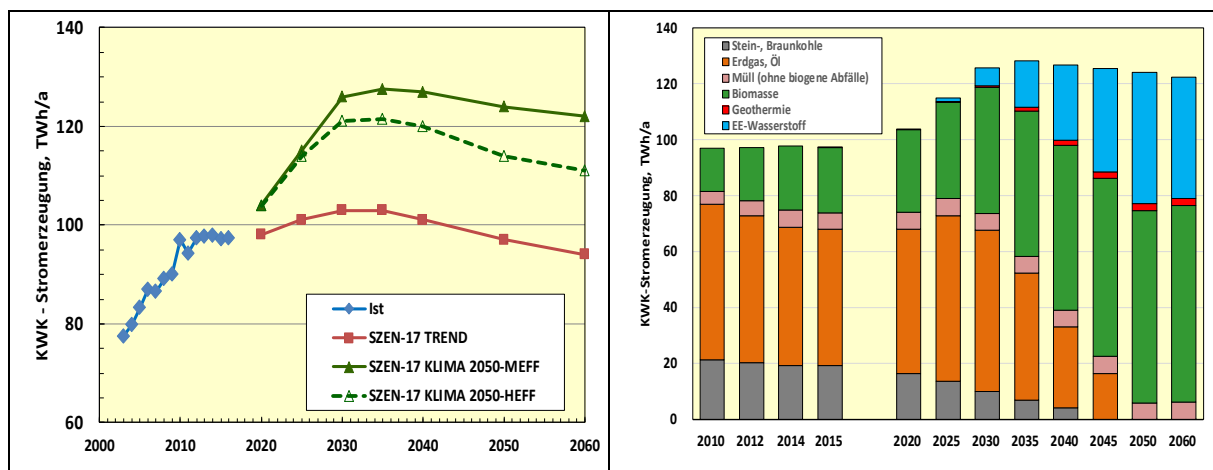


Abbildung 10: Entwicklung der KWK-Stromerzeugung in den drei Szenarien (links; unterdrückter Nullpunkt) und Struktur der Erzeugung im Szenario KLIMA-17 MEFF (rechts).

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.

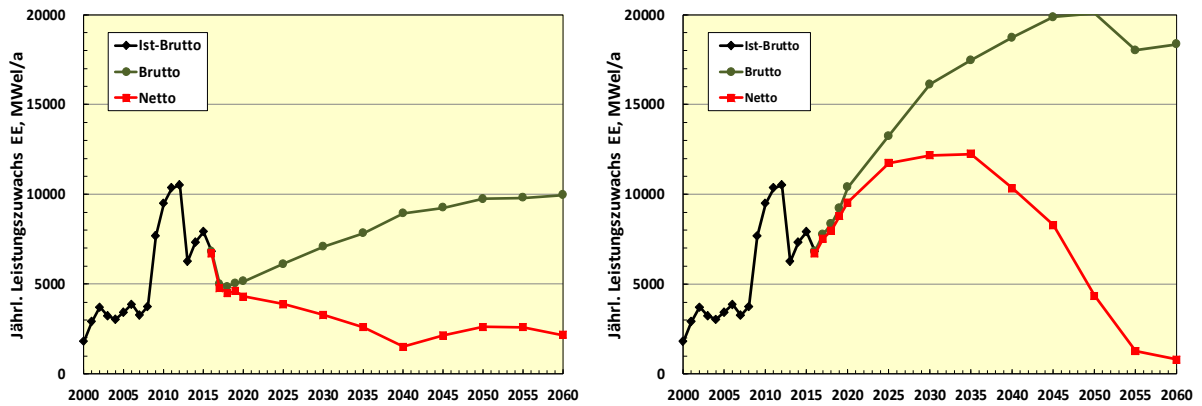


Abbildung 11: Jährlicher Brutto- und Nettoleistungszuwachs der EE-Stromerzeugung für die Szenarien TREND-17 (links) und KLIMA-17 MEFF (rechts).

Betrachtet man lediglich Onshore-Windanlagen (**Abbildung 12; links**), so zeigt sich, dass unter Trendbedingungen der Nettozuzubau bei rund 1000 MW/a einpendeln und der Bruttozuzubau überwiegend den Ersatz alter Anlagen befriedigt. Bereits dieser Nettozuzubau setzt jedoch voraus, dass trotz Umstellung auf das Ausschreibungsverfahren der Bruttozuzubau 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.

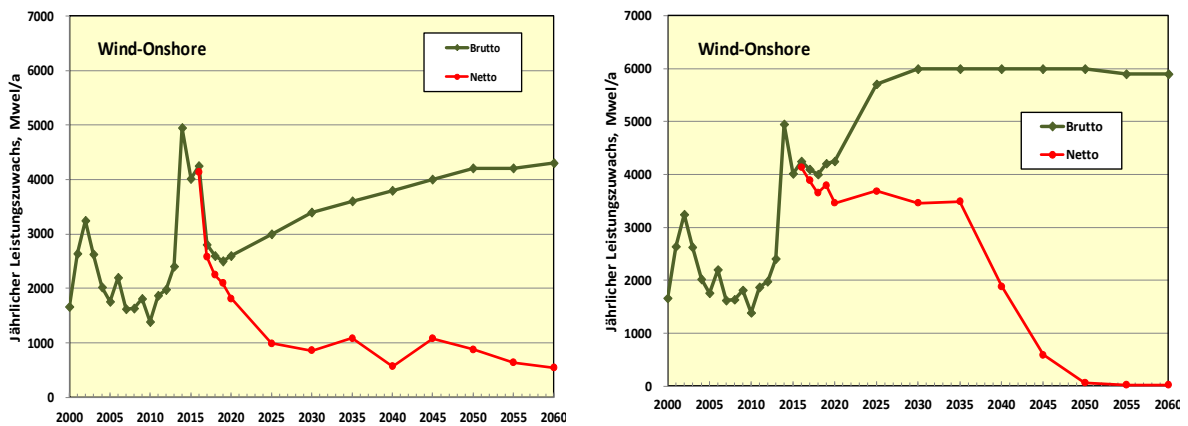


Abbildung 12: Jährlicher Brutto- und Nettozuzuwachs an Onshore-Windanlagen in den Szenarien TREND-17 (links) und Szenario KLIMA-17 MEFF (rechts)

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 Nettozuzubaus 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 Nettozuzuwachs 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 Nettozuzubaus in TREND-17. Der jährliche Bruttozuzubau 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

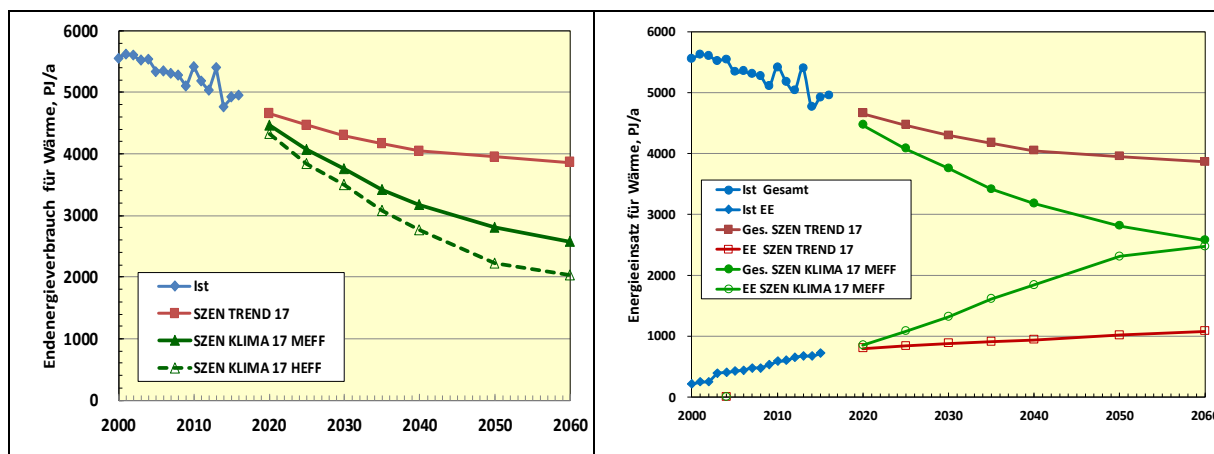


Abbildung 13: Entwicklung des Energieeinsatzes für Wärme (links) und Beitrag von Verbrauchsreduzierung und EE-Beitrag in den Szenarien TREND-17 und Szenario KLIMA-17 MEFF (rechts)

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**).

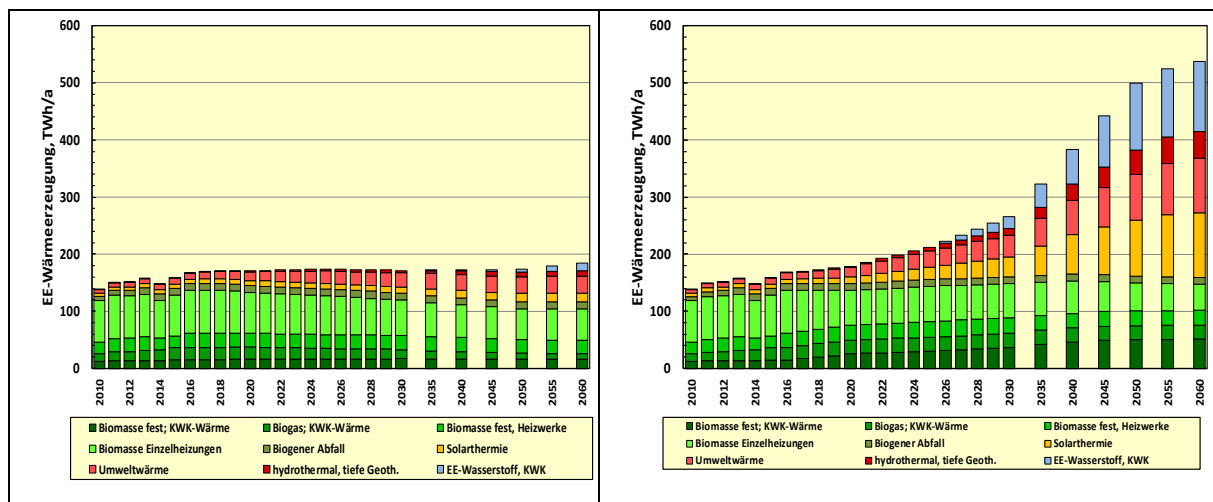


Abbildung 14: Entwicklung der EE-Wärmeerzeugung (ohne Stromanteil) im Szenario TREND-17 (links) und notwendige Entwicklung (Szenario KLIMA-17 MEFF; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts (in TWh/a; 1 TWh/a = 3,6 PJ/a)

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-/Erdwärmeeinrichtungen, bei Biomasseanlagen findet ein Rückbau statt. Der Nettozubau ist entsprechend 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.

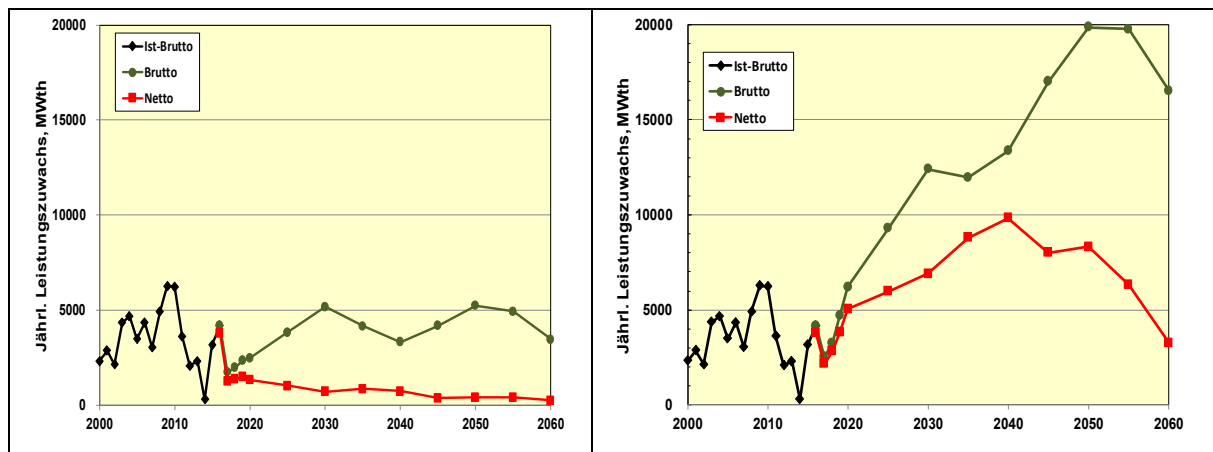


Abbildung 15: Jährlicher Brutto- und Nettoleistungszuwachs der EE-Wärmeerzeugung für die Szenarien TREND-17 (links) und KLIMA-17 MEFF (rechts).

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].

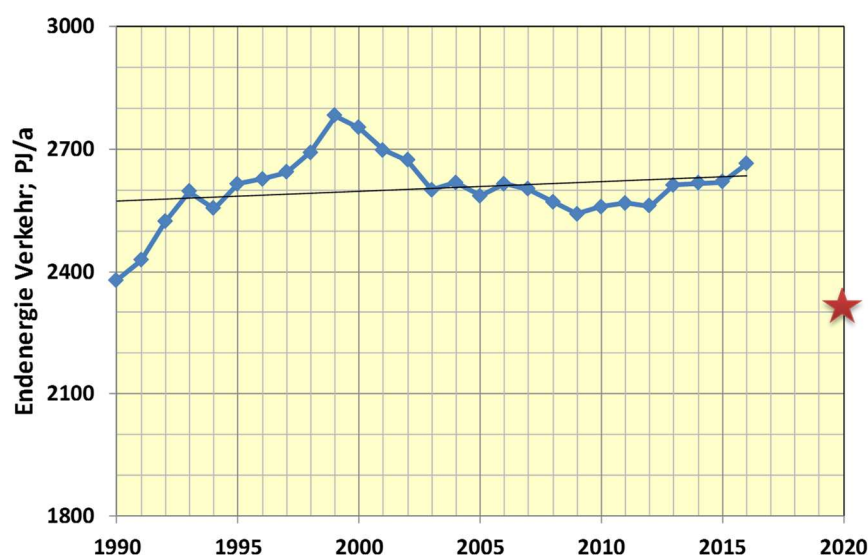


Abbildung 16: Endenergieverbrauch des Verkehrs 1990-2016 und Zielwert 2020 des Energiekonzepts (Nullpunkt unterdrückt).

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 | | | | | | | | | | | |
| ***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020 | | | | | | | | | | | |

SZEN-TREND17; 8.4.2017

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 | | | | | | | | | | | |

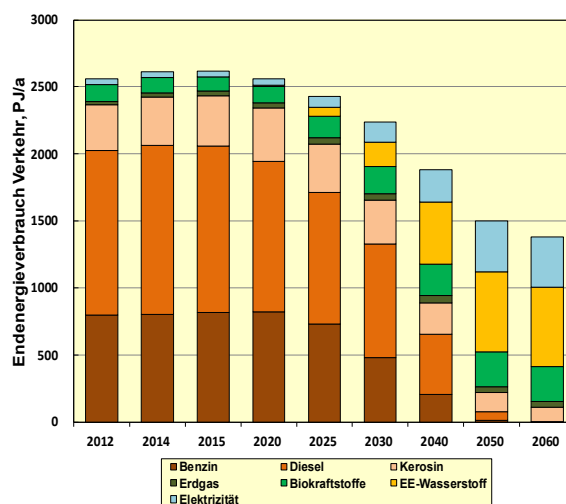
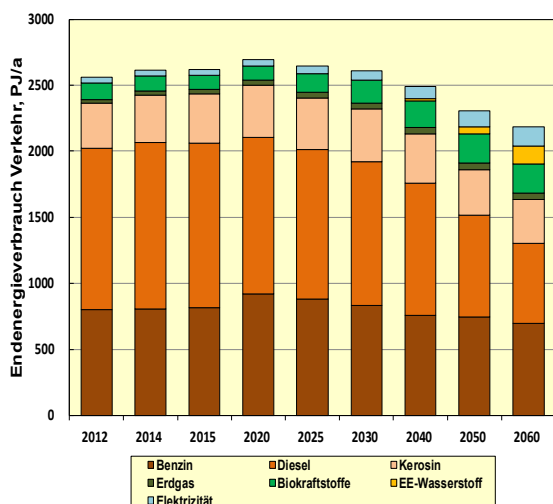


Abbildung 17: Struktur des Endenergieverbrauchs im Verkehr im Szenario TREND-17 (links) und Szenario KLIMA-17 MEFF (rechts) im Vergleich.

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).

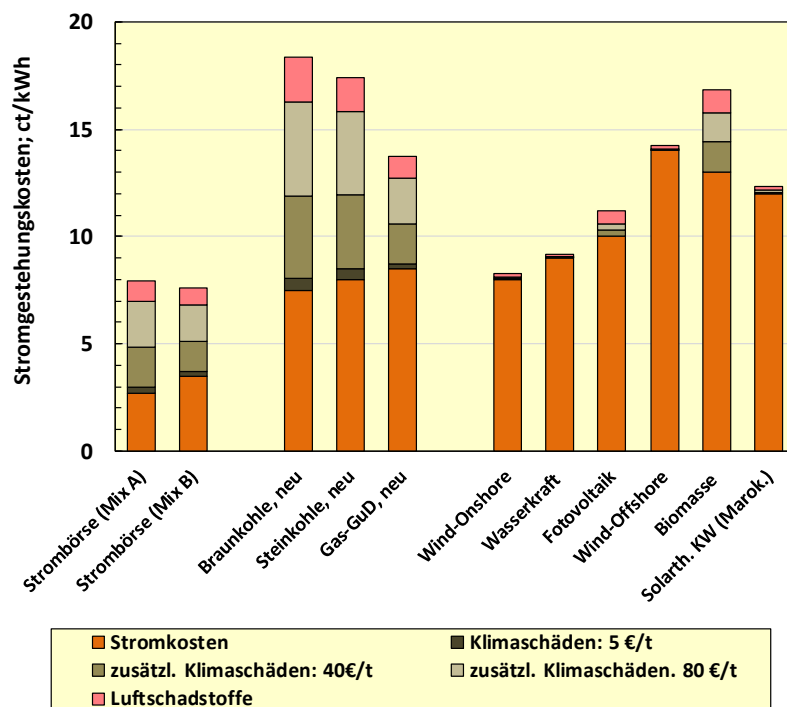


Abbildung 18: Stromkosten 2016 (Strombörse, Vollkosten (Mittelwerte) von Neukraftwerken) einschließlich Klimaschadenskosten und Umweltkosten von Luftschadstoffen (Kosten von Luftschadstoffen und Klimakosten von EE nach UBA 2012; übrige eigene Berechnungen).

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 [BMWi 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.

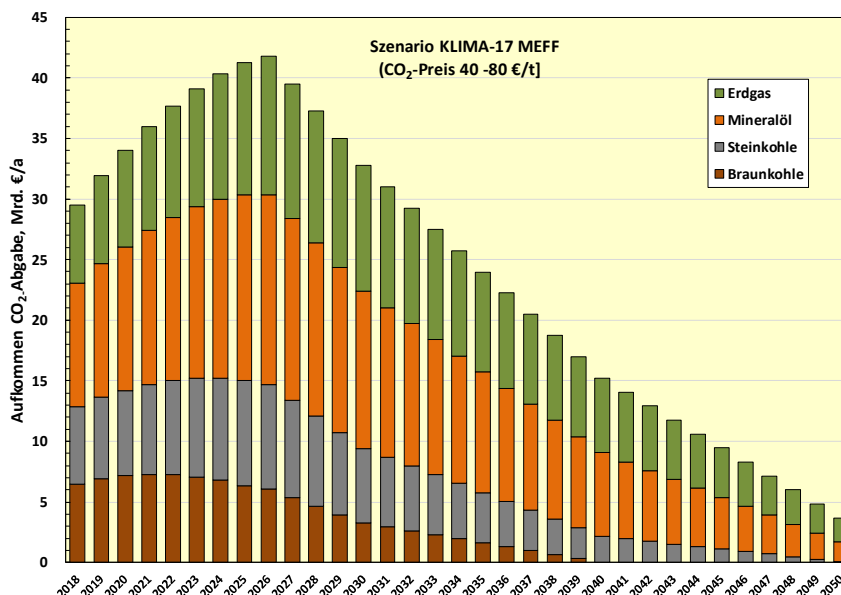


Abbildung 19: Entwicklung des Aufkommens einer CO₂-Abgabe mit einem Einstiegswert von 40 €/t CO₂ im Jahr 2018, Anstieg auf 80 €/t CO₂ bis zum Jahr 2026 und danach konstant. (gemäß Mengengerüst des Szenarios KLIMA-17 MEFF; in realen Preisen, Geldwert 2016)

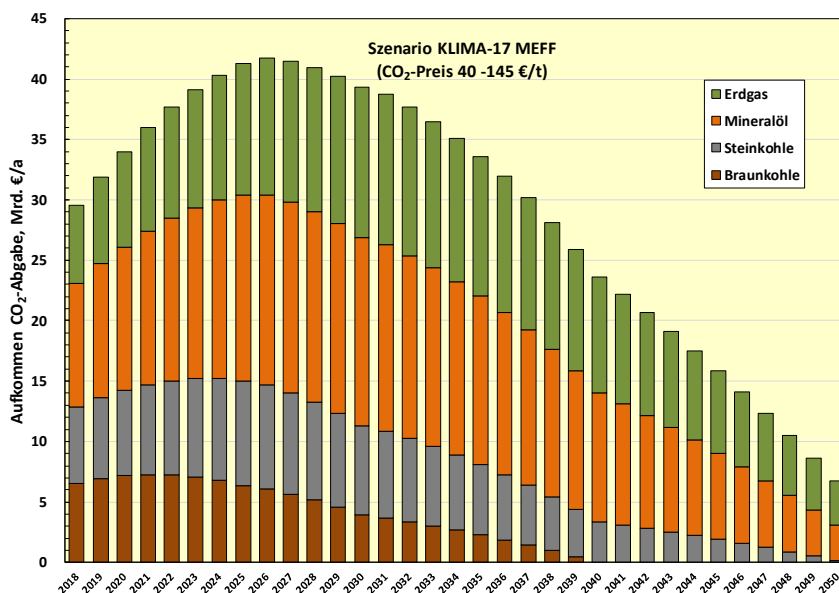


Abbildung 20: Entwicklung des Aufkommens einer CO₂-Abgabe mit einem Einstiegswert von 40 €/t CO₂ im Jahr 2018, Anstieg auf 80 €/t CO₂ bis zum Jahr 2026, danach weiter steigend auf maximal 145 €/t CO₂ bis 2046 (gemäß Mengengerüst des Szenarios KLIMA-17 MEFF; in realen Preisen, Geldwert 2016)

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) | | | | | | | | |
| ***) 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 | | | | | | | | |
| Bilanzen; 4.4.2017 | | | | | | | | |

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 |
| Kohleeinsatz, 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%); unvorhergeseh. 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 (MWel/a) | | | | | | Strom gesamt MWel/a | |
| | | Wasser | Wind Onshore | Wind Offshore | Photovolt. | Geothermie | Atomimport 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 | | | | | | | | | | |
| 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

SZEN KLIMA17-MEFF ; 25.17

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020

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 Biomasse (oh. biog. Mü) | 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 (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 | | 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) <u>einschl.</u> EE-Strom aus EE-Wasserstoff (ab ca. 2025) | | | | | | | | | | |
| 7) <u>einschl.</u> 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 | 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 | 34,3 | 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 | |
| | | Wasser | Wind Onshore | Wind Offshore | Photovolt. | Geothermie | romimport E (oh. biog. Mü) | Biomasse | gesamt MWel/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 | 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

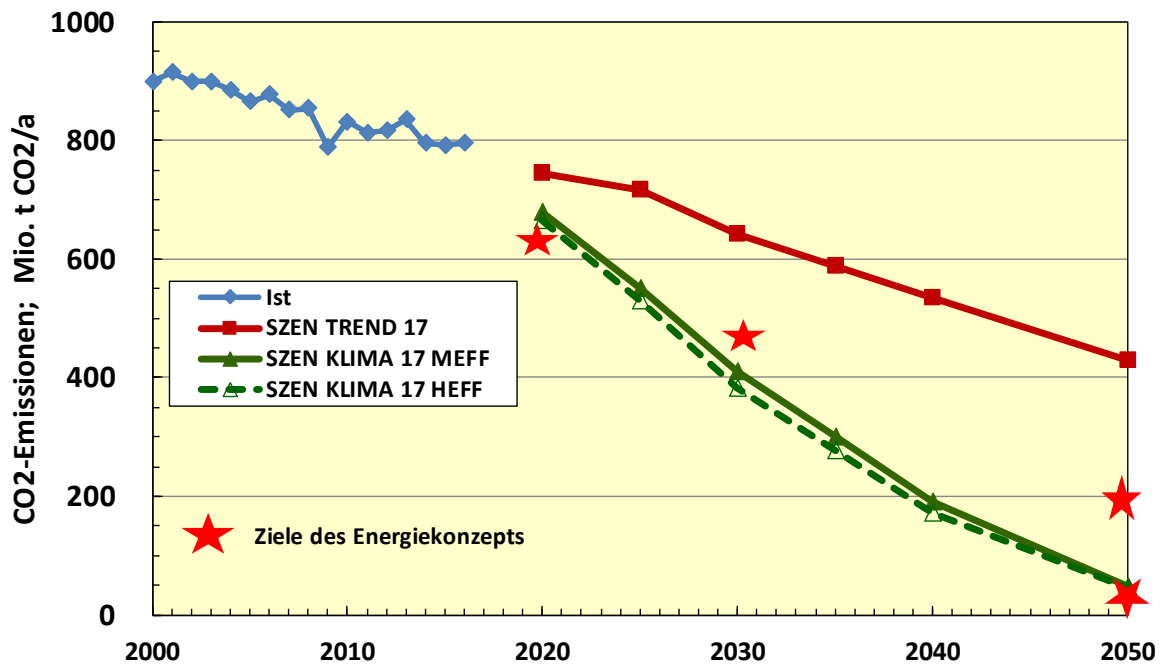


Abbildung E 1: Energiebedingte CO₂-Emissionen (einschließlich Industrieprozesse)

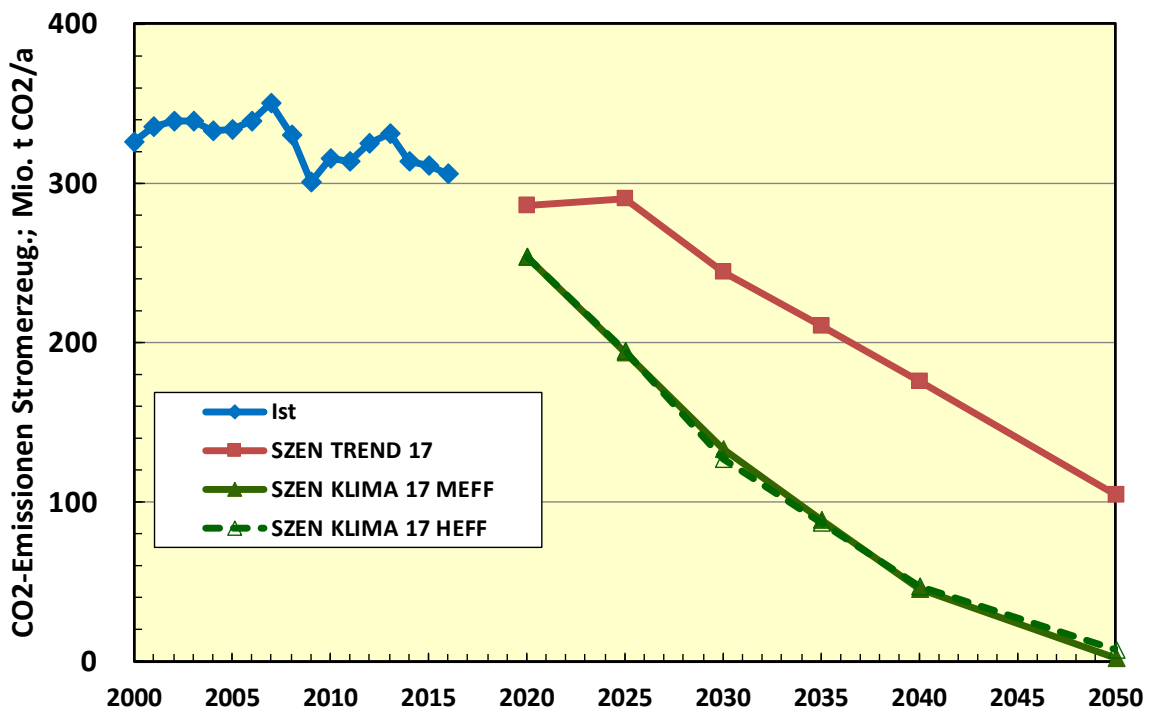


Abbildung E 2: CO₂-Emissionen der Stromerzeugung

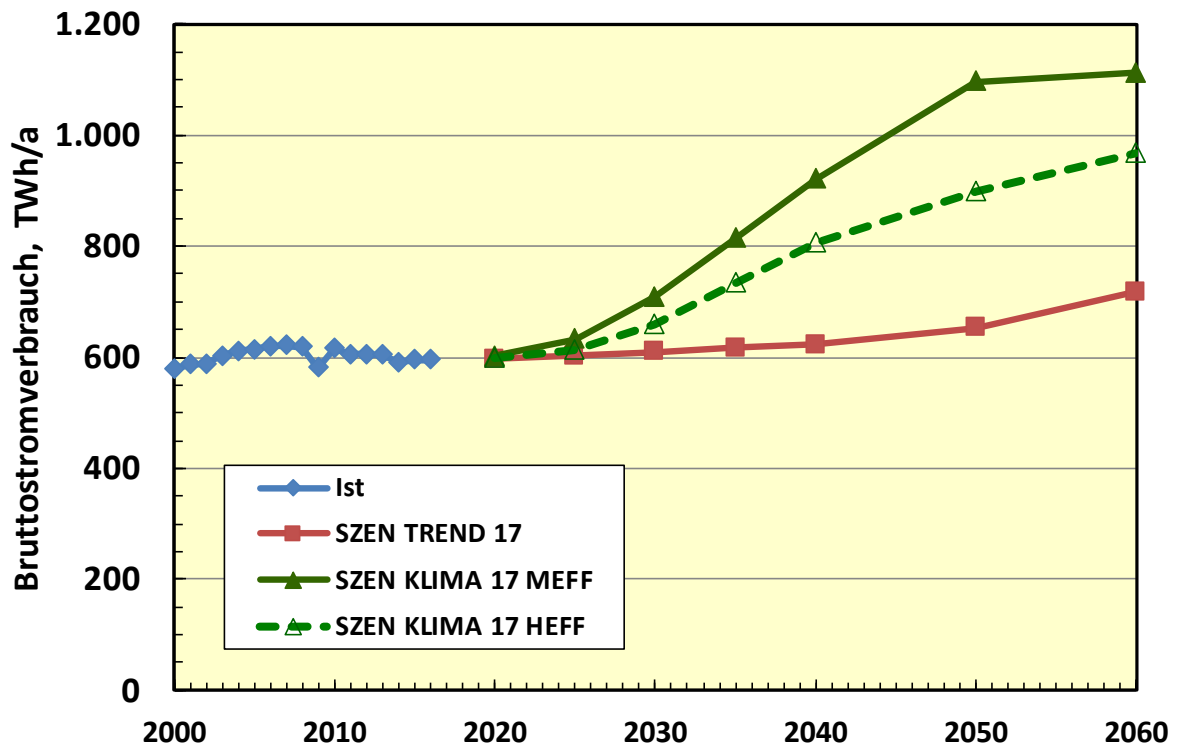


Abbildung E 3: Entwicklung des Bruttostromverbrauchs

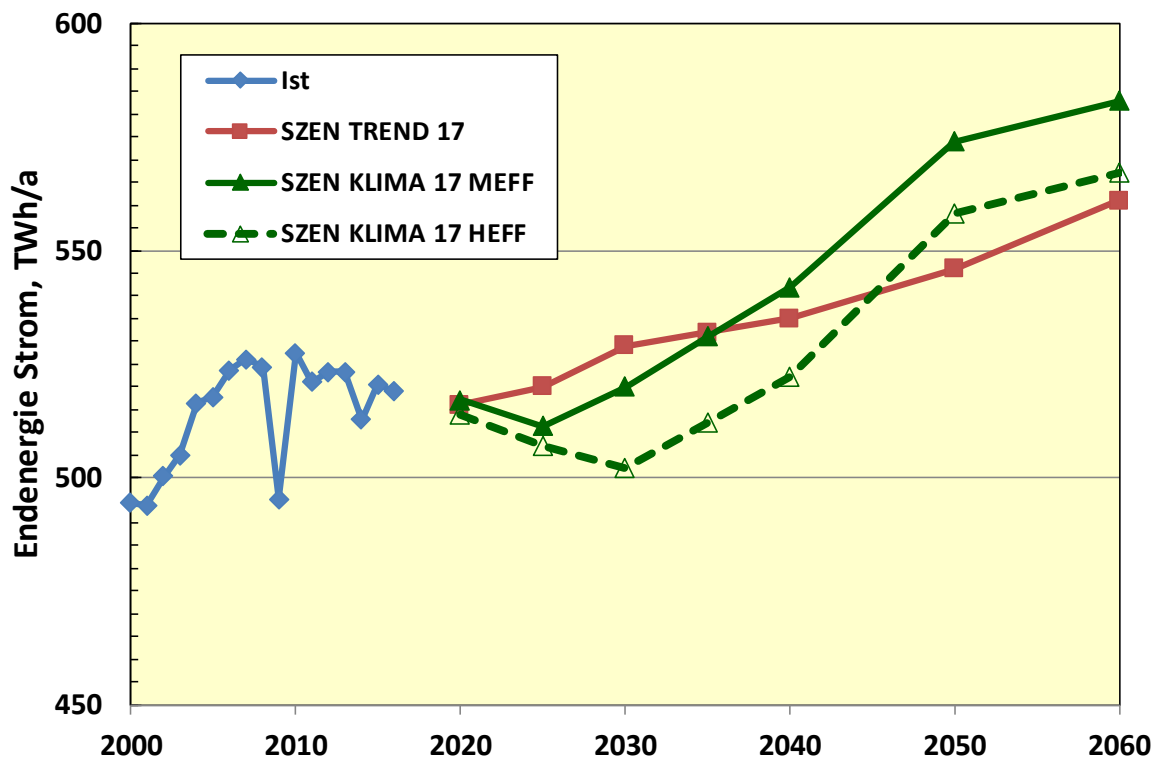


Abbildung E 4: Entwicklung des Stromendenergieverbrauchs (Unterdrückter Nullpunkt !)

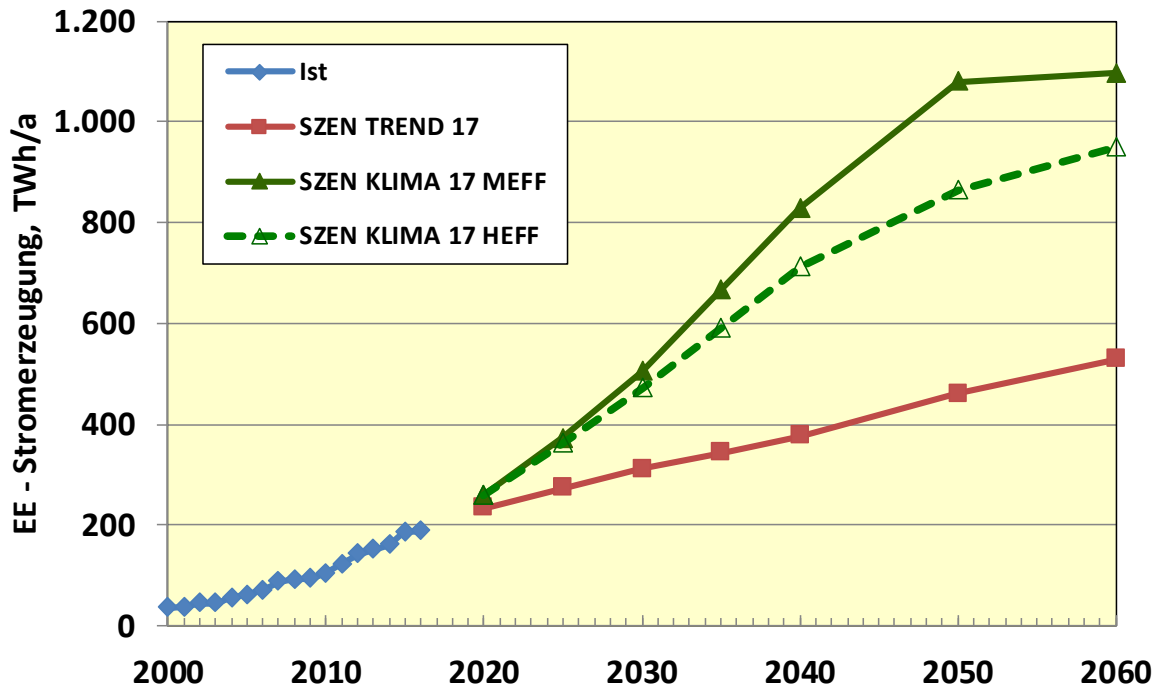


Abbildung E 5: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

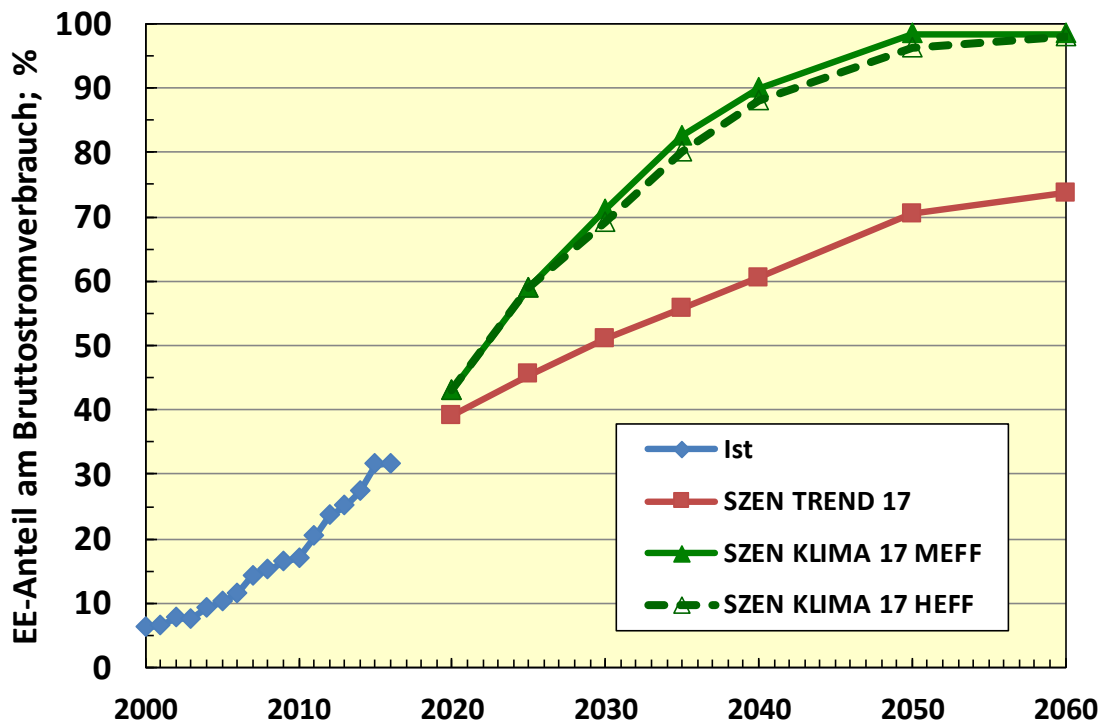


Abbildung E 6: EE-Anteil am Bruttostromverbrauch

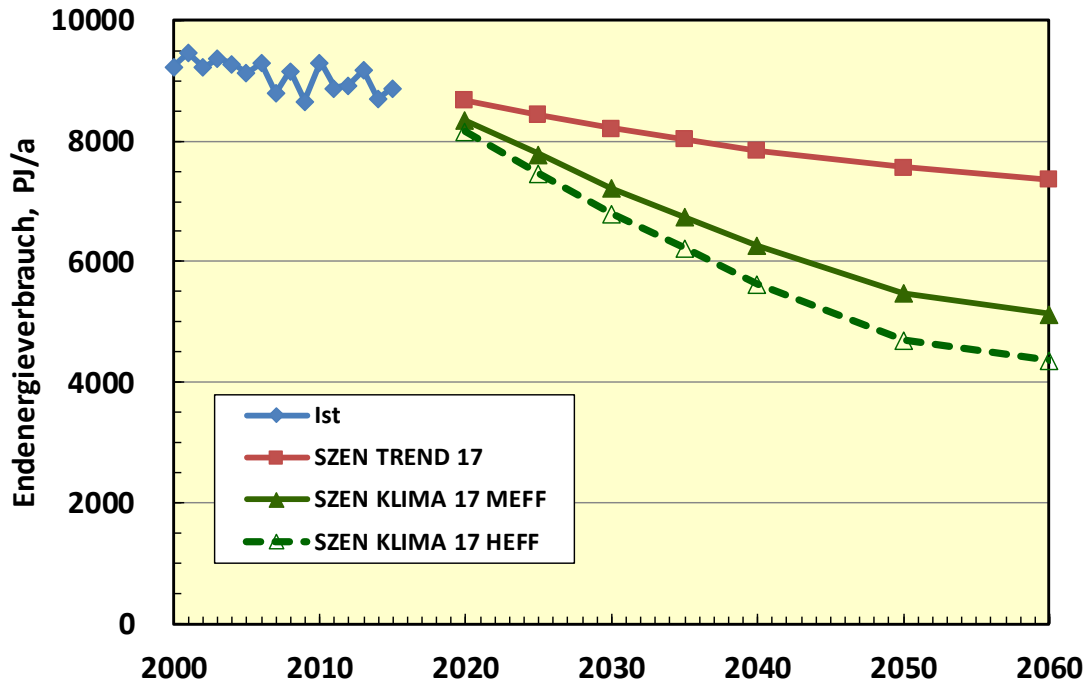


Abbildung E 7: Entwicklung des Endenergieverbrauchs

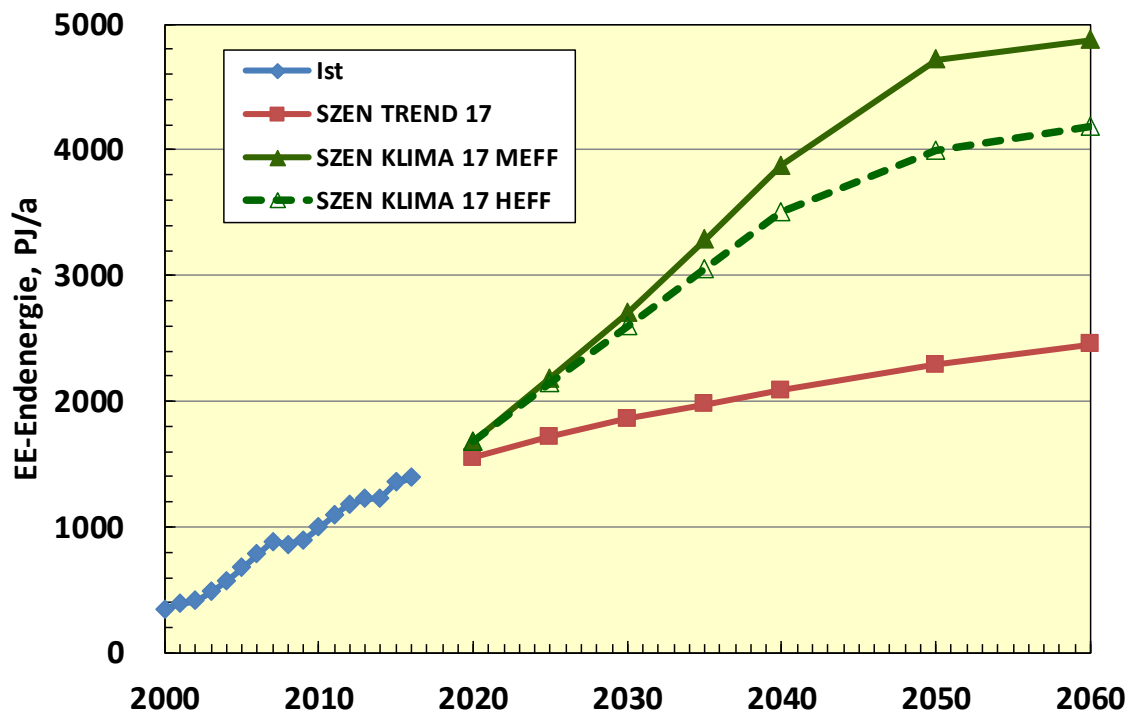


Abbildung E 8: Entwicklung des Endenergieverbrauchs erneuerbarer Energien

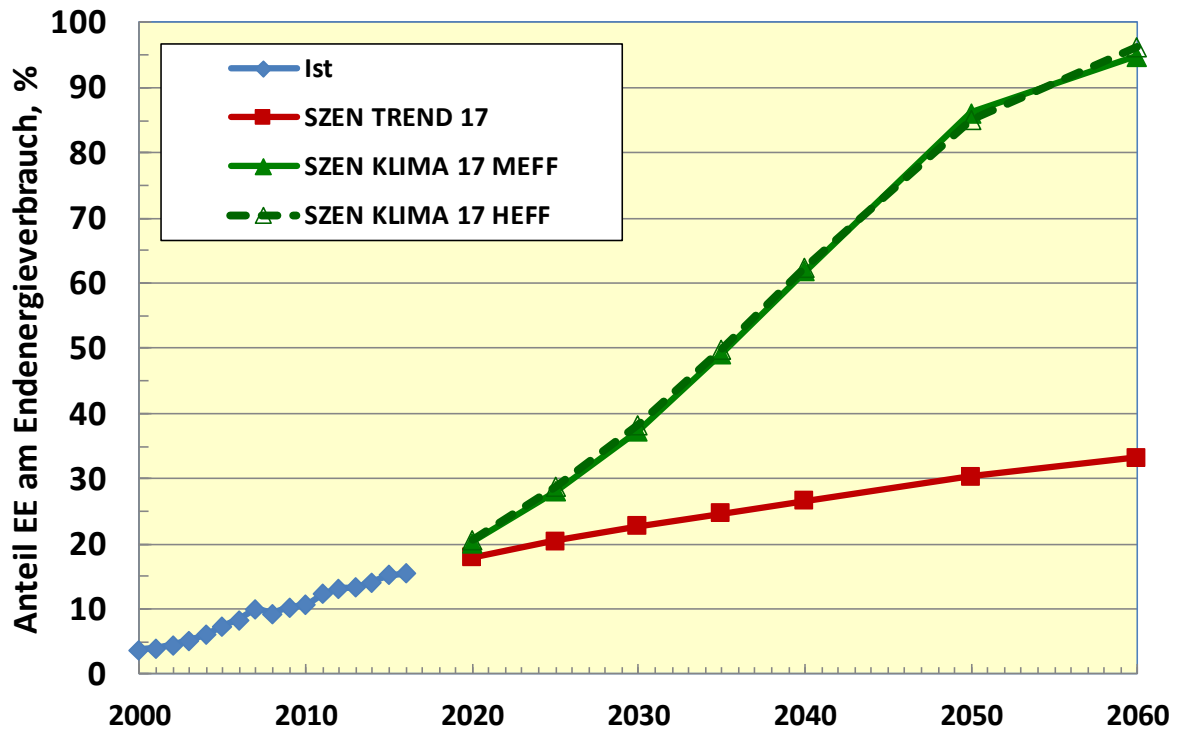


Abbildung E 8: EE-Anteil am gesamten Endenergieverbrauch

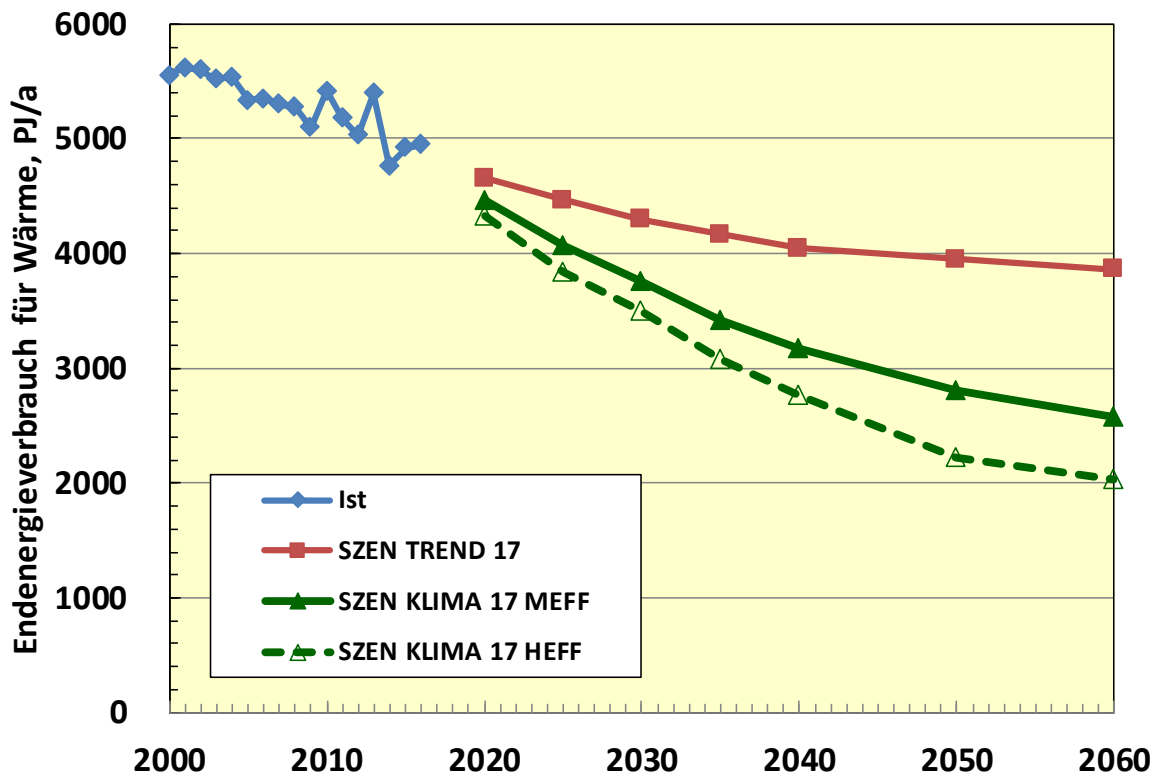


Abbildung E 9: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Wärmezwecke

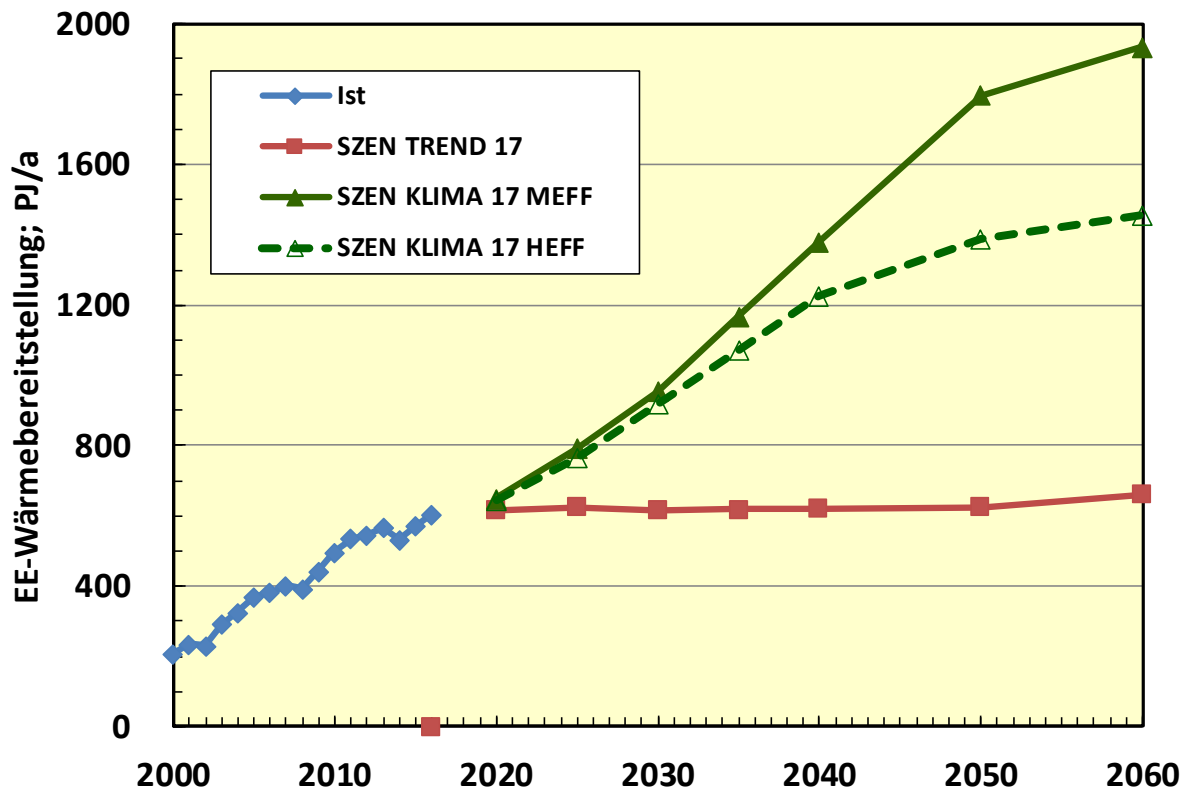


Abbildung E 10: EE-Anteil an der Wärmebereitstellung (ohne Wärmeanteil durch EE-Strom)

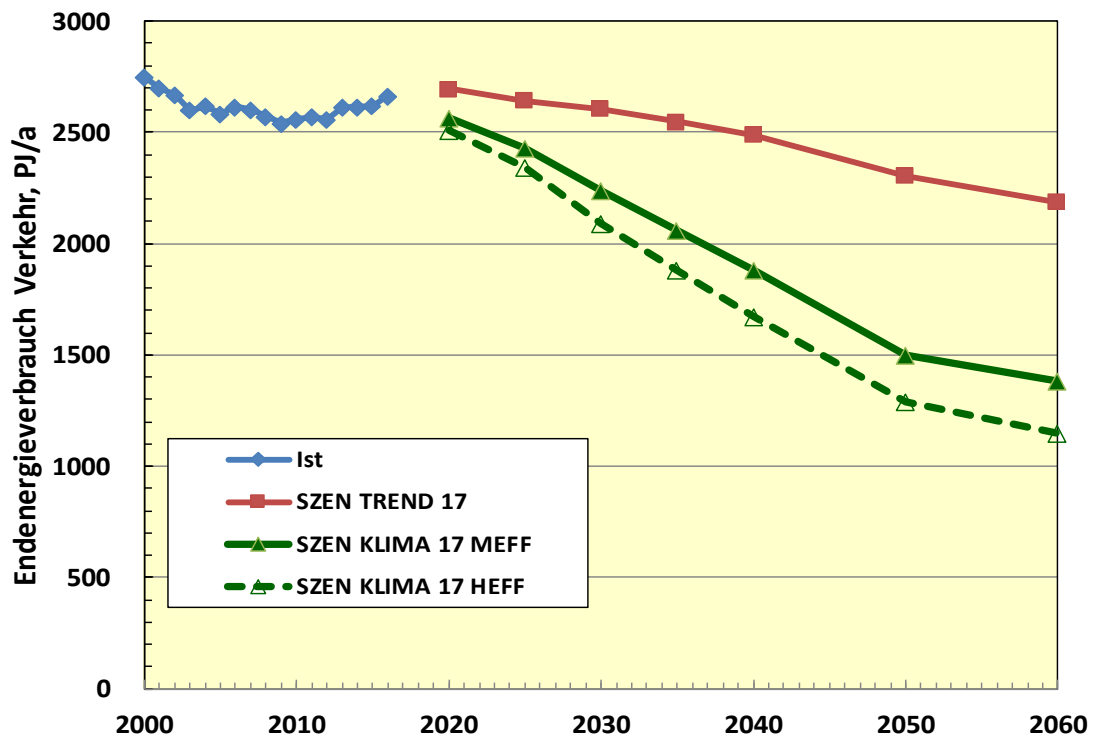


Abbildung E11: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr

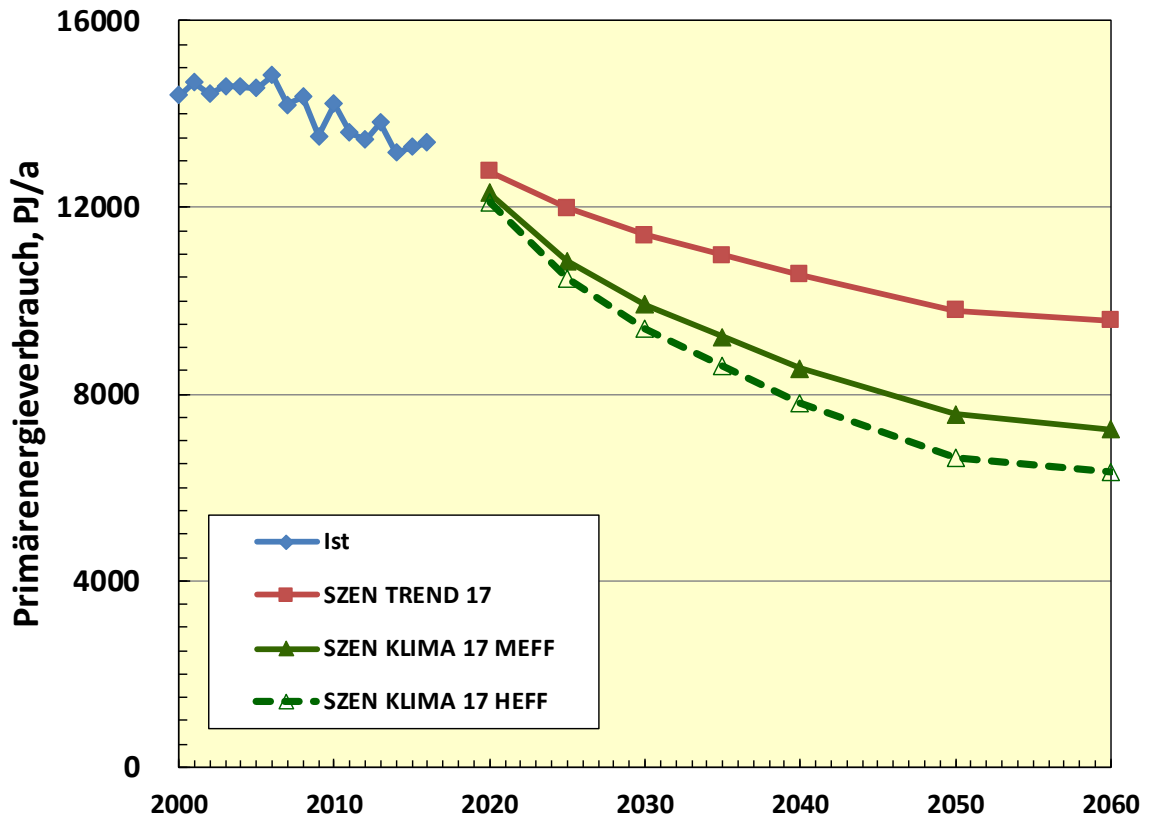


Abbildung E 12: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

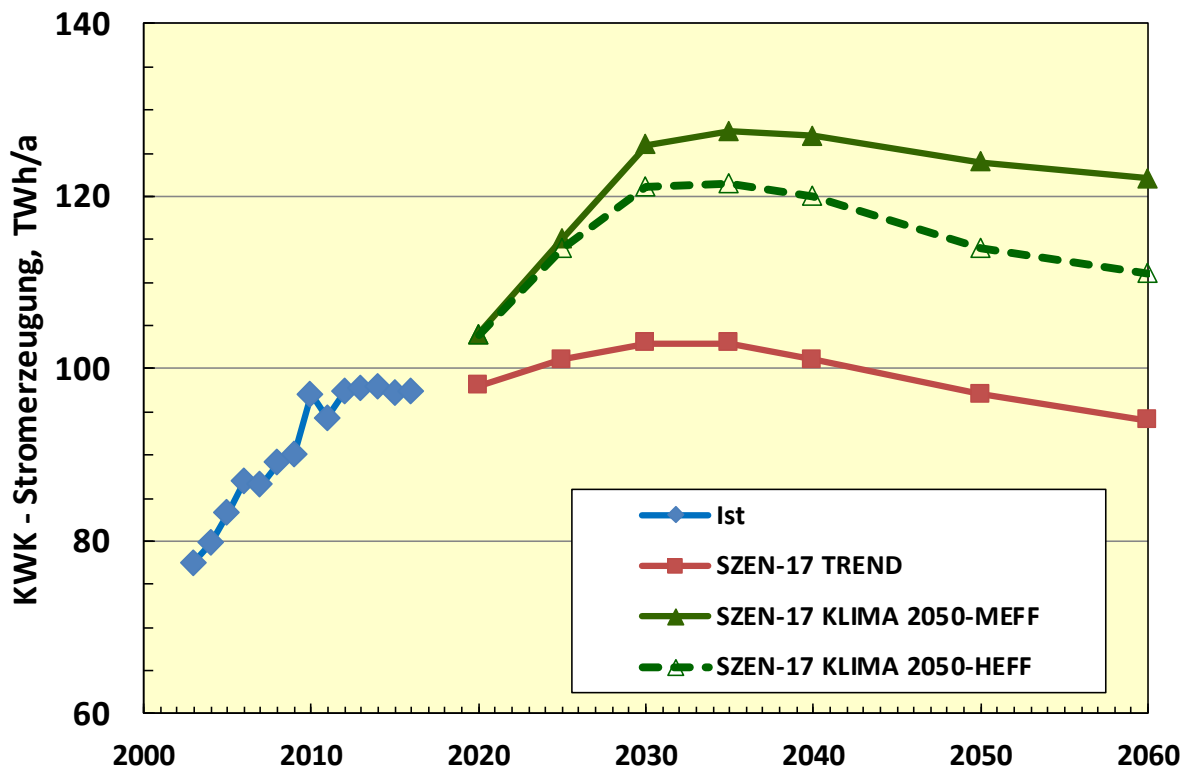


Abbildung E 13: Entwicklung der Stromerzeugung aus KWK-Anlagen

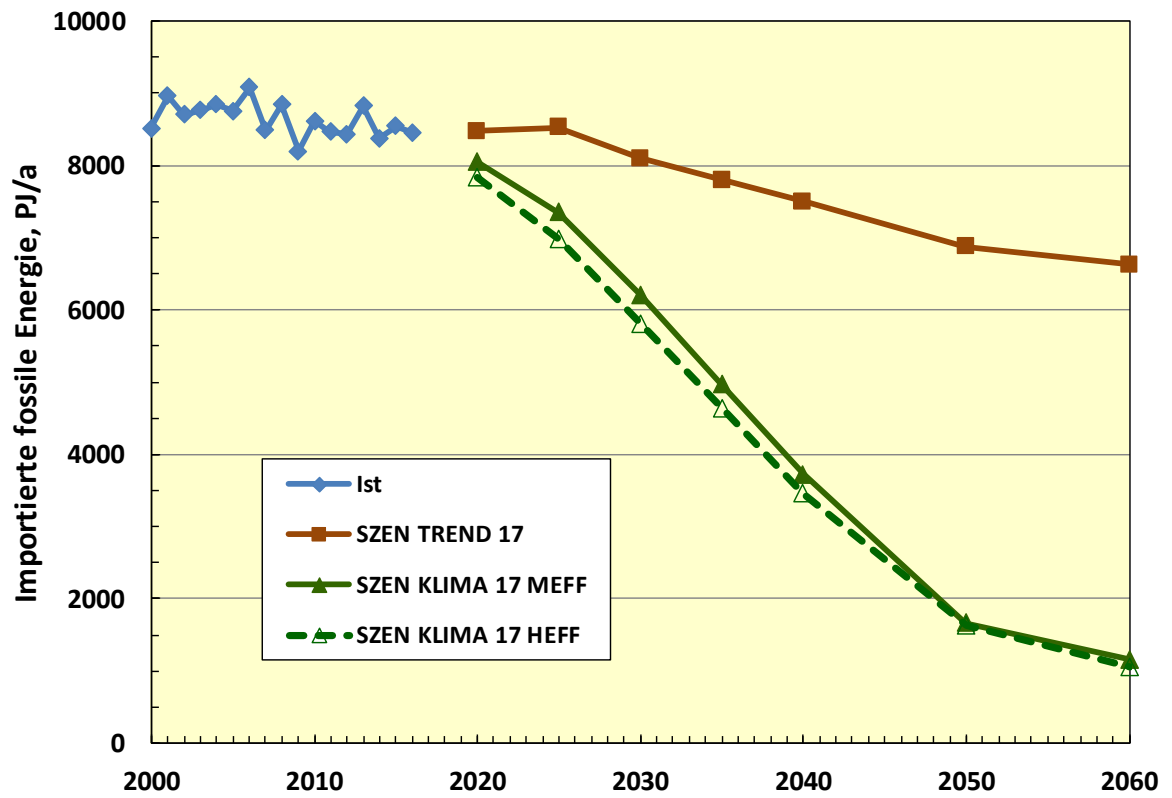


Abbildung E 14: Menge importierter fossiler Energieträger

