

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

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

**Dr. Joachim Nitsch
Stuttgart, 7. März 2016**

Zusammenfassung

Szenariodefinition

Ein Szenario **SZEN-16 „TREND“** beschreibt – ausgehend vom Status am Jahresende 2015 - die Wirkungen der derzeit von der Bundesregierung formulierten energiepolitischen Aktionsprogramme und Planungen. Ausgangsbasis sind die Zielsetzungen des Energie- und Klimaschutzkonzepts aus dem Jahr 2011, für den Strom aus erneuerbaren Energien ergänzt um die Zielvorgaben des EEG 2014. Gegenüber der letzten Szenarioaktualisierung [SZEN-2015] hat sich die Ausgangslage verschlechtert. Zum einen sind im Vergleich zu 2014 Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen wieder leicht gestiegen [UBA 2016; AG-Energiebilanzen 2015], zum anderen sind die Anreize für einen Umbau der Energieversorgung derzeit noch geringer als Ende 2014 (auf absehbare Zeit sehr niedrige Preise für fossile Energien und für Börsenstrom; nach wie vor sehr niedrige CO₂-Preise; geringe politische Prioritäten für Klimaschutz und Energiewende). Für die deutlich erforderliche Steigerung der Energieeffizienz wird zwar von einer gegenüber der vergangenen Entwicklung verstärkenden Wirkung des Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) und des angekündigten Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 ausgegangen, allerdings dürfte deren Wirkung in dem nur noch kurzen Zeitraum bis 2020 auch bei steigenden Umsetzungsanstrengungen gering bleiben.

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

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

Wird, wie in Paris angekündigt, angestrebt, unter der 2°C- Marke zu bleiben, so zeigen aktuelle Klimaschutzszenarien, dass dafür bis 2050 sogar „negative“ CO₂-Emissionen, also der Einsatz von CCS-Verfahren, erforderlich sind. So nennt z.B. [Rogelj 2016] für die EU eine erforderliche Reduktionsbandbreite der Treibhausgasemissionen in 2050 von -95% bis -115%. Näherungsweise müsste Deutschland dazu bereits **bis 2040** eine praktisch 100%ig dekarbonisierte Energieversorgung schaffen, um danach CO₂-Emissionen dauerhaft aus der Atmosphäre zu entfernen. Die dazu erforderliche erhebliche Umstrukturierungsdynamik bis 2040 wird beispielhaft im Szenario **SZEN-16 „KLIMA 2040“** dargestellt.

Ergebnisse im Überblick

Nach einem Anstieg der THG-Emissionen zwischen 2011 und 2013 ist das Emissionsniveau in 2014 deutlich gesunken und betrug 902 Mio. t/CO_{2äquiv}/a [UBA 2016], was überwiegend auf die milde Witterung in diesem Jahr zurückzuführen war. Die Emissionsminderung gegenüber 1990 beträgt gut -27% (2013: -24%). Für 2015 werden die THG-Emissionen wegen eines leichten Anstiegs des fossilen Energieverbrauchs, bedingt durch ein im Vergleich zu 2014 etwas kühlerem Jahr, wieder leicht steigen. Es wird ein Anstieg auf 907 Mio. t/CO_{2äquiv}/a erwartet. Zwei Drittel der seit 1990 erreichten CO₂-Minderung von 252 Mio. t CO₂/a wurden durch den Ausbau der EE bewirkt und dort zu gut 70% durch den Ausbau der EE-Stromerzeugung. Um das Reduktionsziel für 2020 von -40% gegenüber 1990 zu erreichen (750 Mio. t/CO_{2äquiv}/a), muss eine weitere Nettoemissionsminderung (d.h. unter Berücksichtigung des weiteren Rückgangs der Stromerzeugung aus Kernenergie) von 157 Mio. t CO_{2äquiv}/a bis 2020 erfolgen. Auch bei sehr erfolgreichen kurzfristigen Anstrengungen zur Effizienzsteigerung kann dieses Ziel bis 2020 nicht mehr erreicht werden (Tab. 1). Dazu ist bereits zu viel Zeit verstrichen. Im Szenario SZEN-16 „TREND“ wird bis 2020 nur eine Nettominderung von 53 Mio. t CO_{2äquiv}/a erzielt, das Reduktionsziel also um rund 100 Mio. t CO_{2äquiv}/a verfehlt.

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

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

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

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

Bei Beibehaltung der im SZEN-16 „TREND“ modellierten Entwicklung wird das langfristige Klimaschutzziel 2050 mit einer Minderung von nur 58% erheblich verfehlt (**Abb. 1**). In den Szenarien zeigt sich, dass ein „Aufholen“ des Effizienzbeitrags (EFF) zur Treibhausgasmin- derung eintreten muss, damit die Klimaschutzziele erreicht werden können. Er muss bereits innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine ähnliche Wirkung erreichen, wie die CO₂-Minderung durch den Ausbau der EE. Dies ist in den Klimaschutzszenarien der Fall.

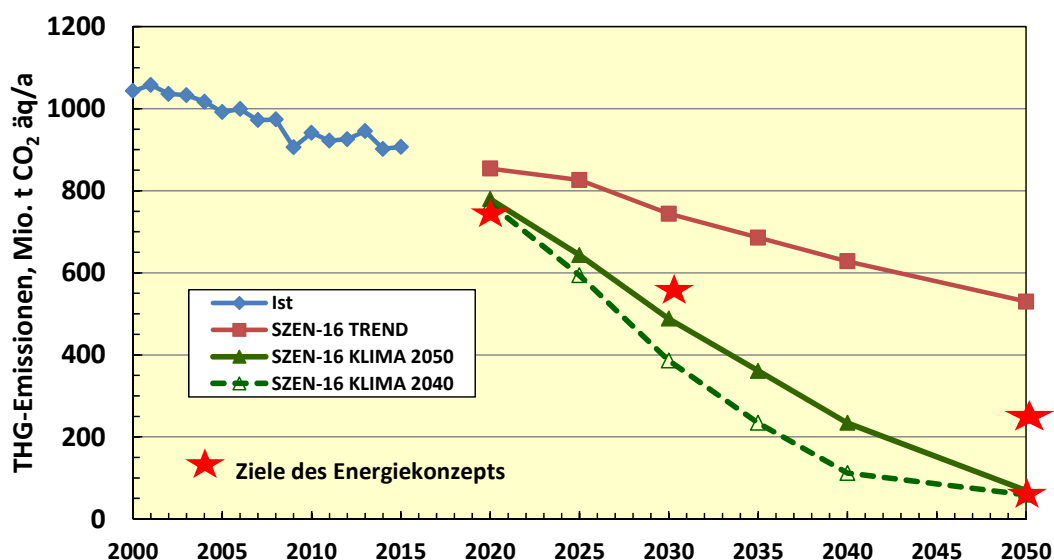


Abbildung 1: Bisheriger Verlauf der gesamten nationalen THG-Emissionen und Entwicklung in den Szenarien SZEN-16 „TREND“, SZEN-16 „KLIMA 2050“ und SZEN-16 „KLIMA 2040“ im Vergleich zu den Zielen des Energiekonzepts. Quelle für Ist: UBA 2016

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

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

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

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

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

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

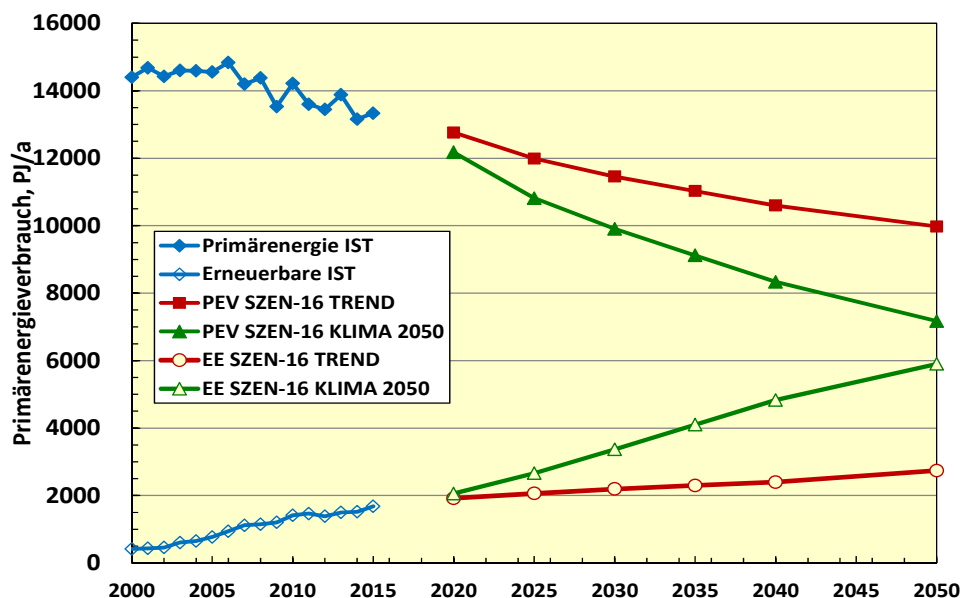


Abbildung 2: Zusammenwirken von Effizienzstrategie und EE-Ausbau zur Erreichung des Klimaschutzziels (Vergleich von SZEN-16 „TREND“ und SZEN-16 „KLIMA-2050“)

EE-Stromerzeugung

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

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

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

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

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

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

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

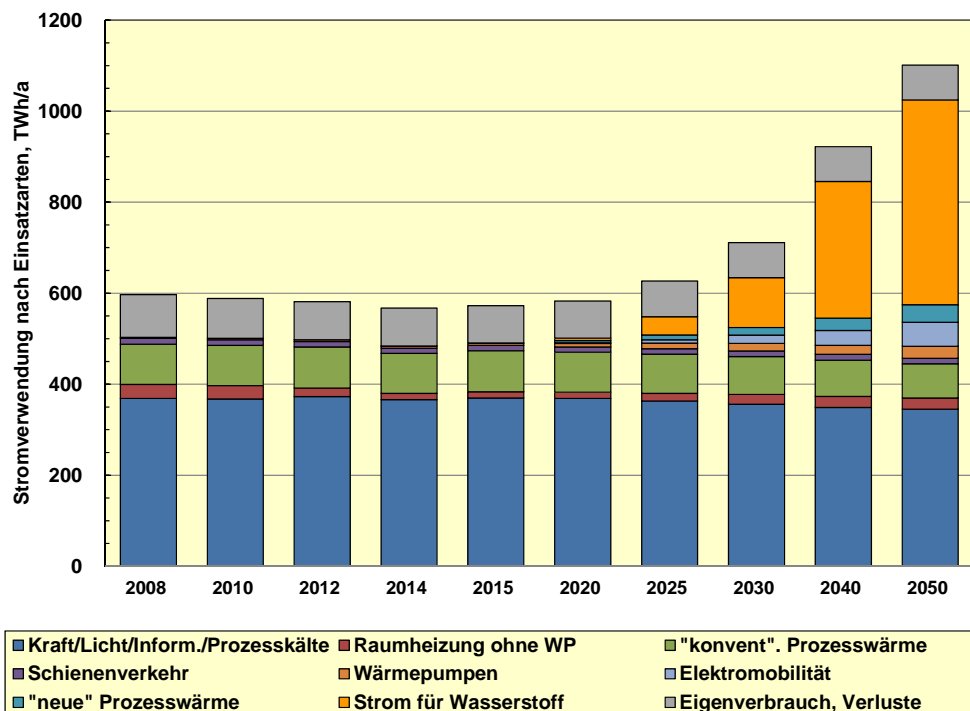


Abbildung 3: Bruttostromerzeugung für „konventionelle“ und „neue“ Stromverwendungen in SZEN-16 „KLIMA 2050“. „Neue“ Stromverwendungen sind: Wärmepumpen, Elektromobilität, „Power to Heat“ für Prozesswärme und Wärmenetze; „Power to Gas“ (Wasserstoff) für KWK, Prozesswärme und chemische Industrie sowie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

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

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

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

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

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

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

Wärmesektor

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

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

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

Tabelle 5: Energieverbrauch für Wärmezwecke und zukünftige Beiträge der EE

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

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

2) Anteil an gesamter Wärme abzgl. Stromwärme

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

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

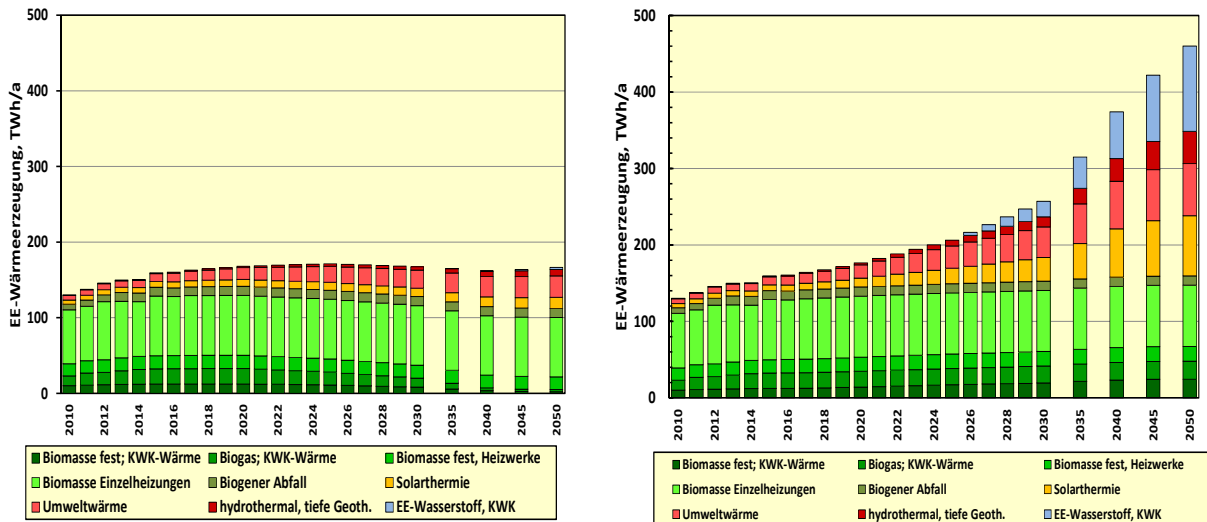


Abbildung 4: Entwicklung der EE-Wärmeerzeugung (ohne Stromanteil) im Trendszenario SZEN-16 „TREND“ (links) und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050“; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts (in TWh/a; 1 TWh/a = 3,6 PJ/a)

Verkehrssektor

Im Verkehrssektor ist noch nichts von der Energiewende bemerkbar. Seit 2003 ist sein Energieverbrauch praktisch nicht mehr gesunken, der Verbrauch des Jahres 2015 liegt mit 2656 PJ/a sogar leicht über dem für das Energiekonzept gewählten Bezugswert des Jahres 2008. Mit 185 Mio. t CO₂/a stammen 23% der nationalen CO₂-Emissionen aus dem Verkehr, eine Reduktion dieser Emissionen ist bisher so gut wie nicht erfolgt. Auch der EE-Anteil am gesamten Endenergieverbrauch des Verkehrs ist mit knapp 5 % noch gering.

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

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

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

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

1) einschließlich EE-Strom

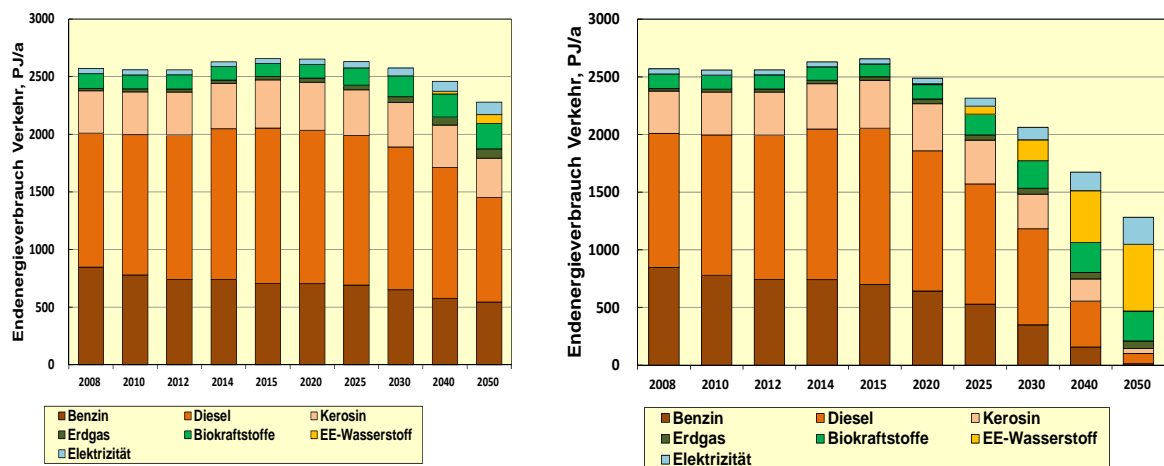


Abbildung 5: Entwicklung der Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im Verkehr im Trendszenario SZEN-16 „TREND“ (links) und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050“; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts.

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

Fazit

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

Die derzeitigen energiepolitischen Aktivitäten (Aktionsprogramm „Klimaschutz“; NAPE; Strommarkt 2.0; neues KWK-G) zeigen, dass die Politik das Problem zwar erkannt hat, aber bei der wirksamen Umsetzung im Verzug ist. Gleichzeitig schwächen die derzeitigen ökonomischen Rahmenbedingungen (sehr niedrige Energiepreise; geringe CO₂-Preise) die Umsetzungsanreize weiter. Die jetzigen Aktionsprogramme und Novellierungsvorschläge werden kurzfristig nicht ausreichend wirksame Impulse entwickeln, um das Kurzfristziel (-40% THG-Minderung bis 2020) zu erreichen. Dieser „Verzug“ kann allerdings bis 2030 prinzipiell aufgeholt werden, wenn in den nächsten Jahren robuste Maßnahmen ergriffen und dem Klimaschutz angemessene ökonomische Instrumente für den Energiemarkt geschaffen werden. Von herausragender Bedeutung dafür sind höhere CO₂-Preise (mindestens 40-50 €/t) oder äquivalente CO₂-Steuern; im Verkehr ggf. äquivalente Besteuerung von Kraftstoffen) Dadurch würden die durch einen ungebremsen Klimawandel eintretenden Schäden (bzw. Kosten) in wirksame Preissignale umgewandelt. Investitionen in Effizienzsteigerungen wären dann sehr viel wirtschaftlicher und die EE-Technologien könnten sich ohne kompliziertes Förderinstrumentarium im Energiemarkt weiter etablieren.

Im Stromsektor könnte bei angemessenen hohen CO₂-Preisen ein erheblich rascherer, weil marktgetriebener Strukturwandel weg von Kohlekraftwerken und hin zu Erdgaskraftwerken und EE-Anlagen erfolgen. Dieser ist eine zentrale Voraussetzung für die Herausforderungen, die auf Stromsektor als Hauptsegment (EE-Strom als „Hauptenergieträger“) einer klimaverträglichen Energieversorgung zukommen. **Abbildung 6** veranschaulicht die in SZEN-16 „KLIMA2050“ notwendigen strukturellen Verschiebungen im fossilen Kraftwerkssegment im Vergleich zum SZEN-16 „TREND“. Bis 2030 wird eine Gasleistung von 42 GW benötigt, die Kohleleistung ist auf rund 30 GW gesunken (2,7 GW Leistung von Müll-HKW sind in „Kohle“ enthalten). In 2050 werden noch rund 32 GW gasgefeuerte Anlagen betrieben, die nahezu vollständig mit EE-Wasserstoff als KWK-Anlagen betrieben werden. Weitere 32 GW Leistung stehen aus Biomasse-, Wasserkraft-, Geothermie- Anlagen und Speichern zur Verfügung. Die letzten Kohlekraftwerke gehen um 2045 vom Netz.

Verstärkt sich die Umbaudynamik im gesamten Energiesektor nicht erheblich, würden die fossilen Energieträger auch noch zur Jahrhundertmitte mit 70 – 75% Anteil das Energiesystem dominieren (**Abb.7, links**). Das Klimaschutzziel wäre weit verfehlt. Zur Verwirklichung der eigentlichen Energiewendeziele ist eine über Jahrzehnte stabile Entwicklungsdynamik gemäß Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ notwendig. Damit wären bis 2050 ein Verbrauchsrückgang um 50% und ein Beitrag der EE am gesamten Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetischen Einsatz fossiler Energieträger) von rund 95% möglich (**Abb.7, rechts**). Die verbleibenden THG-Emissionen beliefen sich dann auf 69 Mio. t CO_{2eq/a}, davon CO₂-

Emissionen in Höhe von nur noch 28 Mio. t CO₂/a. In einem Szenario Szen-16 „KLIMA2040“ wird zusätzlich gezeigt, wie dieser Zustand bereits bis zum Jahr 2040 herbeigeführt werden könnte. Diese Entwicklung legen die Erkenntnisse des Klimagipfels in Paris im Dezember 2015 für ein Industrieland nahe, wenn global sicher die 2°C-Grenze eingehalten werden soll. An den dazu erforderlichen sehr hohen Umstrukturierungsgeschwindigkeiten lässt sich zeigen, vor welchen enormen Herausforderungen eine Volkswirtschaft steht, wenn sie einen ernsthaften Beitrag zum globalen Klimaschutz leisten will.

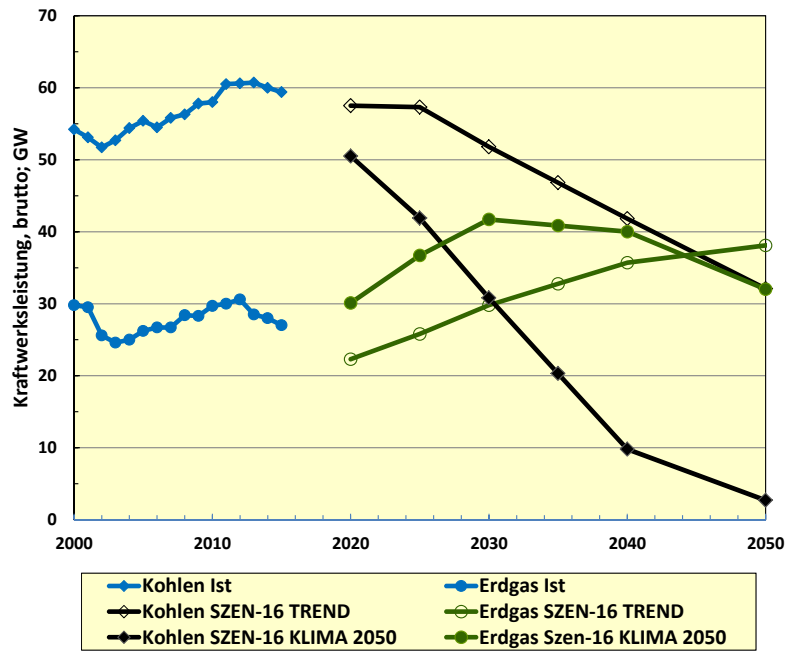


Abbildung 6: Entwicklung der Leistung von Kohle- und Erdgaskraftwerken (KOND- und KWK-Anlagen) im Trendszenario SZEN-16 „TREND“ und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050“) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts.

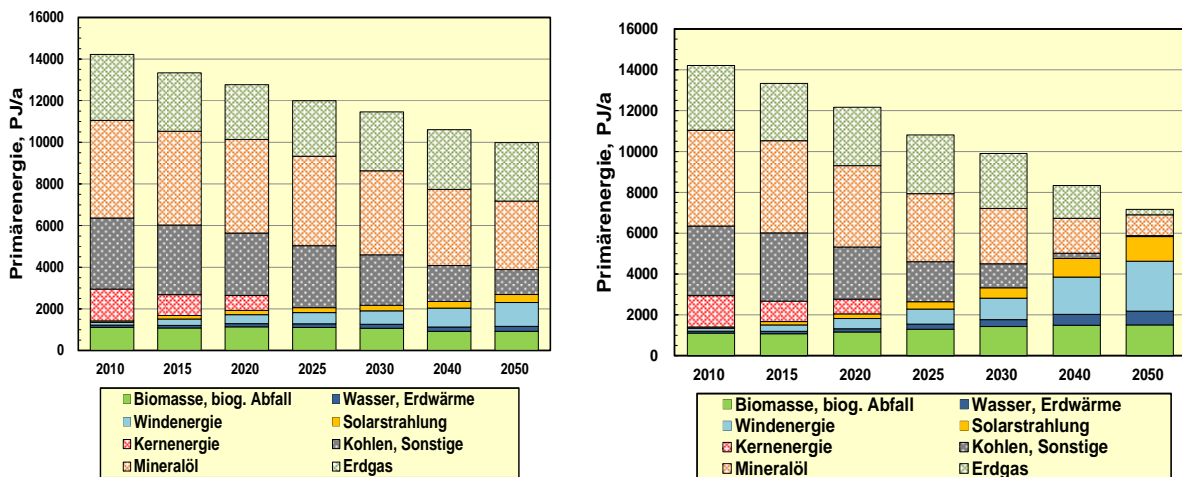


Abb. 7: Umbaudynamik der Energieversorgung (am Beispiel der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs) unter gegenwärtigen Trendentwicklungen (Szenario SZEN-16 „TREND“, links) und die aus Klimaschutzsicht mindestens notwendigen Entwicklungsgradienten (SZEN-16 „KLIMA 2050“, rechts). Der verbleibende fossile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

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1. Derzeitige Ausgangssituation..... | 15 |
| 2. Szenariendefinition..... | 17 |
| 3. Ergebnisse im Überblick..... | 19 |
| 4. Wesentliche Einzelergebnisse der Szenarien..... | 23 |
| 5. Zukünftiger Strombedarf und resultierende Erzeugungsstruktur..... | 27 |
| 6. EE-Strombereitstellung..... | 33 |
| 7. Entwicklung der Wärmeversorgung..... | 36 |
| 8. Entwicklung des Verkehrssektors..... | 40 |
| 9. Fazit und Schlussfolgerungen..... | 44 |
| 10. Literatur..... | 45 |
| 11. Anhang: Ausgewählte Szenariodaten und Grafiken..... | 47 |

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

1. Derzeitige Ausgangssituation

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

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

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

| IST - Werte | 2008 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Ziel 2020 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| THG-Emissionen*) | | | | | | | |
| Absolut; Mio.t CO _{2äquiv} /a | 974 | 922 | 926 | 945 | 902 | 907 | 750 |
| Reduktion ggü. 1990; % | -22,1 | -26,2 | -25,9 | -24,4 | -27,8 | -27,4 | -40 |
| CO₂-Emissionen **) | | | | | | | |
| Gesamt; Mio.t CO ₂ /a | 853 | 813 | 817 | 836 | 793 | 798 | 630 |
| Reduktion ggü. 1990; % | -18,8 | -22,6 | -22,2 | -20,4 | -24,5 | -24,0 | (-40) |
| nur Stromerzeugung; Mio.t CO ₂ /a | 330 | 305 | 325 | 318 | 317 | 313 | |
| Reduktion ggü. 1990; % ***) | -7,6 | -14,6 | -9,0 | -10,9 | -11,2 | -12,3 | |
| Effizienz | | | | | | | |
| Primärenergieverbrauch; PJ/a | 14380 | 13599 | 13447 | 13882 | 13158 | 13335 | 11500 |
| Reduktion bez. auf 2008; % | | -5,4 | -6,5 | -3,5 | -8,5 | -7,3 | -20 |
| Endenergieverbrauch; PJ/a | 9159 | 8881 | 8919 | 9220 | 8648 | 8835 | (7810) |
| Reduktion bez. auf 2008; % | | -3,0 | -2,6 | 0,7 | -5,6 | -3,5 | |
| Bruttostromverbrauch; TWh/a ⁺) | 618 | 607 | 607 | 605 | 592 | 597 | 557 |
| Reduktion bez. auf 2008; % | | -1,8 | -1,8 | -2,2 | -4,2 | -3,5 | -10 |
| EE-Zubau | | | | | | | |
| EE-Endenergie; PJ/a | 811 | 1059 | 1166 | 1230 | 1226 | 1384 | 1460 |
| Anteil an Endenergie; % | 8,9 | 11,9 | 13,1 | 13,3 | 14,2 | 15,7 | 18,7****) |
| EE-Strom; TWh/a | 93,2 | 123,8 | 143,8 | 152,4 | 162,5 | 194,0 | 195 |
| Anteil an Bruttoverbrauch; % | 15,1 | 20,4 | 23,7 | 25,2 | 27,4 | 32,5 | 35 (mind.) |
| *) 1990 = 1250 Mio. t CO _{2äquiv} | | | | | | | |
| **) Energie und Industrieprozesse (1990 = 1050 Mio. t CO ₂) | | | | | | | |
| ***) 1990 = 357 Mio. t CO ₂ /a; () aus Zielvorgaben abgeleitete Werte | | | | | | | |
| ****) 18% bezogen auf Brutto-Endenergieverbrauch lt. EU-Richtlinie 2009/28/EG | | | | | | | |
| +) nach neuester Schätzung der AG Energiebilanzen vom 28.1. 2016 lautet der Wert für 2015: 600 TWh/a | | | | | | | |

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

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

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

2. Szenariendefinition

Ein Szenario **SZEN-16 „TREND“** beschreibt – ausgehend vom Status am Jahresende 2015 - die Wirkungen der derzeit von der Bundesregierung formulierten energiepolitischen Aktionsprogramme und Planungen. Ausgangsbasis sind die Zielsetzungen des Energie- und Klimaschutzkonzepts aus dem Jahr 2011, für den Strom aus erneuerbaren Energien ergänzt um die Zielvorgaben des EEG 2014. Gegenüber der letzten Szenarioaktualisierung [Nitsch 2015] hat sich die Ausgangslage verschlechtert. Zum einen sind im Vergleich zu 2014 Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen wieder leicht gestiegen [UBA 2016; AG-Energiebilanzen 2015], zum anderen sind die Anreize für einen Umbau der Energieversorgung derzeit noch geringer als Ende 2014 (auf absehbare Zeit sehr niedrige Preise für fossile Energien und für Börsenstrom; nach wie vor sehr niedrige CO₂-Preise; geringe politische Prioritäten für Klimaschutz und Energiewende). Für die deutlich erforderliche Steigerung der Energieeffizienz wird von einer gegenüber der vergangenen Entwicklung verstärkenden Wirkung des Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz und des angekündigten Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 [Klimaschutz 2014] ausgegangen, allerdings dürfte deren Wirkung in dem nur noch kurzen Zeitraum bis 2020 auch bei steigenden Umsetzungsanstrengungen gering bleiben.

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

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

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

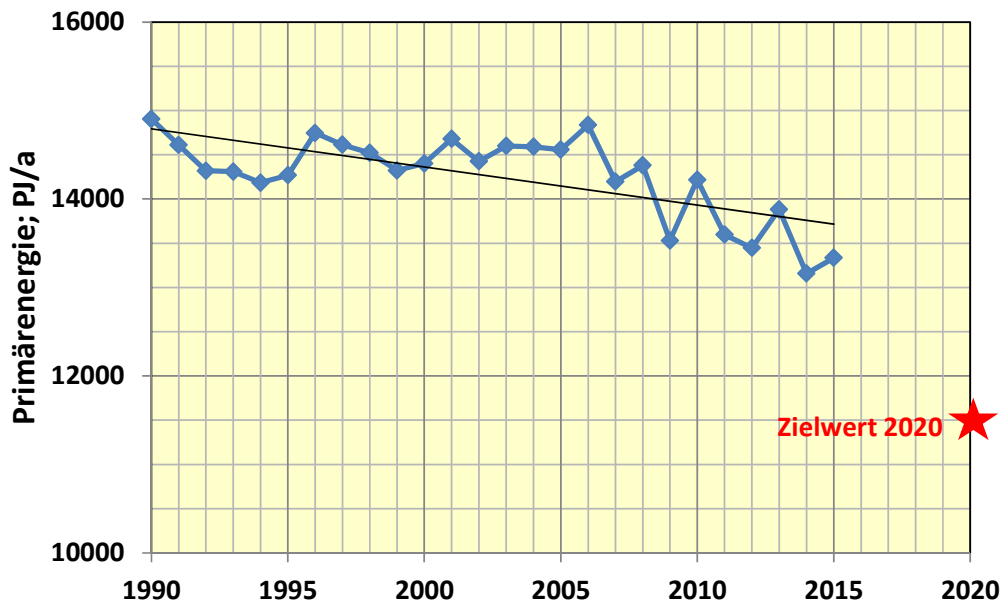


Abbildung 1: Verlauf des Primärenergieverbrauchs seit 1990, linearer Trend und Zielwert 2020 (-20% Minderung ggü. 2008 entsprechend 11 500 PJ/a) gemäß Energiekonzept (unterdrückter Nullpunkt).

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

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

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

Wird, wie in Paris angekündigt, angestrebt, unter der 2°C- Marke zu bleiben, so zeigen aktuelle Klimaschutzszenarien, dass dafür bis 2050 sogar „negative“ CO₂-Emissionen, also der Einsatz von CCS-Verfahren, erforderlich sind. So nennt z.B. [Rogelj 2016] für die EU eine erforderliche Reduktionsbandbreite der Treibhausgasemissionen in 2050 von -95% bis -115%. Näherungsweise müsste Deutschland dazu bereits **bis 2040** eine praktisch 100%ig dekarbonisierte Energieversorgung schaffen, um danach CO₂-Emissionen dauerhaft aus der Atmosphäre zu entfernen. Die dazu erforderliche erhebliche Umstrukturierungsdynamik bis 2040 wird beispielhaft im Szenario **SZEN-16 „KLIMA 2040“** dargestellt.

3. Ergebnisse im Überblick

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

Bei Beibehaltung der im SZEN-16 „TREND“ modellierten Entwicklung wird das langfristige Klimaschutzziel 2050 mit einer Minderung von nur 58% erheblich verfehlt (Abbildung 2). Sowohl die Minderung des Primärenergieverbrauchs mit -30%, als auch der EE-Anteil von 30% bleiben deutlich hinter den Zielsetzungen des Energiekonzepts zurück. In den Klimaschutzszenarien zeigt sich, dass ein „Aufholen“ des Effizienzbeitrags zur Treibhausgasminderung eintreten muss, damit die Klimaschutzziele erreicht werden können. Er muss bereits innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine ähnliche Wirkung erreichen, wie die CO₂-Minderung durch den Ausbau der EE. Damit ist das Verbrauchsminderungsziel von rund -50% in 2050 erreichbar. Gleichzeitig haben in diesen Szenarien die EE mit Anteilen von gut 90% am (Brutto) Endenergieverbrauch die fossilen Energien weitgehend aus der Energieversorgung verdrängt (Tabelle 2).

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

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

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

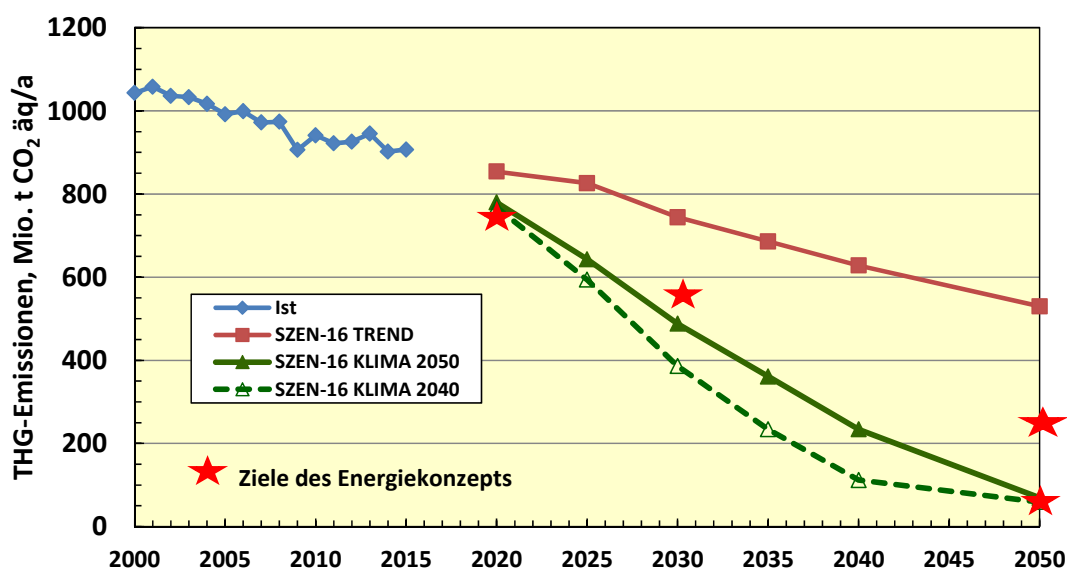


Abbildung 2: Bisheriger Verlauf der gesamten nationalen THG-Emissionen und Entwicklung in den Szenarien SZEN-16 „TREND“, SZEN-16 „KLIMA 2050“ und SZEN-16 „KLIMA 2040“ im Vergleich zu den Zielen des Energiekonzepts. Quelle für Ist: UBA 2016

Im SZEN-16 „KLIMA 2050“ wird im Jahr 2050 eine THG-Minderung von -95% erreicht. Die dazu erforderliche Minderung der CO₂-Emissionen in Höhe von insgesamt 1020 Mio. t CO₂/a bzw. -97,5% (bezogen auf 1990) wird zu 58% durch EE und zu 42% durch EFF erbracht. Der Primärenergieeinsatz (einschl. nichtenergetischem Beitrag) halbiert sich gegenüber 2008. Der Endenergieverbrauch beträgt dann noch 54% des 2008er Wertes und wird zu 93% durch EE erbracht (**Tabelle 3; Abbildung 3**). Soll ein ähnlicher Zustand bereits in 2040 erreicht werden, müssen sowohl EE-Zubau als auch EFF-Steigerung erheblich rascher verlaufen. SZEN-16 „KLIMA 2040“ nähert diesen Zustand an und erreicht damit bis 2040 eine THG-Minderung von -91% bzw. eine CO₂-Minderung von -94%.

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

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

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

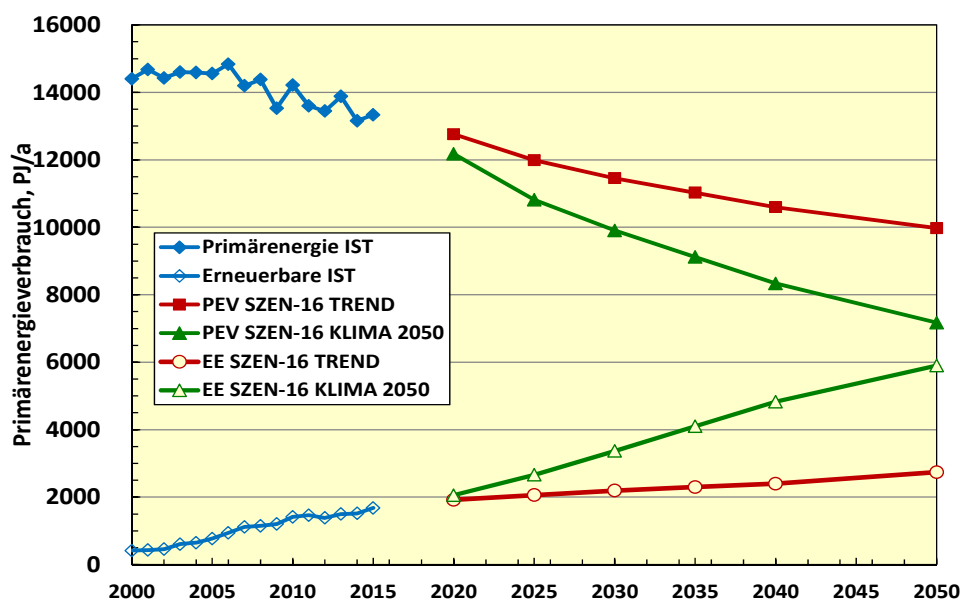


Abbildung 3: Zusammenwirken von Effizienzstrategie und EE-Ausbau zur Erreichung des Klimaschutzziels (Vergleich von SZEN-16 „TREND“ und SZEN-16 „KLIMA-2050“)

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

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

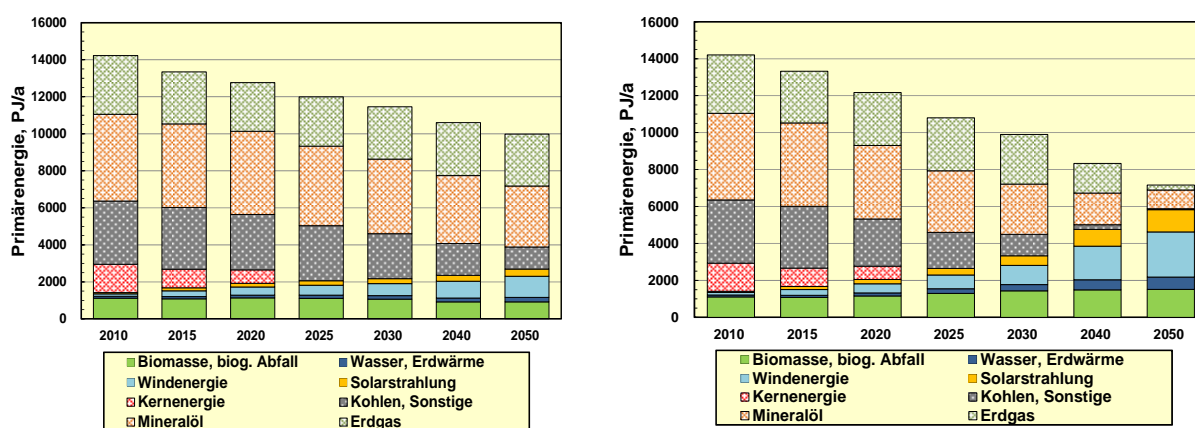


Abbildung 4: Struktur des Primärenergieverbrauchs in SZEN-16 „TREND“ (links) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (rechts).

Für die energiebedingten 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 2015 erkennt man die bisherigen Defizite der Effizienzstrategie. Gut zwei Drittel der bisherigen Minderung von 252 Mio. t CO₂/a wurden durch den Ausbau der EE bewirkt und dort zu knapp 70% durch den Ausbau der EE-Stromerzeugung. Der EFF-Beitrag muss innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine ähnliche Wirkung erreichen, wie die CO₂-Minderung durch den Ausbau der EE. Ohne diesen wesentlichen Beitrag der Effizienzsteigerung sind die Klimaschutzziele kaum erreichbar. Da zudem die umfassende Mobilisierung der vielfach sehr kostengünstigen Effizienzpotentiale von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung ist, besteht ein beträchtlicher und nicht aufschiebbarer energiepolitischer Handlungsbedarf zu ihrer raschen und wirksamen Erschließung. Ab 2030 sind die Beiträge von EFF und EE nahezu gleichwertig. Ohne eine wesentlich aktivere Mobilisierung des Effizienzbereichs wird sich also die Klimaschutzstrategie nicht umsetzen lassen. Der erforderliche hohe Minderungsbeitrag von 1022 Mio. t CO₂/a für 2050 im Szen-16 „KLIMA 2050“ kann nur erreicht werden, wenn neben dem EE-Minderungs-

Tabelle 4: Verminderung der CO₂-Emissionen seit 1990, aufgeteilt auf den Beitrag der EE und den Beitrag der Effizienzsteigerung (EFF); sowie verbleibende CO₂-Emissionen

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

beitrag der EE von 546 Mio. t CO₂/a (53%) ein ähnlich hoher Minderungsbeitrag von 476 Mio. t CO₂/a (47%) von einer wirksamen, alle Sektoren umfassenden Effizienzstrategie erbracht wird.

4. Wesentliche Einzelergebnisse der Szenarien

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

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

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

Tabelle 5¹: Eckdaten des Szenario SZEN-16 „TREND“; insbesondere EE-Anteile an den Verbrauchssektoren Strom, Wärme und Kraftstoffe

| | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|
| Primärenergie, PJ/a | 14217 | 13446 | 13159 | 13335 | 12762 | 11991 | 11457 | 10598 | 9976 |
| Primärenergie EE, PJ/a; 1) | 1413 | 1385 | 1519 | 1679 | 1920 | 2053 | 2170 | 2351 | 2687 |
| Anteil EE an PEV, % | 9,9 | 10,3 | 11,5 | 12,6 | 15,0 | 17,1 | 18,9 | 22,2 | 26,9 |
| Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, % | 10,7 | 11,2 | 12,5 | 13,6 | 16,3 | 18,7 | 20,7 | 24,4 | 29,8 |
| Endenergie, PJ/a | 9310 | 8919 | 8648 | 8835 | 8610 | 8403 | 8212 | 7887 | 7568 |
| Endenergie EE, PJ/a | 969 | 1165 | 1245 | 1385 | 1564 | 1717 | 1834 | 2056 | 2323 |
| Anteil EE an EEV, % | 10,4 | 13,1 | 14,4 | 15,7 | 18,2 | 20,4 | 22,3 | 26,1 | 30,7 |
| Anteil EE an BEEV, %; 2) | 10,2 | 12,7 | 14,0 | 15,2 | 17,6 | 19,8 | 21,7 | 25,3 | 29,8 |
| Strom Endenergie, PJ/a | 1899 | 1884 | 1832 | 1854 | 1856 | 1863 | 1885 | 1942 | 2018 |
| Strom Endenergie EE, PJ/a | 377 | 517 | 586 | 699 | 838 | 951 | 1052 | 1249 | 1426 |
| Anteil EE, % | 19,9 | 27,5 | 32,0 | 37,7 | 45,1 | 51,1 | 55,8 | 64,3 | 70,7 |
| Wärme Endenergie, PJ/a; 3) | 4896 | 4519 | 4228 | 4369 | 4148 | 3964 | 3821 | 3573 | 3380 |
| Wärme Endenergie EE, PJ/a | 469 | 524 | 542 | 574 | 606 | 616 | 602 | 585 | 600 |
| Anteil EE, % | 9,6 | 11,6 | 12,8 | 13,1 | 14,6 | 15,5 | 15,8 | 16,4 | 17,8 |
| Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4) | 2515 | 2516 | 2587 | 2612 | 2606 | 2575 | 2506 | 2372 | 2170 |
| Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a | 122 | 124 | 117 | 112 | 120 | 150 | 180 | 223 | 297 |
| Anteil EE, % | 4,9 | 4,9 | 4,5 | 4,3 | 4,6 | 5,8 | 7,2 | 9,4 | 13,7 |
| Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5) | 615 | 607 | 592 | 597 | 599 | 599 | 603 | 627 | 672 |
| EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6) | 105 | 144 | 163 | 194 | 238 | 272 | 303 | 374 | 460 |
| Anteil EE, % | 17,0 | 23,7 | 27,5 | 32,5 | 39,8 | 45,5 | 50,2 | 59,6 | 68,4 |
| Anteil EE- Inland, % | 17,0 | 23,7 | 27,5 | 32,5 | 39,8 | 45,5 | 49,9 | 57,5 | 62,9 |
| Primärenergie, PJ/a | 14217 | 13446 | 13159 | 13335 | 12762 | 11991 | 11457 | 10598 | 9976 |
| Erneuerbare Energien | 1413 | 1385 | 1519 | 1679 | 1920 | 2053 | 2170 | 2351 | 2687 |
| Mineralöl | 4684 | 4527 | 4517 | 4511 | 4501 | 4288 | 4031 | 3663 | 3296 |
| Kohlen; 7) | 3416 | 3529 | 3390 | 3343 | 2993 | 2981 | 2427 | 1720 | 1191 |
| Erdgas | 3171 | 2920 | 2674 | 2804 | 2628 | 2668 | 2829 | 2864 | 2802 |
| Fossile Energien gesamt | 11271 | 10976 | 10581 | 10657 | 10122 | 9938 | 9287 | 8247 | 7289 |
| - davon für energetische Zwecke | 10237 | 10000 | 9600 | 9667 | 9132 | 8958 | 8317 | 7297 | 6359 |
| Kernenergie | 1533 | 1085 | 1059 | 998 | 720 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a | 832 | 817 | 793 | 798 | 747 | 723 | 649 | 543 | 454 |
| Verringerung seit 1990, %; 8) | 20,8 | 22,2 | 24,5 | 24,0 | 28,8 | 31,2 | 38,2 | 48,3 | 56,8 |
| durch EE vermiedene CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a | 119 | 137 | 158 | 173 | 197 | 206 | 221 | 261 | 312 |
| THG-Emissionen, Mio. t CO2äq/a; 9) | 941 | 926 | 902 | 907 | 854 | 826 | 744 | 628 | 530 |
| Verringerung seit 1990, % | 24,7 | 25,9 | 27,8 | 27,4 | 31,7 | 33,9 | 40,5 | 49,7 | 57,6 |
| 1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch | | | | | | | SZEN16-TREND ; 4.2.16 | | |
| 2) Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) = Endenergie zuzügl. Netzverluste und Eigenverbrauch von Wärme und Strom in Kraftwerken | | | | | | | | | |
| 3) nur Brennstoffe, d.h. ohne Stromeinsatz für Wärmebereitstellung | | | | | | | | | |
| 4) Kraftstoffe für gesamten Verkehr, ohne Stromeinsatz | | | | | | | | | |
| 5) einschließlich Strom aus Pumpspeichern; einschl. Strom für EE-Wasserstoff | | | | | | | | | |
| 6) einschl. EE-Strom aus EE-Wasserstoff (ab ca. 2040) | | | | | | | | | |
| 7) einschl. sonstige fossile Brennstoffe (u.a. Kohlegase), fossil/nuklearem Stromimportsaldo und anorganische Abfälle | | | | | | | | | |
| 8) 1990 = 1050 Mio. t CO2/a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse) | | | | | 9) 1990 = 1250 Mio. t CO2eq/a | | | | |

¹ Weitere Einzelheiten zu den Szenarien findet man im Tabellenanhang

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

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

1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

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

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

4) Kraftstoffe für gesamten Verkehr, ohne Stromeinsatz

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

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

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

8) 1990 = 1050 Mio. t CO2/a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse) 9) 1990 = 1250 Mio. t CO2eq/a

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

Wird die Dynamik des Szenarios SZEN-16 „KLIMA 2050“ über mehrere Jahrzehnte aufrechterhalten, was bei einer weitsichtigen Energiepolitik möglich ist, kann eine nachhaltige Energieversorgung mit einer THG-Reduktion von -95% bis zur Jahrhundertmitte erreicht werden. Zu diesem Zeitpunkt werden in diesem Szenario noch 1335 PJ/a fossile Energieträger eingesetzt (13% der heutigen Menge), wovon 70% nichtenergetisch verwendet werden. Der verbleibende energetische Einsatz von 405 PJ/a wird zu je 45% von Mineralöl und Erdgas und zu 10% durch nichtorganische Abfälle gedeckt. Das Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ erreicht daher bis 2050 mit einer CO₂-Emission in Höhe von 28 Mio. t CO₂/a eine praktisch emissionsfreie Energieversorgung.

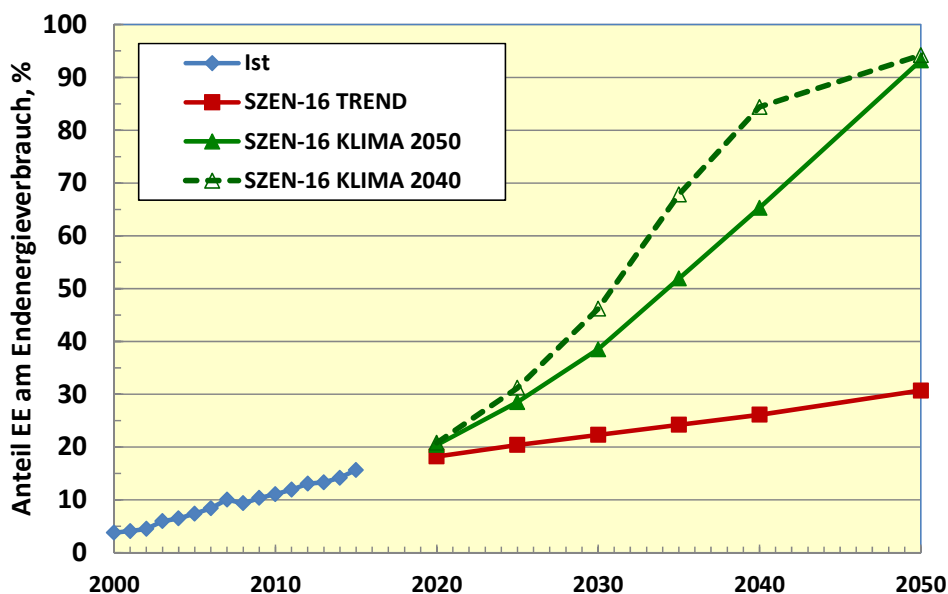


Abbildung 5: EE-Anteil am Endenergieverbrauch in den Szenarien SZEN-16 „TREND“, SZEN-16 „KLIMA 2050 und SZEN-16 „KLIMA 2040“; der EU-Pflichtanteil von 18% im Jahr 2020 (bezogen auf BEV) beträgt, bezogen auf die Endenergie, 18,7%.

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

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

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

Noch rascher muss die Entwicklung gehen, wenn sich der Beitrag Deutschlands zum Klimaschutz am 1,5°C Ziel orientiert. Dies wird in Abbildung 5 mit der gestrichelten Linie für SZEN-16 „KLIMA 2040“ verdeutlicht. Dafür sollte sich die Energieversorgung schon im Jahr 2040 weitgehend auf EE abstützen²

5. Zukünftiger Strombedarf und resultierende Erzeugungsstruktur

Elektrizität wird in einem auf EE basierenden Energiesystem zur wichtigsten Energieform, da die für eine vollständige Transformation der Energieversorgung erforderlichen großen (Primär-)Energienmengen 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 weitaus größerem Umfang als bisher. Zum zweiten steht EE-Strom als „Primärenergie“ zur Verfügung, um andere (chemische) Energieträger herzustellen, die im Gegensatz zu Strom in großem Umfang und für längere Zeiten speicherbar sind. Dies führt längerfristig zu einer wesentlich engeren Kopplung der einzelnen Nutzungsbereiche „Strom“, „Wärme“ und „Kraftstoffe“ als dies heute der Fall ist.

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

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

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

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

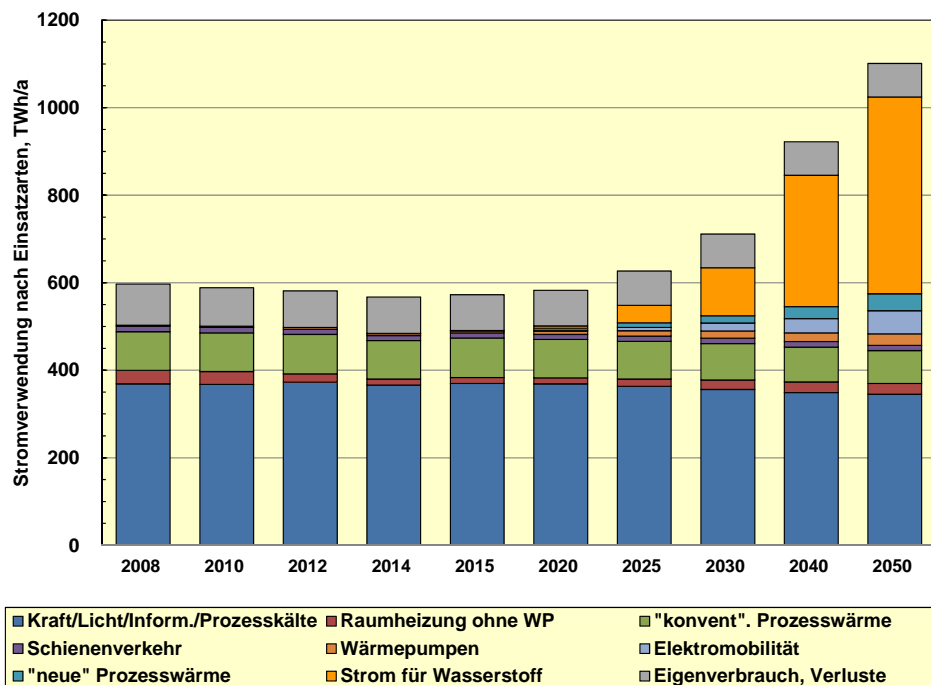


Abbildung 6: Bruttostromerzeugung für „konventionelle“ und „neue“ Stromverwendungen in SZEN-16 „KLIMA 2050“. „Neue“ Stromverwendungen sind: Wärmepumpen, Elektromobilität, „Power to Heat“ für Prozesswärme und Wärmenetze; „Power to Gas“ (Wasserstoff) für KWK, Prozesswärme und chemische Industrie sowie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

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

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

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

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

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

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

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

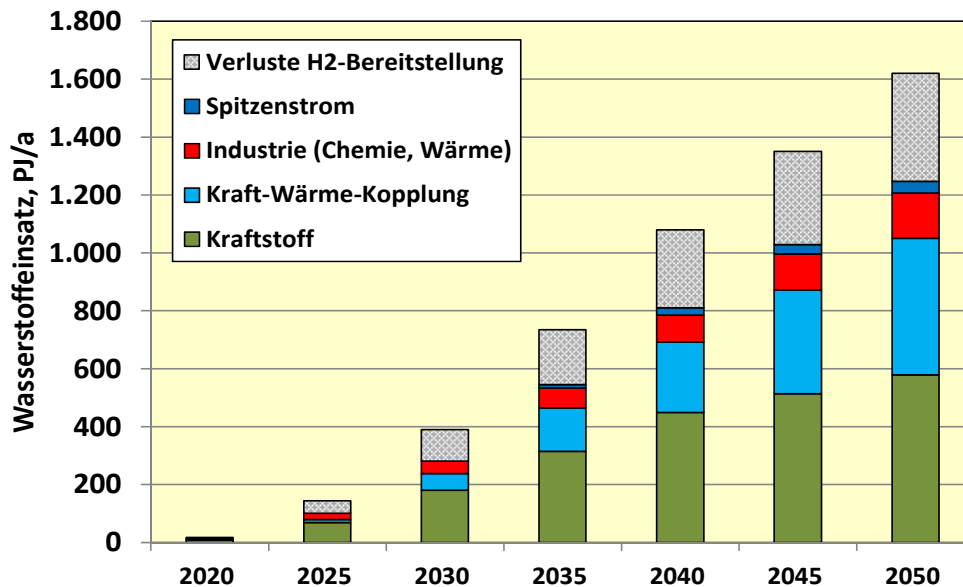


Abbildung 7: Stromeinsatz für Wasserstoff und Verwendung des Wasserstoffs im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“

Aufgrund der unterschiedlichen Bedeutung der Stromversorgung und des Beitrags des EE-Stroms im speziellen unterscheiden sich Höhe und Struktur der zukünftigen Bruttostromerzeugung in den Szenarien beträchtlich. Im Trendszenario (**Abbildung 8, links**) steigt die Bruttostromerzeugung nur geringfügig von 647 TWh/a im Jahr 2015 auf 672 TWh/a im Jahr 2050. EE-Strom stellt dann mit 460 TWh/a zwar den weitaus größten Anteil bereit, aber auch die fossile Stromerzeugung spielt mit 32% immer noch eine erhebliche Rolle. Dementsprechend belaufen sich die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung auch im Jahr 2050 noch auf 140 Mio. t CO₂/a (2015 = 313 Mio. t CO₂/a).

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

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

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

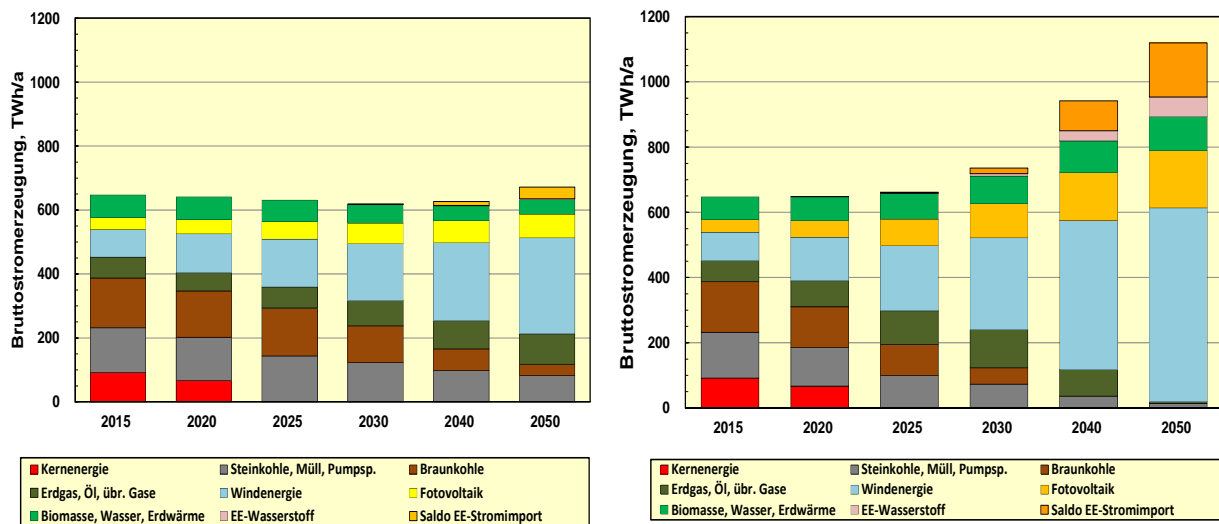


Abbildung 8: Bruttostromerzeugung nach Energiequellen für die Szenarien SZEN-16 „TREND“ (links) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (rechts)

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

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

Die in Tabelle 8 a,b ebenfalls aufgeführten CO₂-Emissionen der Stromerzeugung dokumentieren, dass in SZEN-16 „KLIMA 2050“ der Strom im Jahr 2050 praktisch emissionsfrei zur Verfügung gestellt wird, während in SZEN-16 „TREND“ lediglich eine gute Halbierung der gegenwärtigen Emissionen (313 Mio. t CO₂/a) stattfindet.

Tabelle 8 a: Installierte Kraftwerkskapazität und resultierenden Leistungen, sowie die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung in SZEN-16 „TREND“.

| Installierte Leistung, GW | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Kernenergie | 21,5 | 12,7 | 12,1 | 10,8 | 8,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Steinkohle, Sonstige Brst. | 35,3 | 36,4 | 36,0 | 35,5 | 34,7 | 34,5 | 32,3 | 28,9 | 25,5 |
| Braunkohle | 22,7 | 24,2 | 24,0 | 23,9 | 22,8 | 22,8 | 19,5 | 12,4 | 6,6 |
| Erdgas, Öl, | 29,7 | 30,6 | 28,0 | 27,0 | 22,3 | 25,8 | 29,8 | 35,5 | 37,3 |
| Windenergie | 27,2 | 31,3 | 39,2 | 44,6 | 60,1 | 68,5 | 77,3 | 96,6 | 113,1 |
| Fotovoltaik | 17,6 | 32,6 | 37,9 | 39,6 | 48,0 | 58,6 | 66,1 | 71,4 | 75,4 |
| Biomasse, Wasser, Erdwärme | 11,0 | 12,2 | 13,3 | 13,4 | 12,9 | 11,8 | 10,7 | 9,6 | 10,3 |
| EE-Wasserstoff | | | | | | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,8 |
| Pumpspeicher, andere Sp. | 6,5 | 6,5 | 6,0 | 6,0 | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 7,5 |
| EE-Importsaldo**) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 2,4 | 6,3 |
| Gesamte Bruttoleistung | 171 | 187 | 197 | 201 | 217 | 230 | 244 | 264 | 283 |
| Nicht jederzeit einsetzbar ***) | 69 | 86 | 94 | 100 | 119 | 136 | 152 | 170 | 189 |
| Gesicherte Leistung, brutto | 103 | 101 | 103 | 101 | 98 | 93 | 92 | 94 | 93 |
| Bruttohöchstlast | 84 | 84 | 82 | 81 | 80 | 76 | 75 | 74 | 76 |
| Als Reserve verbleibend | 19 | 17 | 21 | 20 | 18 | 17 | 17 | 20 | 17 |
| CO2-Emissionen (Mio. t/a) | 315 | 325 | 317 | 313 | 286 | 297 | 249 | 185 | 140 |
| A) CO2-Faktoren, kg/kWh el | 0,812 | 0,839 | 0,860 | 0,865 | 0,851 | 0,826 | 0,787 | 0,730 | 0,657 |
| B) CO2-Faktoren, kg/kWh el | 0,497 | 0,515 | 0,504 | 0,483 | 0,446 | 0,470 | 0,403 | 0,296 | 0,208 |
| *) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe | | | | | | | | | |
| **) Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft | | | | | | | | | |
| ***) insbesondere Wind (90-95%), PV(~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung | | | | | | | | | |
| A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung | | | | | | | | | |

SZEN16-TREND : 4.2.16

Tabelle 8 b: Installierte Kraftwerkskapazität und resultierenden Leistungen, sowie die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung in SZEN-16 „KLIMA 2050“.

| Installierte Leistung, GW | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Kernenergie | 21,5 | 12,7 | 12,1 | 10,8 | 8,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Steinkohle, sonst. | 35,3 | 36,4 | 36,0 | 35,5 | 31,1 | 26,4 | 21,2 | 9,8 | 2,7 |
| Braunkohle | 22,7 | 24,2 | 24,0 | 23,9 | 19,4 | 15,5 | 9,6 | 0,0 | 0,0 |
| Erdgas, Öl, | 29,7 | 30,6 | 28,0 | 27,0 | 30,1 | 36,3 | 39,2 | 28,9 | 2,6 |
| Windenergie | 27,1 | 31,3 | 39,2 | 44,6 | 67,2 | 92,1 | 119,0 | 176,3 | 206,3 |
| Fotovoltaik | 17,9 | 33,0 | 38,2 | 39,6 | 55,3 | 82,9 | 109,0 | 151,3 | 178,0 |
| Biomasse, Wasser, Geoth. | 11,0 | 12,2 | 13,3 | 13,4 | 14,0 | 15,9 | 17,9 | 20,6 | 23,5 |
| EE-Wasserstoff | | | | | | 0,4 | 2,5 | 11,1 | 29,4 |
| Speicher | 6,5 | 6,5 | 6,0 | 6,0 | 6,5 | 7,5 | 8,0 | 9,5 | 9,5 |
| EE-Importsaldo**) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,6 | 3,3 | 16,2 | 27,9 |
| Gesamte Bruttoleistung | 172 | 187 | 197 | 201 | 232 | 278 | 330 | 424 | 480 |
| Nicht jederzeit einsetzbar ***) | 69 | 86 | 94 | 100 | 133 | 183 | 235 | 324 | 379 |
| Gesicherte Leistung, brutto | 103 | 101 | 103 | 101 | 99 | 95 | 95 | 100 | 101 |
| Bruttohöchstlast | 84 | 84 | 82 | 83 | 81 | 78 | 78 | 79 | 80 |
| Als Reserve verbleibend | 19 | 17 | 21 | 18 | 19 | 17 | 17 | 21 | 21 |
| CO2-Emissionen (Mio. t/a) | 315 | 325 | 317 | 313 | 263 | 224 | 161 | 61 | 6 |
| A) CO2-Faktoren, kg/kWh el | 0,812 | 0,839 | 0,860 | 0,865 | 0,815 | 0,752 | 0,670 | 0,516 | 0,293 |
| B) CO2-Faktoren, kg/kWh el | 0,497 | 0,515 | 0,504 | 0,483 | 0,406 | 0,338 | 0,219 | 0,065 | 0,005 |
| *) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe | | | | | | | | | |
| **) Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft | | | | | | | | | |
| ***) insbesondere Wind (90-95%), PV(~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung | | | | | | | | | |
| A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung | | | | | | | | | |

SZEN16-KLIMA2050 : 4.2.16

Im Szenario TREND verändert sich die konventionelle Kraftwerksstruktur nur langsam, da hier ein weiterhin sehr niedriger Preis für CO₂-Zertifikate unterstellt wird. Dies führt zu weiter sinkenden Strombörsenpreisen und weiter steigender Export fossilen Stroms (Tabelle 8a). Von derzeit rund 60 GW sinkt die Kohlekraftwerksleistung bis 2025 auf 57 GW, bis 2030 auf 52 GW und beträgt in 2050 immer noch 32 GW. Nach weiterem Absinken der Gaskraftwerksleistung bis 2020 steigt diese im Trendszenario danach wieder auf rund 30 GW in 2030 und 38 GW in 2050.

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

6. Entwicklung der EE-Stromerzeugung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

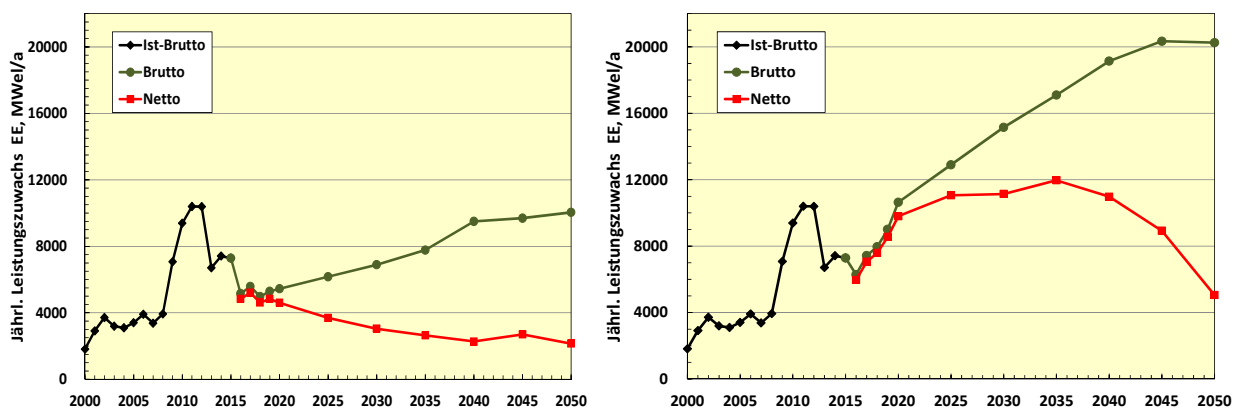
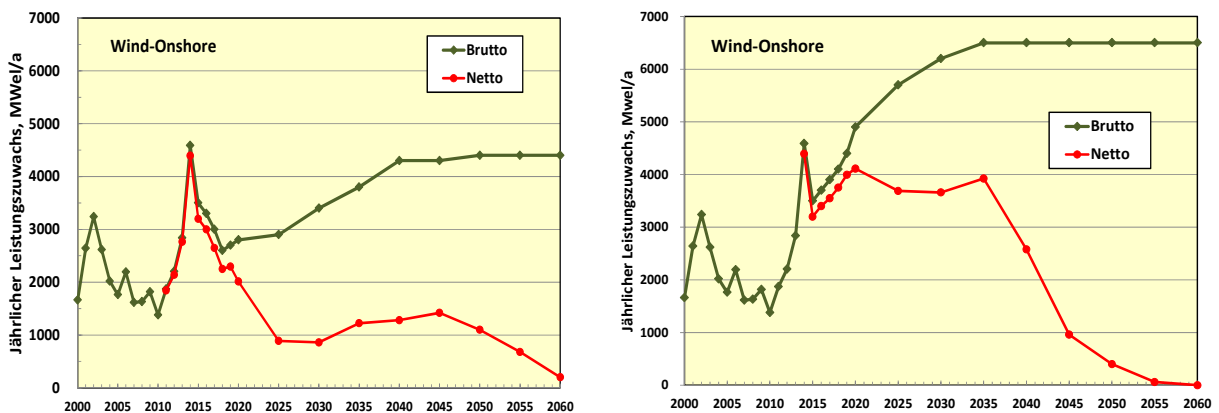


Abbildung 10: Jährlicher Brutto- und Nettozuwachs an Onshore-Windanlagen in den Szenarien SZEN16- „TREND“ (links) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (rechts)



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

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

7. Entwicklung des Wärmesektors

Mit rund 4850 PJ/a (2015) werden derzeit rund 55% der Endenergie zur Wärmebereitstellung eingesetzt. Rund 50% davon (2 410 PJ/a) werden für Raumwärme (einschließlich Klimakälte) benötigt, knapp 10% für Warmwasser und 40% für Prozesswärme. Bei ersterer dominieren private Haushalte mit einem Anteil von 65%, bei letzterer die Industrie mit 83%. Berücksichtigt man den für Wärmezwecke eingesetzten Strom (26 % des gesamten Stromendenergieverbrauchs), so stammen rund 50% der energiebedingten CO₂-Emissionen aus der Wärmebereitstellung. Daraus ist ersichtlich, dass ohne eine wesentliche Aktivierung von Effizienzpotenzialen und des Zubaus von EE-Anlagen zur Wärmebereitstellung die Energiewende zum Scheitern verurteilt ist.

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

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

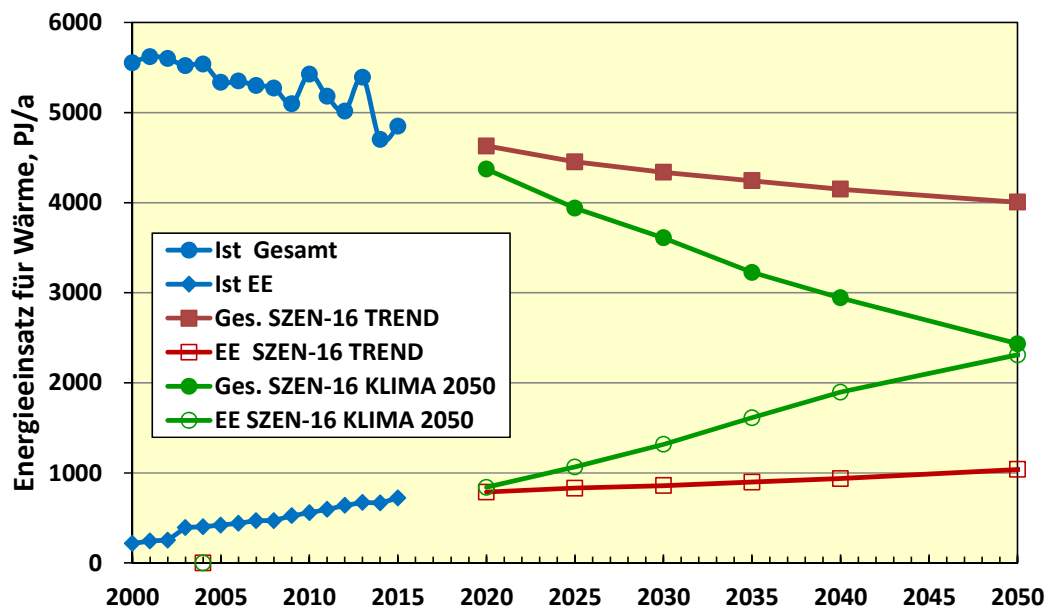


Abbildung 11: Entwicklung des Energieeinsatzes für Wärme und des EE-Beitrags in den Szenarien SZEN-16 „TREND“ und SZEN-16 „KLIMA 2050“.

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

Tabelle 10: Energieverbrauch für Wärmezwecke und zukünftige Beiträge der EE

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

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

2) Anteil an gesamter Wärme abzgl. Stromwärme

Insgesamt verringert sich dadurch der Beitrag der Biomassewärme von derzeit 140 TWh/a auf 128 TWh/a in 2030 und auf 114 TWh/a im Jahr 2050. Das unter Trendbedingungen für möglich gehaltene Wachstum von Kollektoren, Umweltwärme und Geothermie kann diesen Rückgang lediglich näherungsweise kompensieren, ein weiteres Wachstum der gesamten EE-Wärme findet jedoch nicht statt. Von derzeit 159 TWh/a steigt sie bis 2025 noch auf 171 TWh/a, um dann bis zur Jahrhundertmitte etwa konstant zu bleiben; eine „Energiewende“ im Wärmebereich fände also nicht statt. Der Anteil der fossilen Energiebereitstellung für Wärmezwecke (ohne Stromanteil) wäre nur von derzeit 87% (= 3800 PJ/a) auf 82% (= 2800 PJ/a) im Jahr 2050 gesunken, der CO₂-Ausstoß des Wärmesektors beliefe sich noch auf 177 Mio. t CO₂/a (derzeit 300 Mio. t CO₂/a).

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

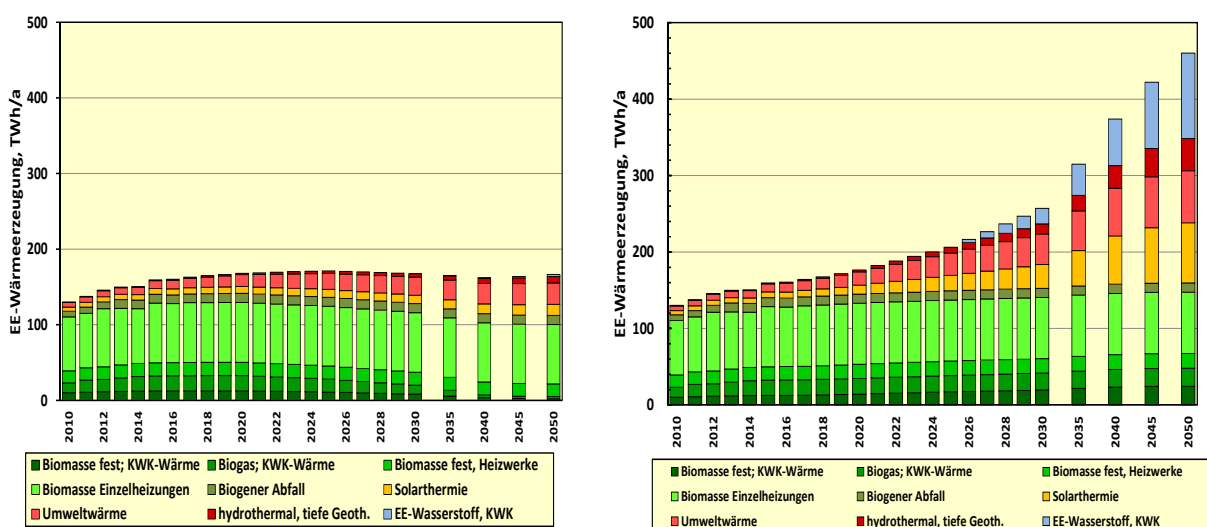


Abbildung 12: Entwicklung der EE-Wärmeerzeugung (ohne Stromanteil) im Trendszenario SZEN-16 „TREND“ (links) und notwendige Entwicklung (SZEN-16 „KLIMA 2050“; rechts) zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts (in TWh/a; 1 TWh/a = 3,6 PJ/a)

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

Der Stromeinsatz für Wärmezwecke (Raumwärme, Warmwasser, 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 SZEN-16 „KLIMA 2050“ von derzeit 133 TWh/a (26% des Gesamtverbrauchs) auf 183 TWh/a (= 31%) in 2050 (Tabelle 10, Mitte) und deckt dann 27% des gesamten Wärmebedarfs. Während gegenwärtig etwa 3,5% dieses Stromverbrauchs aus „neuen“ Anwendungen stammen (Wärmepumpen), werden in 2050 knapp die Hälfte des Gesamtverbrauchs dafür eingesetzt (Wärmepumpen, strombeheizte Wärmespeicher für Wärmenetze; verstärkter Einsatz bei Prozesswärme).

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

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

8. Entwicklung des Verkehrssektors

Im Verkehrssektor ist noch nichts von der Energiewende bemerkbar. Seit dem Spitzenwert des Energieverbrauchs im Jahr 1999 ist dieser zwar gesunken, der Verbrauch im Jahr 2015 liegt mit 2656 PJ/a jedoch noch rund 3% über dem für das Effizienzziel maßgebenden Referenzwert des Jahres 2008 (Abbildung 13) Mit 185 Mio. t CO₂/a (ohne Stromanteil) stammen 23% 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 4,8 % noch gering. Da der mögliche Beitrag von Biokraftstoffen aus ökologischen und strukturellen Gründen begrenzt ist, sind neben einer Ausschöpfung erheblicher Effizienzpotenziale weitere EE-Optionen, wie Elektromobilität und EE-Kraftstoffe (EE-Wasserstoff; EE-Methan) mittel- bis langfristig von großer Bedeutung. In den Szenarien ist der mögliche nachhaltige Beitrag von Biokraftstoffe auf maximal 260 PJ/a begrenzt, weil die noch verfügbaren Biomassepotenziale effektiver im stationären Bereich eingesetzt werden können und kein Import von Biomasse für Energiezwecke angenommen wurde, [BMU 2012; WBGU 2008].

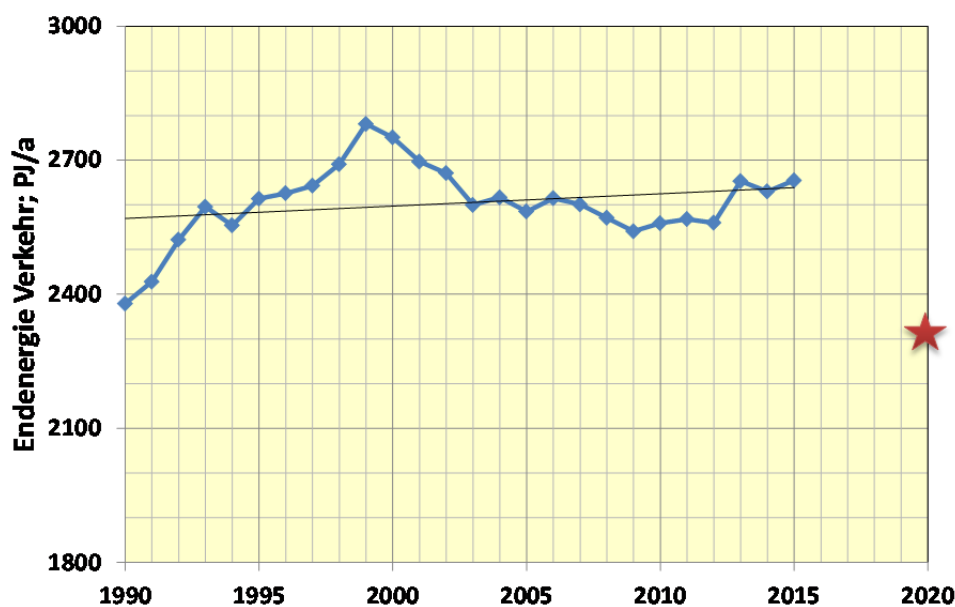


Abbildung 13: Endenergieverbrauch des Verkehrs 1990-2015 und Zielwert 2020 des Energiekonzepts (Nullpunkt unterdrückt).

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

Tabelle 11 a: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des Verkehrs aufgeteilt auf Personen- und Güterverkehr im Szenario SZEN-16 „TREND“

| | Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen im Verkehr | | | | | SZEN-16 TREND | | | | |
|---|---|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|
| | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Personenverkehr | | | | | | | | | | |
| - fossile Kraftstoffe (PJ/a) | 1714 | 1715 | 1707 | 1736 | 1706 | 1642 | 1558 | 1442 | 1297 | 1104 |
| - EE-Kraftstoffe (PJ/a)***) | 107 | 108 | 108 | 102 | 106 | 115 | 141 | 172 | 183 | 219 |
| - CO ₂ (Mio. t/a) | 119 | 121 | 120 | 122 | 121 | 117 | 109 | 101 | 90 | 76 |
| - Strom (PJ/a) | 25 | 23 | 24 | 23 | 24 | 26 | 34 | 46 | 64 | 82 |
| CO ₂ (Mio. t/a) | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| Endenergie (PJ/a) | 1845 | 1846 | 1839 | 1861 | 1836 | 1784 | 1733 | 1660 | 1544 | 1404 |
| CO₂ (Mio. t/a)**) | 124 | 125 | 124 | 126 | 125 | 121 | 115 | 107 | 96 | 82 |
| Güterverkehr | | | | | | | | | | |
| - fossile Kraftstoffe (PJ/a) | 684 | 678 | 685 | 735 | 795 | 844 | 868 | 884 | 852 | 770 |
| - EE-Kraftstoffe (PJ/a)***) | 21 | 15 | 16 | 15 | 6 | 5 | 9 | 8 | 39 | 78 |
| - CO ₂ (Mio. t/a) | 50 | 49 | 49 | 53 | 57 | 60 | 61 | 61 | 59 | 54 |
| - Strom (PJ/a) | 21 | 21 | 20 | 19 | 19 | 20 | 21 | 23 | 25 | 26 |
| CO ₂ (Mio. t/a)**) | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| Endenergie (PJ/a) | 726 | 713 | 721 | 769 | 820 | 868 | 898 | 916 | 916 | 874 |
| CO₂ (Mio. t/a)**) | 54 | 52 | 53 | 56 | 60 | 63 | 64 | 64 | 62 | 55 |
| Verkehr gesamt | | | | | | | | | | |
| - fossile Kraftstoffe (PJ/a) | 2398 | 2393 | 2392 | 2470 | 2501 | 2486 | 2425 | 2326 | 2149 | 1873 |
| - EE-Kraftstoffe (PJ/a)***) | 128 | 122 | 124 | 117 | 112 | 120 | 150 | 180 | 223 | 297 |
| - Strom (PJ/a) | 46 | 44 | 44 | 42 | 44 | 46 | 55 | 69 | 88 | 108 |
| Endenergie (PJ/a) | 2571 | 2559 | 2560 | 2630 | 2656 | 2652 | 2631 | 2575 | 2460 | 2278 |
| CO₂ (Mio. t/a)**) | 178 | 177 | 177 | 182 | 185 | 183 | 179 | 171 | 158 | 137 |
| EE-Endenergie (einschl. Stromanteil) | 135 | 130 | 134 | 129 | 126 | 140 | 181 | 226 | 292 | 389 |
| Anteil EE , % (einschl. Strom) | 5,2 | 5,1 | 5,2 | 4,9 | 4,8 | 5,3 | 6,9 | 8,8 | 11,9 | 17,1 |
| **) nur Emissionen von Kraftstoffen | | | | | | | | SZEN16-TREND ; 4.2.16 | | |
| ***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2040 | | | | | | | | | | |

Tabelle 11 b: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des Verkehrs aufgeteilt auf Personen- und Güterverkehr im Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“

| | Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen im Verkehr | | | | | SZEN-16 KLIMA2050 | | | | |
|---|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|
| | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Personenverkehr | | | | | | | | | | |
| - fossile Kraftstoffe (PJ/a) | 1714 | 1715 | 1708 | 1736 | 1706 | 1528 | 1297 | 969 | 607 | 176 |
| - EE-Kraftstoffe (PJ/a)***) | 107 | 108 | 108 | 102 | 106 | 106 | 133 | 203 | 219 | 289 |
| - CO ₂ (Mio. t/a) | 119 | 121 | 120 | 122 | 121 | 107 | 85 | 59 | 27 | 6 |
| - Strom (PJ/a) | 25 | 23 | 23 | 23 | 24 | 28 | 48 | 86 | 138 | 211 |
| CO ₂ (Mio. t/a) | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 7 | 4 | 1 |
| Endenergie (PJ/a) | 1845 | 1846 | 1840 | 1861 | 1836 | 1662 | 1479 | 1258 | 964 | 675 |
| CO₂ (Mio. t/a)**) | 124 | 125 | 124 | 126 | 125 | 111 | 91 | 66 | 31 | 6 |
| Güterverkehr | | | | | | | | | | |
| - fossile Kraftstoffe (PJ/a) | 684 | 678 | 685 | 735 | 795 | 779 | 700 | 563 | 196 | 33 |
| - EE-Kraftstoffe (PJ/a)***) | 21 | 15 | 16 | 15 | 6 | 28 | 116 | 218 | 490 | 550 |
| - CO ₂ (Mio. t/a) | 50 | 49 | 49 | 53 | 57 | 56 | 53 | 45 | 27 | 8 |
| - Strom (PJ/a) | 21 | 21 | 20 | 19 | 19 | 19 | 21 | 23 | 24 | 23 |
| CO ₂ (Mio. t/a)**) | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Endenergie (PJ/a) | 726 | 713 | 721 | 769 | 820 | 826 | 836 | 804 | 710 | 606 |
| CO₂ (Mio. t/a)**) | 54 | 52 | 53 | 56 | 60 | 59 | 56 | 47 | 27 | 8 |
| Verkehr gesamt | | | | | | | | | | |
| - fossile Kraftstoffe (PJ/a) | 2398 | 2393 | 2394 | 2470 | 2501 | 2307 | 1997 | 1533 | 803 | 208 |
| - EE-Kraftstoffe (PJ/a)***) | 128 | 122 | 124 | 117 | 112 | 134 | 249 | 421 | 709 | 839 |
| - Strom (PJ/a) | 46 | 44 | 43 | 42 | 44 | 47 | 69 | 109 | 161 | 235 |
| Endenergie (PJ/a) | 2571 | 2559 | 2561 | 2630 | 2656 | 2488 | 2315 | 2062 | 1674 | 1282 |
| CO₂ (Mio. t/a)**) | 178 | 177 | 177 | 182 | 185 | 170 | 147 | 113 | 58 | 14 |
| EE-Endenergie (einschl. Stromanteil) | 135 | 130 | 134 | 129 | 126 | 157 | 300 | 516 | 865 | 1073 |
| Anteil EE , % (einschl. Strom) | 5,2 | 5,1 | 5,2 | 4,9 | 4,8 | 6,3 | 12,9 | 25,0 | 51,7 | 83,7 |
| **) nur Emissionen von Kraftstoffen | | | | | | | | SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16 | | |
| ***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020 | | | | | | | | | | |

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

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

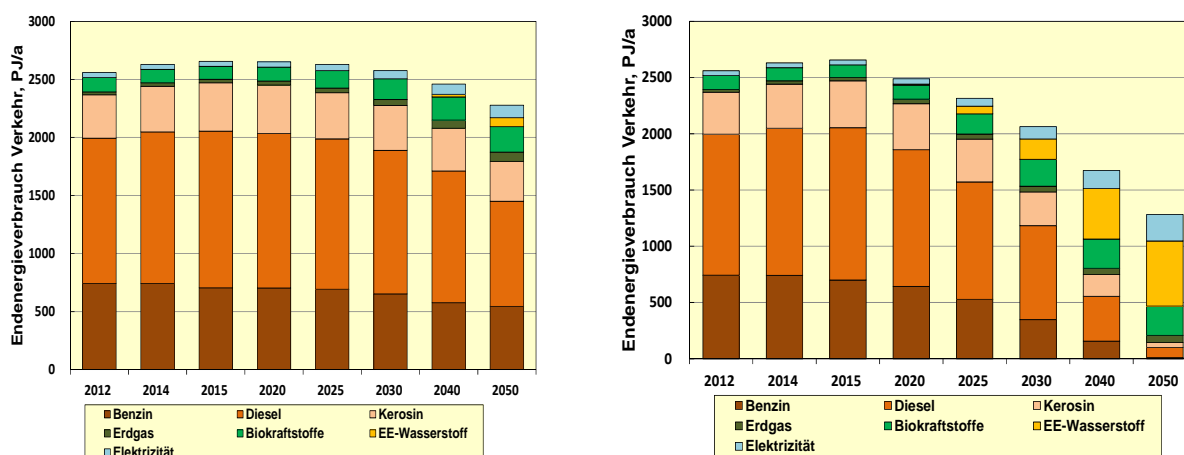


Abbildung 14: Struktur des Endenergieverbrauchs im Verkehr im Szenario SZEN-16 „TREND“ (links) und SZEN-16 „KLIMA 2050“ (rechts) im Vergleich.

Mittelfristig stammt der wesentliche EE-Beitrag im Verkehr von Biokraftstoffen. Im Szenario SZEN-16 „TREND“ kommen sie damit auf einem 7%igen Anteil (180 PJ/a) in 2030 und auf 9% (200 PJ/a) in 2050. Zusammen mit EE-Wasserstoff und EE-Strom decken EE in 2050 rund 17% (**Tabelle 12, oben**). Hier ist man also von einer Ablösung fossiler Kraftstoffe noch deutlich entfernt. Entsprechend langsam verläuft die Reduktion der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen. Im Szenario SZEN-16 „TREND“ lassen sie sich bis 2050 nur auf 137 Mio. tCO₂/a reduzieren, was noch 74% der heutigen CO₂-Emissionen entspricht.

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

geringen Mengen fossiler Kraftstoffe. Im Straßengüterverkehr wird nahezu vollständig EE-Wasserstoff verwendet. Biokraftstoffe werden zu diesem Zeitpunkt im Flugverkehr eingesetzt. In 2050 werden damit 84% der Energienachfrage durch EE gedeckt wird. Mit einer CO₂-Emission von nur noch 14 Mio. t CO₂/a ist damit auch der Verkehrssektor praktisch emissionsfrei.

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

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

1) einschließlich EE-Strom

Die Analysen zur zukünftigen Entwicklung des Verkehrssektors zeigen, dass dieser Sektor hinsichtlich der Erfolgsaussichten, die Unterziele des Energiekonzepts zu erreichen, aus heutiger Sicht besonders problematisch ist. Die Fortführung der derzeitigen, hinsichtlich Klimaschutz sehr eingriffsarmen und teilweise sogar kontraproduktiven Verkehrspolitik ist nicht mit den ehrgeizigen 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 insbesondere kurz- bis mittelfristig nicht aus, den vom Verkehr zu erbringenden Beitrag zum Klimaschutz zu gewährleisten. Wesentlich wirksamere Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung, und -verlagerung müssen hinzukommen.

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

9. Fazit und Schlussfolgerungen

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

Die derzeitigen energiepolitischen Aktivitäten (Aktionsprogramm „Klimaschutz“; NAPE; Strommarkt 2.0; neues KWK-G) zeigen, dass die Politik das Problem zwar erkannt hat, aber bei der wirksamen Umsetzung im Verzug ist. Gleichzeitig schwächen die derzeitigen ökonomischen Rahmenbedingungen (sehr niedrige Energiepreise; geringe CO₂-Preise) die Umsetzungsanreize weiter. Die jetzigen Aktionsprogramme und Novellierungsvorschläge werden kurzfristig nicht ausreichend wirksame Impulse entwickeln, um das Kurzfristziel (-40% THG-Minderung bis 2020) zu erreichen. Dieser „Verzug“ kann allerdings bis 2030 prinzipiell aufgeholt werden, wenn in den nächsten Jahren robuste Maßnahmen ergriffen und dem Klimaschutz angemessene ökonomische Instrumente für den Energiemarkt geschaffen werden. Von herausragender Bedeutung dafür sind höhere CO₂-Preise (mindestens 40-50 €/t) oder äquivalente CO₂-Steuern; im Verkehr ggf. äquivalente Besteuerung von Kraftstoffen) Dadurch würden die durch einen ungebremsten Klimawandel eintretenden Schäden (bzw. Kosten) in wirksame Preissignale umgewandelt. Erst dadurch können die Akteure in den einzelnen Segmenten des Energiemarkts ihre Aktivitäten zielgerichtet entfalten und ihre Fähigkeiten optimal nutzen. Investitionen in Effizienzsteigerungen wären dann sehr viel wirtschaftlicher; die EE-Technologien könnten sich ohne ein immer komplexer werdendes Förderinstrumentarium im Energiemarkt weiter etablieren.

Im Stromsektor könnte bei angemessen hohen CO₂-Preisen ein erheblich rascherer und effizienterer, weil marktgetriebener Strukturwandel weg von Kohlekraftwerken und hin zu Erdgaskraftwerken und EE-Anlagen erfolgen. Dieser ist eine zentrale Voraussetzung für die Herausforderungen, die auf Stromsektor als Hauptsegment (EE-Strom als „Hauptenergieträger“) einer klimaverträglichen Energieversorgung zukommen.

Verstärkt sich die Umbaudynamik im gesamten Energiesektor nicht erheblich, würden die fossilen Energieträger auch noch zur Jahrhundertmitte mit 70 – 75% Anteil das Energiesystem dominieren (**Abbildung 15; links**). Das Klimaschutzziel wäre weit verfehlt. Zur Verwirklichung der eigentlichen Energiewendeziele ist eine über Jahrzehnte stabile Entwicklungsdynamik gemäß Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“ notwendig. Damit wären bis 2050 ein Verbrauchsrückgang um 50% und ein Beitrag der EE am gesamten Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetischen Einsatz fossiler Energieträger) von rund 95% möglich (**Abbildung 15; rechts**). Die verbleibenden THG-Emissionen beliefen sich dann auf 69 Mio. t CO_{2eq}/a, davon CO₂-Emissionen in Höhe von nur noch 28 Mio. t CO₂/a.

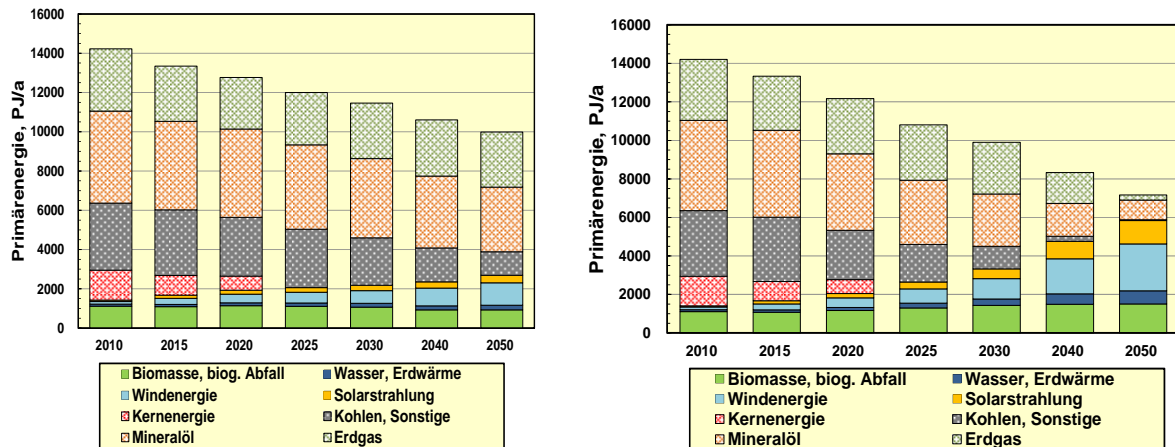


Abbildung 15: Umbaudynamik der Energieversorgung (am Beispiel der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs) unter gegenwärtigen Trendentwicklungen (Szenario SZEN-16 „TREND“ , links) und die aus Klimaschutzsicht mindestens notwendigen Entwicklungsgradienten (SZEN-16 „KLIMA 2050“, rechts). Der verbleibende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

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

10. Literaturangaben

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

11. Anhang: Eckdaten zu den Szenarien

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

A) Übersicht

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

| IST - Werte | 2008 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Ziel 2020 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| THG-Emissionen*) | | | | | | | |
| Absolut; Mio.t CO _{2äquiv} /a | 974 | 922 | 926 | 945 | 902 | 907 | 750 |
| Reduktion ggü. 1990; % | -22,1 | -26,2 | -25,9 | -24,4 | -27,8 | -27,4 | -40 |
| CO₂-Emissionen **) | | | | | | | |
| Gesamt; Mio.t CO ₂ /a | 853 | 813 | 817 | 836 | 793 | 798 | 630 |
| Reduktion ggü. 1990; % | -18,8 | -22,6 | -22,2 | -20,4 | -24,5 | -24,0 | (-40) |
| nur Stromerzeugung; Mio.t CO ₂ /a | 330 | 305 | 325 | 318 | 317 | 313 | |
| Reduktion ggü. 1990; % ***) | -7,6 | -14,6 | -9,0 | -10,9 | -11,2 | -12,3 | |
| Effizienz | | | | | | | |
| Primärenergieverbrauch; PJ/a | 14380 | 13599 | 13447 | 13882 | 13158 | 13335 | 11500 |
| Reduktion bez. auf 2008; % | | -5,4 | -6,5 | -3,5 | -8,5 | -7,3 | -20 |
| Endenergieverbrauch; PJ/a | 9159 | 8881 | 8919 | 9220 | 8648 | 8835 | (7810) |
| Reduktion bez. auf 2008; % | | -3,0 | -2,6 | 0,7 | -5,6 | -3,5 | |
| Bruttostromverbrauch; TWh/a | 618 | 607 | 607 | 605 | 592 | 597 | 557 |
| Reduktion bez. auf 2008; % | | -1,8 | -1,8 | -2,2 | -4,2 | -3,5 | -10 |
| EE-Zubau | | | | | | | |
| EE-Endenergie; PJ/a | 811 | 1059 | 1166 | 1230 | 1226 | 1384 | 1460 |
| Anteil an Endenergie; % | 8,9 | 11,9 | 13,1 | 13,3 | 14,2 | 15,7 | 18,7****) |
| EE-Strom; TWh/a | 93,2 | 123,8 | 143,8 | 152,4 | 162,5 | 194,0 | 195 |
| Anteil an Bruttoverbrauch; % | 15,1 | 20,4 | 23,7 | 25,2 | 27,4 | 32,5 | 35 (mind.) |
| *) 1990 = 1250 Mio. t CO _{2äquiv} | | | | | | | |
| **) Energie und Industrieprozesse (1990 = 1050 Mio. t CO ₂) | | | | | | | |
| ***) 1990 = 357 Mio. t CO ₂ /a; () aus Zielvorgaben abgeleitete Werte | | | | | | | |
| ****) 18% bezogen auf Brutto-Endenergieverbrauch lt. EU-Richtlinie 2009/28/EG | | | | | | | |
| Bilanzen; 04.02.2016 | | | | | | | |

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

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

*) Bruttoendenergieverbrauch = 1,03 x Endenergieverbrauch

Bilanzen; 04.02.201

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

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

***) ohne Stromeinsatz für Wärmezwecke

() aus Zielvorgaben abgeleitete Werte

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

*) Bruttoendenergieverbrauch = 1,03 x Endenergieverbrauch

Bilanzen; 04.02.201

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

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

***) ohne Stromeinsatz für Wärmezwecke

() aus Zielvorgaben abgeleitete Werte

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

*) Bruttoendenergieverbrauch = 1,03 x Endenergieverbrauch

Bilanzen; 04.02.2016

***) ohne 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 SZEN-16 TREND

Tabelle B1: Eckdaten, insbesondere Beiträge der Erneuerbaren Energien

| | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|
| Primärenergie, PJ/a | 14217 | 13446 | 13159 | 13335 | 12762 | 11991 | 11457 | 10598 | 9976 |
| Primärenergie EE, PJ/a; 1) | 1413 | 1385 | 1519 | 1679 | 1920 | 2053 | 2170 | 2351 | 2687 |
| Anteil EE an PEV, % | 9,9 | 10,3 | 11,5 | 12,6 | 15,0 | 17,1 | 18,9 | 22,2 | 26,9 |
| Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, % | 10,7 | 11,2 | 12,5 | 13,6 | 16,3 | 18,7 | 20,7 | 24,4 | 29,8 |
| Endenergie, PJ/a | 9310 | 8919 | 8648 | 8835 | 8610 | 8403 | 8212 | 7887 | 7568 |
| Endenergie EE, PJ/a | 969 | 1165 | 1245 | 1385 | 1564 | 1717 | 1834 | 2056 | 2323 |
| Anteil EE an EEV, % | 10,4 | 13,1 | 14,4 | 15,7 | 18,2 | 20,4 | 22,3 | 26,1 | 30,7 |
| Anteil EE an BEEV, %; 2) | 10,2 | 12,7 | 14,0 | 15,2 | 17,6 | 19,8 | 21,7 | 25,3 | 29,8 |
| Strom Endenergie, PJ/a | 1899 | 1884 | 1832 | 1854 | 1856 | 1863 | 1885 | 1942 | 2018 |
| Strom Endenergie EE, PJ/a | 377 | 517 | 586 | 699 | 838 | 951 | 1052 | 1249 | 1426 |
| Anteil EE, % | 19,9 | 27,5 | 32,0 | 37,7 | 45,1 | 51,1 | 55,8 | 64,3 | 70,7 |
| Wärme Endenergie, PJ/a; 3) | 4896 | 4519 | 4228 | 4369 | 4148 | 3964 | 3821 | 3573 | 3380 |
| Wärme Endenergie EE, PJ/a | 469 | 524 | 542 | 574 | 606 | 616 | 602 | 585 | 600 |
| Anteil EE, % | 9,6 | 11,6 | 12,8 | 13,1 | 14,6 | 15,5 | 15,8 | 16,4 | 17,8 |
| Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4) | 2515 | 2516 | 2587 | 2612 | 2606 | 2575 | 2506 | 2372 | 2170 |
| Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a | 122 | 124 | 117 | 112 | 120 | 150 | 180 | 223 | 297 |
| Anteil EE, % | 4,9 | 4,9 | 4,5 | 4,3 | 4,6 | 5,8 | 7,2 | 9,4 | 13,7 |
| Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5) | 615 | 607 | 592 | 597 | 599 | 599 | 603 | 627 | 672 |
| EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6) | 105 | 144 | 163 | 194 | 238 | 272 | 303 | 374 | 460 |
| Anteil EE, % | 17,0 | 23,7 | 27,5 | 32,5 | 39,8 | 45,5 | 50,2 | 59,6 | 68,4 |
| Anteil EE- Inland, % | 17,0 | 23,7 | 27,5 | 32,5 | 39,8 | 45,5 | 49,9 | 57,5 | 62,9 |
| Primärenergie, PJ/a | 14217 | 13446 | 13159 | 13335 | 12762 | 11991 | 11457 | 10598 | 9976 |
| Erneuerbare Energien | 1413 | 1385 | 1519 | 1679 | 1920 | 2053 | 2170 | 2351 | 2687 |
| Mineralöl | 4684 | 4527 | 4517 | 4511 | 4501 | 4288 | 4031 | 3663 | 3296 |
| Kohlen; 7) | 3416 | 3529 | 3390 | 3343 | 2993 | 2981 | 2427 | 1720 | 1191 |
| Erdgas | 3171 | 2920 | 2674 | 2804 | 2628 | 2668 | 2829 | 2864 | 2802 |
| Fossile Energien gesamt | 11271 | 10976 | 10581 | 10657 | 10122 | 9938 | 9287 | 8247 | 7289 |
| - davon für energetische Zwecke | 10237 | 10000 | 9600 | 9667 | 9132 | 8958 | 8317 | 7297 | 6359 |
| Kernenergie | 1533 | 1085 | 1059 | 998 | 720 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a | 832 | 817 | 793 | 798 | 747 | 723 | 649 | 543 | 454 |
| Verringerung seit 1990, %; 8) | 20,8 | 22,2 | 24,5 | 24,0 | 28,8 | 31,2 | 38,2 | 48,3 | 56,8 |
| durch EE vermiedene CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a | 119 | 137 | 158 | 173 | 197 | 206 | 221 | 261 | 312 |
| THG-Emissionen, Mio. t CO2äq/a; 9) | 941 | 926 | 902 | 907 | 854 | 826 | 744 | 628 | 530 |
| Verringerung seit 1990, % | 24,7 | 25,9 | 27,8 | 27,4 | 31,7 | 33,9 | 40,5 | 49,7 | 57,6 |
| 1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch | | | | | | | SZEN16-TREND ; 4.2.16 | | |
| 2) Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) = Endenergie zuzügl. Netzverluste und Eigenverbrauch von Wärme und Strom in Kraftwerken | | | | | | | | | |
| 3) nur Brennstoffe, d.h. ohne Stromeinsatz für Wärmebereitstellung | | | | | | | | | |
| 4) Kraftstoffe für gesamten Verkehr, ohne Stromeinsatz | | | | | | | | | |
| 5) einschließlich Strom aus Pumpspeichern; einschl. Strom für EE-Wasserstoff | | | | | | | | | |
| 6) <u>einschl.</u> EE-Strom aus EE-Wasserstoff (ab ca. 2040) | | | | | | | | | |
| 7) einschl. sonstige fossile Brennstoffe (u.a. Kohlegase), fossil/nuklearem Stromimportsaldo und anorganische Abfälle | | | | | | | | | |
| 8) 1990 = 1050 Mio. t CO2/a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse) | | | | | 9) 1990 = 1250 Mio. t CO2eq/a | | | | |

Tabelle B2: Primärenergieeinsatz von Erdgas, Kohlen und Mineralöl

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

SZEN16-TREND ; 4.2.16

Tabelle B3: Struktur des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern und Verbrauchssektoren

| SZEN16-TREND ; 4.2.16 | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Primärenergie, (PJ/a) | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Kernenergie | 1851 | 1779 | 1533 | 998 | 720 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kohlen, Sonstige | 3649 | 3594 | 3416 | 3343 | 2993 | 2981 | 2427 | 1720 | 1191 |
| Mineralöl | 5499 | 5166 | 4684 | 4511 | 4501 | 4288 | 4031 | 3663 | 3296 |
| Erdgas | 2985 | 3250 | 3171 | 2804 | 2628 | 2668 | 2829 | 2864 | 2802 |
| Biomasse, biog. Abfall | 294 | 575 | 1114 | 1082 | 1136 | 1103 | 1062 | 915 | 918 |
| Wasser, Erdwärme | 84 | 81 | 101 | 118 | 144 | 173 | 189 | 214 | 235 |
| Windenergie | 34 | 98 | 136 | 313 | 442 | 538 | 647 | 901 | 1147 |
| Solarstrahlung | 5 | 16 | 62 | 166 | 198 | 239 | 272 | 321 | 387 |
| Gesamt | 14401 | 14558 | 14217 | 13335 | 12762 | 11991 | 11457 | 10598 | 9976 |
| Energieverwendung (PJ/a) | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Private Haushalte | 2584 | 2591 | 2676 | 2289 | 2208 | 2155 | 2100 | 2020 | 1975 |
| Gewerbe, Handel, Dienstleistung | 1478 | 1437 | 1483 | 1340 | 1260 | 1195 | 1157 | 1090 | 1050 |
| Industrie | 2421 | 2514 | 2592 | 2550 | 2490 | 2422 | 2380 | 2317 | 2265 |
| Verkehr | 2751 | 2585 | 2559 | 2656 | 2652 | 2631 | 2575 | 2460 | 2278 |
| NE-Verbrauch | 1068 | 1114 | 1034 | 990 | 990 | 980 | 970 | 950 | 930 |
| Umwandl. Strom | 3319 | 3527 | 3106 | 2680 | 2263 | 1763 | 1446 | 1014 | 769 |
| Umwandl. Übrige | 780 | 790 | 767 | 829 | 899 | 845 | 829 | 748 | 709 |
| Gesamt | 14401 | 14558 | 14217 | 13335 | 12762 | 11991 | 11457 | 10598 | 9976 |
| davon Endenergie | 9234 | 9127 | 9310 | 8835 | 8610 | 8403 | 8212 | 7887 | 7568 |

SZEN16-TREND ; 4.2.16

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

| Stromerzeugung, TWh/a | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kernenergie | 141 | 100 | 97 | 92 | 67 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Steinkohle, Müll, Pumpsp. | 144 | 141 | 142 | 140 | 135 | 144 | 123 | 98 | 83 |
| Braunkohle | 146 | 161 | 156 | 155 | 145 | 150 | 115 | 68 | 35 |
| Erdgas, Öl, übr. Gase | 98 | 85 | 70 | 66 | 57 | 66 | 79 | 88 | 95 |
| Windenergie | 38 | 51 | 57 | 86 | 122 | 150 | 179 | 244 | 300 |
| Fotovoltaik | 12 | 26 | 36 | 39 | 45 | 56 | 64 | 70 | 74 |
| Biomasse, Wasser, Erdwärme | 55 | 67 | 69 | 70 | 71 | 66 | 58 | 46 | 46 |
| EE-Wasserstoff | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Saldo EE-Stromimport | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 13 | 37 |
| Bruttostromerzeugung*) | 633 | 630 | 628 | 647 | 642 | 631 | 619 | 627 | 672 |
| Bruttostromverbrauch*) | 615 | 607 | 592 | 597 | 599 | 599 | 603 | 627 | 672 |
| Endenergie Strom | 527 | 523 | 509 | 515 | 516 | 518 | 524 | 540 | 561 |
| Installierte Leistung, GW | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Kernenergie | 21,5 | 12,7 | 12,1 | 10,8 | 8,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Steinkohle, Sonstige Brst. | 35,3 | 36,4 | 36,0 | 35,5 | 34,7 | 34,5 | 32,3 | 28,9 | 25,5 |
| Braunkohle | 22,7 | 24,2 | 24,0 | 23,9 | 22,8 | 22,8 | 19,5 | 12,4 | 6,6 |
| Erdgas, Öl, | 29,7 | 30,6 | 28,0 | 27,0 | 22,3 | 25,8 | 29,8 | 35,5 | 37,3 |
| Windenergie | 27,2 | 31,3 | 39,2 | 44,6 | 60,1 | 68,5 | 77,3 | 96,6 | 113,1 |
| Fotovoltaik | 17,6 | 32,6 | 37,9 | 39,6 | 48,0 | 58,6 | 66,1 | 71,4 | 75,4 |
| Biomasse, Wasser, Erdwärme | 11,0 | 12,2 | 13,3 | 13,4 | 12,9 | 11,8 | 10,7 | 9,6 | 10,3 |
| EE-Wasserstoff | | | | | | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,8 |
| Pumpspeicher, andere Sp. | 6,5 | 6,5 | 6,0 | 6,0 | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 7,5 |
| EE-Importsaldo**) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 2,4 | 6,3 |
| Gesamte Bruttoleistung | 171 | 187 | 197 | 201 | 217 | 230 | 244 | 264 | 283 |
| Nicht jederzeit einsetzbar ***) | 69 | 86 | 94 | 100 | 119 | 136 | 152 | 170 | 189 |
| Gesicherte Leistung, brutto | 103 | 101 | 103 | 101 | 98 | 93 | 92 | 94 | 93 |
| Bruttohöchstlast | 84 | 84 | 82 | 81 | 80 | 76 | 75 | 74 | 76 |
| Als Reserve verbleibend | 19 | 17 | 21 | 20 | 18 | 17 | 17 | 20 | 17 |
| CO₂-Emissionen (Mio. t/a) | 315 | 325 | 317 | 313 | 286 | 297 | 249 | 185 | 140 |
| A) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el | 0,812 | 0,839 | 0,860 | 0,865 | 0,851 | 0,826 | 0,787 | 0,730 | 0,657 |
| B) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el | 0,497 | 0,515 | 0,504 | 0,483 | 0,446 | 0,470 | 0,403 | 0,296 | 0,208 |
| *) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe | | | | | | | | | |
| **) Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft | | | | | | | | | |
| ***) insbesondere Wind (90-95%), PV (~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung | | | | | | | | | |
| A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung | | | | | | | | | |
| SZEN16-TREND ; 4.2.16 | | | | | | | | | |

Tabelle B5: Eckdaten und Struktur der Wärmeversorgung

| Struktur der Wärmeversorgung, (PJ/a) | | | | | | SZEN-16 TREND | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Solarkollektoren | 16 | 20 | 24 | 26 | 27 | 33 | 37 | 39 | 47 | 53 |
| Umweltwärme, Geothermie | 17 | 25 | 31 | 38 | 42 | 64 | 88 | 102 | 123 | 133 |
| Biomasse | 360 | 424 | 469 | 478 | 505 | 509 | 491 | 461 | 413 | 404 |
| Wasserstoff (KWK) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 |
| Fern- +Nahwärme, fos. | 447 | 447 | 447 | 400 | 392 | 369 | 365 | 365 | 336 | 299 |
| Industr. KWK, fossil | 246 | 267 | 241 | 231 | 223 | 205 | 188 | 177 | 151 | 130 |
| Gase; direkt | 1950 | 2020 | 1970 | 1920 | 1880 | 1770 | 1725 | 1760 | 1740 | 1660 |
| Kohlen; direkt | 450 | 460 | 432 | 425 | 395 | 320 | 250 | 210 | 170 | 130 |
| Heizöl; direkt | 1272 | 1233 | 905 | 709 | 905 | 878 | 820 | 707 | 591 | 562 |
| Stromwärme*) | 515 | 531 | 498 | 473 | 480 | 482 | 490 | 516 | 576 | 625 |
| Gesamte Wärme | 5273 | 5427 | 5017 | 4701 | 4849 | 4630 | 4454 | 4337 | 4149 | 4005 |
| 2008 = 100 | 100 | 102,9 | 95,1 | 89,1 | 92,0 | 87,8 | 84,5 | 82,2 | 78,7 | 75,9 |
| - davon aus EE-Quellen (einschl. Stromanteil) | 469 | 558 | 639 | 666 | 720 | 787 | 830 | 857 | 932 | 1032 |
| Anteil EE (%) | 8,9 | 10,3 | 12,7 | 14,2 | 14,8 | 17,0 | 18,6 | 19,8 | 22,5 | 25,8 |
| Gesamte Wärme ohne Stromwärme | 4759 | 4896 | 4519 | 4228 | 4369 | 4148 | 3964 | 3821 | 3573 | 3380 |
| - davon EE | 393 | 469 | 524 | 542 | 574 | 606 | 616 | 602 | 585 | 600 |
| Anteil EE (%) | 8,3 | 9,6 | 11,6 | 12,8 | 13,1 | 14,6 | 15,5 | 15,8 | 16,4 | 17,8 |
| KWK-Wärme (fossil, Biomasse, Geoth.) | 698 | 732 | 710 | 675 | 671 | 649 | 627 | 595 | 542 | 491 |
| Anteil an ges. Wärme, (%) | 13,2 | 13,5 | 14,1 | 14,4 | 13,8 | 14,0 | 14,1 | 13,7 | 13,1 | 12,3 |
| *) Summe aller Einsatzarten von Strom zur Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebereitstellung SZEN16-TREND ; 4.2.16 | | | | | | | | | | |
| Anteil Biomasse (%) | 6,8 | 7,8 | 9,3 | 10,2 | 10,4 | 11,0 | 11,0 | 10,6 | 10,0 | 10,1 |
| Anteil Kollektorwärme (%) | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,3 |
| Anteil Umweltw., Geothermie | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,4 | 2,0 | 2,4 | 3,0 | 3,3 |
| Anteil fossil (%) | 82,8 | 81,6 | 79,6 | 78,4 | 78,3 | 76,5 | 75,2 | 74,2 | 72,0 | 69,4 |
| Anteil Strom (%) | 9,8 | 9,8 | 9,9 | 10,1 | 9,9 | 10,4 | 11,0 | 11,9 | 13,9 | 15,6 |

Tabelle B6: Stromverwendung im Wärmesektor

| Strom für Wärmezwecke (TWh/a) | | | | | | SZEN-16 TREND | | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| "konvent." Raumheizung | 30,9 | 29,3 | 19,0 | 13,9 | 13,9 | 13 | 13 | 14 | 16 | 20 |
| "Neue" Raumheizung | 2,1 | 2,9 | 3,7 | 4,4 | 4,8 | 7 | 10 | 13 | 19 | 23 |
| "konvent." Prozesswärme | 88,7 | 88,6 | 90,0 | 88,0 | 90,2 | 89 | 88 | 87 | 86 | 85 |
| "neue" Prozesswärme | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1 | 3 | 9 | 19 | 27 |
| Warmwasser | 21,3 | 26,8 | 25,6 | 25,0 | 24,4 | 23 | 22 | 21 | 20 | 18 |
| Ges. Stromwärme | 143,0 | 147,6 | 138,3 | 131,3 | 133,3 | 134 | 136 | 143 | 160 | 174 |
| "konventionelle " Wärme | 140,9 | 144,7 | 134,6 | 126,9 | 128,5 | 125 | 123 | 122 | 122 | 123 |
| "neue" Wärme | 2,1 | 2,9 | 3,7 | 4,4 | 4,8 | 8 | 13 | 21 | 38 | 50 |
| Anteil an ges. Stromverbr. (%) | 27,3 | 28,0 | 26,4 | 25,8 | 25,9 | 25,9 | 26,3 | 27,4 | 29,7 | 31,0 |
| davon aus EE-Quellen (TWh/a) | 21,0 | 24,7 | 31,8 | 34,4 | 40,4 | 50 | 59 | 71 | 96 | 120 |
| davon aus EE-Quellen (PJ/a) | 76 | 89 | 115 | 124 | 145 | 181 | 214 | 255 | 347 | 432 |
| SZEN16-TREND ; 4.2.16 | | | | | | | | | | |

Tabelle B7: Energieeinsatz im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsmitteln

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

SZEN16-TREND ; 4.2.16

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

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

**) nur Emissionen von Kraftstoffen

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2040

SZEN16-TREND ; 4.2.16

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

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

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

SZEN16-TREND; 4.2.16

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

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

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

ARES-16-TREND; 04.02.2016

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

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

Tabelle B11: Wärmebereitstellung mittels erneuerbaren Energien

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

ARES-16-TREND; 04.02.2016

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

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

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

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

C) Szenario SZEN-16 KLIMA 2050

Tabelle C1: Eckdaten, insbesondere Beiträge der Erneuerbaren Energien

| | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|
| Primärenergie, PJ/a | 14217 | 13447 | 13159 | 13336 | 12175 | 10816 | 9905 | 8335 | 7173 |
| Primärenergie EE, PJ/a; 1) | 1413 | 1385 | 1519 | 1679 | 2056 | 2651 | 3337 | 4769 | 5838 |
| Anteil EE an PEV, % | 9,9 | 10,3 | 11,5 | 12,6 | 16,9 | 24,5 | 33,7 | 57,2 | 81,4 |
| Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, % | 10,7 | 11,2 | 12,5 | 13,6 | 18,4 | 27,0 | 37,4 | 64,8 | 93,8 |
| Endenergie, PJ/a | 9310 | 8920 | 8648 | 8835 | 8190 | 7562 | 6954 | 5873 | 4957 |
| Endenergie EE, PJ/a | 969 | 1165 | 1245 | 1385 | 1669 | 2152 | 2675 | 3836 | 4621 |
| Anteil EE an EEV, % | 10,4 | 13,1 | 14,4 | 15,7 | 20,4 | 28,5 | 38,5 | 65,3 | 93,2 |
| Anteil EE an BEEV, %; 2) | 10,2 | 12,7 | 14,0 | 15,2 | 19,8 | 27,6 | 37,3 | 63,4 | 90,5 |
| Strom Endenergie, PJ/a | 1899 | 1884 | 1832 | 1854 | 1870 | 1910 | 1964 | 2036 | 2134 |
| Strom Endenergie EE, PJ/a | 377 | 517 | 586 | 699 | 896 | 1134 | 1329 | 1781 | 2125 |
| Anteil EE, % | 19,9 | 27,5 | 32,0 | 37,7 | 47,9 | 59,4 | 67,7 | 87,5 | 99,6 |
| Wärme Endenergie, PJ/a; 3) | 4896 | 4519 | 4228 | 4369 | 3878 | 3406 | 3037 | 2325 | 1775 |
| Wärme Endenergie EE, PJ/a | 469 | 524 | 542 | 574 | 640 | 769 | 925 | 1346 | 1656 |
| Anteil EE, % | 9,6 | 11,6 | 12,8 | 13,1 | 16,5 | 22,6 | 30,5 | 57,9 | 93,3 |
| Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4) | 2515 | 2518 | 2587 | 2612 | 2441 | 2246 | 1953 | 1512 | 1047 |
| Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a | 122 | 124 | 117 | 112 | 134 | 249 | 421 | 709 | 839 |
| Anteil EE, % | 4,9 | 4,9 | 4,5 | 4,3 | 5,5 | 11,1 | 21,5 | 46,9 | 80,1 |
| Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5) | 615 | 607 | 592 | 597 | 606 | 649 | 733 | 942 | 1119 |
| EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6) | 105 | 144 | 163 | 194 | 258 | 365 | 496 | 824 | 1100 |
| Anteil EE, % | 17,0 | 23,7 | 27,5 | 32,5 | 42,6 | 56,2 | 67,7 | 87,5 | 98,3 |
| Anteil EE- Inland, % | 17,0 | 23,7 | 27,5 | 32,5 | 42,6 | 55,7 | 65,3 | 77,8 | 83,5 |
| Primärenergie, PJ/a | 14217 | 13447 | 13159 | 13336 | 12175 | 10816 | 9905 | 8335 | 7173 |
| Erneuerbare Energien | 1413 | 1385 | 1519 | 1679 | 2056 | 2651 | 3337 | 4769 | 5838 |
| Mineralöl | 4684 | 4528 | 4517 | 4512 | 3981 | 3337 | 2716 | 1711 | 1018 |
| Kohlen; 7) | 3416 | 3529 | 3390 | 3343 | 2556 | 1955 | 1169 | 256 | 48 |
| Erdgas | 3171 | 2920 | 2674 | 2804 | 2863 | 2872 | 2683 | 1599 | 269 |
| Fossile Energien gesamt | 11271 | 10977 | 10581 | 10658 | 9399 | 8165 | 6568 | 3566 | 1335 |
| - davon für energetische Zwecke | 10237 | 10001 | 9600 | 9668 | 8409 | 7185 | 5598 | 2616 | 405 |
| Kernenergie | 1533 | 1085 | 1059 | 998 | 720 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a | 832 | 817 | 793 | 798 | 677 | 551 | 407 | 174 | 28 |
| Verringerung seit 1990, %; 8) | 20,8 | 22,2 | 24,5 | 24,0 | 35,5 | 47,5 | 61,3 | 83,4 | 97,4 |
| durch EE vermiedene CO2-Emissionen, Mio. t CO2/a | 119 | 137 | 158 | 173 | 213 | 276 | 348 | 488 | 546 |
| THG-Emissionen, Mio. t CO2äq/a; 9) | 941 | 926 | 902 | 907 | 780 | 643 | 488 | 234 | 69 |
| Verringerung seit 1990, % | 24,7 | 25,9 | 27,8 | 27,4 | 37,6 | 48,5 | 61,0 | 81,3 | 94,5 |
| 1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch | | | | | | | SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16 | | |
| 2) Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) = Endenergie zuzügl. Netzverluste und Eigenverbrauch von Wärme und Strom in Kraftwerken | | | | | | | | | |
| 3) nur Brennstoffe, d.h. ohne Stromeinsatz für Wärmebereitstellung | | | | | | | | | |
| 4) Kraftstoffe für gesamten Verkehr, ohne Stromeinsatz | | | | | | | | | |
| 5) einschließlich Strom aus Pumpspeichern; einschl. Strom für EE-Wasserstoff | | | | | | | | | |
| 6) <u>einschl.</u> EE-Strom aus EE-Wasserstoff (ab ca. 2025) | | | | | | | | | |
| 7) einschl. sonstige fossile Brennstoffe (u.a. Kohlegase), fossil/nuklearem Stromimportsaldo und anorganische Abfälle | | | | | | | | | |
| 8) 1990 = 1050 Mio. t CO2/a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse) | | | | | 9) 1990 = 1250 Mio. t CO2eq/a | | | | |

Tabelle C2: : Primärenergieeinsatz von Erdgas, Kohlen und Mineralöl

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

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Tabelle C3: Struktur des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern und Verbrauchssektoren

| SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16 | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Primärenergie, (PJ/a) | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Kernenergie | 1851 | 1779 | 1533 | 998 | 720 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kohlen, Sonstige | 3649 | 3594 | 3416 | 3343 | 2556 | 1955 | 1169 | 256 | 48 |
| Mineralöl | 5499 | 5166 | 4684 | 4512 | 3981 | 3337 | 2716 | 1711 | 1018 |
| Erdgas | 2985 | 3250 | 3171 | 2804 | 2863 | 2872 | 2683 | 1599 | 269 |
| Biomasse, biog. Abfall | 294 | 575 | 1114 | 1083 | 1172 | 1307 | 1439 | 1499 | 1515 |
| Wasser, Erdwärme | 84 | 81 | 101 | 117 | 159 | 248 | 336 | 535 | 674 |
| Windenergie | 34 | 98 | 136 | 313 | 494 | 737 | 1048 | 1823 | 2446 |
| Solarstrahlung | 5 | 16 | 62 | 166 | 231 | 359 | 514 | 912 | 1203 |
| Gesamt | 14401 | 14558 | 14217 | 13336 | 12175 | 10816 | 9905 | 8335 | 7173 |
| | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Private Haushalte | 2584 | 2591 | 2676 | 2289 | 2106 | 1948 | 1829 | 1525 | 1297 |
| Gewerbe, Handel, Dienstleistung | 1478 | 1437 | 1483 | 1340 | 1205 | 1044 | 950 | 831 | 730 |
| Industrie | 2421 | 2514 | 2592 | 2550 | 2390 | 2255 | 2113 | 1843 | 1648 |
| Verkehr | 2751 | 2585 | 2559 | 2656 | 2488 | 2315 | 2062 | 1674 | 1282 |
| NE-Verbrauch | 1068 | 1114 | 1034 | 990 | 990 | 980 | 970 | 950 | 930 |
| Umwandl. Strom | 3319 | 3527 | 3106 | 2680 | 2157 | 1405 | 1044 | 504 | 165 |
| Umwandl. Übrige | 780 | 790 | 767 | 830 | 839 | 869 | 938 | 1008 | 1120 |
| Gesamt | 14401 | 14558 | 14217 | 13336 | 12175 | 10816 | 9905 | 8335 | 7173 |
| davon Endenergie | 9234 | 9127 | 9310 | 8835 | 8190 | 7562 | 6954 | 5873 | 4957 |

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

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

| Stromerzeugung, TWh/a | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kernenergie | 141 | 100 | 97 | 92 | 67 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Steinkohle, Müll, Pumpsp. | 144 | 141 | 142 | 140 | 119 | 100 | 73 | 37 | 15 |
| Braunkohle | 146 | 161 | 156 | 155 | 125 | 95 | 50 | 0 | 0 |
| Erdgas, Öl, übr. Gase | 98 | 85 | 70 | 66 | 80 | 103 | 117 | 82 | 5 |
| Windenergie | 38 | 51 | 57 | 86 | 133 | 202 | 281 | 457 | 594 |
| Fotovoltaik | 12 | 26 | 36 | 39 | 52 | 79 | 105 | 147 | 175 |
| Biomasse, Wasser, Erdwärme | 55 | 67 | 69 | 70 | 73 | 79 | 85 | 96 | 105 |
| EE-Wasserstoff | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 31 | 60 |
| Saldo EE-Stromimport | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 17 | 92 | 166 |
| Bruttostromerzeugung*) | 633 | 630 | 628 | 647 | 648 | 662 | 736 | 942 | 1119 |
| Bruttostromverbrauch*) | 615 | 607 | 592 | 597 | 606 | 649 | 733 | 942 | 1119 |
| Endenergie Strom | 527 | 523 | 509 | 515 | 520 | 531 | 546 | 566 | 593 |
| Installierte Leistung, GW | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Kernenergie | 21,5 | 12,7 | 12,1 | 10,8 | 8,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Steinkohle, sonst. | 35,3 | 36,4 | 36,0 | 35,5 | 31,1 | 26,4 | 21,2 | 9,8 | 2,7 |
| Braunkohle | 22,7 | 24,2 | 24,0 | 23,9 | 19,4 | 15,5 | 9,6 | 0,0 | 0,0 |
| Erdgas, Öl, | 29,7 | 30,6 | 28,0 | 27,0 | 30,1 | 36,3 | 39,2 | 28,9 | 2,6 |
| Windenergie | 27,1 | 31,3 | 39,2 | 44,6 | 67,2 | 92,1 | 119,0 | 176,3 | 206,3 |
| Fotovoltaik | 17,9 | 33,0 | 38,2 | 39,6 | 55,3 | 82,9 | 109,0 | 151,3 | 178,0 |
| Biomasse, Wasser, Geoth. | 11,0 | 12,2 | 13,3 | 13,4 | 14,0 | 15,9 | 17,9 | 20,6 | 23,5 |
| EE-Wasserstoff | | | | | | 0,4 | 2,5 | 11,1 | 29,4 |
| Speicher | 6,5 | 6,5 | 6,0 | 6,0 | 6,5 | 7,5 | 8,0 | 9,5 | 9,5 |
| EE-Importsaldo**) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,6 | 3,3 | 16,2 | 27,9 |
| Gesamte Bruttoleistung | 172 | 187 | 197 | 201 | 232 | 278 | 330 | 424 | 480 |
| Nicht jederzeit einsetzbar ***) | 69 | 86 | 94 | 100 | 133 | 183 | 235 | 324 | 379 |
| Gesicherte Leistung, brutto | 103 | 101 | 103 | 101 | 99 | 95 | 95 | 100 | 101 |
| Bruttohöchstlast | 84 | 84 | 82 | 83 | 81 | 78 | 78 | 79 | 80 |
| Als Reserve verbleibend | 19 | 17 | 21 | 18 | 19 | 17 | 17 | 21 | 21 |
| CO₂-Emissionen (Mio. t/a) | 315 | 325 | 317 | 313 | 263 | 224 | 161 | 61 | 6 |
| A) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el | 0,812 | 0,839 | 0,860 | 0,865 | 0,815 | 0,752 | 0,670 | 0,516 | 0,293 |
| B) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el | 0,497 | 0,515 | 0,504 | 0,483 | 0,406 | 0,338 | 0,219 | 0,065 | 0,005 |
| *) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe | | | | | | | | | |
| **) Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft | | | | | | | | | |
| ***) insbesondere Wind (90-95%), PV(~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung | | | | | | | | | |
| A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung | | | | | | | | | |

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Tabelle C 5: Eckdaten und Struktur der Wärmeversorgung

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

*) Summe aller Einsatzarten von Strom zur Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebereitstellung SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

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

Tabelle C 6: Stromverwendung im Wärmesektor

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

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

Tabelle C 7: Energieeinsatz im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsmitteln

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

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

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

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

**) nur Emissionen von Kraftstoffen

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020

SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16

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

| Tabelle 5f: | Energie, CO ₂ -Emissionen nach Sektoren und Nutzungsarten | | | | | | SZEN-16 KLIMA2050 | | | | |
|---|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|--|
| | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 | |
| Industrie | | | | | | | | | | | |
| - Wärme (PJ/a)* | 1736 | 1741 | 1746 | 1651 | 1683 | 1514 | 1369 | 1227 | 948 | 746 | |
| - CO ₂ (Mio. t/a) | 126 | 121 | 122 | 115 | 116 | 95 | 73 | 54 | 22 | 3 | |
| - Strom (PJ/a)** | 851 | 851 | 841 | 857 | 867 | 876 | 886 | 886 | 895 | 903 | |
| - CO ₂ (Mio. t/a) | 149 | 141 | 145 | 148 | 146 | 123 | 104 | 73 | 27 | 2 | |
| Endenergie (PJ/a) | 2587 | 2592 | 2587 | 2508 | 2550 | 2390 | 2255 | 2113 | 1843 | 1648 | |
| CO₂ (Mio. t/a) | 274 | 262 | 267 | 263 | 262 | 218 | 176 | 126 | 49 | 6 | |
| GHD | | | | | | | | | | | |
| - Wärme (PJ/a) | 955 | 989 | 842 | 823 | 861 | 726 | 562 | 464 | 338 | 230 | |
| - CO ₂ (Mio. t/a) | 69 | 69 | 59 | 57 | 59 | 46 | 30 | 20 | 8 | 1 | |
| - Strom (PJ/a) | 488 | 494 | 503 | 475 | 479 | 479 | 482 | 486 | 493 | 500 | |
| CO ₂ (Mio. t/a) | 85 | 82 | 87 | 82 | 81 | 67 | 57 | 40 | 15 | 1 | |
| Endenergie (PJ/a) | 1443 | 1483 | 1345 | 1298 | 1340 | 1205 | 1044 | 950 | 831 | 730 | |
| CO₂ (Mio. t/a) | 154 | 151 | 145 | 139 | 140 | 113 | 86 | 60 | 23 | 2 | |
| Haushalte | | | | | | | | | | | |
| - Wärme (PJ/a) | 2056 | 2166 | 1930 | 1754 | 1825 | 1638 | 1476 | 1347 | 1039 | 800 | |
| - CO ₂ (Mio. t/a) | 149 | 150 | 135 | 122 | 126 | 103 | 78 | 59 | 25 | 3 | |
| - Strom (PJ/a) | 502 | 510 | 497 | 458 | 464 | 468 | 472 | 482 | 486 | 497 | |
| CO ₂ (Mio. t/a) | 88 | 85 | 86 | 79 | 78 | 66 | 55 | 40 | 15 | 1 | |
| Endenergie (PJ/a) | 2558 | 2676 | 2427 | 2212 | 2289 | 2106 | 1948 | 1829 | 1525 | 1297 | |
| CO₂ (Mio. t/a) | 237 | 235 | 221 | 201 | 204 | 169 | 134 | 98 | 39 | 5 | |
| Verkehr | | | | | | | | | | | |
| - Kraftstoffe (PJ/a) | 2513 | 2515 | 2515 | 2587 | 2612 | 2441 | 2246 | 1953 | 1512 | 1047 | |
| - CO ₂ (Mio. t/a) | 178 | 177 | 176 | 182 | 185 | 170 | 147 | 113 | 58 | 14 | |
| - Strom (PJ/a) | 46 | 44 | 44 | 42 | 44 | 47 | 69 | 109 | 161 | 235 | |
| CO ₂ (Mio. t/a) | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 8 | 9 | 5 | 1 | |
| Endenergie (PJ/a) | 2559 | 2559 | 2559 | 2630 | 2656 | 2488 | 2315 | 2062 | 1674 | 1282 | |
| CO₂ (Mio. t/a) | 186 | 184 | 184 | 190 | 192 | 177 | 155 | 121 | 63 | 15 | |
| Alle Sektoren (wie Tab. 5c) | | | | | | | | | | | |
| - Wärme (PJ/a) | 4759 | 4896 | 4519 | 4228 | 4369 | 3878 | 3406 | 3037 | 2325 | 1775 | |
| CO₂ (Mio. t/a) | 344 | 340 | 316 | 294 | 301 | 243 | 181 | 133 | 55 | 8 | |
| - Strom (PJ/a) | 1887 | 1899 | 1884 | 1832 | 1854 | 1870 | 1910 | 1964 | 2036 | 2134 | |
| CO₂ (Mio. t/a) | 330 | 315 | 325 | 317 | 313 | 263 | 224 | 161 | 61 | 6 | |
| - Kraftstoffe (PJ/a) | 2513 | 2515 | 2515 | 2587 | 2612 | 2441 | 2246 | 1953 | 1512 | 1047 | |
| CO₂ (Mio. t/a) | 178 | 177 | 176 | 182 | 185 | 170 | 147 | 113 | 58 | 14 | |
| Endenergie (PJ/a) | 9159 | 9310 | 8918 | 8648 | 8835 | 8190 | 7562 | 6954 | 5873 | 4957 | |
| Gesamtes CO₂ (Mio. t/a) | 853 | 832 | 817 | 793 | 798 | 677 | 551 | 407 | 174 | 28 | |
| *) nur Brennstoffe; einschl. Mineralöl in Spalte "stationäre Kraft" | | | | | | | | | | | |
| SZEN16-KLIMA2050 ; 4.2.16 | | | | | | | | | | | |

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

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

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

ARES-16-KLIMA2050; 04.02.2016

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

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

Tabelle C11: Wärmebereitstellung mittels erneuerbaren Energien

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

ARES-16-KLIMA2050; 04.02.2016

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

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

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

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

D) Szenario SZEN-16 KLIMA 2040

Tabelle D 1: Eckdaten, insbesondere Beiträge der Erneuerbaren Energien

| | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Primärenergie, PJ/a | 14217 | 13446 | 13158 | 13335 | 12046 | 10528 | 9387 | 7573 | 7081 |
| Primärenergie EE, PJ/a; 1) | 1413 | 1385 | 1519 | 1679 | 2080 | 2879 | 3851 | 5681 | 5846 |
| Anteil EE an PEV, % | 9,9 | 10,3 | 11,5 | 12,6 | 17,3 | 27,3 | 41,0 | 75,0 | 82,6 |
| Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, % | 10,7 | 11,2 | 12,5 | 13,6 | 18,8 | 30,2 | 45,8 | 85,9 | 95,2 |
| Endenergie, PJ/a | 9310 | 8920 | 8648 | 8835 | 8080 | 7274 | 6513 | 5270 | 4873 |
| Endenergie EE, PJ/a | 969 | 1163 | 1244 | 1385 | 1682 | 2269 | 3010 | 4449 | 4591 |
| Anteil EE an EEV, % | 10,4 | 13,0 | 14,4 | 15,7 | 20,8 | 31,2 | 46,2 | 84,4 | 94,2 |
| Anteil EE an BEEV, %; 2) | 10,2 | 12,7 | 14,0 | 15,2 | 20,2 | 30,3 | 44,9 | 81,9 | 91,5 |
| Strom Endenergie, PJ/a | 1899 | 1884 | 1832 | 1854 | 1856 | 1874 | 1910 | 2000 | 2061 |
| Strom Endenergie EE, PJ/a | 377 | 516 | 585 | 699 | 892 | 1158 | 1436 | 1989 | 2050 |
| Anteil EE, % | 19,9 | 27,4 | 31,9 | 37,7 | 48,0 | 61,8 | 75,2 | 99,5 | 99,5 |
| Wärme Endenergie, PJ/a; 3) | 4896 | 4519 | 4228 | 4369 | 3799 | 3302 | 2907 | 2115 | 1770 |
| Wärme Endenergie EE, PJ/a | 469 | 524 | 542 | 574 | 645 | 836 | 1095 | 1605 | 1685 |
| Anteil EE, % | 9,6 | 11,6 | 12,8 | 13,1 | 17,0 | 25,3 | 37,7 | 75,9 | 95,2 |
| Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4) | 2515 | 2518 | 2587 | 2612 | 2425 | 2099 | 1696 | 1156 | 1042 |
| Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a | 122 | 124 | 117 | 112 | 146 | 276 | 479 | 855 | 857 |
| Anteil EE, % | 4,9 | 4,9 | 4,5 | 4,3 | 6,0 | 13,1 | 28,2 | 73,9 | 82,2 |
| Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5) | 615 | 607 | 592 | 597 | 607 | 669 | 808 | 1091 | 1108 |
| EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6) | 105 | 143 | 162 | 194 | 262 | 402 | 620 | 1066 | 1093 |
| Anteil EE, % | 17,0 | 23,6 | 27,4 | 32,5 | 43,2 | 60,1 | 76,8 | 97,7 | 98,7 |
| Anteil EE- Inland, % | 17,0 | 23,6 | 27,4 | 32,5 | 43,2 | 58,8 | 72,4 | 83,2 | 84,4 |
| Primärenergie, PJ/a | 14217 | 13446 | 13158 | 13335 | 12046 | 10528 | 9387 | 7573 | 7081 |
| Erneuerbare Energien | 1413 | 1385 | 1519 | 1679 | 2080 | 2879 | 3851 | 5681 | 5846 |
| Mineralöl | 4684 | 4527 | 4516 | 4512 | 3871 | 3093 | 2301 | 1138 | 1005 |
| Kohlen; 7) | 3416 | 3529 | 3390 | 3343 | 2516 | 1672 | 712 | 55 | 48 |
| Erdgas | 3171 | 2920 | 2674 | 2804 | 2860 | 2884 | 2523 | 699 | 182 |
| Fossile Energien gesamt | 11271 | 10975 | 10580 | 10658 | 9246 | 7649 | 5536 | 1892 | 1235 |
| - davon für energetische Zwecke | 10237 | 9999 | 9599 | 9668 | 8256 | 6669 | 4576 | 952 | 305 |
| Kernenergie | 1533 | 1085 | 1059 | 998 | 720 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CO₂-Emissionen, Mio. t CO₂/a | 832 | 817 | 793 | 798 | 665 | 505 | 318 | 62 | 22 |
| Verringerung seit 1990, %; 8) | 20,8 | 22,2 | 24,5 | 24,0 | 36,7 | 51,9 | 69,7 | 94,1 | 97,9 |
| durch EE vermiedene CO ₂ -Emissionen, Mio. t CO ₂ /a | 110 | 110 | 158 | 173 | 216 | 302 | 431 | 681 | 583 |
| THG-Emissionen, Mio. t CO₂äq/a; 9) | 941 | 926 | 902 | 907 | 768 | 594 | 386 | 112 | 59 |
| Verringerung seit 1990, % | 24,7 | 25,9 | 27,8 | 27,4 | 38,6 | 52,5 | 69,1 | 91,1 | 95,3 |
| 1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16 | | | | | | | | | |
| 2) Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) = Endenergie zuzügl. Netzverluste und Eigenverbrauch von Wärme und Strom in Kraftwerken | | | | | | | | | |
| 3) nur Brennstoffe, d.h. ohne Stromerzeugung für Wärmebereitstellung | | | | | | | | | |
| 4) Kraftstoffe für gesamten Verkehr, ohne Stromerzeugung | | | | | | | | | |
| 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 = 1250 Mio. t CO₂eq/a | | | | | | | | | |

Tabelle D 2 : Primärenergieeinsatz von Erdgas, Kohlen und Mineralöl

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

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

Tabelle D3: Struktur des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern und Verbrauchssektoren

| SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16 | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Primärenergie, (PJ/a) | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Kernenergie | 1851 | 1779 | 1533 | 998 | 720 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kohlen, Sonstige | 3649 | 3594 | 3416 | 3343 | 2516 | 1672 | 712 | 55 | 48 |
| Mineralöl | 5499 | 5166 | 4684 | 4512 | 3871 | 3093 | 2301 | 1138 | 1005 |
| Erdgas | 2985 | 3250 | 3171 | 2804 | 2860 | 2884 | 2523 | 699 | 182 |
| Biomasse, biog. Abfall | 294 | 575 | 1114 | 1083 | 1173 | 1323 | 1474 | 1517 | 1516 |
| Wasser, Erdwärme | 84 | 81 | 101 | 117 | 161 | 282 | 411 | 664 | 709 |
| Windenergie | 34 | 98 | 136 | 313 | 510 | 878 | 1325 | 2306 | 2377 |
| Solarstrahlung | 5 | 16 | 62 | 166 | 236 | 396 | 641 | 1194 | 1244 |
| Gesamt | 14401 | 14558 | 14217 | 13335 | 12046 | 10528 | 9387 | 7573 | 7081 |
| | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Private Haushalte | 2584 | 2591 | 2676 | 2289 | 2083 | 1884 | 1722 | 1378 | 1256 |
| Gewerbe, Handel, Dienstleistung | 1478 | 1437 | 1483 | 1340 | 1190 | 1020 | 915 | 754 | 696 |
| Industrie | 2421 | 2514 | 2592 | 2550 | 2335 | 2190 | 2053 | 1770 | 1644 |
| Verkehr | 2751 | 2585 | 2559 | 2656 | 2472 | 2180 | 1823 | 1368 | 1277 |
| NE-Verbrauch | 1068 | 1114 | 1034 | 990 | 990 | 980 | 960 | 940 | 930 |
| Umwandl. Strom | 3319 | 3527 | 3106 | 2680 | 2130 | 1317 | 862 | 207 | 137 |
| Umwandl. Übrige | 780 | 790 | 767 | 830 | 846 | 957 | 1052 | 1156 | 1142 |
| Gesamt | 14401 | 14558 | 14217 | 13335 | 12046 | 10528 | 9387 | 7573 | 7081 |
| davon Endenergie | 9234 | 9127 | 9310 | 8835 | 8080 | 7274 | 6513 | 5270 | 4873 |

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

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

| Stromerzeugung, TWh/a | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kernenergie | 141 | 100 | 97 | 92 | 67 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Steinkohle, Müll, Pumpsp. | 144 | 142 | 142 | 141 | 117 | 88 | 54 | 15 | 15 |
| Braunkohle | 146 | 161 | 156 | 155 | 125 | 80 | 25 | 0 | 0 |
| Erdgas, Öl, übr. Gase | 98 | 85 | 70 | 66 | 79 | 113 | 113 | 11 | 0 |
| Windenergie | 38 | 51 | 57 | 86 | 136 | 222 | 349 | 566 | 588 |
| Fotovoltaik | 12 | 26 | 36 | 39 | 52 | 88 | 123 | 178 | 179 |
| Biomasse, Wasser, Erdwärme | 55 | 66 | 69 | 70 | 73 | 80 | 90 | 105 | 109 |
| EE-Wasserstoff | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 22 | 58 | 58 |
| Saldo EE-Stromimport | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 35 | 158 | 158 |
| Bruttostromerzeugung*) | 633 | 630 | 628 | 647 | 649 | 682 | 811 | 1091 | 1108 |
| Bruttostromverbrauch*) | 615 | 607 | 592 | 597 | 607 | 669 | 808 | 1091 | 1108 |
| Endenergie Strom | 527 | 523 | 509 | 515 | 516 | 521 | 531 | 556 | 573 |
| Installierte Leistung, GW | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Kernenergie | 21,5 | 12,7 | 12,1 | 10,8 | 8,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Steinkohle, Sonstige Brst. | 35,3 | 36,4 | 36,0 | 35,5 | 30,6 | 22,5 | 14,9 | 2,7 | 2,7 |
| Braunkohle | 22,7 | 24,2 | 24,0 | 23,9 | 19,4 | 12,7 | 5,2 | 0,0 | 0,0 |
| Erdgas, Öl, | 29,7 | 30,6 | 28,0 | 27,0 | 31,9 | 39,7 | 36,0 | 5,1 | 0,1 |
| Windenergie | 27,1 | 31,3 | 39,2 | 44,6 | 69,3 | 105,2 | 143,6 | 213,0 | 210,6 |
| Fotovoltaik | 17,9 | 33,0 | 38,2 | 39,6 | 56,2 | 91,3 | 127,9 | 183,2 | 182,6 |
| Biomasse, Wasser, Erdwärme | 11,0 | 12,3 | 13,4 | 13,4 | 14,2 | 16,9 | 19,8 | 22,9 | 23,8 |
| EE-Wasserstoff | | | | | | 1,0 | 7,1 | 26,5 | 27,3 |
| Pumpspeicher, andere Sp. | 6,5 | 6,5 | 6,0 | 6,0 | 6,5 | 7,5 | 8,5 | 9,5 | 10,0 |
| Leist. des EE-Importsaldos**) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 3,6 | 7,2 | 27,7 | 27,5 |
| Gesamte Bruttoleistung | 172 | 187 | 197 | 201 | 237 | 300 | 370 | 491 | 485 |
| Nicht jederzeit einsetzbar ***) | 69 | 86 | 94 | 100 | 136 | 205 | 277 | 390 | 387 |
| Gesicherte Leistung, brutto | 103 | 101 | 103 | 101 | 101 | 96 | 93 | 101 | 98 |
| Bruttohöchstlast | 84 | 84 | 82 | 83 | 80 | 77 | 76 | 78 | 81 |
| Als Reserve verbleibend | 19 | 17 | 21 | 18 | 21 | 19 | 17 | 22 | 17 |
| CO2-Emissionen (Mio. t/a) | 315 | 325 | 317 | 313 | 261 | 202 | 119 | 10 | 2 |
| A) CO2-Faktoren, kg/kWh el | 0,812 | 0,839 | 0,860 | 0,865 | 0,814 | 0,719 | 0,623 | 0,386 | 0,164 |
| B) CO2-Faktoren, kg/kWh el | 0,497 | 0,516 | 0,505 | 0,483 | 0,402 | 0,296 | 0,147 | 0,009 | 0,002 |
| *) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe | | | | | | | | | |
| **) Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft | | | | | | | | | |
| ***) insbesondere Wind (90-95%), PV (~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung | | | | | | | | | |
| A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung | | | | | | | | | |

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

Tabelle D 5 : Eckdaten und Struktur der Wärmeversorgung

| Struktur der Wärmeversorgung, (PJ/a) | SZEN-16 KLIMA2040 | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Solarkollektoren | 16 | 20 | 24 | 26 | 27 | 43 | 80 | 129 | 251 | 288 |
| Umweltwärme, Geothermie | 17 | 25 | 31 | 38 | 42 | 75 | 147 | 220 | 373 | 402 |
| Biomasse | 360 | 424 | 469 | 478 | 505 | 523 | 541 | 561 | 573 | 573 |
| Wasserstoff (KWK, Ind.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 68 | 185 | 408 | 422 |
| Fern- +Nahwärme, fossil | 447 | 447 | 447 | 400 | 392 | 404 | 372 | 285 | 80 | 75 |
| Industr. KWK, fossil | 246 | 267 | 241 | 231 | 223 | 213 | 147 | 67 | 18 | 9 |
| Gase; direkt | 1950 | 2020 | 1970 | 1920 | 1880 | 1780 | 1550 | 1270 | 412 | 0 |
| Kohlen; direkt | 450 | 460 | 432 | 425 | 395 | 230 | 120 | 30 | 0 | 0 |
| Heizöl; direkt | 1272 | 1233 | 904 | 709 | 905 | 528 | 277 | 160 | 0 | 1 |
| Stromwärme*) | 515 | 531 | 498 | 473 | 480 | 491 | 496 | 519 | 556 | 620 |
| Gesamte Wärme | 5273 | 5427 | 5017 | 4701 | 4849 | 4290 | 3798 | 3426 | 2671 | 2390 |
| 2008 = 100 | 100 | 102,9 | 95,1 | 89,1 | 92,0 | 81,4 | 72,0 | 65,0 | 50,7 | 45,3 |
| - davon aus EE-Quellen (einschl. Stromanteil) | 469 | 558 | 638 | 666 | 720 | 845 | 1131 | 1496 | 2153 | 2303 |
| Anteil EE (%) | 8,9 | 10,3 | 12,7 | 14,2 | 14,8 | 19,7 | 29,8 | 43,7 | 80,6 | 96,3 |
| Gesamte Wärme ohne Stromwärme | 4759 | 4896 | 4519 | 4228 | 4369 | 3799 | 3302 | 2907 | 2115 | 1770 |
| - davon EE | 393 | 469 | 524 | 542 | 574 | 645 | 836 | 1095 | 1605 | 1685 |
| Anteil EE (%) | 8,3 | 9,6 | 11,6 | 12,8 | 13,1 | 17,0 | 25,3 | 37,7 | 75,9 | 95,2 |
| KWK-Wärme (fossil, Biomasse, Geoth.) | 698 | 732 | 710 | 675 | 671 | 699 | 680 | 672 | 623 | 597 |
| Anteil an ges. Wärme, (%) | 13,2 | 13,5 | 14,1 | 14,4 | 13,8 | 16,3 | 17,9 | 19,6 | 23,3 | 25,0 |
| *) Summe aller Einsatzarten von Strom zur Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebereitstellung SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16 | | | | | | | | | | |
| Anteil Biomasse (%) | 6,8 | 7,8 | 9,3 | 10,2 | 10,4 | 12,2 | 14,2 | 16,4 | 21,5 | 24,0 |
| Anteil Kollektorwärme (%) | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 1,0 | 2,1 | 3,8 | 9,4 | 12,1 |
| Anteil Umweltw. Geothermie | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,7 | 3,9 | 6,4 | 14,0 | 16,8 |
| Anteil fossil (%) | 82,8 | 81,6 | 79,6 | 78,4 | 78,3 | 73,5 | 64,9 | 52,9 | 19,1 | 3,5 |
| Anteil Strom (%) | 9,8 | 9,8 | 9,9 | 10,1 | 9,9 | 11,4 | 13,1 | 15,2 | 20,8 | 26,0 |

Tabelle D 6: Stromverwendung im Wärmesektor

| Strom für Wärmezwecke (TWh/a) | SZEN-16 KLIMA2040 | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| konvent. Raumheizung | 30,9 | 29,3 | 19,0 | 13,9 | 13,9 | 13 | 10 | 9 | 7 | 6 |
| "Neue" Raumheizung | 2,1 | 2,9 | 3,7 | 4,4 | 4,8 | 10 | 20 | 27 | 33 | 43 |
| "konvent. Prozesswärme | 88,7 | 88,6 | 90,1 | 88,0 | 90,2 | 86 | 77 | 68 | 60 | 55 |
| "neue" Prozesswärme | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 4 | 9 | 20 | 34 | 50 |
| Warmwasser | 21,3 | 26,8 | 25,6 | 25,0 | 24,4 | 23 | 22 | 21 | 20 | 18 |
| Ges. Stromwärme | 143,0 | 147,6 | 138,4 | 131,3 | 133,3 | 136 | 138 | 144 | 154 | 172 |
| "konventionelle " Wärme | 140,9 | 144,7 | 134,7 | 126,9 | 128,5 | 122 | 109 | 98 | 87 | 79 |
| "neue" Wärme | 2,1 | 2,9 | 3,7 | 4,4 | 4,8 | 14 | 29 | 46 | 67 | 93 |
| Anteil an ges. Stromverbr. (%) | 27,3 | 28,0 | 26,5 | 25,8 | 25,9 | 26,4 | 26,5 | 27,2 | 27,8 | 30,1 |
| davon aus EE-Quellen (TWh/a) | 21,0 | 24,7 | 31,8 | 34,3 | 40,3 | 56 | 82 | 111 | 152 | 172 |
| davon aus EE-Quellen (PJ/a) | 76 | 89 | 114 | 124 | 145 | 200 | 296 | 401 | 548 | 618 |
| SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16 | | | | | | | | | | |

Tabelle D 7: Energieeinsatz im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsmitteln

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

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

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

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

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

**) nur Emissionen von Kraftstoffen

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2020

SZEN15-Korr. ; 18.04.15

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

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

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

SZEN16-KLIMA2040 ; 4.2.16

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

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

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

ARES-16-KLIMA2040; 04.02.2016

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

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

Tabelle D 11: Wärmebereitstellung mittels erneuerbaren Energien

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

ARES-16-KLIMA2040; 04.02.2016

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

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

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

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

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

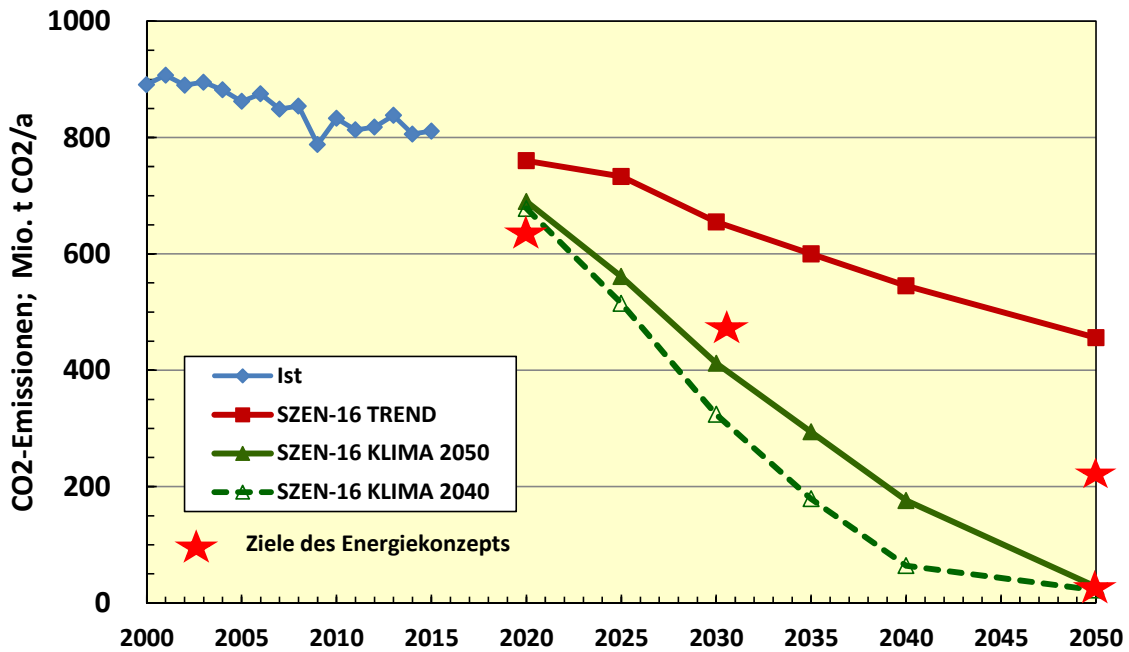


Abbildung E 1: Energiebedingte CO2-Emissionen (einschließlich Industrieprozesse)

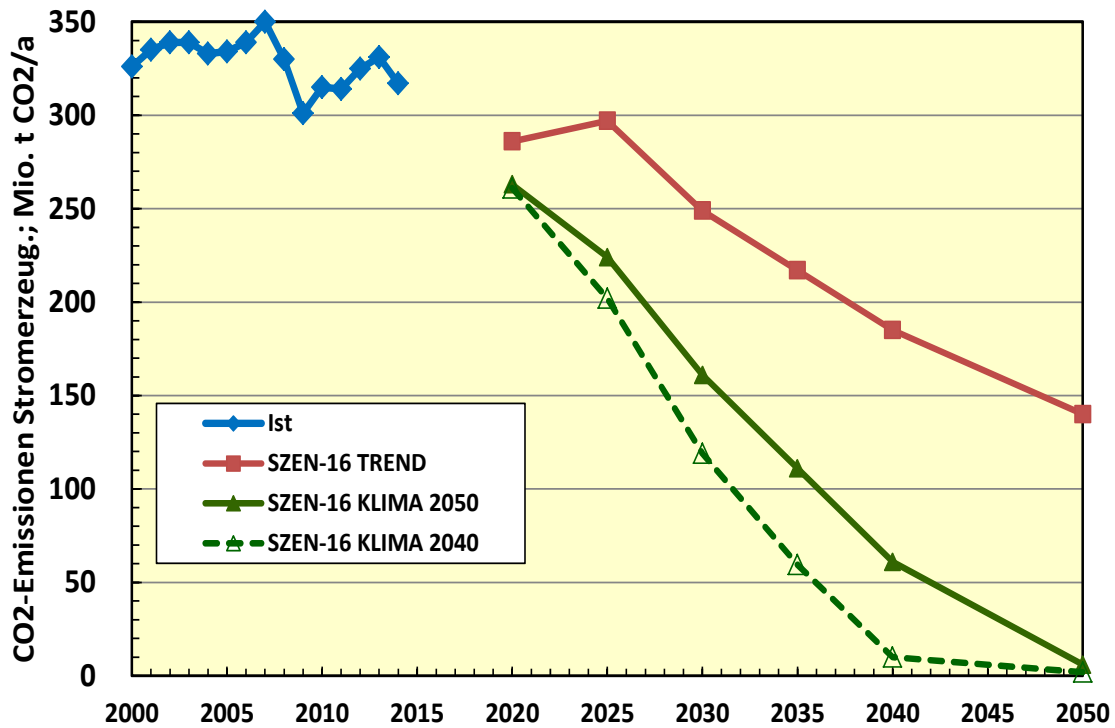


Abbildung E 2: CO2-Emissionen der Stromerzeugung

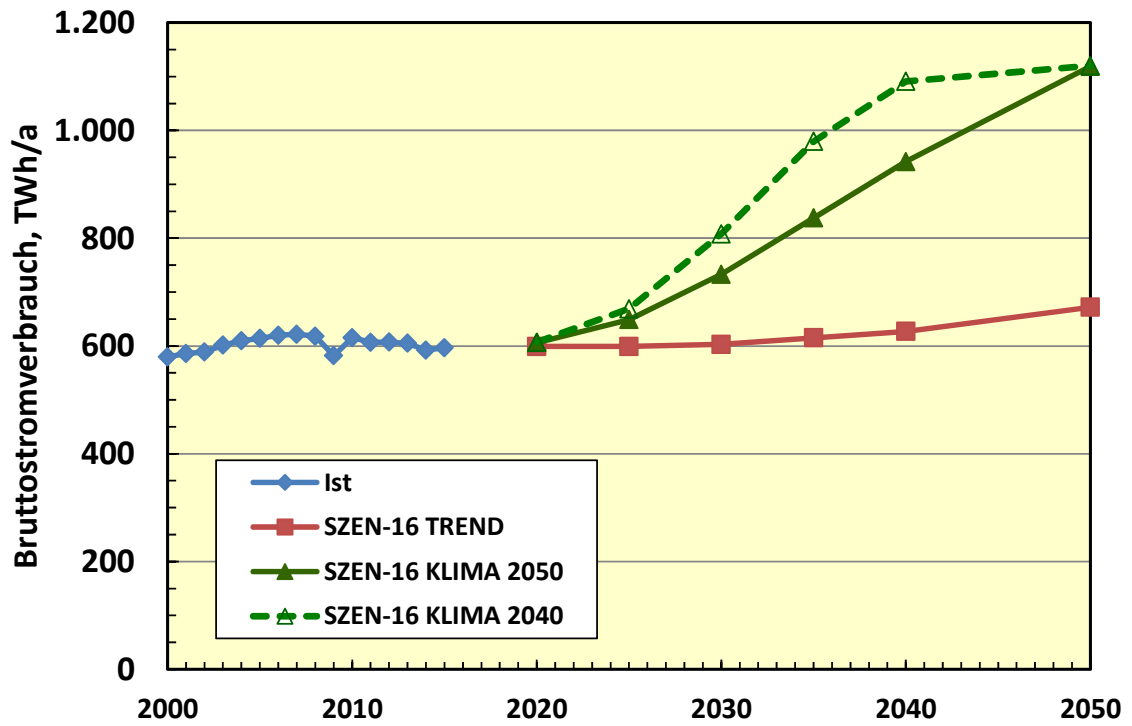


Abbildung E 3: Entwicklung des Bruttostromverbrauchs

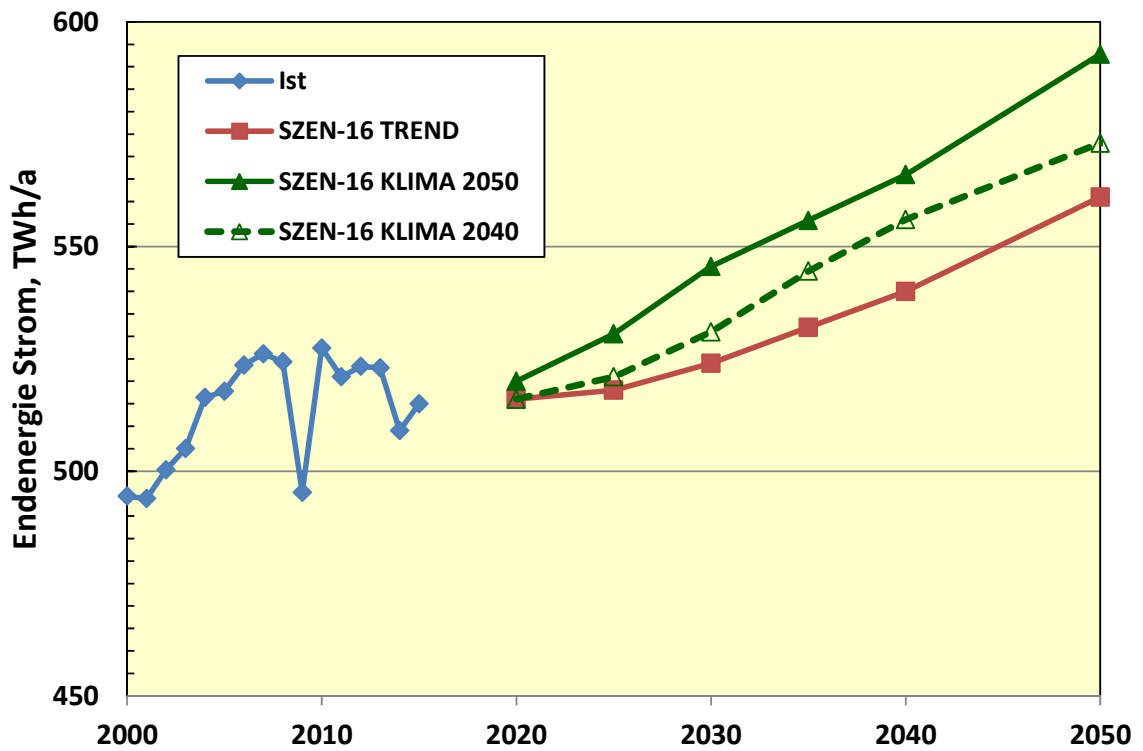


Abbildung E 4: Entwicklung des Stromendenergieverbrauchs (Unterdrückter Nullpunkt !)

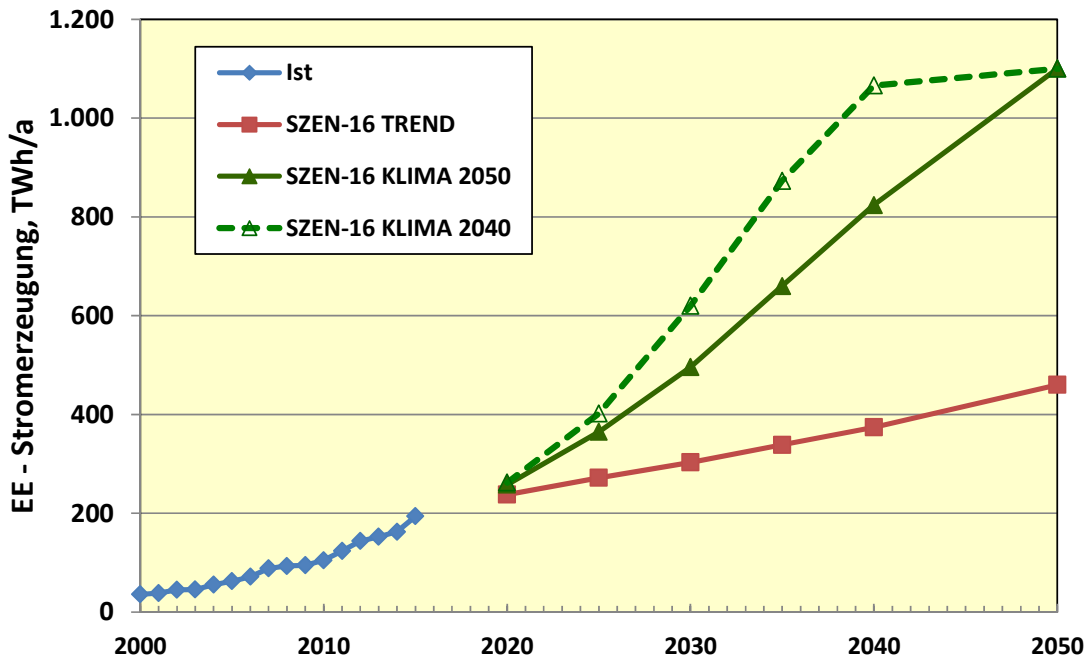


Abbildung E 5: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

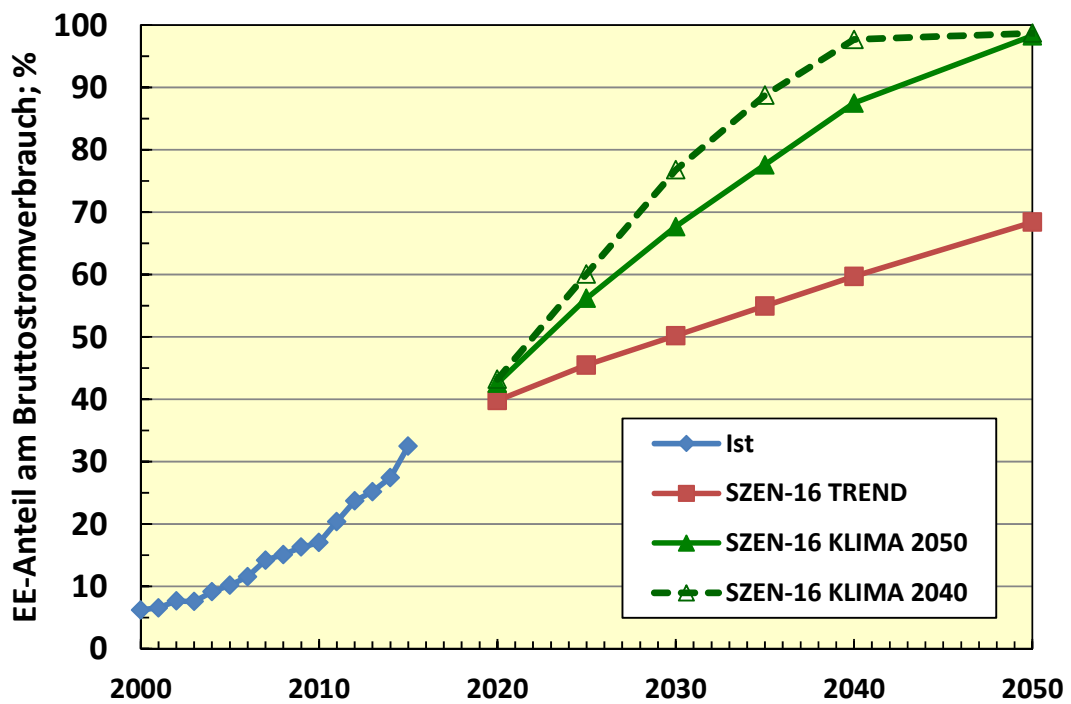


Abbildung E 6: EE-Anteil am Bruttostromverbrauch

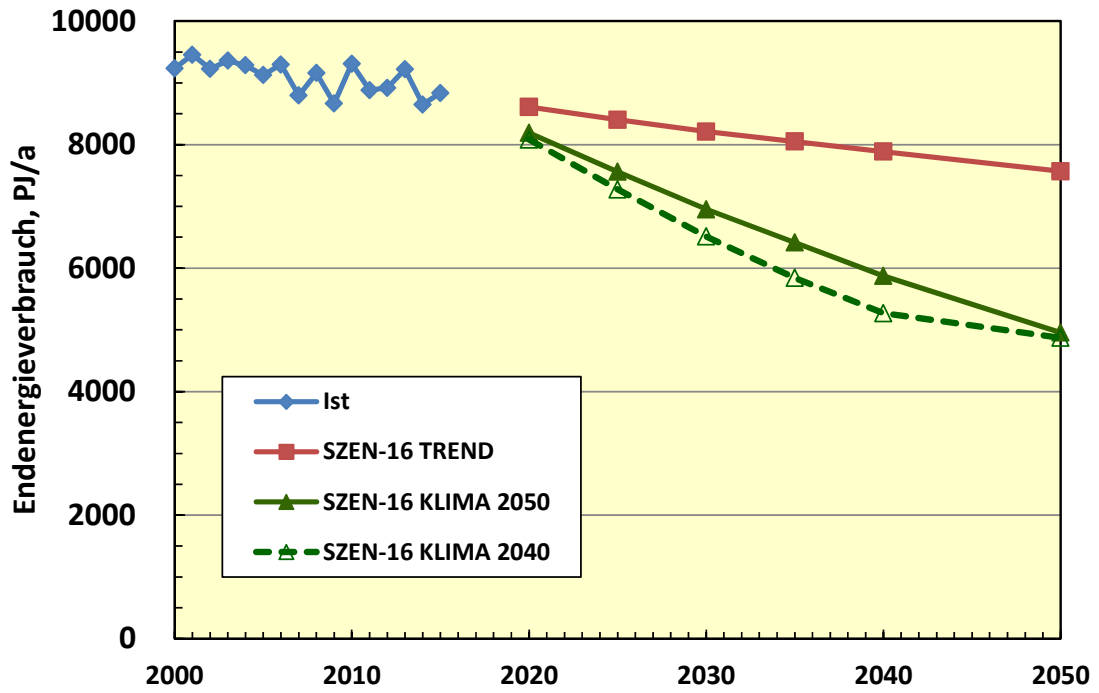


Abbildung E 7: Entwicklung des Endenergieverbrauchs

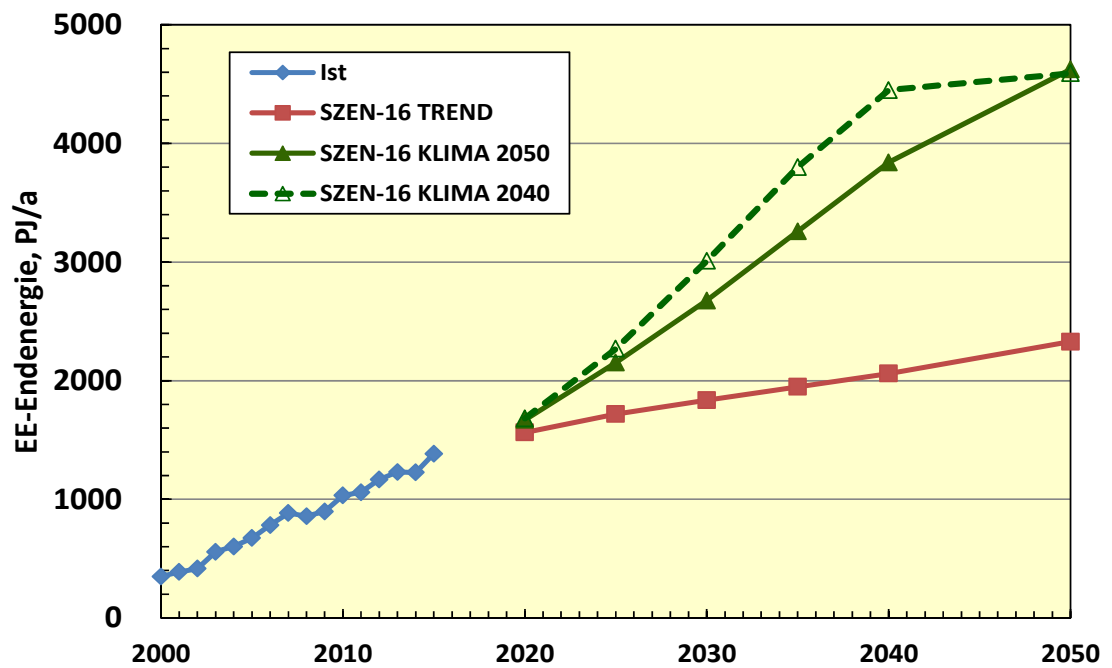


Abbildung E 8: Entwicklung des Endenergieverbrauchs erneuerbarer Energien

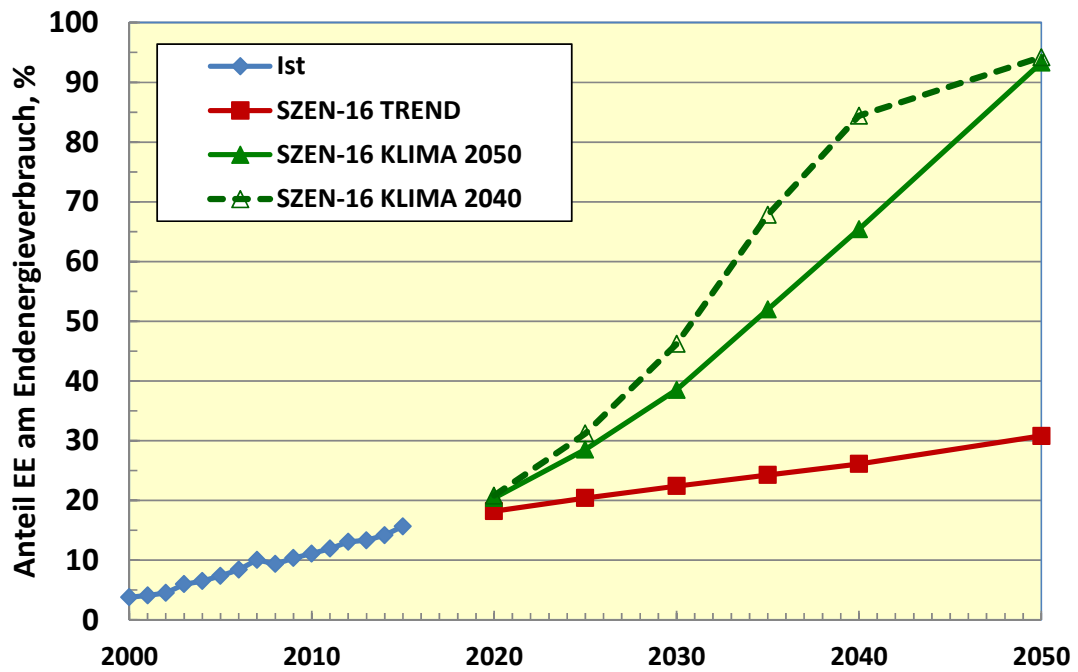


Abbildung E 8: EE-Anteil am gesamten Endenergieverbrauch

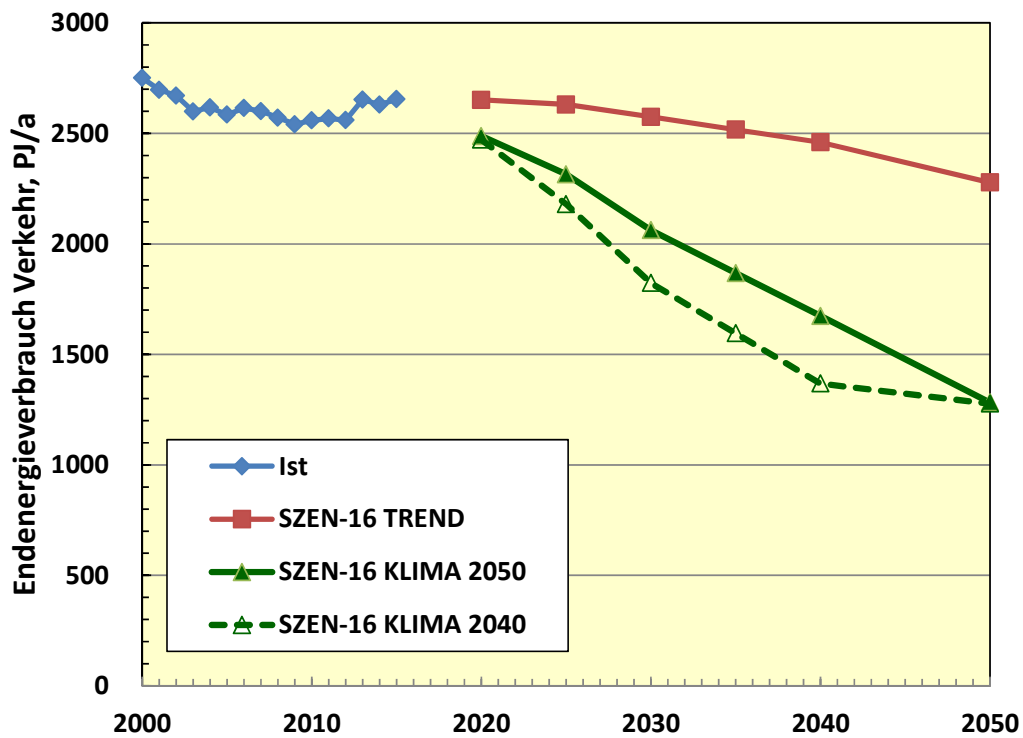


Abbildung E 9: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr

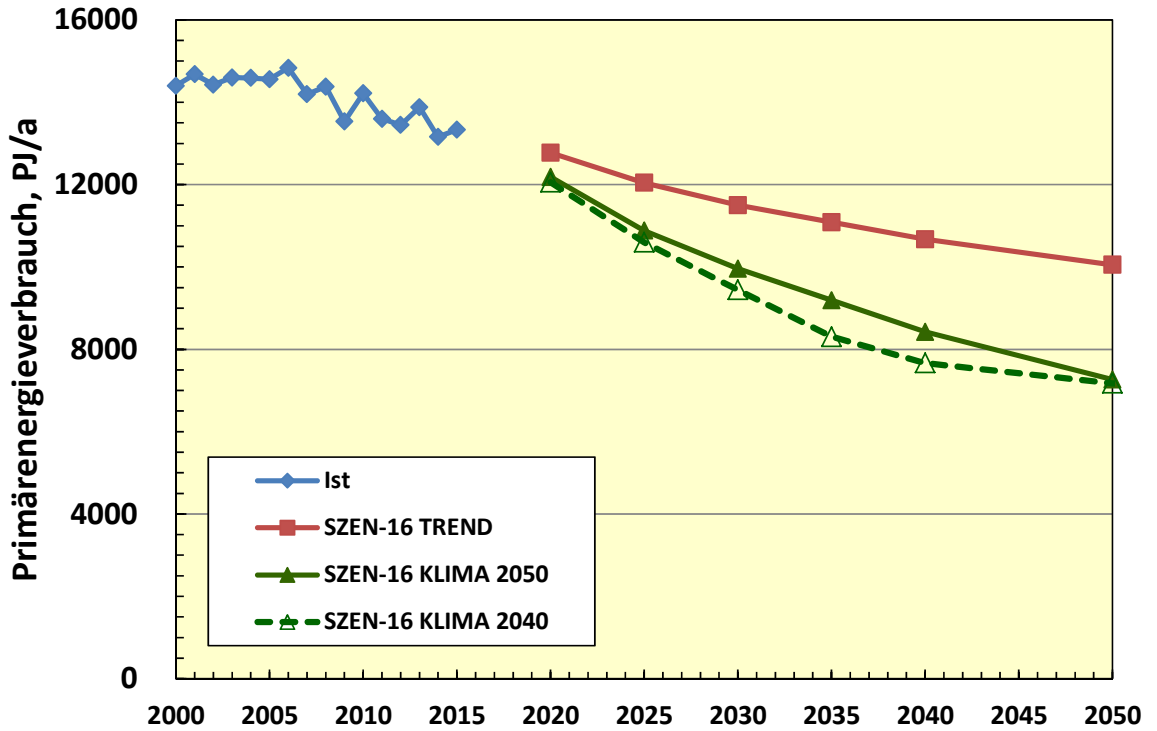


Abbildung E 10: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

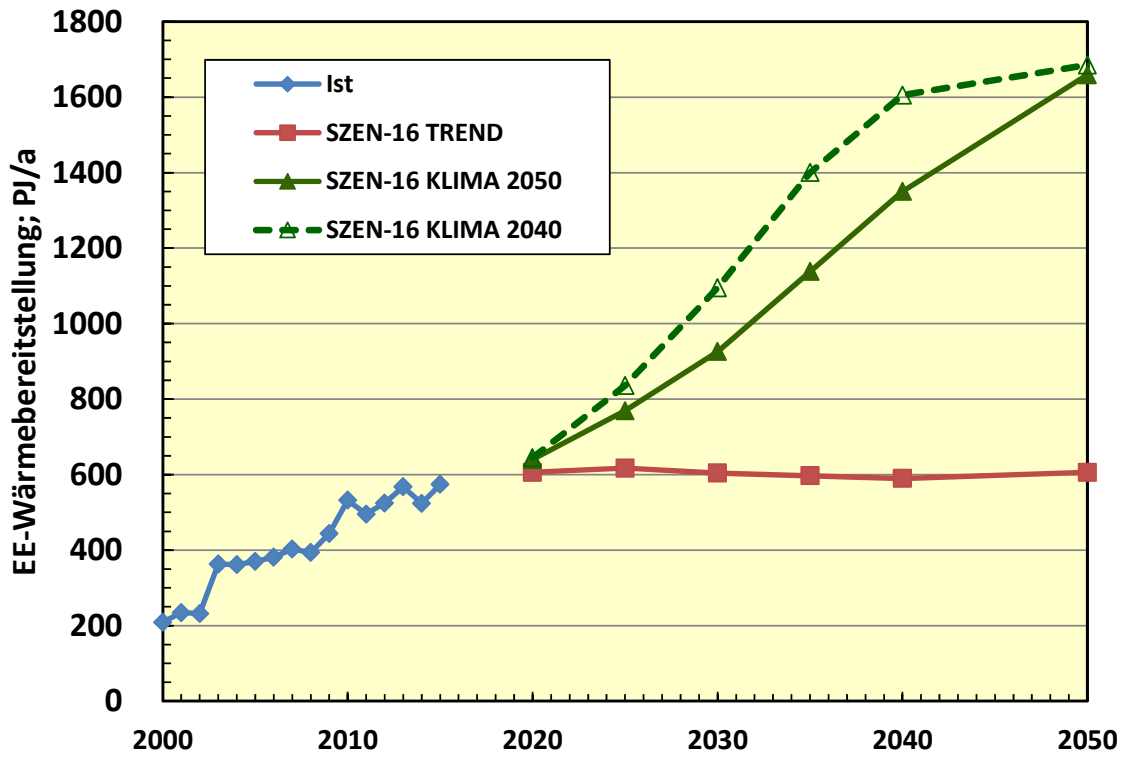


Abbildung E 11: EE-Anteil an der Wärmebereitstellung (ohne Wärmeanteil durch EE-Strom)

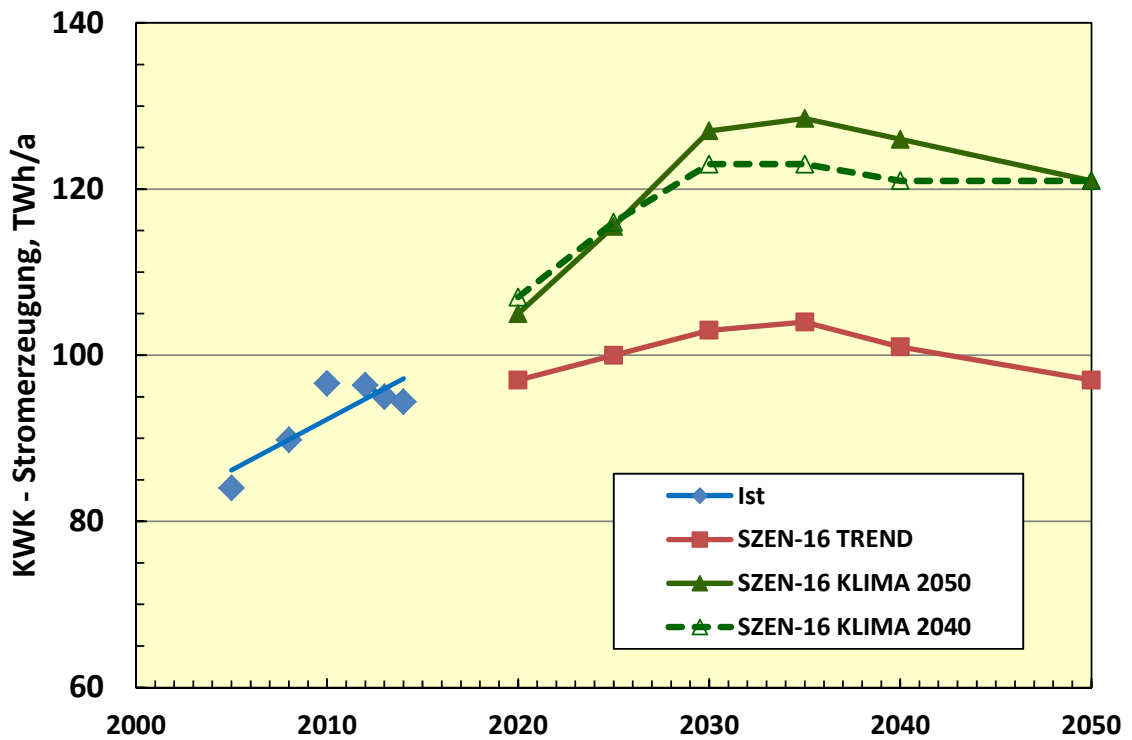


Abbildung E 12: Entwicklung der Stromerzeugung aus KWK-Anlagen

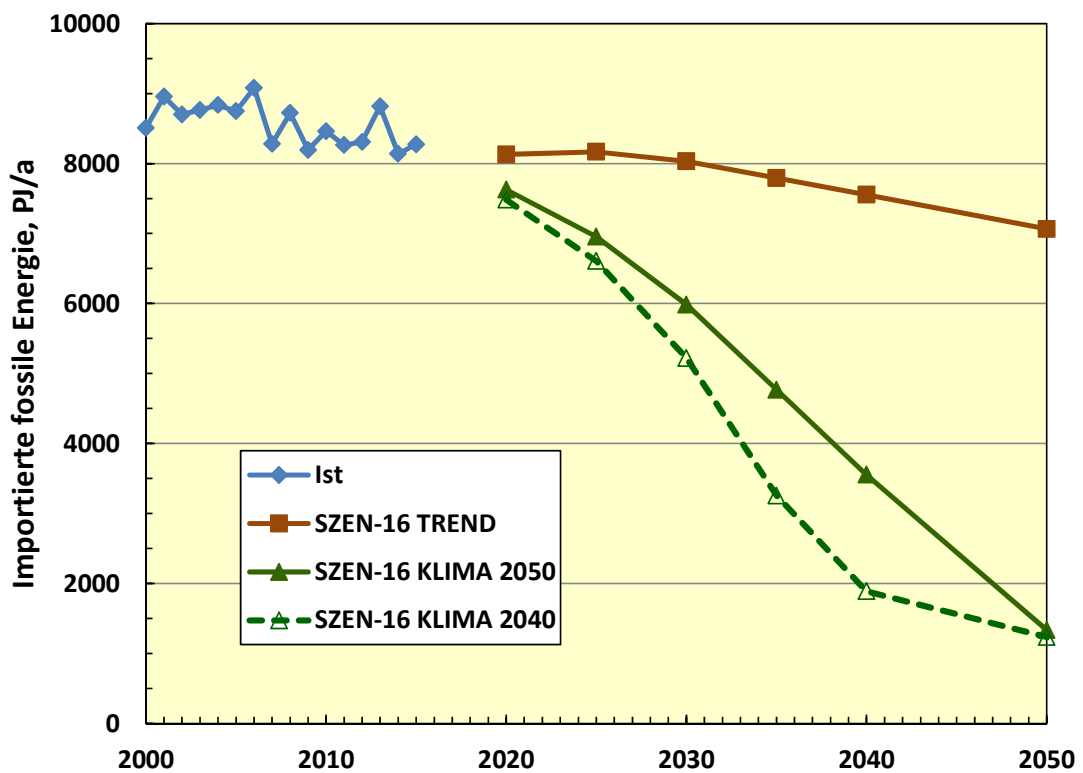


Abbildung E 13: Menge importierter fossiler Energie

