

Was für einen erfolgreichen Klimaschutz erforderlich ist

**Die notwendigen Schritte zur Umgestaltung der
deutschen Energieversorgung
(Szenario KLIMA-21)**

Dr. Joachim Nitsch, Stuttgart, 7. April 2021

Die wichtigsten Ergebnisse und Eckdaten

1. In den Jahren **2018 bis 2020** sind die THG-Emissionen Deutschlands um rund 170 Mio. t CO_{2äq} gesunken. Berücksichtigt man näherungsweise die durch die Corona-Pandemie verursachten Emissionsminderungen, verbleibt noch eine Reduktion von rund **120 Mio. Mio. t CO_{2äq}**. Der weitaus größte Beitrag von rund 100 Mio. t CO_{2äq} stammt aus dem erheblichen Rückgang der Stromerzeugung aus Kohle.
2. Zielsetzung des Szenarios **KLIMA-21** ist es, die seit 2017 eingetretene jährliche Rückgangsrate der THG-Emissionen von **40 Mio. t CO_{2äq}/a auf Dauer** zu stabilisieren. Damit kann bis 2030 ein THG-Emissionsniveau von **320-330 Mio. tCO_{2äq} /a** erreicht und damit eine Gesamtreduktion ggü. 1990 von **-74%** verwirklicht werden. Nur dann besteht die Chance, bis 2050 eine Energieversorgung aufzubauen, die der Zielsetzung der Pariser Klimakonferenz gerecht wird.
3. Um diese Reduktion zu erreichen, müssen im Wesentlichen **drei Maßnahmenbündel bis 2030** umgesetzt werden:
 - ein weitgehender **Umbau der Stromversorgung** mit vollständigem Ausstieg aus der Kohleverstromung und einem Ausbau der EE-Stromerzeugung auf einen Anteil von knapp **80%** (2020 = 46%);
 - eine rasche und systematische Mobilisierung der **Effizienzpotenziale im Wärmesektor**, die auf einen Rückgang des Wärmebedarfs um **-35%** ggü. 2020 führt und gekoppelt wird mit einem deutlich beschleunigten Ausbau von EE auf einen Anteil von rund **40%** (2020 = 19%)
 - ein durchgreifender **Umbau der Mobilitätsstrukturen** mit Begrenzung und allmählicher Zurückdrängung des motorisierten Individualverkehrs und abgestimmter Einbindung und Ausweitung neuer Antriebstechnologien und EE- Kraftstoffe (insbesondere Wasserstoff). Dies führt in 2030 zu einer Reduktion des Energieverbrauchs um **gut 20%**, zu einem Anteil von **Strom von 10%** (2020 =2%) und zu einem **EE-Anteil (EE-Strom, Biokraftstoffe, Wasserstoff) von 29%** (2020 =7%)
4. Der jährliche Zubau der Technologien zur EE-Stromerzeugung muss erheblich auf **20 – 22 GW/a** Bruttozubau gesteigert werden (Wind 8-9 GW/a; Fotovoltaik 12 GW/a; Biomasse, Wasser und Geothermie rund 1 GW/a) beschleunigt und dauerhaft beibehalten werden (2020: 8,6 GW/a mit 3,8 GW/a Wind, 4,5 GW Fotovoltaik, rund 0,3 GW/a Biomasse, Wasser, Geothermie).
5. Die rasche Weiterentwicklung und Ausweitung der CO₂-Bepreisung und eine stetige Steigerung des **CO₂-Preises (2030 mindestens 100 €/t CO₂)** ist das wirkungsvollste Instrument, das man zur Umsetzung der Klimaschutzziele einsetzen kann. Angesichts der Dringlichkeit rasch substantielle THG-Reduktionen zu erreichen, kommt man mit weiteren kleinteiligen Lösungen nicht weiter. Auch die rechtzeitige Entwicklung und breite Markteinführung weiterer innovativer Energietechnologien (Wasserstoff und andere alternative Brenn- und Kraftstoffe) ist ohne eine substantielle Korrektur des herkömmlichen Energiepreisgefüges nicht möglich

1. Aktuelle Entwicklung der THG-Emissionen und Szenario KLIMA-21

Seit 2017 sind die THG-Emissionen Deutschlands kontinuierlich gesunken. Der Rückgang in den Jahren 2018 und 2019 betrug 50 bzw. 47 Mio. t CO₂Äq/a (**Abb. 1**). Dieser Rückgang ist vorwiegend auf steigende Preise für CO₂-Zertifikate zurückzuführen und erfolgte daher im Wesentlichen im Bereich der Stromversorgung durch einen erheblichen Rückgang der Kohlestromerzeugung. Im Jahr 2020 reduzierten sich die THG-Emissionen insgesamt um weitere 71 Mio. t CO₂Äq auf 739 Mio. t CO₂Äq/a. Nach aktuellen Untersuchungen **/AGORA 2021/** stammen davon ein gutes Drittel (~24 Mio. t CO₂Äq) aus strukturellen Veränderungen im Energiesektor wie den beginnenden Kohleausstieg und den weiteren EE-Ausbau im Strom- und Wärmesektor. Im Mittel betrug der jährliche Rückgang von THG-Emissionen, der durch gezielte energiepolitische Maßnahmen (Emissionshandel, weiterer EE-Ausbau, konkrete Zielvorgaben in den Verbrauchssektoren u.a.) seit 2017 angestoßen wurde, also gut **40 Mio. t CO₂Äq/a**.

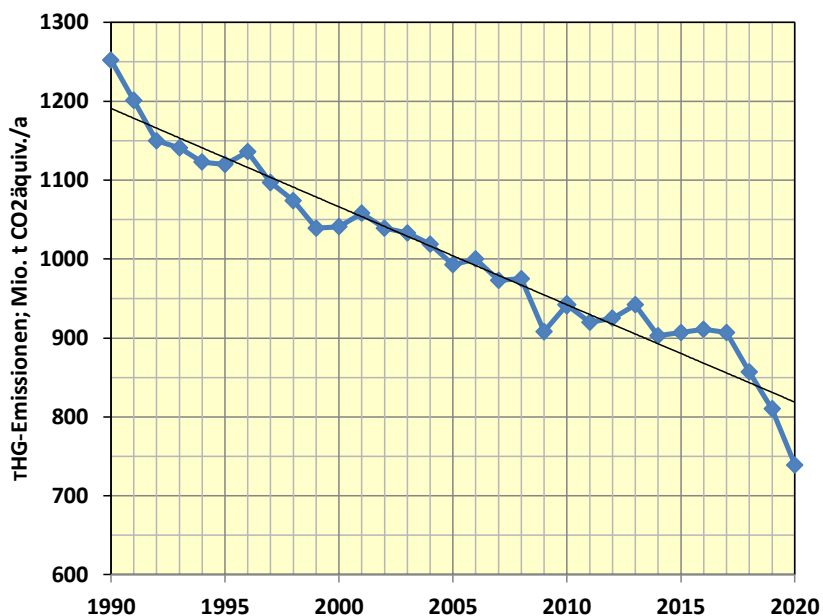


Abbildung I: Emissionen der fossilen Energieträger (CO₂) und der übrigen Treibhausgase zwischen 1990 und 2020 (Nullpunkt unterdrückt)

Veränderungen in ähnlicher Größenordnung werden auch durch krisenhafte politische oder ökonomische Ereignisse hervorgerufen. Sie sind in den letzten Jahrzehnten bis in die jüngste Vergangenheit mehrmals aufgetreten. So entstand ein Rückgang im Jahr 2020 in Höhe von 47 Mio. t CO₂Äq/a (2/3 der Gesamtreduktion in 2020) durch die erheblich eingeschränkten Produktions- und Konsumaktivitäten infolge der Corona-Pandemie. Im Jahr 2009 gingen nach der globalen Finanzkrise die THG-Emissionen Deutschlands sogar um 67 Mio. t CO₂Äq/a zurück. Und die Stilllegung von Kraftwerks- und Industriekapazitäten in den neuen Bundesländern nach der Wiedervereinigung bewirkte 1990 und 1991 einen jährlichen Rückgang von jeweils rund 50 Mio. t CO₂Äq/a.

Die aus Klimaschutzsicht notwendige Annäherung an das 1,5°C-Ziel bis 2050 erfordert insbesondere eine vollständige Dekarbonisierung der Energieversorgung. Dies wird nur rechtzeitig gelingen, wenn bereits **bis 2030** eine Verringerung der THG-Emissionen um **rund 75 %** gegenüber

1990 erfolgt. Die für Deutschland derzeit noch geltende Zielsetzung nach dem Klimaschutzgesetz vom Dezember 2019 einer Reduktion der THG-Emissionen bis 2030 in Höhe von -55% ist also endgültig obsolet und muss schnellstens verschärft werden. Zielsetzung muss es jetzt sein, die seit 2017 etablierte Rückgangrate von **40 Mio. t CO_{2äq}/a auf Dauer** zu stabilisieren. Dann kann bis 2030 ein THG-Emissionsniveau von **320-330 Mio. tCO_{2äq} /a** erreicht und damit eine Gesamtreduktion ggü. 1990 von -74% verwirklicht werden.

Diese Entwicklung wird im Szenario **KLIMA-21** abgebildet (**Tabelle 1**; unterer Tabellenteil). Es stellt eine Aktualisierung des in **/Nitsch 2019/** beschriebenen Szenarios KLIMA-19 OPT dar. In diesem Szenario wurde in 2019 modelliert, wie die notwendigen Umstrukturierungsmaßnahmen aussehen müssen, wenn man den Weg zur Einhaltung des 1,5°-Ziel rechtzeitig und erfolgreich einleiten will. In der o.g. Untersuchung stand dafür die Erfüllung des -40% Minderungsziels im Jahr 2020 und die Etablierung eines jährlichen THG-Reduktionsgradienten, der bis 2030 auf THG-Emissionen von rund 400 Mio. tCO_{2äq}/a führt. Die erste **Annahme ist inzwischen eingetroffen**. Das aktuelle Szenario KLIMA-21 führt den weiteren Umbau unserer Energieversorgung nun konsequent weiter ausgehend vom aktuellen THG-Emissionsniveau des Jahres 2020. Aus technischer und struktureller Sicht bestehen keine grundsätzlichen Hemmnisse eine zeitgerechte Umsetzung der im Szenario vorgeschlagenen Veränderungen sicherzustellen.

Tabelle 1: Entwicklung des Energieverbrauchs und des Beitrags erneuerbarer Energien sowie resultierende Verringerung der THG-Emissionen im „alten“ Szenario KLIMA-19 OPT und im aktuellen Szenario KLIMA-21

KLIMA 19-OPT	2018	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Primärenergieverbrauch, PJ/a	13129	12299	10590	9212	7421	6628	6376
Endenergieverbrauch, PJ/a	8963	8408	7602	6822	5451	4632	4387
EE-Endenergie, PJ/a	1566	1687	2143	2646	3554	4067	4189
EE-Anteil an Endenergie, % ¹⁾	17,5	20,1	28,2	38,8	65,2	87,8	95,5
THG-Emissionen, Mio. t CO _{2äq} /a	856	764	586	400	159	46	12
THG-Reduktion ggü. 1990 (%)	-31,6	-39,0	-53,2	-68,0	-87,3	-96,3	-99,0
KLIMA-21	2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060
Primärenergieverbrauch, PJ/a	11680	9767	8569	7868	7312	6794	6425
Endenergieverbrauch, PJ/a	8199	7001	6258	5796	5378	4952	4656
EE-Endenergie, PJ/a	1692	2190	2799	3412	3920	4502	4491
EE-Anteil an Endenergie, % ¹⁾	20,6	31,3	44,7	58,9	72,9	90,9	96,5
THG-Emissionen, Mio. t CO _{2äq} /a	739	522	321	222	136	41	2
THG-Reduktion ggü. 1990 (%)	-41,0	-58,3	-74,3	-82,2	-89,2	-96,8	-100

Die zwischen 1990 und 2020 erreichte THG-Minderung ist etwa zu zwei Dritteln auf den **Ausbau der EE** zurückzuführen. Die in zahlreichen Untersuchungen ermittelten ebenfalls hohen Potenziale der **Effizienzsteigerung** bei der Energiebereitstellung und -nutzung sind also bisher eher unzulänglich ausgeschöpft worden. Beide Teilstrategien sind aber für eine vollständige Dekarbonisierung der Energieversorgung unverzichtbar und müssen daher in ausgewogenem Ausmaß und in wechselseitiger Abstimmung mobilisiert werden. Im Szenario KLIMA-21 wird das bisherige Defizit bei der Erschließung von Effizienzpotentialen beseitigt, die Minderung der energie- und prozessbedingten THG-Emissionen wird zu etwa gleichen Teilen durch den Ausbau der EE und durch Investitionen in technische und strukturelle Effizienzmaßnahmen (EFF) erbracht.

Für alle defizitären Bereiche der Energiewende muss sehr rasch ein Einstieg in wirksame Lösungsstrategien gefunden werden. Diese sind:

- ein weitgehender **Umbau der Stromversorgung** mit vollständigem Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2030
- rasche und systematische Mobilisierung der **Effizienzpotenziale im Wärmesektor**, gekoppelt mit einer deutlichen Intensivierung des Ausbaus von EE zur Wärmbereitstellung
- ein durchgreifender **Umbau der Mobilitätsstrukturen** mit abgestimmter Einbindung neuer Antriebstechnologien und „alternativer“ Kraftstoffe (insbesondere Wasserstoff).

Die dazu notwendigen Umstrukturierungs- und Vernetzungsprozesse (Stichwort: Sektorkopplung) müssen **jetzt** eingeleitet werden und sollten bis zum wichtigen Zwischenziel 2030 ihre volle Dynamik entfalten. Dies wird im Szenario Klima-21 beispielhaft dargestellt. Nur dann besteht die Chance, bis 2050 eine Energieversorgung aufzubauen, die der Zielsetzung der Pariser Klimakonferenz gerecht wird.

2. Ein konsequenter und rascher Kohleausstieg ist der Schlüssel zu einer wirksamen Klimaschutzstrategie

Mit 218 Mio. t CO_{2äq}/a war die „Energiewirtschaft“ im Jahr 2020 für nahezu 30% der gesamten THG-Emissionen verantwortlich und ist damit immer noch der größte Verursacher von Treibhausgasen (**Tabelle 2, oberer Teil**). Es folgt die „Industrie“ mit 186 Mio. t CO_{2äq}/a bzw. 25% und der „Verkehr“ mit 144 Mio. t CO_{2äq}/a bzw. 20%. Der Brennstoffverbrauch in Gebäuden liegt mit 116 Mio. t CO_{2äq}/a bzw. knapp 16% an vierter Stelle.

Für viele Fragestellungen und Entscheidungen (z.B. Intensivierung der Sektorkopplung) ist eine Untergliederung der Emissionsverursacher nach den Nutzungssektoren Stromerzeugung, Wärmeerzeugung und Kraftstoffverbrauch zweckmäßiger als diejenige nach der Klimaschutzkonvention. Betrachtet man die reine Stromerzeugung, zu der auch der Industriesektor beiträgt, so kommt man mit 200 Mio. t CO_{2äq}/a auf einen Anteil von 27% (**Tabelle 2; unterer Teil**).

Fasst man die gesamte Wärmebereitstellung zusammen (Brennstoffbedarf für Gebäude; industrielle Prozesswärme, Fern- und Nahwärme aus KWK-Anlagen und Heizwerken) so erhält man mit 264 Mio. t CO_{2äq}/a bzw. 35% den derzeit größten Anteil an den Emissionen. Der Kraftstoffverbrauch mit THG-Emissionen von insgesamt 152 Mio. t CO_{2äq}/a bzw. einem Anteil von knapp 21% findet zu 95% im Verkehrssektor statt

Auf Grund der bisher mit aktivem Klimaschutz unvereinbaren Preisrelationen am Strommarkt wurden die für eine effektive Klimaschutzstrategie notwendigen Strukturveränderungen im Kraftwerkssektor in den letzten Jahren weitgehend unterlassen. Obwohl in den letzten zwei Jahrzehnten die EE-Stromerzeugung erheblich gestiegen ist (von 36 TWh/a in 2000 auf 255 TWh/a in 2020), ist aufgrund der bis 2017 sehr niedrigen CO₂-Zertifikatspreise und niedriger Kohle- und Erdgaspreise die notwendige Reduktion der Stromerzeugung aus fossilen Energien unterblieben (**Abbildung 2**). Sie war in 2017 mit 355 TWh/a nur um 10 TWh/a niedriger als in 2000 und stieg zwischenzeitlich (2007) sogar auf rund 400 TWh/a. Erst ab 2018 erfolgte durch den gestiegenen Zertifikatspreis ein merklicher Rückgang der Stromerzeugung aus älteren Steinkohlekraftwerken. Auch die Stromerzeugung aus Braunkohle, die sich bis 2018 mit 146 TWh/a kaum verändert hatte, ist in 2019 und 2020 erheblich gesunken (2020 = 92 TWh/a). Aus diesem Grund hat der Bereich „Energiewirtschaft“ mit einer Reduktion von 91 Mio. t CO_{2äq}/a seit 2018 den bisher weitest- und größten Reduktionsbeitrag erbracht. Er entspricht 77% der Gesamtreduktion von 118 Mio. t CO_{2äq}/a zwischen 2018 und 2020.

Tabelle 2: Treibhausgasemissionen (Mio. t CO_{2äq}/a) in KLIMA-21 und ihre Reduktion bis 2030; Unterteilung nach Kategorien gemäß Klimaschutzkonvention bzw. Klimaschutzplan 2050 und nach Nutzungssektoren

	2018	2019	2020	2025		2030	
					Reduktion ggü. 2020 (% von gesamt)		Reduktion ggü. 2020 (% von gesamt)
Energiewirtschaft ¹⁾	309	254	218	160	-27%	84	-32%
Industrie ²⁾	184	188	186	122	-29%	83	-24%
Gebäude ³⁾	121	122	116	59	-26%	34	-20%
Verkehr	163	164	144	123	-10%	87	-14%
Landwirtschaft ⁴⁾	69	68	67	51	-7%	29	-9%
Abfallwirtschaft.; sonst.	10	9	8	6	-1%	4	-1%
Summe THG-Emissionen	857	805	739	522	-217	322	-418
Stromerzeugung ⁵⁾	289	240	200	144	-28%	71	-31%
Wärmeerzeugung ⁶⁾	266	266	264	149	-43%	94	-40%
Kraftstoffverbrauch ⁷⁾	172	170	152	130	-17%	91	-15%
Land- und Abfallwirtschaft, restliche THG	83	82	77	60	-9%	36	-10%
industrielle prozessbedingte Emissionen	47	47	45	39	-3%	30	-4%

¹⁾ Öffentliche KW; HKW und BHKW, Strom und Wärme; Heizwerke, Raffinerien, Pipelines

²⁾ Industrie KW; HKW und BHKW, Strom und Wärme; Prozesswärme; industrielle Prozesse, bauwirtsch. Verkehr

³⁾ Brennstoffe für Gebäude (Private Haushalte; Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD))

⁴⁾ einschl. landwirtschaftlichen Brennstoff- und Kraftstoffverbrauch

⁵⁾ öffentl. und industrielle KW, HKW, BHKW (ohne Wärmeanteil; einschl. übriger THG der Energiewirtschaft)

⁶⁾ Gebäude; industr. Prozesswärme; landw. Prozesswärme; Fern- und Nahwärme aus KWK und Heizwerken

⁷⁾ Verkehr einschl. bauwirtschaftlicher und landwirtschaftlicher Kraftstoffverbrauch; Pipelines

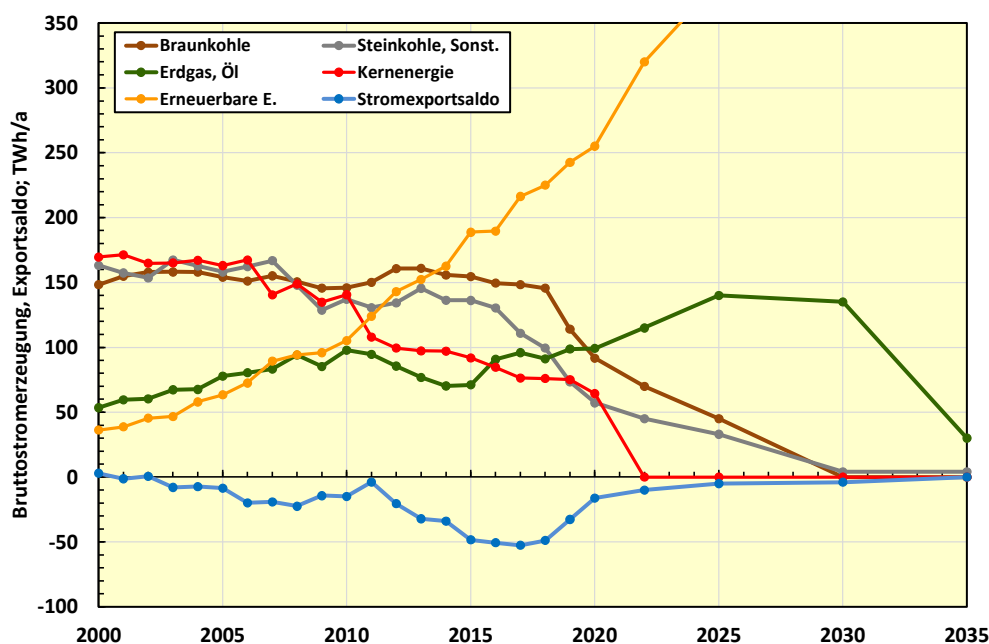


Abbildung 2: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern und des Stromexportsaldos zwischen 2000 und 2020 und angenommene Umstrukturierungen im Szenario KLIMA-21 bis 2035.

Zentraler Bestandteil einer effektiven THG-Minderung muss eine weitere rasche und deutliche Reduktion der Kohleverstromung sein. Sie ist zudem die kurzfristig kostengünstigste und am leichtesten mobilisierbare Strategie, da sie von einer überschaubaren Anzahl professioneller Akteure in Gang gesetzt werden kann. Nur wenn bereits bis 2030 ein vollständiger Kohleausstieg stattfindet, rückt die Umsetzung des Klimaziels 2030 in erreichbare Nähe.

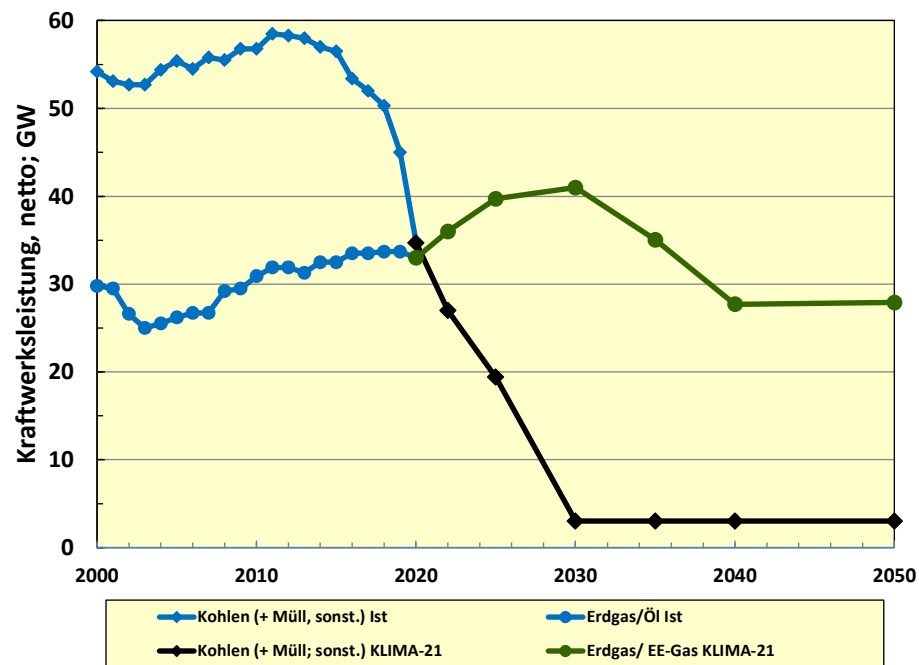


Abbildung 3: Entwicklung der installierten fossilen Kraftwerksleistung seit 2000 (einschl. Netzreserve und Sicherheitsbereitstellung) und im Szenario KLIMA-21. (Kohlen = Braunkohle, Steinkohle, einschl. sonst. nicht erneuerbare Energieträger; Erdgas wird ab 2030 sukzessive durch EE-Gas ersetzt).

Erreicht wird dies im Szenario KLIMA-21 durch eine konsequente Weiterführung der derzeitigen Rückbaudynamik von Kohlekraftwerken, die bis 2030 zu einem vollständigen Ausstieg aus der Kohlestromerzeugung führt (**Abbildung 3**). Zusätzlich erforderlich werden rund 8 GW gasgefeuerte Kraftwerke bzw. HKW, wobei ein Teil der Leistung durch Umwandlung bestehender Steinkohlekraftwerke (z. B. für Netzreserve) erbracht werden kann. Unterstützt wird der Kohleausstieg durch einen deutlichen Rückgang des (fossilen) Stromexportsaldos, der sich bereits auch seit 2018 abzeichnet und einen erheblichen weiteren Ausbau der EE-Stromerzeugung von derzeit 255 TWh/a auf 560 TWh/a in 2030 (**Abbildung 2**). Der Anteil der EE an der Stromerzeugung beträgt damit in 2030 knapp 80% (vgl. auch Tabelle 1).

3. Der weitere Ausbau der EE-Stromerzeugung ist das Rückgrat der Energiewende

Nach einem durch einen erheblichen Zubau von Fotovoltaik hervorgerufenen Peak in den Jahren 2011 und 2012 in Höhe von 11 GW/a ist die Leistung aller stromerzeugenden EE-Anlagen in den letzten acht Jahren jahresdurchschnittlich um 6-8 GW/a gewachsen. Während in den Jahren 2008-2012 die Fotovoltaik den Zuwachs dominierte, war das Wachstum der EE-Stromerzeugung dank hoher Zuwächse bei der Windenergie in den letzten Jahren relativ hoch. EE-Strom trägt

derzeit mit 46 % (251 TWh/a) zum Bruttostromverbrauch Deutschlands bei (**Tabelle 3; Abbildung 4**); mit 131 TWh/a ist Windenergie die bedeutendste erneuerbare Energiequelle.

Tabelle 3: Bruttostromverbrauch und EE-Stromerzeugung im Szenario KLIMA-21 und EE-Anteil am Bruttostromverbrauch

	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060
Bruttostromverbrauch, TWh/a	575	550	604	710	822	935	1098	1119
CO ₂ -Emissionen ¹⁾ ; Mio. t CO _{2äq} /a	230	189	135	64	37	13	0	0
EE-Stromerzeugung, TWh/a ²⁾	244	251	382	554	728	887	1079	1100
- Windenergie	126	131	201	295	390	471	547	552
- Photovoltaik	48	51	100	155	199	232	276	276
- Übrige EE ³⁾	70	70	78	83	105	130	161	165
- EE-Stromimportsaldo			4	18	35	55	95	107
Anteil an Bruttoverbrauch, %	42,4	45,7	63,2	78,3	88,4	94,8	98,2	98,3

- 1) Stromerzeugung aus öffentlichen und industriellen Kraftwerken, HKW und BHKW
- 2) EE-Strom wird zunehmend als neue „Primärenergie“ im Wärme- und Verkehrsbereich (Power to Heat, to Mobility, to Gas) eingesetzt; einschl. EE-Stromerzeugung aus Wasserstoff
- 3) Wasser, Biomasse, Erdwärme; ab 2030 auch Rückverstromung von EE-Wasserstoff in KWK-Anlagen

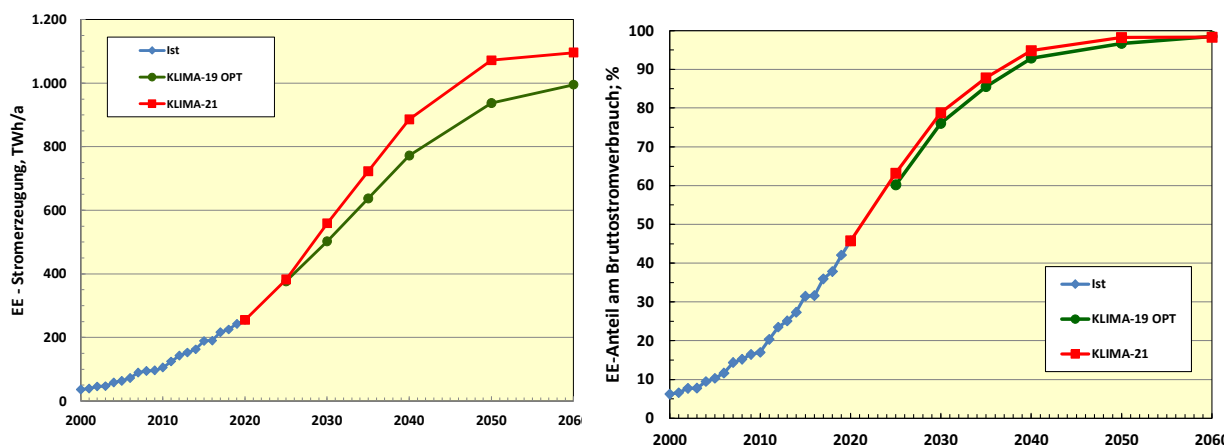


Abbildung 4: EE-Stromerzeugung (links) und EE-Anteil am Bruttostromverbrauch (rechts) im Szenario KLIMA-21

In den nächsten Jahren sind generell wesentlich höhere Zuwachsraten der EE-Strombeiträge erforderlich, wenn man glaubwürdig Klimaschutz betreiben will. Um dies sicherzustellen, muss die Brutto-Zubaurate von EE-Anlagen deutlich zunehmen. Diese lag im Jahr 2020 für alle EE-Technologien bei 8,6 GW/a (Wind-Onshore = 2,0; Wind-Offshore = 1,8; Fotovoltaik = 4,5; Übrige = 0,3). Bis 2030 ist eine erhebliche Steigerung des jährlichen Bruttozubaues auf gut **20 -22 GW/a** erforderlich (Wind-Onshore ~ 6,5; Wind-Offshore ~ 3,0; Fotovoltaik = 10 - 12; Übrige ~ 1,0), dieses Niveau muss ständig aufrechterhalten werden, um den nach 2030 notwendigen Ersatzbedarf befriedigen zu können (**Abbildung 5**)

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung einer emissionsfreien Energieversorgung bis 2050 ist dieser große Zuwachs auch erforderlich, weil EE-Strom als neue „Primärenergie“ im Wärme- und Verkehrsbereich fossile Energien verdrängen muss („Sektorkopplung“ mittels Power to Mobility, to Heat, to Gas/Liquid; vgl. gesamter Bruttostromverbrauch in Tabelle 3). Diese notwendige Entwicklung wird im Szenario KLIMA-21 abgebildet. In 2030 werden mit 554 TWh/a bereits 78% des

Bruttostromverbrauchs von EE bereitgestellt. Ab 2050 decken EE dann mit 1079 TWh/a (557 GW) nahezu den gesamten Bruttostromverbrauch. Rund 10% davon bezieht Deutschland aus dem dann etablierten europäischen EE-Stromverbund.

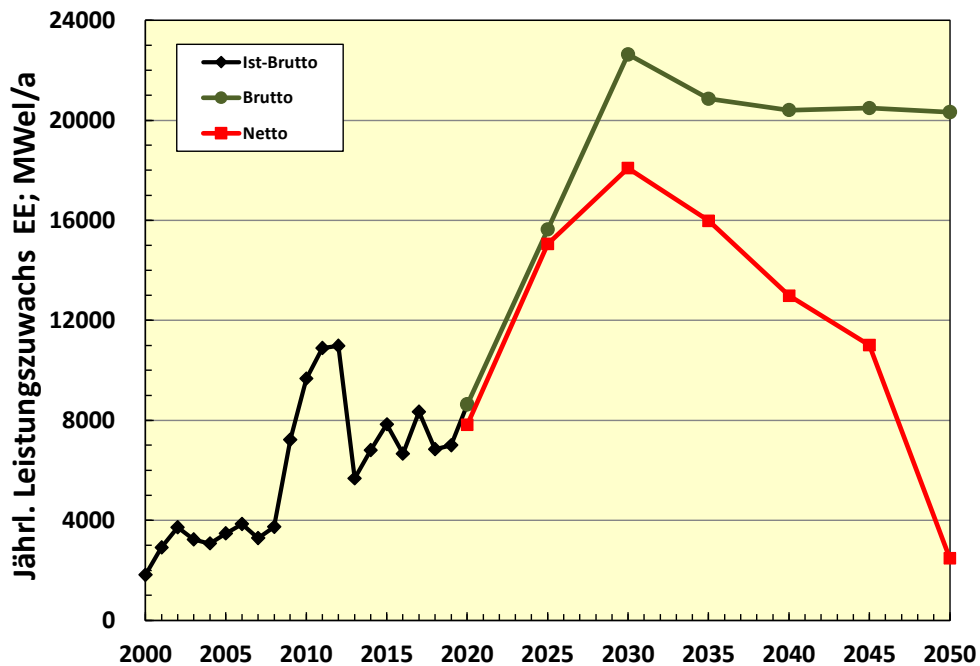


Abbildung 5: Brutto- und Netto-Zubauraten der gesamten EE-Stromerzeugung im Szenario KLIMA-21

Die Verwendung der deutlich steigenden Stromerzeugung zeigt **Abbildung 6 (links)** EE-Strom wird in deutlich wachsendem Umfang für Mobilität, direkte Wärmenutzung und für die Erzeugung von EE- Wasserstoff (Power to Gas) eingesetzt. Der Stromverbrauch für die „konventionelle“ Stromnutzung (Strom für Kraft/Licht/Kommunikation + Stromeinsatz für „konventionelle“ Raumheizung + Warmwasser + „heutiger“ Einsatz für Prozesswärme + Schienenverkehr = 517 TWh/a in 2018) sinkt bis 2050 infolge steigender Effizienz um 23%.

EE-Strom als die zukünftige Hauptenergiequelle („Primärenergiequelle“) erschließt jedoch andere Nutzungsbereiche. Diese sind kurz- bis mittelfristig Wärmepumpen für Heizzwecke und die Elektromobilität. Dazu kommt mittelfristig auch ein Einsatz von EE-Strom für industrielle Prozesswärme über die heute üblichen Einsatzbereiche hinaus, sowie die Einspeisung von EE-Überschussstrom in Wärmenetze (Power to Heat). In 2050 werden für Elektromobilität in KLIMA-21 mit 71 TWh/a und für „neue“ Wärmezwecke mit 106 TWh/a zusammen 16% des Bruttostromverbrauchs benötigt.

Längerfristig ist die Überführung eines Teils des (fluktuierenden) EE-Stroms in eine chemisch speicherbare Form (Power to Gas) unerlässlich. In diesen Szenarien ist dies EE-Wasserstoff, es kommen aber ggf. auch EE-Methan oder synthetische flüssige Energieträger für den Verkehrssektor (z.B. Flugverkehr) infrage. Allerdings sind mit letzteren Alternativen noch höhere Verluste – und damit ein noch höherer EE-Bedarf – erforderlich als bei der Wasserstoffoption. Diese auf EE-Strom basierenden Energieträger können in einer 100% EE-Versorgung in allen Nutzungs-

bereichen (Stromerzeugung mittels KWK, Verkehr HT-Wärme und Chemierohstoff) die Rolle heutiger fossilen Energieträger übernehmen. Wegen der Notwendigkeit die gesamten verbleibenden fossilen Energien im Wärmesektor und im Verkehr zu ersetzen, wird in KLIMA-21 längerfristig auch ein erheblicher Anteil des Stromverbrauchs, nämlich 465 TWh/a im Jahr 2050 in EE-Wasserstoff umgesetzt, was dann einem Anteil von 42% entspricht. Damit werden 350 TWh/a (1260 PJ/a) Wasserstoff erzeugt, womit 25% des gesamten Endenergiebedarfs des Jahres 2050 gedeckt werden können. Die Aufteilung auf die einzelnen Verwendungszwecke ist aus **Abbildung 6 rechts** ersichtlich; 47% des Wasserstoffs werden im Verkehr eingesetzt, mit 28% werden KWK-Anlagen versorgt, 20% werden für industrielle Zwecke eingesetzt (Stahlherstellung; Chemie) und 5% dienen der Spitzenlastdeckung in der Stromerzeugung mittels Gasturbinen.

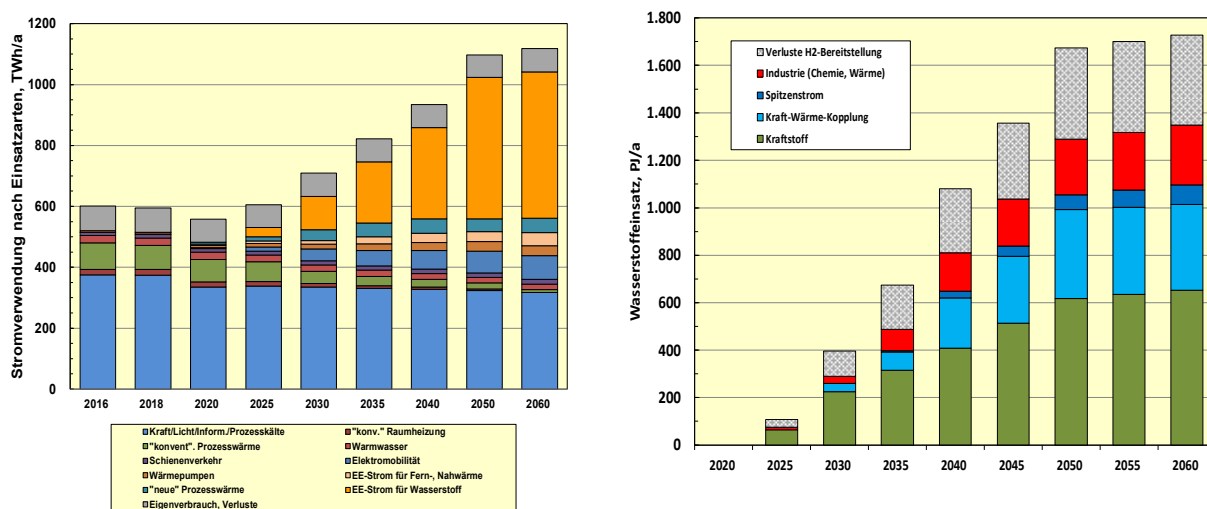


Abbildung 6: Bruttoeinsatz für „konventionelle“ und „neue“ Stromverwendungen (links) und Einsatzfelder von EE-Wasserstoff (rechts) im Szenario KLIMA-21

4. Der Umbau des Wärmesektors muss endlich in Gang kommen

Ein weiteres zentrales Handlungsfeld, in dem erhebliche THG-Reduktionspotentiale seit langem brachliegen, ist die Wärmebereitstellung für Raumheizung (einschließlich Fern- und Nahwärme aus HKW und BHKW), Warmwasser und für Prozesswärme. Der Wärmesektor ist mit derzeit 237 Mio. t CO_{2äq}/a für 33% der THG-Emissionen verantwortlich (Tabelle 2). 162 Mio. t CO_{2äq}/a verursachen Brennstoffe und die Bereitstellung von Fern- und Nahwärme für Raumheizung und Warmwasserbereitung aus HKW und Heizwerken, 75 Mio. t CO_{2äq}/a resultieren überwiegend aus der Prozesswärmeerzeugung in der Industrie. Der Stromeinsatz für Wärmezwecke ist darin nicht enthalten. Rund 70 Mio. t CO_{2äq}/a davon sind im europäischen Emissionshandel erfasst.

Ansatzpunkte für eine erhebliche Mobilisierung von Effizienzpotenzialen gibt es sowohl im Raumwärmesektor wie bei der Bereitstellung von industrieller Prozesswärme. Im Gebäudesektor kann durch die längst überfällige steuerliche Absetzbarkeit von Investitionen in die energetische Gebäudemodernisierung, in die Ausweitung des EE-Wärmegesetzes auf den Gebäudebestand und durch gezielte zusätzliche Förderung der Sanierung älterer Sozialwohnungen einschließlich Heizungsmodernisierung (Ablösung von Nachtspeicher- und Ölheizungen; Verbot neuer Ölheizungen) und von kommunalen Gebäuden ein beträchtlicher Schub zur Einsparung von Heizwärme ausgelöst werden. Außerdem sollten alle Kommunen veranlasst werden, mittels kommunaler

Wärmeleitplanung energieeffiziente Quartierslösungen, insbesondere dezentrale Nahwärmeversorgungen, zu erarbeiten und umzusetzen.

Auch im Prozesswärmebereich sind noch erhebliche Energieeinsparungen möglich. Wegen der bisher großzügigen und weitgehend kostenlosen Überlassung von Emissionszertifikaten sind in Industrieanlagen in den letzten zehn Jahren kaum Emissionen reduziert worden. Auch die erheblichen Ausnahmeregelungen bei Energie- und Stromsteuer, die sich für die energieintensiven Industriebranchen auf eine Größenordnung von rund 10 Mrd. €/a belaufen, haben Anreize verhindert, in neue Technologien zu investieren, die zu einer nennenswerten Reduktion von THG-Emissionen führen könnten.

Eine vollständige Dekarbonisierung der Energieversorgung, wie sie gemäß Paris-Ziel erforderlich ist, erfordert bis 2050 einen völligen Umbau der Wärmeversorgung. Die gegenwärtigen Rahmenbedingungen liefern für die dazu erforderlichen erheblichen Strukturveränderungen (u.a. umfassende energetische Sanierung von Bestandsgebäuden, verpflichtende Wärmekonzepte in allen Kommunen, weiterer Ausbau der KWK auf Gas- und Biomassebasis; Planung und Bau von Wärmenetzen in geeigneten Siedlungsquartieren) zu wenig wirksame Impulse.

Den notwendigen Maßstab für die erforderlichen Umstrukturierungen im Wärmesektor liefern die entsprechenden Daten des Szenarios KLIMA-21. Die konsequente Mobilisierung der erheblichen Effizienzpotentiale, insbesondere bei der Reduzierung des Raumwärmebedarfs, ermöglichen eine Verringerung des gesamten Wärmeverbrauchs (Raumheizung, Warmwasser, Prozesswärme) um rund 60% (**Tabelle 6, unten; Abbildung 8, links**). Dies ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, mit Solarwärme, Umweltwärme, hydrothermalen Geothermie, direktem EE-Stromeinsatz und effizienter Nutzung von Biomasse und EE-Wasserstoff in KWK-Anlagen hohe Deckungsanteile im Rahmen eines strukturell machbaren Zubaus an entsprechenden Anlagen und Wärmenetzen zu erreichen. EE können so ihren bisher geringen Anteil an der Wärmebereitstellung (20%) bereits bis 2030 auf 40% steigern und erreichen in 2050 einen Deckungsanteil von über 90% (Tabelle 6, unterer Teil).

Tabelle 6: Energieverbrauch für Wärmezwecke und zukünftige Beiträge der EE sowie resultierende Treibhausgasemissionen

KLIMA-19 OPT	2018	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Endenergieverbrauch (PJ/a) ¹⁾	4874	4560	3947	3520	2635	2134	2111
davon Stromwärme (PJ/a)	471	487	509	514	527	538	554
Veränderung ggü. 2008 (%)	- 12,6	-16,6	-25	-33	-50	-59	-60
EE-Wärmemenge (PJ/a) ²⁾	615	648	731	860	1185	1406	1478
Anteil Erneuerbare Energien (%) ³⁾	16,3	18,6	26,2	35,6	63,8	90,1	96,1
THG-Emiss. (Mio. t CO _{2äq} /a) ⁴⁾	271	232	161	113	36	7	1
KLIMA-21	2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060
Endenergieverbrauch (PJ/a) ¹⁾	4546	3575	3130	2851	2613	2373	2172
davon Stromwärme (PJ/a)	472	508	515	556	558	537	462
Veränderung ggü. 2008 (%)	-16,6	-32	-41	-46	-50	-55	-59
EE-Wärmemenge (PJ/a) ²⁾	648	747	881	1100	1334	1643	1629
Anteil Erneuerbare Energien (%) ³⁾	18,9	29,8	41,1	55,1	71,6	91,8	99,8
THG-Emiss. (Mio. t CO _{2äq} /a) ⁴⁾	237	152	96	62	34	7	0

1) Einschließlich Stromeinsatz für Wärmezwecke

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

3) Anteil an gesamter Wärme einschl. Stromwärme; 4) ohne THG-Emissionen für Stromwärme

Biomasse steigert ihren Beitrag von rund 150 TWh/a (derzeit = 85% der gesamten EE-Wärmeerzeugung) zukünftig nur noch unwesentlich, ihr Einsatz erfolgt aber im Szenario wesentlich effizienter als bisher. Die Wärmenutzung in Form von Einzelheizungen geht zugunsten ihrer Nutzung in KWK-Anlagen und Wärmenetzen zurück, (**Abbildung 7**; rechts). Das zukünftige Wachstum wird von solarthermischen Anlagen, Wärmepumpen und hydrothermalen Anlagen getragen, die bisher mit 2% Anteil an der gesamten Wärmenachfrage nur einen sehr geringen Beitrag leisten. Ab 2030 tritt die Nutzwärme aus KWK-Anlagen hinzu, die mit EE-Wasserstoff betreiben werden (Abb.7, rechts). EE-Strom erschließt sich neue Nutzungsbereiche im Wärmesektor (vgl. Abschnitt 3: Ausbau der EE-Stromerzeugung), so dass der Stromeinsatz für Zwecke (Strom für Wärmepumpen; Stromwärme in Wärmenetzen; zusätzlicher Strom für industrielle Prozesswärme) trotz deutlicher Effizienzsteigerungen im „konventionellen“ Bereich zunimmt und in 2050 rund 24% des gesamten Wärmebedarfs deckt (derzeit rund 10%).

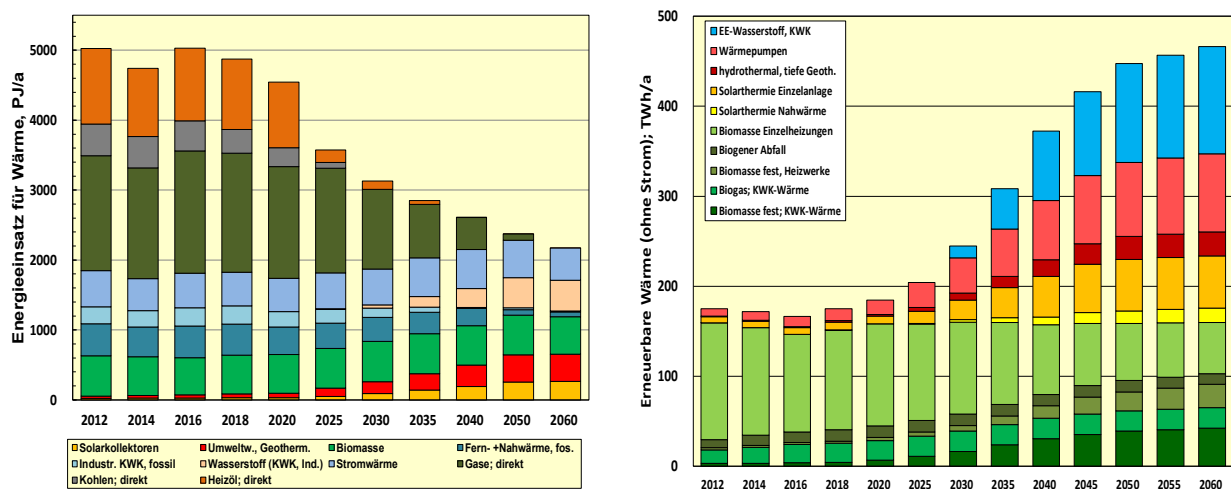


Abbildung 7: Entwicklung des Energieeinsatzes zur Wärmebereitstellung (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme) im Szenario KLIMA-21 und (links) und Beitrag der Wärme aus erneuerbaren Energien (rechts; ohne Stromanteil; 1 TWh/a = 3,6 PJ/a).

Der Umbau der Wärmeversorgung ist mit einer deutlichen Reduktion von Einzelheizungen verknüpft. Zwar nehmen Wärmepumpen erheblich zu, trotzdem geht der Anteil von Einzelheizungen (derzeit rund 80%) deutlich zurück, da alle fossilen Einzelversorgungen längerfristig abgelöst werden müssen. EE-Wärme (Biomasse, Solarthermie, Geothermie, längerfristig auch EE-Wasserstoff via KWK und HT-Wärme) wird derzeit zu knapp 25% mittels Netze bereitgestellt, in KLIMA-21 steigt dieser Anteil auf rund 50%. Ein weiterer Ausbau von Nahwärmenetzen in dafür geeigneten Siedlungsquartieren und eine Ertüchtigung bestehender Fern- und Nahwärmeversorgungen ist daher für die intensive Nutzung von EE-Wärme von herausragender Bedeutung. In der Gesamtbilanz steigt die über Netze verteilte Wärmemenge (einschließlich industrieller Prozesswärme) von derzeit 15% auf rund 40% in 2050. Betrachtet man nur die Raumwärme, werden die notwendigen Strukturveränderungen noch deutlicher. Derzeit werden knapp 20% der Raumwärme als Fern- oder Nahwärme über Netze verteilt. Im Szenario KLIMA-21 steigt dieser Anteil bis zur Jahrhundertmitte auf 60%. Für Raumheizung und Warmwasser wird EE-Gas (Wasserstoff) ausschließlich mittels effizienter KWK-Anlagen und Wärmenetzen bereitgestellt. Eine Direktversorgung einzelner Gebäude über eine Gasfeinverteilung für Heizzwecke ist aus energetischer

und aus ökonomischer Sicht nicht sinnvoll. Nur größere industrielle Verbraucher nutzen EE-Wasserstoff für Industrieprozesse (z.B. Stahlherstellung) und für die Bereitstellung von Hochtemperatur-Prozesswärme auch direkt als Brenngas. Ein gezielter Rückbau der Gas-Feinverteilung und eine Anpassung von Transportleitungen und Gasspeichern bei gleichzeitiger Ausweitung von Fern- und Nahwärmenetzen müssen daher auch Teil einer umfassenden Wärmestrategie sein.

In der abgestimmten Kombination der genannten Maßnahmen gelingt es im Szenario KLIMA-21 die gegenwärtigen THG-Emissionen des Wärmesektors von 237 Mio. t CO_{2äq}/a bis 2030 mit 96 Mio. t CO_{2äq}/a (Tabelle 6) um 60% zu reduzieren und bis 2050 auf praktisch Null (Szenariowert = 7 Mio. t CO_{2äq}/a) zu bringen. Nur mit dieser sehr weitgehenden Umstrukturierung, die wegen der langen Umsetzungszeiten im Gebäudesektor sehr rasch beschleunigt werden muss, kann der Wärmesektor seinen angemessenen Beitrag zur Erreichung des Pariser Klimaschutzziels leisten. Die Ausrufung des „Klimanotstands“ in manchen Kommunen, zeigt beispielhaft, dass kommunale Entscheidungsträger das Problem längst erkannt haben, die Bundesregierung es aber bisher versäumt hat, die notwendigen Rahmenbedingungen für einen schnellen Umbau der Heizungsstrukturen zu schaffen. Erst mit der ab 2021 eingeführten CO₂-Besteuerung auch von Brenn- und Treibstoffen haben sich die Rahmenbedingungen leicht verbessert, die geplanten Steigerungsraten sind allerdings zu niedrig angesetzt.

5. Hypothek der Vergangenheit: Die schwierige Umstrukturierung des Verkehrssektors

Der Endenergieverbrauch des **Verkehrs** stieg im letzten Jahrzehnt stetig und lag im Jahr 2018 mit 2743 PJ/a um 6,7% über dem Niveau des Bezugsjahres 2008 (= 2571 PJ/a). Seit 2018 sinkt er leicht, der Verbrauch des Jahres 2020 dürfte jedoch kaum unter das Niveau des Jahres 2008 gesunken sein (**Tabelle 7; Abbildung 8**). Ursprünglich war im Energiekonzept der Bundesregierung für das Jahr 2020 eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs um 10% gegenüber dem Verbrauch des Jahres 2008 angestrebt worden. Der Verkehr war in erheblichem Ausmaß mitverantwortlich für die langjährigen Stagnation der THG-Emissionen Deutschlands. Mit 156 Mio. t CO_{2äq}/a trägt der Kraftstoffverbrauch derzeit 22% dazu bei (Tabelle 3), 95% davon stammen aus dem eigentlichen Verkehrssektor. Seit 1990 sind diese Emissionen nicht gesunken, zwischenzeitlich (2000) lagen sie sogar bei 190 Mio. t CO_{2äq}/a. Eine rasche Umkehr dieses Trends ist auf Grund der jahrelangen politischen Untätigkeit, der verfestigten Strukturen, den über Jahrzehnte gewachsenen Abhängigkeiten von einer stets wachsenden PKW-Individualmobilität bei zusätzlich wachsender Fahrzeuggröße und Motorstärke sowie dem gleichzeitig zunehmenden Güteraufkommen in diesem Sektor nur mit erheblichen Anstrengungen zu erreichen.

Der EE-Anteil am gesamten Endenergieverbrauch des Verkehrs (derzeit 5%) war bis 2018 wegen des Rückgangs der Biokraftstoffe rückläufig; Elektromobilität spielt noch keine wesentliche Rolle. Das ursprüngliche Effizienzziel im Verkehr für das Jahr 2020 (-10% Minderung ggü. 2008) wird weit verfehlt. Da derzeit keine Maßnahmen erkennbar sind, die die gegenwärtigen Wachstumstendenzen (insbesondere Wachstum Güterverkehr, weitere Zunahme SUV bzw. leistungsstarker PKW) umkehren könnten, wird sich bei dem erwarteten Verkehrsaufkommen auch längerfristig bestenfalls eine geringe Verbrauchabsenkung einstellen, da technische Fortschritte weiterhin durch aufwändigere und damit schwerere Fahrzeugkonzepte kompensiert werden (**Tabelle 7; Abbildung 8 links**). Auch im Güterverkehr dürften sich die Wachstumstendenzen mit nur geringfügig gebremster Geschwindigkeit fortsetzen. Als Folge davon droht eine Entwicklung, bei der der Verkehrssektor nur unzulängliche Beiträge zum Klimaschutz erbringen kann. Selbst bei einer sehr aktiven Klimaschutzstrategie im Verkehr, wie sie im Szenario **KLIMA-21 (Tabelle 7, unten;**

Abb. 8, rechts) vorausgesetzt wird, können angesichts der derzeit geringen Bereitschaft, das Anreiz- und Regelsystem des Verkehrs grundsätzlich zu ändern, kurzfristig nur geringe Erfolge erwartet werden. Deutliche Strukturveränderungen und damit die Reduktion des Energieverbrauchs und die Wirkung neuer Antriebstechniken werden günstigstenfalls erst nach dem Jahr 2025 ihre Wirkung entfalten können.

Tabelle 7: Energieverbrauch im Verkehr, zukünftige Beiträge von Strom und erneuerbaren Energien sowie resultierende Treibhausgasemissionen

KLIMA-19 OPT								
Werte in PJ/a	2008	2018	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Endenergieverbrauch	2571	2743	2600	2330	2048	1636	1328	1121
Veränderung ggü. 2008 (%)		+ 6,7	+1,1	-9,4	-20,3	-36,4	-48,3	-56,4
Stromeinsatz im Verkehr	47	51	53	95	193	310	350	351
Biokraftstoffe	128	114	111	130	150	170	180	180
EE-Wasserstoff	0	0	0	18	55	259	459	474
Anteil Erneuerbare Energien (%) ¹⁾	4,8	5,0	5,4	9,7	18,9	45,0	74,4	89,7
THG-Emissionen, Mio. t CO _{2aq} /a ²⁾	167	163	156	143	112	60	21	6
KLIMA-21								
Werte in PJ/a	2008	2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060
Endenergieverbrauch	2571	2447	2217	1929	1757	1585	1412	1266
Veränderung ggü. 2008 (%)		- 4,2	-13,8	-25,0	-31,6	-38,3	-45,0	-50,8
Stromeinsatz im Verkehr	47	54	93	188	233	273	309	335
Biokraftstoffe	128	140	145	150	160	170	190	190
EE-Wasserstoff	0	0	65	226	315	409	617	652
Anteil Erneuerbare Energien (%) ¹⁾	4,8	6,9	12,9	28,7	40,0	53,7	79,0	92,4
THG-Emissionen, Mio. t CO _{2aq} /a ²⁾	167	144	123	87	66	46	17	1

1) einschließlich Strom;

2) ohne THG-Emissionen des Stromanteils; einschließlich THG-Emissionen des Kraftstoffverbrauchs in der Landwirtschaft und im bauwirtschaftlichen Verkehr

Die Möglichkeiten der Minderung von CO₂-Emissionen im Verkehr sind prinzipiell groß, wenn die technischen Potenziale einer weiteren Effizienzsteigerung, neuer Antriebstechnologien und klimaneutraler Kraftstoffe verknüpft werden mit der Entwicklung klimaverträglicherer Mobilitätskonzepte. Vorrangig sind in erster Linie eine Begrenzung und eine allmähliche Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs, der für rund 70% der verkehrsbedingten THG-Emissionen verantwortlich ist. Alle diskutierten technischen Maßnahmen (insbesondere neue Antriebskonzepte, wie Elektromobilität, Brennstoffzellen und alternative Kraftstoffe) können erst längerfristig Wirkung zeigen. Sie allein beheben zudem das Problem der „Überfüllung“ des öffentlichen Raums nicht. Parallel dazu müssen insbesondere für städtische Gebiete neue Mobilitätskonzepte entwickelt werden, die bei gleicher (oder besserer) Mobilität mit weniger Individualfahrzeugen auskommen. Teil der „Vorbereitung“ solcher Konzepte ist die Abschaffung besonderer Privilegien für den motorisierten Individualverkehr, wie die steuerlichen Vergünstigungen für Dienstwagen, die Angleichung der Steuer auf Diesel auf Benzinniveau, Zurückdrängung des motorisierten Individualverkehrs in Stadtzentren zu Gunsten öffentlicher Verkehrsmittel und Fahrrädern, attraktive Tarifangebote für „Umsteiger“, Einführung von City-Maut-Zonen und Parkraumverknappung in Stadtzentren, Ausweitung von Car-Sharing-Angeboten sowie eine allgemeinen Tempolimit auch auf Autobahnen. Damit würden die notwendigen Strukturveränderungen zur Verlagerung eines deutlichen Teils des motorisierten Individualverkehrs auf andere Verkehrsträger und zur Vermeidung überflüssigen Verkehrs wirksam eingeleitet. Diese Maßnahmen begünstigen auch ein „Downsizing“ der PKW-Flotte mit Abkehr von schweren und großräumigen SUV.

Im Güterverkehr ist eine deutliche Verlagerung von Güterverkehr auf die Schiene unverzichtbar und längst überfällig. Vorrangig ist die Vollelektrifizierung aller Bahnstrecken (derzeit sind nur 60% elektrifiziert) vorzunehmen, stillgelegte Bahnstrecken sind auf ihre Wiederaktivierung zu prüfen und das Schienennetz ist insgesamt auszubauen. Die stetigen Wachstumstendenzen im Flugverkehr können durch eine spürbare Besteuerung von Flugtreibstoffen gebremst werden. Nur im Rahmen einer derartigen „Gesamtstrategie“ kann – wie im Szenario KLIMA-21 und in /Nitsch 2019/ beschrieben - der Energieverbrauch im Verkehr bis 2030 ggü. dem Bezugswert 2008 um - rund 32% sinken und der EE-Anteil deutlich gesteigert werden (auf knapp 29%; Tabelle 7 unten).

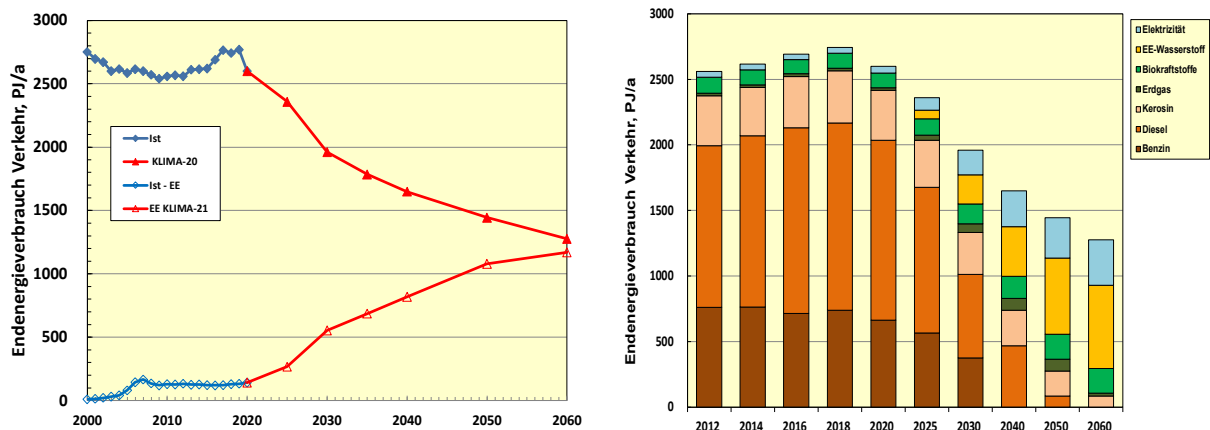


Abbildung 8: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des EE-Beitrags im Verkehr im Szenario KLIMA-21 (links) und Struktur des Energieverbrauchs (rechts) beim notwendigen Klimaschutzbeitrag des Verkehrssektors

Bis ca. 2025 stammt der wesentliche EE-Beitrag im Verkehr mit 7,8% noch von Biokraftstoffen. Er steigt bis 2050 noch auf 15% (190 PJ/a) des deutlich zurückgehenden Endenergieverbrauchs und dient dann ausschließlich als Flugtreibstoff. Am Verkehr des Jahres 2030 ist Strom bereits mit 25% an der Verkehrsleistung des Individualverkehrs und zu 10% an der des Güterverkehrs beteiligt. In der Kombination von Effizienzsteigerung und Umstrukturierung der Mobilitätsstrukturen lassen sich bis 2030 die THG-Emissionen bei Kraftstoffverbrauch auf 87 Mio. t CO_{2äq}/a senken (Tabelle 7). Im Szenario KLIMA-21 gewinnt EE-Strom ab 2025 erheblich an Bedeutung. Bis 2050 werden 50% der Verkehrsleistungen des Individualverkehrs und 40% des Güterverkehrs elektrisch abgewickelt. Zum letzteren gehört auch der steigende Anteil der Bahn am Güterverkehr und die Vollelektrifizierung aller Bahnstrecken. Zur vollständigen Ablösung fossiler Kraftstoffe wird im Szenario ab 2025 auch in steigendem Ausmaß EE-Wasserstoff (Brennstoffzellen) eingesetzt. Er trägt im Jahr 2050 mit 51% zur Bedarfsdeckung bei (Tabelle 7; Abbildung 8, rechts). In 2050 werden im Verkehr nahezu 80% der Energienachfrage durch EE gedeckt wird. Mit THG-Emissionen von nur noch 17 Mio. t CO₂/a (die überwiegend aus dem Flugverkehr stammen), ist damit auch der Verkehrssektor in 2050 weitgehend emissionsfrei.

Die Fortführung der traditionellen, hinsichtlich Klimaschutz praktisch unwirksamen und teilweise sogar kontraproduktiven Verkehrspolitik ist nicht mit dem von der Bundesregierung selbst gesetzten Ziel für 2030 (Reduktion um -40%), erst recht nicht mit dem viel ehrgeizigeren Klimaschutzziel 2050 vereinbar. Die bisher ergriffenen, überwiegend technisch orientierten Maßnahmen (effizientere Antriebe; Förderung von Elektromobilität; (begrenzte) Einführung von Biokraftstoffen, Vorbereitung der Nutzung von EE-Wasserstoff) reichen derzeit noch nicht aus, den vom Verkehr zu erbringenden Beitrag zum Klimaschutz sicher zu gewährleisten.

Unverzichtbar für die notwendige Umstrukturierung des Verkehrs ist insbesondere eine steuerliche Gleichbehandlung aller Kraftstoffe einschließlich der Flugtreibstoffe mit einer zusätzlichen Klimaschutzkomponente. Dabei empfiehlt sich eine Unterscheidung in eine „Verkehrsinfrastruktursteuer“ und eine zusätzliche „Klimaabgabe“. Erstere entspricht der heutigen Kraftstoffsteuer und dient wie diese der Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur und der Abdeckung der durch den Verkehr verursachten lokalen Belastungen (vergleichbar den Netzentgelten im Stromsektor, die der Finanzierung und Unterhaltung der Stromnetze dienen). Sie kann entweder wie bisher über den Kraftstoffverbrauch und die Fahrzeugbesteuerung oder auch vollständig durch eine umfassende Maut erhoben werden und ist unabhängig von der Art des Antriebs oder Kraftstoffs. Eine zusätzliche „Klimaabgabe“ als Ergebnis einer CO₂-Bepreisung sämtlicher fossiler Energieträger würde zusätzliche Anreize zur Vermeidung fossiler Kraftstoffe schaffen.

6. Deutliche Veränderungen in der Landwirtschaft sind erforderlich

Landwirtschaft und Abfallwirtschaft (einschl. Sonstiges) sind für rund 10% der THG-Emissionen Deutschlands verantwortlich (Tabelle 2). Nahezu ausschließlich sind dies die Treibhausgase Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O), CO₂ ist nur zu sehr geringen Anteilen beteiligt. Auch diese Bereiche müssen deutliche Beiträge zur THG-Reduktion beitragen. Im Sinne des Pariser Klimaziel wäre bis 2030 eine Reduktion um -40% erforderlich, wie sie im Szenario KLIMA-21 vorgeschlagen wird, um auch in diesem Bereich bis 2050 Klimaneutralität erreichen zu können.

Diese Zielsetzung kann nur durch ein Gesamtbündel zahlreicher Maßnahmen erreicht werden. Hervorzuheben sind restriktivere Regeln für die Gülleausbringung und die verstärkte Vergärung von Grünabfällen, Erhalt bzw. Ausweitung von Dauergrünland und Feuchtgebieten, Vermeidung von Überdüngung, die Steigerung der CO₂-Speicherfunktion des Waldes (nachhaltige Bewirtschaftung), Erhalt und ggf. Ausweitung von Mooren als sehr effektive CO₂-Speicher, sowie eine verbesserte Wertstoffeffassung mit deutlicher Erhöhung von Recyclingquoten. Unbedingt erforderlich ist auch eine deutliche Reduktion der Massentierhaltung bzw. der Fleischproduktion (u.a. kein Export von Fleisch und Fleischprodukten) und die Änderung der EU-Agrarpolitik hin zur stärkeren Förderung umweltschonender und naturerhaltender Bewirtschaftungsformen (Ausweitung der „Biolandwirtschaft“). Die mit obigen Maßnahmen verbundene Erhöhung der Preise für Lebensmittel, insbesondere von Fleisch und Fleischprodukten, setzt zugleich die richtigen Signale für einen bewussteren Konsum von Lebensmittel, u.a. auch zu einer Verringerung des Fleischkonsums und zur Verringerung der Menge ungenutzter bzw. „entsorgter“ Lebensmittel. Erfolgreiche Schritte in dieser Richtung würden auch von großem Nutzen sei, die wachsende Bedrohung der globalen Artenvielfalt zu verringern

7. Wirksamer Klimaschutz muss heute beginnen - es ist keine Zeit mehr zu verlieren

In **Tabelle 8** sind die Eckdaten der heutigen und zukünftig angestrebten THG- Emissionen nach Bereichen und Nutzungssektoren zusammenfassend dargestellt. Gegenüber 1990 konnten die THG-Emissionen bis 2020 um 42% reduziert werden. Zur Erreichung des Ziels 2020 hat dazu in erheblichem Umfang der Verbrauchsrückgang infolge der Corona-Pandemie beigetragen. Überdurchschnittliche Reduktionen mit -53% wurden in der Energiewirtschaft, dem Gebäudesektor mit -51% und der Abfallwirtschaft mit -79% erreicht. Knapp unterdurchschnittlich waren die Reduktionen in der Industrie mit -39%, die Landwirtschaft erreichte nur eine Reduktion um 27%, im Verkehr blieben THG-Reduktionen mit -4% völlig unzulänglich.

Für 2030 (vgl. auch Tabelle 3) sind die Ergebnisse der Szenarien KLIMA-19 OPT und KLIMA-21 den Werten des aktuellen Klimaschutzgesetzes gegenübergestellt, welches für 2030 eine – aus Klimaschuttsicht völlig unzulängliche - Minderung der THG-Emissionen von nur -55% vorgibt

Tabelle 8: Treibhausgasemissionen (in Mio. t CO_{2äq}/a) in den Szenarien KLIMA-19 PLAN und OPT; Vergleich in 2030 mit den Zielen des KSG, (Unterteilung nach Kategorien gemäß Klimaschutzkonvention bzw. Klimaschutzplan 2050) und nach Nutzungssektoren

	1990	2020	2030			2050	
			KSG*)	KLIMA-19 OPT	KLIMA-21	KLIMA-19 OPT	KLIMA-21
Energiewirtschaft ¹⁾	466	218	175	110	85	15	3
Industrie ²⁾	285	186	140	88	83	9	7
Gebäude ³⁾	210	116	70	49	34	1	2
Verkehr	163	144	95	106	87	20	17
Landwirtschaft ⁴⁾	90	67	58	43	29	1	12
Abfallwirtschaft.; sonstige	38	8	5	4	4	0	0
THG-Emissionen	1252	739	543	400	322	46	41
Reduktion gegenüber 1990 (%)		-40,9	-56,5	-68,0	-74,2	-96,3	-96,7
Untergliederung nach Nutzungssektoren:							
Stromerzeugung ⁵⁾	405	200	(162)	96	71	12	0
Wärmeerzeugung ⁶⁾	465	264	(181)	113	94	7	9
Kraftstoffverbrauch ⁷⁾	170	153	(100)	111	91	21	18
Land- und Abfallwirtschaft, restliche THG	145	77	(63)	50	36	2	12
industrielle prozessbedingte Emissionen	67	45	(37)	30	30	4	2

¹⁾ Öffentliche KW; HKW und BHKW, Strom und Wärme; Heizwerke, Raffinerien, Pipelines

²⁾ Industrie KW; HKW und BHKW, Strom und Wärme; Prozesswärme; industrielle Prozesse, bauwirtschaftl. Verkehr

³⁾ Brennstoffe für Gebäude (Private Haushalte; Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD); ohne Fernwärme

⁴⁾ einschl. landwirtschaftlichen Brennstoff- und Kraftstoffverbrauch

⁵⁾ öffentliche und industrielle KW, HKW, BHKW (ohne Wärmeanteil; einschl. übriger THG der Energiewirtschaft)

⁶⁾ Gebäude; industrielle und landwirtschaftliche Prozesswärme; Fern- und Nahwärme aus KWK und Heizwerken

⁷⁾ Verkehr einschl. bauwirtschaftlicher und landwirtschaftlicher Kraftstoffverbrauch; Pipelines

^{*)} Referentenentwurf des Klimaschutzgesetzes vom 20. 2. 2019

() abgeleitete Werte; Werte für 2020 teilweise vorläufig

Um eine realistische Chance zu haben, bis 2050 das Pariser Klimaschutzziel eines Anstiegs der mittleren Erdtemperatur von 1,5° einzuhalten, ist der im Szenario **KLIMA-21** vorgeschlagene Pfad bereits jetzt einzuschlagen. In der Stromerzeugung und im Wärmesektor (Gebäude und Industrie) können bereits bis 2030 die bedeutendsten THG-Minderungen erbracht werden; Verkehr und Landwirtschaft müssen bis zu diesem Zeitpunkt aber auch eine so starke Reduktionsdynamik entwickeln, dass danach sehr rasch weitere beträchtliche THG-Reduktionen möglich sind. Unter den Bedingungen des Szenarios KLIMA-21 kann so bis 2030 eine **74%-ige Reduktion** der Treibhausgase erreicht werden, die sich dann bis 2050 auf über -95% fortsetzen lässt (Tabelle 8; **Abbildung 9**).

Damit bleibt die Option offen, die weiteren THG-Emissionen nach 2030 so rasch zu reduzieren (z.B. bis 2040), dass man das zur Einhaltung des 1,5°-Ziel noch zulässige THG-Budget nur in

noch tolerierbarem Maß überschreitet oder mit weiteren technologischen und strukturellen Maßnahmen sogar einhalten kann. Aktuelle Untersuchungen, wie /AGORA 2020/, haben nachgewiesen, dass bis zu diesem Zeitraum mittels gezielter CO₂-Rückhaltung auch „negative“ Emissionswerte erreicht werden können.

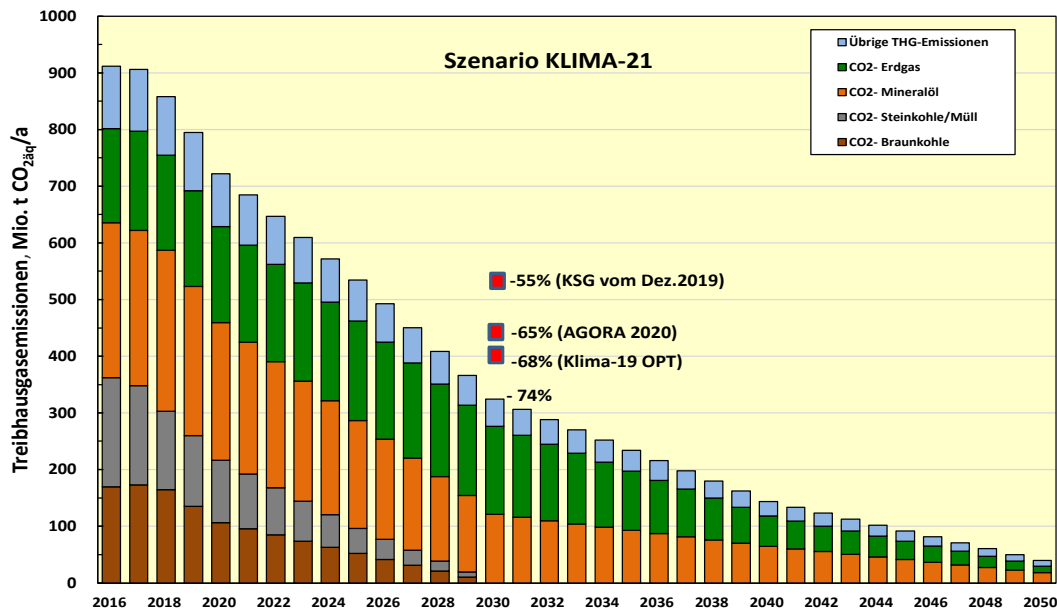


Abbildung 9: THG-Emissionen der fossilen Energieträger (CO₂) und der übrigen Treibhausgase im Szenario KLIMA-21 (Reduktion bis 2030 = -74%; kumulierte THG-Menge 2016 -2050 = 11,5 Gt CO_{2äq}); zum Vergleich im Jahr 2030 das offizielle Klimaschutzziel der Bundesregierung (KSG vom Dez. 2019), Szenario „Klimaschutz 2050“ /AGORA 2020/ und Szenario „KLIMA-19 OPT /Nitsch 2019/.

Gelingt es z.B. die im Szenario KLIMA-21 zwischen 2020 und 2030 berechnete jährliche THG-Reduktion von durchschnittlich - 40 Mio. t CO_{2äq}/a auch danach aufrecht zu erhalten – trotz der wachsenden technologischen und strukturellen Herausforderungen - könnten die THG-Emissionen bis **2038 auf Null** gebracht werden. Die bis dahin ab 2016 kumulierte THG-Menge ab 2016 beläuft sich dann auf 9,5 Gt CO_{2äq}. Damit ist man rein rechnerisch sehr nahe am noch zulässigen Gesamtbudget von 9 Gt CO_{2äq}. Das macht deutlich, wie wichtig die Erreichung des Zwischenziels 2030 mit einer Gesamtreduktion bezogen auf 1990 in Höhe von -74% ist. Dieses Ziel scheint – wie ausgeführt – machbar zu sein. Allerdings ist keine Zeit mehr zu verlieren; mit einer wirksamen Klimaschutzstrategie muss endlich begonnen werden.

Literatur:

/Nitsch 2019/ J. Nitsch: “Noch ist erfolgreicher Klimaschutz möglich. – Notwendige Schritte auf der Basis aktueller Szenarien der deutschen Energieversorgung.“ Stuttgart, Juni 2019; www.fvee.de/fileadmin/publikationen/politische_papiere_anderer/19.06.Nitsch_Klimaschutzmassnahmen/19_Klimaschutz-Nitsch-Langfassung.pdf

/AGORA 2020/ Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut: „Klimaneutrales Deutschland“; Studie im Auftrag von AGORA Energiewende, Berlin, November 2020

/AGORA 2021/:"Die Energiewende im Corona-Jahr – Stand der Dinge 2020, Rückblick sowie Ausblick auf 2021, Version 1.0; Januar 2021.

8. Anhang: Eckdaten zum Szenario KLIMA-21

Tabelle 1: Energieverbräuche, insbesondere Beiträge der Erneuerbaren Energien und CO₂- bzw. THG-Emissionen

	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Primärenergie, PJ/a	14219	13449	13180	13504	13129	11691	9767	8569	7868	7312	6794
Primärenergie EE, PJ/a; 1)	1411	1386	1519	1683	1837	1962	2568	3380	4102	4770	5590
Anteil EE an PEV, %	9,9	10,3	11,5	12,5	14,0	16,8	26,3	39,4	52,1	65,2	82,3
Anteil EE an PEV ohne nicht-energetischen Verbrauch, %	10,7	11,1	12,5	13,4	14,9	17,9	28,5	43,3	57,8	72,8	92,3
Endenergie, PJ/a	9310	8919	8699	9071	8963	8199	7001	6258	5796	5378	4952
Endenergie EE, PJ/a	1100	1267	1319	1394	1566	1692	2190	2799	3412	3920	4502
Anteil EE an EEV, %	11,8	14,2	15,2	15,4	17,5	20,6	31,3	44,7	58,9	72,9	90,9
Anteil EE an BEEV, %; 2)	11,6	13,8	14,7	14,9	17,0	20,0	30,4	43,4	57,1	70,8	88,3
Strom Endenergie, PJ/a	1899	1895	1846	1888	1873	1726	1811	1902	1976	2012	2012
Strom Endenergie EE, PJ/a	379	515	585	683	811	905	1234	1543	1837	2007	2052
Anteil EE, %	19,9	27,2	31,7	36,2	43,3	52,4	68,1	81,1	92,9	99,8	102,0
Wärme Endenergie, PJ/a; 3)	4900	4507	4279	4534	4391	4079	3067	2615	2295	2055	1836
Wärme Endenergie EE, PJ/a	599	629	618	604	641	648	747	881	1100	1334	1643
Anteil EE, %	12,2	14,0	14,4	13,3	14,6	15,9	24,3	33,7	47,9	64,9	89,5
Kraftstoffe Endenergie, PJ/a; 4)	2511	2517	2574	2649	2699	2394	2123	1740	1525	1311	1103
Kraftstoffe Endenergie EE, PJ/a	122	123	116	108	114	140	210	376	475	579	807
Anteil EE, %	4,9	4,9	4,5	4,1	4,2	5,8	9,9	21,6	31,2	44,2	73,2
Strom für Wasserstoff, TWh/a							30	110	200	300	465
Wasserstoffmenge, TWh/a							21	80	148	225	358
Bruttostromverbrauch, TWh/a; 5)	618	609	594	601	595	550	604	710	822	935	1098
EE-Stromerzeugung, TWh/a; 6)	105	143	163	190	225	251	382	554	728	887	1079
Anteil EE, %	17,0	23,5	27,3	31,6	37,8	45,7	63,3	78,1	88,7	94,9	98,3
Anteil EE- Inland, %	17,0	23,5	27,3	31,6	37,8	45,7	62,7	75,6	84,4	89,0	89,6
Primärenergie, PJ/a	14219	13449	13180	13504	13129	11691	9767	8569	7868	7312	6794
Erneuerbare Energien	1411	1386	1519	1683	1837	1962	2568	3380	4102	4770	5590
Mineralöl	4675	4519	4488	4562	4572	3966	3131	2375	1934	1482	877
Kohlen; 7)	3428	3538	3442	3281	2820	1956	894	50	48	50	52
Erdgas	3171	2920	2672	3056	3071	3105	3174	2764	1783	1009	275
Fossile Energien gesamt	11275	10977	10602	10898	10463	9027	7199	5189	3766	2542	1204
- davon für energetische Zwecke	10241	10001	9612	9934	9656	8267	6429	4419	3001	1782	467
Kernenergie	1533	1085	1059	923	829	703	0	0	0	0	0
CO₂-Emissionen, Mio. t CO₂/a	832	813	791	801	754	644	449	275	188	113	29
Verringerung seit 1990, %; 8)	20,9	22,7	24,8	23,8	28,3	38,7	57,3	73,9	82,1	89,3	97,3
durch EE vermiedene CO ₂ -Emissionen, Mio. t CO ₂ /a	119	133	141	159	185	204	281	390	467	521	573
THG-Emissionen, Mio. t CO_{2äq}/a, 9)	942	923	901	908	856	739	522	322	222	136	41
Verringerung seit 1990, %	24,8	26,3	28,1	27,5	31,6	40,9	58,3	74,3	82,2	89,2	96,8
1) Primärenergie nach Wirkungsgradmethode ; einschließlich nichtenergetischen Verbrauch											
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 (Müllverbrennung)											
8) 1990 = 1052 Mio. t CO ₂ /a (energiebedingte Emissionen + Industrieprozesse + Landwirtschaft)											
9) 1990 = 1252 Mio. t CO _{2äq} /a											

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

Tabelle 2: Einsatz von Erdgas, Kohlen und Mineralöl

Erdgaseinsatz, PJ/a	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kond. Kraftwerke	129	182	164	282	609	646	264	40	20	0	0	1
KWK-Anlagen	633	786	808	754	829	734	529	301	150	0	0	0
Raumheizung, WW	910	1050	1000	900	760	436	162	0	0	0	0	0
Prozesswärme	690	725	720	710	749	707	607	454	272	90	53	16
Kraftstoffe	20	20	20	20	15	10	5	0	0	0	0	0
NE-Verwendung	99	96	81	76	77	77	77	114	149	184	211	238
Transportverluste	191	197	278	363	134	154	139	101	51	1	0	-1
Primärenergieeinsatz	2672	3056	3071	3105	3174	2764	1783	1009	642	275	264	253
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	76	289	487	810	1037	1289	1318	1348
Erdgas + Wasserstoff	2672	3056	3071	3105	3249	3053	2270	1819	1679	1564	1582	1601
Kohleeinsatz, PJ/a	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
(Braun- und Steinkohle)												
Kond. Kraftwerke	2534	2450	2137	1266	652	0	0	0	0	0	0	0
KWK (einschl. Müll-HKW)	399	380	355	270	137	54	52	46	46	47	44	42
Prozess-, Raumwärme	450	430	312	270	80	0	0	0	0	0	0	0
Verluste	59	21	17	150	26	6	4	4	6	5	3	2
Primärenergieeinsatz	3442	3281	2820	1956	894	60	56	50	52	52	48	44
Mineralöleinsatz, PJ/a	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kraftwerke	39	30	29	23	0	0	0	0	0	0	0	0
Kraft-Wärme-Kopplung	33	32	37	24	0	0	0	0	0	0	0	0
Raum-, Prozesswärme	975	1038	1007	944	181	121	57	7	3	0	0	0
Kraftstoffe	2438	2521	2565	2234	1899	1354	1045	732	514	296	196	96
NE-Verwendung	891	868	726	684	693	693	689	646	599	553	498	443
Verluste	112	73	207	57	358	206	145	97	63	29	16	3
Primärenergieeinsatz	4488	4562	4572	3966	3131	2375	1934	1482	1180	877	710	543

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

Tabelle 3: Struktur des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern und Verbrauchssektoren

Primärenergie, (PJ/a)	2000	2005	2010	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Kernenergie	1851	1779	1533	923	829	703	0	0	0	0	0
Kohlen, Sonstige	3649	3594	3428	3281	2820	1956	894	50	48	50	52
Mineralöl	5499	5166	4675	4562	4572	3966	3131	2375	1934	1482	877
Erdgas	2985	3250	3171	3056	3071	3105	3174	2764	1783	1009	275
Biomasse, biog. Abfall	294	575	1112	1112	1266	1080	1220	1514	2236	1860	1973
Wasser, Erdwärme	84	81	101	123	123	153	228	304	304	469	615
Windenergie	34	98	136	283	283	507	757	1023	1023	1548	1875
Solarstrahlung	5	16	62	165	165	222	363	539	539	893	1127
Gesamt	14401	14558	14219	13504	13129	11691	9767	8569	7868	7312	6794
	2000	2005	2010	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Private Haushalte	2584	2591	2676	2376	2320	2205	1750	1520	1412	1310	1236
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	1478	1437	1483	1396	1299	1172	965	846	805	763	706
Industrie	2421	2514	2592	2609	2601	2375	2070	1963	1822	1721	1598
Verkehr	2751	2585	2559	2690	2743	2447	2217	1929	1757	1585	1412
NE-Verbrauch	1068	1114	1034	964	807	760	770	770	765	760	737
Umwandl. Strom	3319	3527	3247	2808	2533	1898	1170	717	484	354	290
Umwandl. Übrige	780	790	628	662	826	834	825	825	823	820	815
Gesamt	14401	14558	14219	13504	13129	11691	9767	8569	7868	7312	6794
davon Endenergie	9234	9127	9310	9071	8963	8199	7001	6258	5796	5378	4952

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

Endenergie, (PJ/a)	2000	2005	2010	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Raumwärme	2770	2800	2950	2498	2396	2260	1751	1460	1340	1236	1105
Warmwasser	450	470	418	419	404	370	290	248	234	211	205
Prozesswärme	2030	2000	2047	2114	2074	1916	1534	1422	1277	1166	1063
Kraft / Licht/Kommunikation	1233	1272	1336	1350	1346	1206	1210	1199	1188	1181	1166
Kraft mobil (einschl. Strom)	2751	2585	2562	2690	2743	2447	2217	1929	1757	1585	1412
Gesamt	9234	9127	9313	9071	8963	8199	7001	6258	5796	5378	4952
Wärme	5250	5270	5415	5031	4874	4546	3575	3130	2851	2613	2373
Kraft/Licht/Kommunikation/Prozesskälte	3984	3857	3898	4040	4089	3653	3426	3127	2945	2765	2578

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

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

Stromerzeugung, TWh/a	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Kernenergie	141	100	97	85	76	64	0	0	0	0	0
Steinkohle, Müll, Pumpsp.	144	141	142	139	109	67	43	19	19	19	19
Braunkohle	146	161	156	150	146	92	45	0	0	0	0
Erdgas, Öl, übr. Gase	98	85	71	89	88	97	140	140	78	31	0
Windenergie	39	52	59	80	110	131	201	295	390	471	547
Fotovoltaik	12	26	36	38	46	51	100	155	199	232	276
Biomasse, Wasser, Erdwärme	55	65	68	72	69	70	78	83	90	101	108
EE-Wasserstoff	0	0	0	0	0	0	0	4	15	29	53
Saldo EE-Stromimport	0	0	0	0	0	0	4	18	35	55	95
Bruttostromerzeugung*)	633	629	628	651	644	571	610	713	825	937	1098
Bruttostromverbrauch*)	618	609	594	601	595	550	604	710	822	935	1098
Endenergie Strom	530	526	513	525	520	480	503	528	549	559	559
Installierte Leistung, GW	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Kernenergie	20,8	12,0	12,0	10,8	9,5	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle, Müllverbrennung	35,1	35,1	35,0	32,2	29,1	19,4	11,9	3,0	3,0	3,0	3,0
Braunkohle	21,7	23,2	22,0	21,2	21,2	15,6	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Erdgas, Öl,	30,9	31,9	32,5	33,5	33,7	33,0	39,7	41,1	25,2	12,6	0,0
Windenergie	26,9	31,0	38,6	49,4	58,9	62,2	89,1	123,1	156,7	181,9	199,4
Fotovoltaik	18,0	34,1	37,9	40,7	45,2	53,8	102,4	163,4	205,2	236,9	269,8
Biomasse, Wasser, Geoth.	10,9	12,5	13,7	13,9	14,2	14,6	16,2	18,3	20,6	24,2	26,9
EE-Wasserstoff							0,0	1,1	4,9	11,5	24,8
Speicher	6,5	6,5	6,7	6,7	6,8	6,8	10,0	15,0	15,0	15,0	15,0
EE-Importsaldo**)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	6,3	9,8	15,5
Gesamte Bruttoleistung	171	186	198	208	219	214	279	368	437	495	554
Nicht jederzeit einsetzbar ***)	59	81	87	103	127	122	196	289	363	417	468
Gesicherte Leistung, brutto	112	105	112	105	91	91	83	79	74	78	87
Bruttohöchstlast	78	78	78	78	68	68	69	68	69	68	67
Als Reserve verbleibend	33	27	34	27	23	23	14	11	5	10	19
CO₂-Emissionen (Mio. t/a)	317	324	314	302	277	189	135	64	37	13	0
A) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el	0,818	0,836	0,852	0,801	0,808	0,739	0,594	0,405	0,385	0,265	0,008
B) CO ₂ -Faktoren, kg/kWh el	0,500	0,514	0,500	0,464	0,430	0,331	0,221	0,090	0,045	0,014	0,000
*) einschl. Erzeugung in Pumpspeichern, anorganischer Müll u.a. feste Brennstoffe											
**) Technologiemix aus Windenergie, Solarenergie (CSP+PV), Wasserkraft											
***) insbesondere Wind (90-95%), PV (~99%); unvorhergeseh. Ausfälle ; näherungsweise Abschätzung											
A) bezogen auf fossilen Strom; B) bezogen auf gesamte Stromerzeugung											

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

Tabelle 5: Eckdaten der Wärmeversorgung

Struktur der Wärmeversorgung, (PJ/a)							SZEN: KLIMA-21				
	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Solkollektoren	20	24	26	28	32	32	52	89	140	193	256
Umweltw., Geotherm.	25	31	38	45	53	63	114	169	234	304	387
Biomasse	554	574	554	531	556	553	570	576	575	566	571
Wasserstoff (KWK, Ind.)	0	0	0	0	0	0	11	47	151	272	429
Fern- +Nahwärme, fos.	480	461	426	452	444	393	362	343	303	244	78
Industr. KWK, fossil	286	242	230	260	258	223	197	134	73	16	26
Gase; direkt	2020	1645	1580	1750	1700	1600	1500	1136	762	454	90
Kohlen; direkt	460	452	450	430	340	270	80	0	0	0	0
Heizöl; direkt	1055	1079	975	1038	1007	944	181	121	57	7	0
*) Stromwärme	516	517	461	497	483	467	508	515	556	558	537
Gesamte Wärme	5416	5024	4740	5031	4874	4546	3575	3130	2851	2613	2373
2008 = 100	98,5	91,3	86,2	91,5	88,6	82,7	65,0	56,9	51,8	47,5	43,2
- davon aus EE-Quellen (einschl. Stromanteil)		649	663	750	812	856	1071	1290	1573	1871	2178
Anteil EE (%)		12,9	14,0	14,9	16,7	18,8	29,9	41,2	55,2	71,6	91,8
Gesamte Wärme ohne Stromwärme	4900	4507	4279	4534	4391	4079	3067	2615	2295	2055	1836
- davon EE	599	629	618	604	641	648	747	881	1100	1334	1643
Anteil EE (%)	12,2	14,0	14,4	13,3	14,6	15,9	24,3	33,7	47,9	64,9	89,5
KWK-Wärme (fossil, Biomasse, Geoth., Wasserstoff)	779	784	756	820	821	759	749	760	774	800	833
Anteil an ges. Wärme, (%)	14,4	15,6	15,9	16,3	16,9	16,7	20,9	24,3	27,1	30,6	35,1

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

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.20

Tabelle 6: Stromverwendung im Wärmesektor

"konv." und "unkonventionelle" Stromverwendung (TWh/a)						SZEN: KLIMA-21					
	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
"konvent." Raumheizung	17,5	18,7	17	15	12	10	7	6	5	3	0
Warmwasser	24,4	24,4	24	22	21	20	19	19	18	18	18
"konvent." Prozesswärme	91,0	78,9	74	65	40	33	25	23	20	15	10
Wärmepumpen	5,1	5,9	7	12	16	21	26	29	32	32	33
Wärmenetze	0	0	2	10	15	22	30	31	32	38	43
"neue" Prozesswärme (Ind)	0,0	6,2	6	17	39	43	48	45	42	45	49
Ges. Stromwärme	138,0	134,1	130	141	143	149	155	152	149	151	153
"konventionelle " Wärme	132,9	122,1	115	102	73	62	51	47	43	36	28
"neue" Wärme	5,1	12,1	15	39	70	87	104	105	106	115	125
Anteil an ges. Stromverbr. (%)	26,3	25,8	27,0	28,1	27,1	27,4	27,7	27,2	26,7	27,0	27,2
davon aus EE-Quellen (TWh/a)	40,6	47,4	58	90	114	131	149	149	149	151	152
davon aus EE-Quellen (PJ/a)	146	171	208	324	409	473	537	536	535	542	548

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

Ges. Stromwärme (PJ/a)	497	483	467	508	515	537	558	548	537	544	550
"konventionelle " Wärme	478	439	413	368	262	224	185	170	155	128	101
"neue" Wärme	18	43	54	140	253	313	373	378	382	416	449

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

Tabelle 7: Energieeinsatz im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsmittel

Energieeinsatz im Verkehr; PJ/a		SZEN: KLIMA-21									
		2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Benzin		761	763	715	739	668	555	371	187	0	9
Diesel		1232	1307	1416	1429	1348	1008	681	577	488	106
Kerosin		381	368	390	397	218	335	302	281	244	181
Biokraftstoffe		123	116	108	114	140	145	150	160	170	190
Erdgas		20	20	20	20	20	15	10	5	0	0
EE-Wasserstoff		0	0	0	0	0	65	226	315	409	617
Elektrizität		44	42	41	44	54	93	188	233	273	309
Endenergie gesamt		2560	2616	2690	2743	2447	2217	1929	1757	1585	1412
Personenverkehr		1864	1892	1931	1960	1684	1519	1296	1167	1027	877
Güterverkehr		696	724	759	783	763	698	633	590	557	535
Endenergie ohne Strom		2517	2574	2649	2699	2394	2123	1740	1525	1311	1103
PKW		1462	1503	1529	1553	1447	1178	952	824	705	575
LKW		614	641	671	693	685	608	538	495	462	441
Busse		34	34	35	35	33	33	33	33	32	32
Bahn		59	58	55	54	53	51	51	53	54	52
Schiff		11	11	11	11	11	11	11	11	11	10
Flugzeug		381	368	390	397	218	335	343	342	321	302

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

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

Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen im Verkehr		SZEN: KLIMA-21										
		2010	2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Personenverkehr												
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)		1737	1737	1766	1811	1838	1552	1352	950	677	413	190
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***		107	103	103	97	98	100	100	219	327	418	461
- CO ₂ (Mio. t/a)		116	116	118	122	121	103	91	63	45	27	11
- Strom (PJ/a)		23	24	23	23	24	32	66	127	163	196	227
CO ₂ (Mio. t/a)		4	4	4	4	4	4	5	4	3	1	0
Endenergie (PJ/a)		1867	1864	1892	1931	1960	1684	1519	1296	1167	1027	877
CO₂ (Mio. t/a)**		120	120	122	125	124	106	96	67	48	28	11
Güterverkehr												
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)		656	657	692	730	747	702	561	414	372	319	106
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***		15	20	13	11	16	39	109	157	148	161	346
- CO ₂ (Mio. t/a)		44	44	46	49	49	47	38	27	25	21	6
- Strom (PJ/a)		21	20	19	18	20	21	27	62	70	77	82
CO ₂ (Mio. t/a)		3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	0
Endenergie (PJ/a)		692	696	724	759	783	763	698	633	590	557	535
CO₂ (Mio. t/a)**		47	47	50	52	52	49	40	30	26	22	6
Verkehr gesamt												
- fossile Kraftstoffe (PJ/a)		2393	2394	2458	2541	2585	2254	1914	1364	1050	732	296
- EE-Kraftstoffe (PJ/a)***		122	123	116	108	114	140	210	376	475	579	807
- CO ₂ (Mio. t/a)		160	160	165	171	170	150	129	90	69	48	18
- Strom (PJ/a)		44	44	42	41	44	54	93	188	233	273	309
- CO ₂ (Mio. t/a)		7	7	7	7	6	6	7	6	4	2	0
Endenergie (PJ/a)		2559	2560	2616	2690	2743	2447	2217	1929	1757	1585	1412
CO₂ (Mio. t/a)**		167	167	172	177	176	155	136	97	74	50	18
EE-Endenergie (einschl. Stromanteil)		129	133	127	120	130	169	286	554	702	850	1116
Anteil EE, % (einschl. Strom)		5,1	5,2	4,9	4,5	4,8	6,9	12,9	28,7	40,0	53,7	79,0

**) einschließlich Stromanteil

***) einschließlich EE-Wasserstoff ab 2025

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

Tabelle 9a: THG-Emissionen nach Sektoren gemäß Klimakonvention (oben) und nach Stromerzeugung, sowie Brenn- und Kraftstoffverbrauch (unten)

Mio. tCO ₂ äq/a	1990	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Energiewirtschaft	466	369	377	360	344	309	218	160	84	52	27	3
Industrie	285	180	180	181	193	184	186	122	83	64	44	7
Gebäude	210	149	130	119	126	121	116	59	34	17	5	2
Verkehr	163	162	153	159	165	163	144	123	87	66	46	17
Landwirtschaft	90	69	71	74	71	69	67	51	29	21	13	12
Sonstige	38	14	13	11	10	10	8	6	4	2	1	0
Gesamte THG-Emiss.	1252	943	925	904	908	857	739	522	322	222	136	41
Sektorale Gliederung (THG)												
	1990	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Stromerzeugung	405	325	337	326	315	289	200	144	71	43	18	0
Wärmeerzeugung	465	304	287	272	285	266	264	149	94	60	33	9
Kraftstoffverbrauch	170	170	162	167	173	172	152	130	91	69	48	18
Land- und Abfallwirt., sonst	145	92	91	88	85	83	77	60	36	26	16	12
Industrieprozesse u.a.	67	52	49	51	50	47	45	39	30	25	20	2

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

Tabelle 9b: CO₂-Emissionen nach Energieträgern bzw. nach Nutzungsarten, sowie übrige THG

Zuordnung CO ₂ -Emissionen (Mio. t CO ₂)	1990	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Strom Braunkohle	180		164	160	153	149	95	48	0	0	0	0
Strom Steinkohle, Müll, Sonst.	164		127	129	119	98	57	31	2	2	0	0
Strom Erdgas (Öl)	22		33	25	30	30	36	56	62	35	13	0
Raumwärme	241		150	137	148	136	138	77	45	28	15	4
Prozesswärme+WW	186		129	128	130	123	122	69	45	29	16	5
Kraftstoffe	163		160	165	171	170	150	129	90	69	48	18
Industrieprozesse *)	95		51	50	50	48	46	40	30	25	20	2
Insgesamt CO₂	1052		814	794	801	754	644	449	275	188	113	29
andere THG												
Methan, Lachgas, FKW u.a.	200		111	110	107	102	95	73	47	34	23	12
Insgesamt THG	1252		925	904	908	856	739	522	322	222	136	41

*) einschl. nichtverbrenns. bedingte CO₂-Emissionen aus Landwirtschaft und Energiewirtschaft

SZEN KLIMA-21 ; 2.4.2021

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

EE-Stromerzeugung, TWh/a	SZEN: KLIMA-21										
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	22	19,7	20,9	19,0	18,7	19,8	20,1	20,2	20,4	20,5	20,7
Wind Land	9,5	27,2	38,4	72,3	103,7	136,0	173,3	214,7	245,0	274,8	290,5
Wind Offshore	0,0	0,0	0,2	8,3	27,3	72,8	127,8	181,0	225,6	250,8	256,8
Fotovoltaik	0,1	1,3	11,7	38,7	50,6	99,5	155,0	198,5	232,0	270,7	276,1
Biogas, Klär-, Dep.gas, flüss. B.	2,0	3,8	18,8	33,5	34,1	35,5	35,6	35,7	35,8	35,9	35,9
Feste Biomasse, biog. Abfall	2,8	10,7	15,1	16,8	17,1	21,6	24,3	28,5	32,6	34,4	35,8
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,2	3,1	5,4	8,7	12,2	14,8
Gesamt in D	36,0	62,8	105,2	188,8	251,7	386,5	539,2	684,0	800,1	899,3	930,7
*) Europ. EE-Verbund	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	17,6	35,2	57,0	79,8	95,3
Gesamt	36,0	62,8	105,2	188,8	251,7	390,3	556,9	719,2	857,1	979,1	1026,0

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

ARES-KLIMA-20; 2.4.2021

Installierte EE-Leistung; GWel	SZEN: KLIMA-21													
	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft	5,2	5,4	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,0	6,0
Wind Onshore	23,8	27,0	30,7	37,6	45,3	52,4	53,4	53,8	70,3	89,1	109,5	124,0	134,0	135,1
Wind Offshore (am Netz)	0,0	0,1	0,3	1,0	4,2	6,4	7,5	9,3	20,8	34,5	47,6	57,8	62,7	64,2
Fotovoltaik	6,2	18,0	34,1	37,9	40,7	45,2	49,0	53,5	102,4	158,4	202,7	236,9	274,6	278,2
feste Biomasse, biog. Abfall	2,8	3,5	3,0	3,6	3,6	3,7	3,8	3,9	4,3	4,8	5,5	6,1	6,4	6,7
gasf., flüssige Biomasse	2,2	3,7	5,2	5,7	6,0	6,2	6,3	6,5	7,1	7,9	8,5	9,2	9,7	10,2
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,7	1,1	1,7	2,3	2,6
Gesamt in D	40,2	57,7	78,8	91,4	105,4	119,5	125,6	132,7	210,9	301,2	380,8	441,8	495,7	503,1
Saldo Europ. EE-Stromverbund *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,3	6,3	9,8	13,3	15,5
Gesamt für D	40,2	57,7	78,8	91,4	105,4	119,5	125,6	132,7	212,5	304,4	387,0	451,5	509,0	518,6

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

Tabelle 11: Wärmebereitstellung mittels erneuerbarer Energien (ohne EE-Stromwärme)

TWh/a	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A) aus EEG-Anlagen (KWK)	9,5	15,8	18,5	21,2	24,3	25,7	28,7	33,5	39,1	46,5	53,4	58,1	61,9
Biomasse fest	1,4	2,5	3,5	3,6	4,1	4,3	6,9	11,1	16,5	23,9	30,7	35,3	39,1
Biogas, Deponie-, Klärgas, Flüssige Biomasse	8,1	13,3	15,0	17,7	20,2	21,3	21,8	22,4	22,5	22,6	22,7	22,8	22,8
B) weitere Biomassen	53,5	138,0	141,0	132,8	122,1	125,8	129,5	124,5	121,0	113,2	103,9	100,8	97,0
Heizwerke, feste Biomasse	1,4	1,7	2,2	2,0	2,2	2,4	3,5	4,8	6,4	9,5	13,8	18,9	20,7
Einzelheizungen, fest	109,3	129,1	129,8	119,4	108,2	110,7	113,3	107,0	101,8	91,0	77,4	69,1	63,4
Biogener Abfall (KWK)	7,5	7,3	9,0	11,4	11,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,8	12,9
Biowärme gesamt	55,0	153,9	159,5	154,0	146,4	151,5	158,2	158,0	160,0	159,7	157,4	158,9	158,8
davon KWK-Wärme	17,0	23,1	27,5	32,6	36,0	38,4	41,4	46,2	51,8	59,2	66,1	70,9	74,8
feste Biomasse, gesamt	112,0	133,3	135,5	125,0	114,6	117,5	123,7	122,9	124,8	124,4	122,0	123,3	123,2
Solarkollektoren	1,3	5,6	6,8	7,2	7,7	8,9	8,8	14,4	24,7	38,9	53,7	65,6	71,0
Einzelanlagen	4,5	5,6	6,8	7,2	7,6	8,8	8,7	13,5	21,8	33,4	45,2	53,9	57,3
Nahwärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	1,0	2,9	5,4	8,5	11,7	13,8
Umweltwärme/Geothermie	2,2	6,6	8,6	10,7	12,6	14,7	17,8	31,8	46,9	65,0	84,3	98,4	107,5
Hydrothermal, tiefe Geotherm.	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	4,0	7,8	12,6	18,4	22,9	25,5
Wärmepumpen	4,2	5,9	7,8	9,7	11,4	13,3	16,2	27,8	39,1	52,4	66,0	75,5	82,0
KWK aus EE-Wasserstoff	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	45,0	77,0	93,4	109,8
EE-Wärme gesamt	136,9	166,1	174,9	172,0	166,7	175,1	184,8	204,2	244,6	308,5	372,3	416,3	447,2
	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
KWK (Biomasse)	17,0	23,1	27,5	32,6	36,0	38,4	41,4	46,2	51,8	59,2	66,1	70,9	74,8
KWK (EE-H2)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	45,0	77,0	93,4	109,8
Andere Nahwärme*)	2,0	2,4	3,0	3,0	3,5	3,8	5,2	9,8	17,2	27,5	40,7	53,5	59,9
Nahwärme (mit/ohne KWK)	18,9	25,5	30,5	35,6	39,4	42,2	46,6	56,0	82,0	131,7	183,8	217,8	244,5
Biomasse-Einzelheiz.	109,3	129,1	129,8	119,4	108,2	110,7	113,3	107,0	101,8	91,0	77,4	69,1	63,4
Solarthermie-Einzel	4,5	5,6	6,8	7,2	7,6	8,8	8,7	13,5	21,8	33,4	45,2	53,9	57,3
Wärmepumpen	4,2	5,9	7,8	9,7	11,4	13,3	16,2	27,8	39,1	52,4	66,0	75,5	82,0
Einzelanlagen	118,0	140,6	144,4	136,3	127,3	132,9	138,2	148,2	162,7	176,8	188,5	198,5	202,7

*) Biomasse-Heizwerke, Solarthermie, Hydrothermale Wärme,

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

		Jährliche Brutto-Leistungsin- stallation; MW/a					SZEN: KLIMA-21			
		STROM (MWel/a)						Strom gesamt MWel/a		
		Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovoltaik	Geothermie	Stromimport E	Biomasse (oh. biog. Mü)		
	2000	0	1662	0	44	0	0	111	1817	
	2001	19	2641	0	120	0	0	131	2911	
	2002	126	3238	0	150	0	0	204	3718	
	2003	35	2617	0	180	0	0	402	3234	
	2004	252	2019	0	512	0	0	290	3073	
	2005	44	1763	0	980	0	0	687	3474	
	2006	2	2193	0	1020	0	0	639	3854	
	2007	0	1615	0	1271	2	0	400	3288	
	2008	9	1632	10	1813	0	0	271	3735	
	2009	196	1817	25	4405	3	0	776	7222	
	2010	86	1380	45	7441	0	0	714	9666	
	2011	237	1870	108	7910	0	0	763	10888	
	2012	2	1973	80	8161	13	0	752	10981	
	2013	2	2410	240	2633	16	0	375	5676	
	2014	9	4943	486	1190	0	0	177	6805	
	2015	29	4069	2289	1324	1	0	131	7843	
	2016	32	4097	869	1457	3	0	209	6667	
	2017	21	5320	1254	1617	0	0	132	8344	
	2018	7	2812	990	2890	0	0	145	6844	
	2019	23	1700	1111	3840	12	0	316	7002	
	2020	20	2000	1800	4500	18	0	296	8634	
	2025	33	4150	2300	9850	40	150	433	15485	
	2030	45	6300	2800	12000	80	500	611	22336	
	2035	45	6600	2800	10000	100	600	715	20860	
	2040	45	6500	2800	9500	130	700	632	20307	
	2045	43	6400	2800	9500	150	850	751	20493	
	2050	40	6260	2800	9500	150	950	726	20426	
	2055	40	6260	2700	11500	150	850	694	22194	
	2060	40	6260	2450	10500	150	850	642	20892	
	Mittelwert 2000 - 2020	58	2689	465	2673	3	0	396	6284	
	Mittelwert 2021-2030	39	5225	2550	10925	60	325	522	18911	
	Mittelwert 2031-2060	50	7430	3192	12083	152	883	795	24585	

ARES-KLIMA-20; 2.4.2021

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

		Jährlicher Leistungszuwachs (netto); MW/a				SZEN: KLIMA-21			
		STROM (MWel/a)						Strom	
		Wasser	Wind Onshore	Wind Offshore	Photovolt.	Geothermie	tromimport E Biomasse (oh. biog. Mü)	gesamt MWel/a	
2000	0	1662	0	44	0	0	111	1817	
2001	0	2641	0	120	0	0	131	2891	
2002	107	3238	0	150	0	0	204	3698	
2003	16	2617	0	180	0	0	402	3215	
2004	233	2019	0	512	0	0	290	3054	
2005	25	1763	0	980	0	0	687	3455	
2006	0	2193	0	1020	0	0	639	3852	
2007	0	1615	0	1271	2	0	400	3288	
2008	0	1632	10	1813	0	0	271	3726	
2009	177	1817	25	4405	3	0	776	7203	
2010	67	1380	45	7441	0	0	714	9647	
2011	218	1845	108	7910	0	0	763	10844	
2012	0	1854	80	8161	13	0	752	10860	
2013	0	2258	240	2633	16	0	375	5522	
2014	0	4651	486	1190	0	0	177	6504	
2015	10	3877	2289	1324	1	0	131	7631	
2016	13	3786	869	1456	3	0	209	6337	
2017	2	4892	1254	1613	0	0	132	7892	
2018	0	2272	990	2887	0	0	145	6294	
2019	4	1212	1111	3837	12	0	295	6470	
2020	1	1242	1800	4494	18	0	268	7823	
2025	9	2801	2300	9777	40	325	200	15451	
2030	17	3360	2746	10707	79	325	247	17482	
2035	20	3585	2379	9350	94	600	250	16277	
2040	18	2900	2043	7338	123	700	260	13383	
2045	14	2000	974	6739	110	700	152	10689	
2050	9	280	300	1520	70	450	154	2783	
2055	7	-280	-100	30	50	250	138	96	
2060	6	-260	-70	0	20	150	138	-16	
Mittelwert 2000 - 2020	43	2523	465	2672	3	0	394	6101	
Mittelwert 2021-2030	13	3080	2523	10242	59	325	223	16466	
Mittelwert 2031-2060	14	1768	1085	5373	85	517	180	9021	

*)ohne biogene Abfälle

ARES-KLIMA-20; 2.4.2021