

Wärme durch **Kältetechnik**

Kurzstudie und Potenzialabschätzung

Juni 2019

Autoren

Dipl.-Ing. Jörn Schwarz
Prof. Dr.-Ing. Ullrich Hesse
Dr.-Ing. Holger Neumann

DKV

Der Deutsche Kälte- und Klimatechnische Verein (DKV e. V.) ist der einzige deutsche technisch-wissenschaftliche Verein für den Bereich der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik. Er wurde 1909 in Berlin gegründet, ist gemeinnützig und hat gegenwärtig über 1.500 Mitglieder im In- und Ausland. Der Verein ist das wichtigste technisch-wissenschaftliche Forum für die gesamte Branche, er gliedert sich in folgende Arbeitsabteilungen:

- Kryotechnik
- Grundlagen und Stoffe
- Anlagen und Komponenten
- Kälteanwendung
- Klima- und Lüftungstechnik
- Wärmepumpen.

Der DKV vertritt Deutschland beim »International Institute of Refrigeration« (IIR), Paris. Er ist assoziiertes Mitglied der »American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers« (ASHRAE) sowie Mitglied des »Deutschen Verbandes technisch-wissenschaftlicher Vereine« (DVT).

Inhalt

1	Zusammenfassung	4
	Hintergrund.....	4
	Ergebnis der Kurzstudie.....	4
	Fazit.....	4
2	Das Energiekonzept der Bundesregierung von 2010	5
	Ziel der Energiewende.....	6
	Gebäudesanierung.....	7
	Bisherige Umsetzung der Energiewende.....	8
3	Endenergieverbräuche nach Energiearten und Sektoren	9
	Größte Herausforderung: Wärmeversorgung.....	9
4	Lösungen für die Wärmeversorgung	10
	Wärmepumpen-Heizung.....	11
	Speicherung thermischer Energien.....	12
	Ausbaupfade der Wärmepumpe zur Erreichung der Klimaschutzziele.....	13
	Abwärmenutzung mittels Wärmepumpen.....	14
5	Anhang	15
	Emissionen des Verkehrs.....	16
	Emissionen der Elektroenergiewirtschaft.....	17
	Emissionen des verarbeitenden Gewerbes.....	18
	Emissionen der Haushalte.....	19
	Brennstoffzellen-Heizung.....	20
6	Literatur	20

1 Zusammenfassung

Hintergrund

2007 hatte der Weltklimarat die Weltgemeinschaft aufgefordert, spätestens bis 2015 eine Wende der Emissionen von Treibhausgasen einzuleiten, um dadurch den globalen Temperaturanstieg zu begrenzen⁽¹⁾.

2010 hatte die Deutsche Bundesregierung daraufhin ein »Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung« erstellt⁽²⁾, das den Ausstieg aus den fossilen Energieträgern und einen Einstieg in Erneuerbare Energien einleiten sollte. – Bisher ist jedoch zu wenig passiert, besonders im größten Sektor des Endenergieverbrauchs: der Wärmebereitstellung.

Ergebnis der Kurzstudie

- Die nationale Wärmewende kann nur mit Wärmepumpen gelingen.
- Emissionen in Höhe von ca. 250 Mio. t CO₂ /a werden dadurch vermieden.
- Die dafür erforderliche Technik ist vorhanden und muss nur eingesetzt werden.

Fazit

Auf Grund der Treibhausproblematik und der angestrebten Einhaltung des 2-Grad-Zieles müssen die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger ab 2050 völlig vermieden werden. Dieses bedeutet den Ausstieg aus fossilen Primärenergieträgern und den Übergang in eine vorrangig elektrische Energieversorgung. Die Bundesrepublik hat dafür Ziele gesetzt, die bisher nicht erreicht wurden.

Aus der Betrachtung des Endenergieverbrauchs gehen der Verkehr und die Wärmebereitstellung als die wesentlichen Verbrauchsbereiche hervor. Die Wärmebereitstellung ist dabei mit einem Anteil von 54% entscheidend.

Wärmepumpen und Kältemaschinen sind eine bekannte und verbreitete Technologie. Beide unterscheiden sich durch die Nutzung der warmen bzw. der kalten Seite. Sie sind leicht mit ebenfalls bekannten und verbreiteten thermischen Energiespeichern zu kombinieren.

Mit dem Einsatz von Wärmepumpen ist bereits in der Übergangsphase zu erneuerbaren Energie eine signifikante Reduktion des Endenergiebedarfs und von CO₂-Emissionen für die Wärmeerzeugung verbunden.

Bis 2050 sind ca. 80 % des gesamten Wärmebedarfs durch Wärmepumpen aus erneuerbarer Energie abzudecken. Gegenüber der Wärmeerzeugung aus Verbrennung fossiler Energie oder elektrischer Direktheizungen ist der Energiebedarf um ca. 60 % reduziert. Der Umstieg auf eine CO₂-emissionsfreie Wärmeerzeugung gelingt durch den Einsatz der effizienten, bereits bestehenden und verbreiteten Technologie der Wärmepumpe kombiniert mit Speichern schnell und effizient. Der Übergang ist eine pragmatische Lösung, die unmittelbar angegangen werden kann.

2 Das Energiekonzept der Bundesregierung von 2010

Im September 2010 hatte die Bundesregierung ein Energiekonzept veröffentlicht, mit dem die Energieversorgung Deutschlands grundlegend verändert und die Treibhausgase-Emissionen bis 2050 um mindestens 80 % reduziert werden sollten⁽²⁾. Darüber hinaus sollte es der Einstieg in die erneuerbaren Energien und mehr Energieeffizienz sowie der Ausstieg aus den fossilen Energieträgern sein.



Abb. 1: Titelseite des Energiekonzepts

„Deutschland soll in Zukunft bei wettbewerbsfähigen Energiepreisen und hohem Wohlstandsniveau eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden“, so war es in der Einleitung zu lesen. Und weiter: „Die weltweit steigende Nachfrage wird langfristig zu deutlich steigenden Energiepreisen führen¹.“ Im Energiekonzept der Bundesregierung (im Folgenden: »Energiewende«) sind die Einzelziele und Pfade dorthin detailliert festgeschrieben.

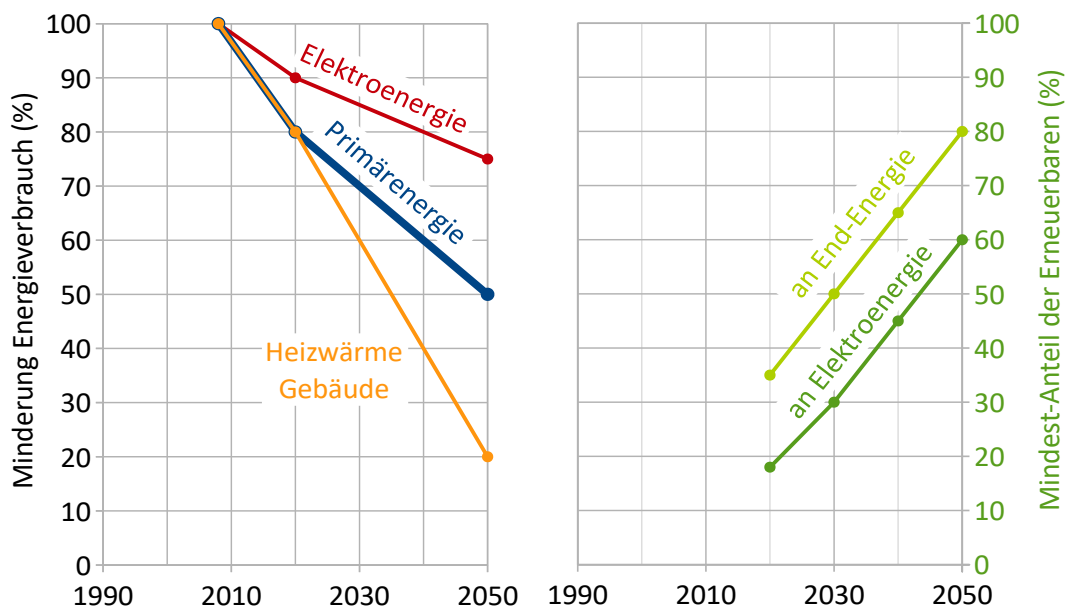


Abb. 2: Einzel-Ziele der Energiewende:
Minderung von Energieverbräuchen, Mindestanteile an Erneuerbaren Energien⁽³⁾

Abbildung 2 zeigt:

- der Elektroendenergieverbrauch (umgangssprachlich: Stromverbrauch) soll um 25 %, der Primärenergieverbrauch um 50 %, der Endenergieverbrauch für den Verkehr um 40 % und Endenergiebedarf von Gebäuden um 80 % reduziert werden,
- darüber hinaus sollen die Mindest-Anteile der Erneuerbaren Energien an der Brutto-Endenergie von 18 % im Jahr 2020 auf 60 % im Jahr 2050 und die Mindest-Anteile an der Bereitstellung von Elektroenergie von 35 % auf 80 % erhöht werden.

➤ Die Ziele der Energiewende sind sehr ambitioniert.

¹ Gemäß dem Gesetz von Angebot und Nachfrage steigen Preise, wenn das Angebot zurückgeht. Die Bundesregierung deutet hiermit also an, dass zukünftig das Energieangebot zurückgeht, genauer: das Angebot an fossilen Energieträgern.

Ziel der Energiewende

Als übergeordnetes Maß für die Ziele des Energiekonzepts wird die Minderung der Treibhausgas-Emissionen angegeben, die in Abbildung 3 dargestellt sind. Bezogen auf 1990, sollen die gesamten Emissionen bis 2050 um mindestens 80 % reduziert werden, wenn möglich sogar um 95 %.

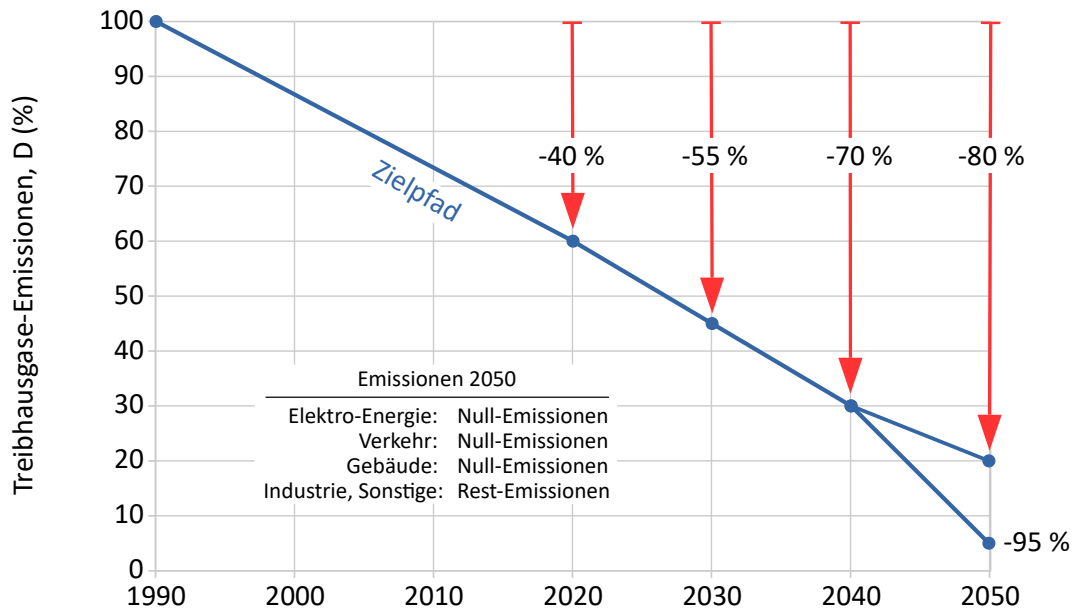


Abb. 3: Minderungsziele der nationalen Treibhausgas-Emissionen bis 2050 im Rahmen der nationalen Energiewende

Aus dem Zielpfad und den zugestandenen Emissionen der vier Hauptsektoren resultieren die in Tabelle 1 dargestellten Konsequenzen, die im Energiekonzept der Bundesregierung nicht explizit genannt sind. Diese Konsequenzen werden üblicherweise mit dem Begriff »Dekarbonisierung« umschrieben; neuerdings gibt es auch den Begriff »Defossilisierung«, womit die Abkehr von fossilen Energieträgern und der Übergang auf die Verbrennung synthetischer Kraftstoffe¹ gemeint ist.

Zur Umsetzung der Energiewende hat die Bundesregierung bisher eine Vielzahl von Verordnungen, Gesetzen und Aktionsplänen² sowie Fördermaßnahmen für energieeffiziente Technologien in Kraft gesetzt. Außerdem gibt es Verordnungen und Gesetze der EU, wie die F-Gase-Verordnung und die Ökodesign-Richtlinien, die dieselben Ziele der Emissionsminderung haben.

Tab. 1: Erfordernisse für die nationale Energiewende

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. grundlegender Umbau von Wirtschafts-, Energie-, Emissions- und Mobilitätswelt 2. Verzicht auf die Verbrennung der fossilen Energieträger Öl, Gas, Kohle 3. Übergang in eine erneuerbare und elektrische Energiewelt |
|---|

¹ Diese sollen mit Verfahren wie z. B. »Power to Gas« oder »Power to X« aus Erneuerbaren Energien hergestellt werden – unter nennenswerten Verlusten.

² z. B. die EnergieEinsparVerordnung, das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz, das Energie-Einspar-Gesetz, das Markt-anreizprogramm für Erneuerbare Energien Wärme, das Nationale Aktionsprogramm Energieeffizienz, das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 und weitere mehr.

Gebäudesanierung

Die Reduzierung des Heizwärmeverbrauchs von Gebäuden soll u. a. damit erzielt werden, dass bestehende Gebäude energetisch saniert, also besser gedämmt und mit effizienteren Heizungssystemen ausgerüstet werden. Dazu ist eine Verdoppelung der Gebäudesanierungsrate von derzeit ca. 1 %/a auf 2 %/a geplant (die Abrissrate liegt bei ca. 0,1 %/a).

Unter der Annahme, dass im Jahr 2010 ungefähr 20 % der Gebäude gut gedämmt und mit einer energieeffizienten Heiztechnik ausgestattet sind, können mit dem Wachstumsgesetz die Effekte der Verdoppelung der Gebäudesanierungsrate berechnet werden.

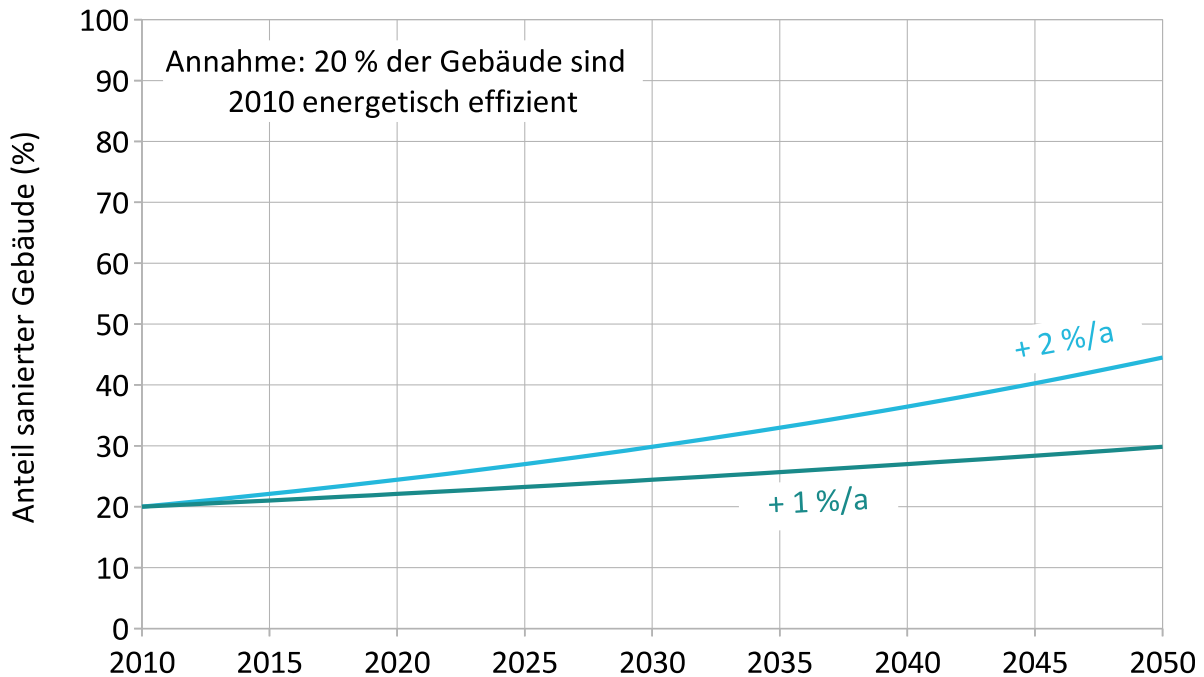


Abb. 4: Projektionen möglicher Gebäudesanierungen in Deutschland bis 2050

Das Ergebnis ist allerdings nicht ausreichend:

- Abbildung 4 zeigt, dass bei einer Verdoppelung der Sanierungsrate für Bestandsgebäude im Jahr 2050 erst ca. 45 % der Gebäude energetisch effizient sein können¹.
- Und bei einer gleichzeitigen Neubaurate von höchstens 0,6 %/a von Gebäuden, die von vornherein energetisch effizient sind, entsprechen im Jahr 2050 höchstens 60 % der Gebäude den Anforderungen.

Mit den im Rahmen der Energiewende angenommenen Maßnahmen ist eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs gemäß Abbildung 2 um 80 % daher sehr unwahrscheinlich.

Unter diesen Randbedingungen sind im Gebäudesektor erforderlich:

- **weitere Maßnahmen zur Reduzierung des Wärmebedarfs und/oder**
- **der Übergang auf Heizsysteme ohne CO₂-Emissionen.**

¹ Erst bei einer nochmaligen Verdoppelung der Sanierungsrate auf 4 % kann sich rechnerisch ein vollständig sanierter Gebäudebestand einstellen. Und dafür müssten die handwerklichen Kapazitäten in gleichem Umfang steigen. – Doch dazu gibt es derzeit keine Anhaltspunkte.

Bisherige Umsetzung der Energiewende

Seit der Veröffentlichung des Energiekonzepts 2010 sind fast 9 Jahre vergangen. Und die ersten Maßnahmen könnten schon Wirkung gezeigt haben. – Die Bundesregierung und das Umweltbundesamt veröffentlichen zwar regelmäßig Daten der Gesamt- und der sektorspezifischen Emissionen, doch leider keine übersichtliche Gesamtdarstellung im Vergleich mit dem Zielpfad der angestrebten Emissionsminderungen.

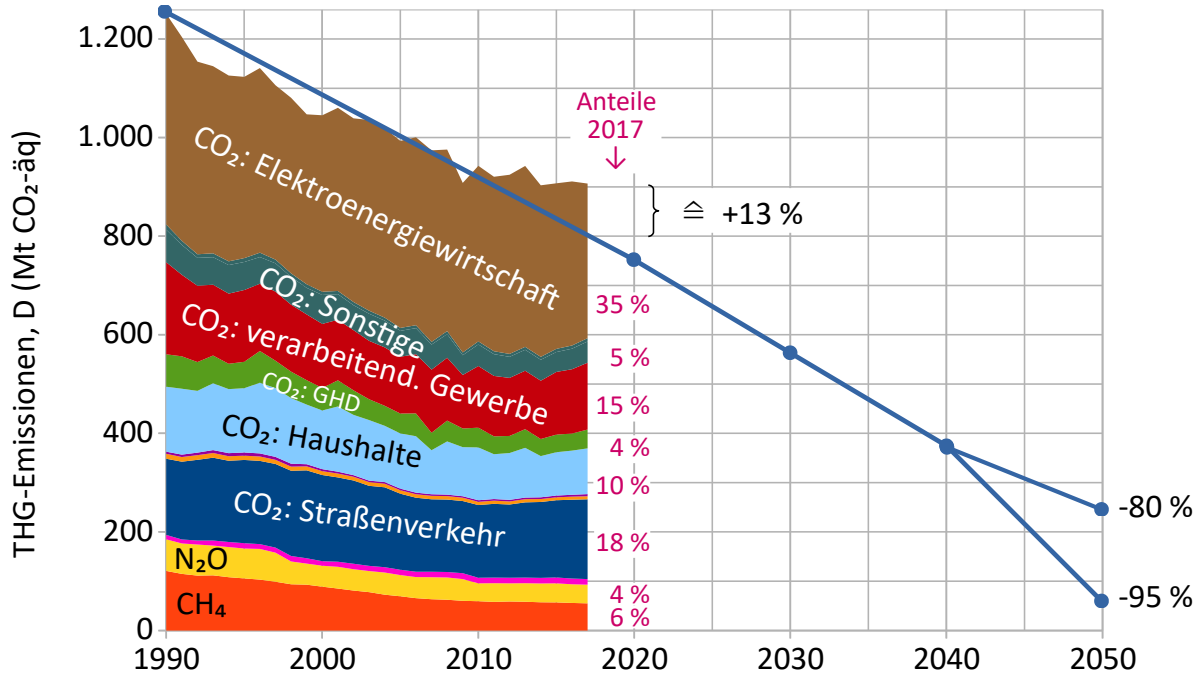


Abb. 5: Treibhausgas-Emissionen, Deutschland, 1990 – 2017, Daten: BMWi⁽⁴⁾, UBA (2019)

Das ist in Abbildung 5 auf der Grundlage der 2019 veröffentlichten Daten für den Zeitraum von 1990 - 2017 nachgeholt¹:

- die Emissionen² aller Treibhausgase sind von 1990 bis 2010 deutlich zurückgegangen³;
- seit 2010 sind die Emissionen aber nahezu konstant geblieben (im Jahr 2017 lagen die Ist-Emissionen jedoch um 13 % über den Soll-Emissionen);
- das Erreichen des Emissionsziels 2020 ist damit unmöglich geworden;
- das Erreichen des Ziels für 2030 ist vor dem Hintergrund des für technische Prozesse geltenden Wachstumsgesetzes sowie des bisher Erreichten mehr als unwahrscheinlich.

➤ **Neue und »disruptive« Maßnahmen sind zur Zielerreichung dringend erforderlich.**

¹ Eine detaillierte Analyse der Einzelsektoren aus Abbildung 5 würde an dieser Stelle das Hauptthema der Kurzstudie verlassen. Da die sektorspezifischen Emissionen aber im Gesamtzusammenhang trotzdem von Bedeutung sind, befindet sich eine grafische Analyse der drei emissionsstärksten Sektoren im Anhang ab Seite 16.

² Die angegebene Einheit „Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente“ (Mt CO₂-äq) trägt der Tatsache Rechnung, dass die in der Grafik dargestellten anderen Treibhausgase wie Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und fluorierte Treibhausgase eine z. T. sehr viel höhere Treibhauswirksamkeit als CO₂ aufweisen und deren Emissionen daher in CO₂-äquivalente Emissionen umgerechnet sind. So hat z. B. das in elektrischen Schaltschützen eingesetzte Schwefelhexafluorid eine relative Treibhauswirksamkeit, die 22800-mal so groß wie die von CO₂ ist.

³ Das ist zu einem erheblichen Teil auf die Abwicklung der ehemaligen DDR-Wirtschaft nach 1990 zurückzuführen.

3 Endenergieverbräuche nach Energiearten und Sektoren

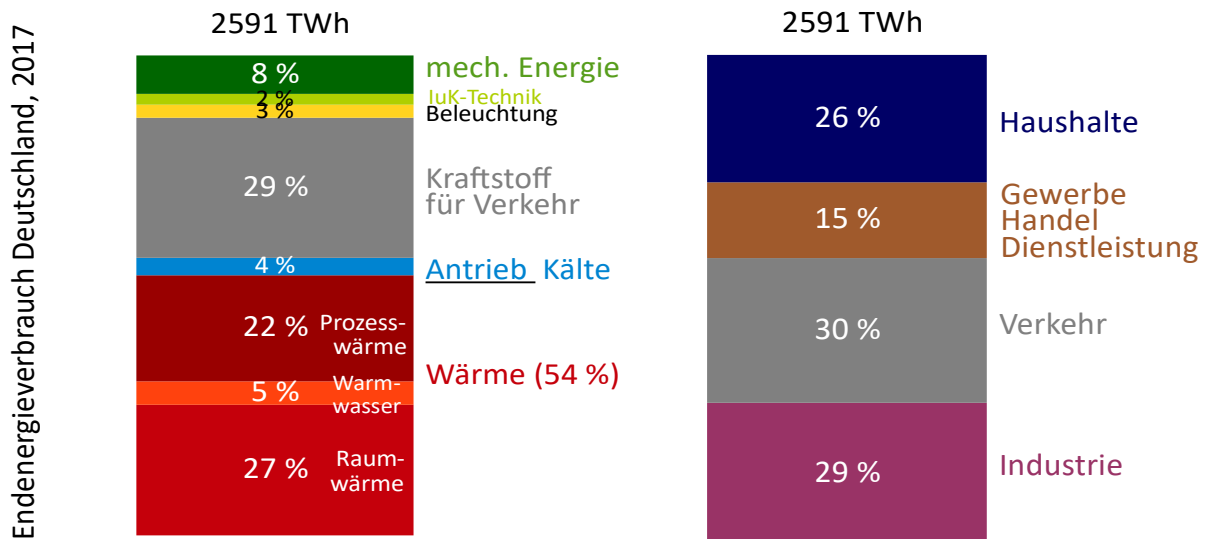


Abb. 6: Endenergieverbrauch nach Energiearten und -sektoren 2017; Daten: BMWi 2019 ⁽⁴⁾, DKV e. V.; Rundungsabweichungen möglich

Abbildung 6 zeigt für 2017:

- Der Sektor des größten Endenergieverbrauchs ist derjenige der Wärmbereitstellung mit einem gesamten Anteil von 54 %;
- für den Antrieb von Kälte- und Klimaanlage wird ein Anteil von 4 % der gesamten Endenergie aufgewendet; aufgrund des Spezifika des Kälteprozesses wird aus diesen 4 % Antriebsenergie ungefähr doppelt so viel bereitgestellte »Kälte«¹;
- der Sektor des zweitgrößten Endenergieverbrauchs ist der Verkehr mit einem Anteil von 29 %, der im Jahr 2017 Emissionen in Höhe von nur 18 % verursacht (siehe dazu Abbildung 5).

Größte Herausforderung: Wärmeversorgung

Eine Aufschlüsselung der Emissionen der Wärmebereitstellung ist in den vom BMWi veröffentlichten Daten nicht enthalten. Angesichts des Befundes gemäß Abbildung 6 ist jedoch offensichtlich, dass die Wärmebereitstellung auch hinsichtlich der Emissionen eine große Bedeutung hat.

Daraus ergibt sich insgesamt:

- Eine tatsächliche Wärmewende würde mehr als 50 % des Endenergieverbrauchs abdecken.
- Für eine erfolgreiche Gesamt-Energiewende ist die Wärmebereitstellung entscheidend.

¹ siehe dazu das Energieflussdiagramm in Abbildung 7

4 Lösungen für die Wärmeversorgung

Die bisher wichtigste Technik zur Wärmebereitstellung ist die Verbrennung kohlenstoffhaltiger Energieträger. Jahrtausendlang war dies in der Geschichte der Menschheit Holz; inzwischen werden hauptsächlich die fossilen Energieträger Öl, Gas und Kohle verbrannt.

Doch aufgrund der Forderung des Weltklimarats sowie der Energiewende der Bundesregierung soll möglichst bis Mitte des 21. Jahrhunderts vollständig darauf verzichtet werden, um den Klimawandel global in einem halbwegs beherrschbaren Rahmen zu halten. Und es soll ein Übergang in eine elektrische Energiewelt erfolgen. Das bedeutet, dass auch der überwiegende Teil der Wärmebereitstellung elektrisch erfolgen muss.

Abbildung 7 zeigt Energieflussdiagramme von 5 verschiedenen Energiewandlungsprozessen zur Bereitstellung von Wärme. Die Breite der Pfeile entspricht dabei der Größe der aufgenommenen bzw. abgegebenen Energien, wobei die Größe der jeweils aufgenommenen Antriebsenergie konstant gehalten ist.

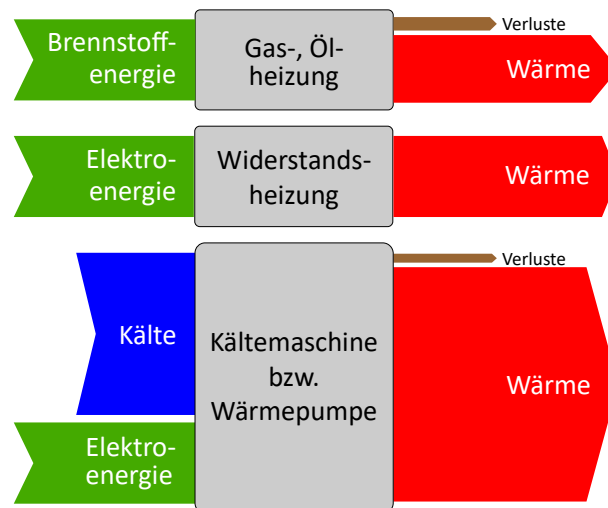


Abb. 7: Vereinfachtes Energieflussdiagramm von Energiewandlungsprozessen

- Auf Gas- sowie Ölheizungen muss zukünftig im Rahmen der Energiewende verzichtet werden.
- Die elektrische Widerstandsheizung liefert (bestenfalls) genauso viel Wärme, wie Antriebsenergie aufgewendet wird.
- Die Wärmepumpe liefert als Wärmenutzen die Summe aus Elektro-Antriebsenergie und »Kälte«¹. Das Verhältnis von Wärme zur Summe der beiden aufgenommenen Energien ist die Effizienz des Prozesses, die 200 - 400 % betragen kann.
Wenn nur der Nutzen »Kälte« betrachtet wird, bezeichnet man derartige Maschinen als Kältemaschine, ansonsten als Wärmepumpe.
- **Marktgängige Wärmepumpen sind die effizientesten Systeme zur Wärmebereitstellung.**
- **Sie stellen Wärme bis etwa 150 °C zur Verfügung.**
- **Bei elektrischem Antrieb mit Erneuerbaren Energien arbeiten sie ohne CO₂-Emissionen.**

¹ »Kälte« ist Wärme, die bei niedriger Temperatur aus der Umgebung aufgenommen wird und diese dadurch abgekühlt.

Wärmepumpen-Heizung

Im Folgenden soll für den Zeitraum bis 2050 abgeschätzt werden, welche nationalen Minderungen der CO₂-Emissionen möglich sind, wenn eine politische Entscheidung zu einem organisierten Übergang auf Wärmepumpen-Heizungen führt. Dabei soll in der Hauptsache die Raumheizung und die Warmwasserbereitung und nur ein kleiner Teil der Prozesswärmebereitstellung von 25 % berücksichtigt werden.

Die Berechnungen gehen von folgenden Randbedingungen aus:

- politisch wird ein Übergang auf die Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen organisiert und z. B. durch Fördermaßnahmen und Steuererleichterungen für Elektroenergie begünstigt, ab dem Jahr 2021 werden Wärmepumpen in Neubauten und im Rahmen von Altbauten-Sanierungen eingesetzt; fossile Wärmeerzeuger werden so sukzessive ersetzt;
- die Jahreseffizienz von Wärmepumpen beträgt 250 % (siehe Abbildung 7);
- die Jahreseffizienz von Kältemaschinen (deren Abwärme genutzt wird) beträgt 300 %, und 20 % der Abwärme von ca. 3 Millionen Kältemaschinen wird tatsächlich genutzt;
- bis Ende 2038 werden die Emissionen aus Kohlekraftwerken auf Null zurückgefahren, bis dahin entstehen durch den Wärmepumpeneinsatz zusätzliche Emissionen, die bis 2038 kontinuierlich zurückgehen, die spezifischen Kraftwerksemissionen wurden für den Anfang festgelegt mit 486 g CO₂/kWh⁽⁵⁾;
- Wärmepumpen decken 2050 lediglich 80 % des theoretischen Wärmebedarfs zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme ab; der Rest, z. B. bei sehr hohem Heizleistungsbedarf, wird zunächst durch Verbrennung fossiler Energieträger und später durch andere Techniken abgedeckt, die hier nicht näher spezifiziert sein sollen.

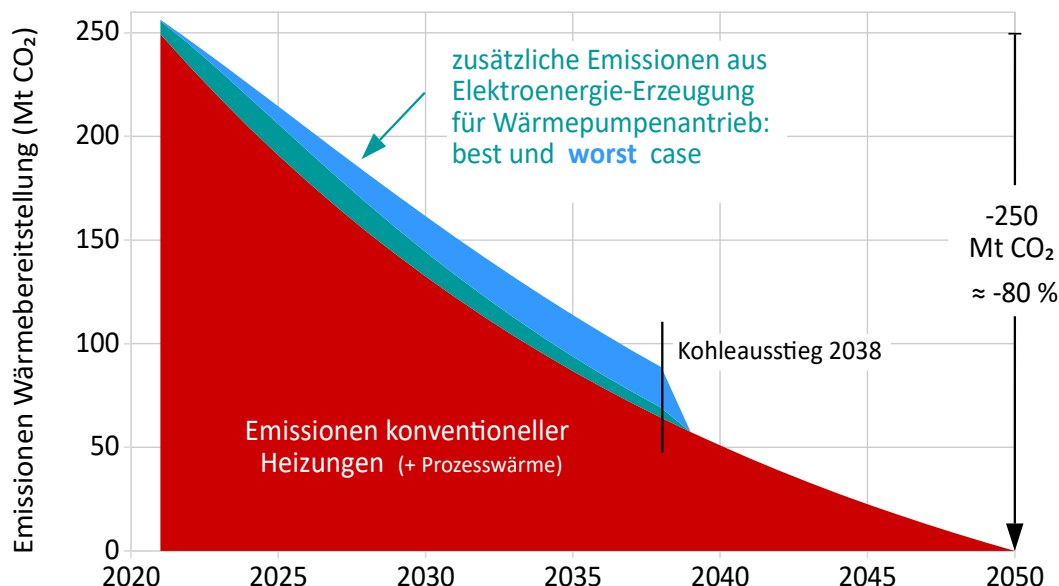


Abb. 8: Nationale CO₂-Emissionen aus der Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen

Abbildung 8 zeigt das Ergebnis der Berechnung:

- die Emissionen aus der Wärmebereitstellung gehen bis 2050 um ca. 250 Mt CO₂ zurück;
- zusätzliche Emissionen für den Wärmepumpenantrieb bis Ende 2038 sind gering;
- zur Energie-Speicherung werden zusätzlich Latentwärme-Speicher eingesetzt.

Speicherung thermischer Energien

Der Übergang in eine »erneuerbare, elektrische Energiewelt« erfordert für die Überbrückung sogenannter Dunkelflauten (wenn Photovoltaik- und Windkraftanlagen nicht zur Energiebereitstellung beitragen können) die Speicherung von Energie. Bisher wird in der Hauptsache erwogen, diese Elektroenergie entweder in Pumpspeicherkraftwerken (neuerdings: Vulkansteinspeicher, Siemens) oder in Akkumulatoren (elektrochemische Energiespeicher) zu speichern, z. B. in Lithium-Ionen-Akkus, die auch für die Elektromobilität eingesetzt werden sollen. Diese Speicher weisen jedoch erhebliche Nachteile auf:

Tab. 2: Technische Eigenschaften von elektrochemischen Energiespeichern mit Lithium

- Lade- und Entladeverluste
 - hohe Investitionskosten
 - Verschleiß (Kapazitäts- und Leistungsverlust)
 - ungünstige Ökobilanz (Lithium-Abbau)
 - hoher Zeitbedarf für Planung und Realisierung bei hohen Kapazitäten und Leistungen (ebenso bei Pumpspeicherkraftwerken)
- insgesamt hohe Betriebskosten

Wenn Wärme die Nutzenergie ist und diese mittels Wärmepumpen mit der höchsten Effizienz bereitgestellt werden kann, ist es daher nicht sinnvoll, erforderliche Energien elektrochemisch zu speichern und diese zeitversetzt zu nutzen. Vorteilhafter sind thermische Speicher, die als einfache Warmwasserspeicher Stand der Technik sind. Diese können auch mit Latentwärme-Speichermaterial gefüllt werden und dadurch bei geringem Bauvolumen sehr viel Energie speichern. Als Materialien kommen für Wärme bei ca. 60 °C Paraffine und für Kälte unter 0 °C Wasser, gegebenenfalls mit einem Gefrierpunktniedriger, in Frage.

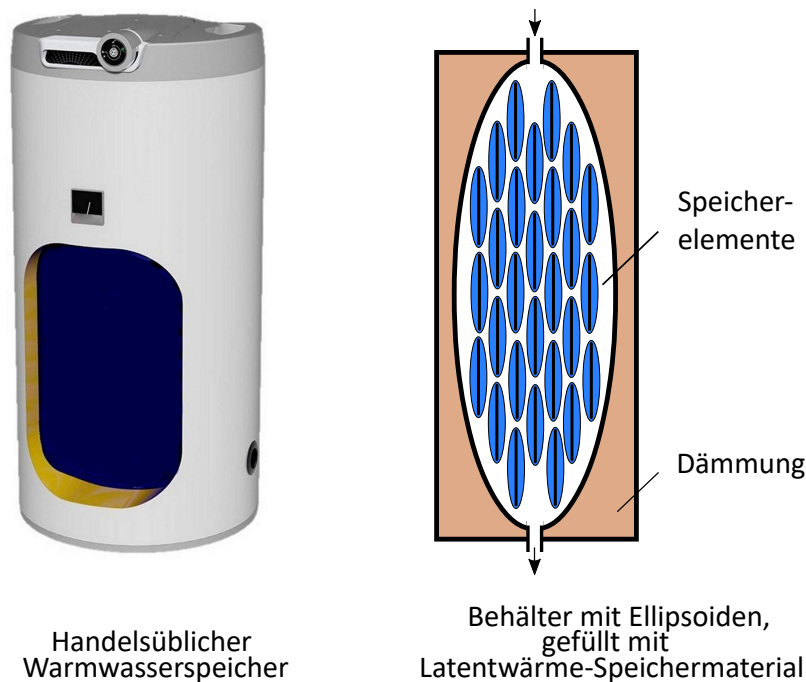


Abb. 9: Speicher für thermische Energien

- **Latentwärme-Speicher sind kostengünstig, arbeiten verschleißfrei und ohne Betriebskosten, sind dezentral einsetzbar und nachrüstbar.**

Ausbaupfade der Wärmepumpe zur Erreichung der Klimaschutzziele

Der Bundesverband Wärmepumpen e. V. veröffentlicht regelmäßig Marktdaten, Energieträgerpreise, Videos, Berichte, Ratgeber und Prognosen zum Thema Wärmepumpen.

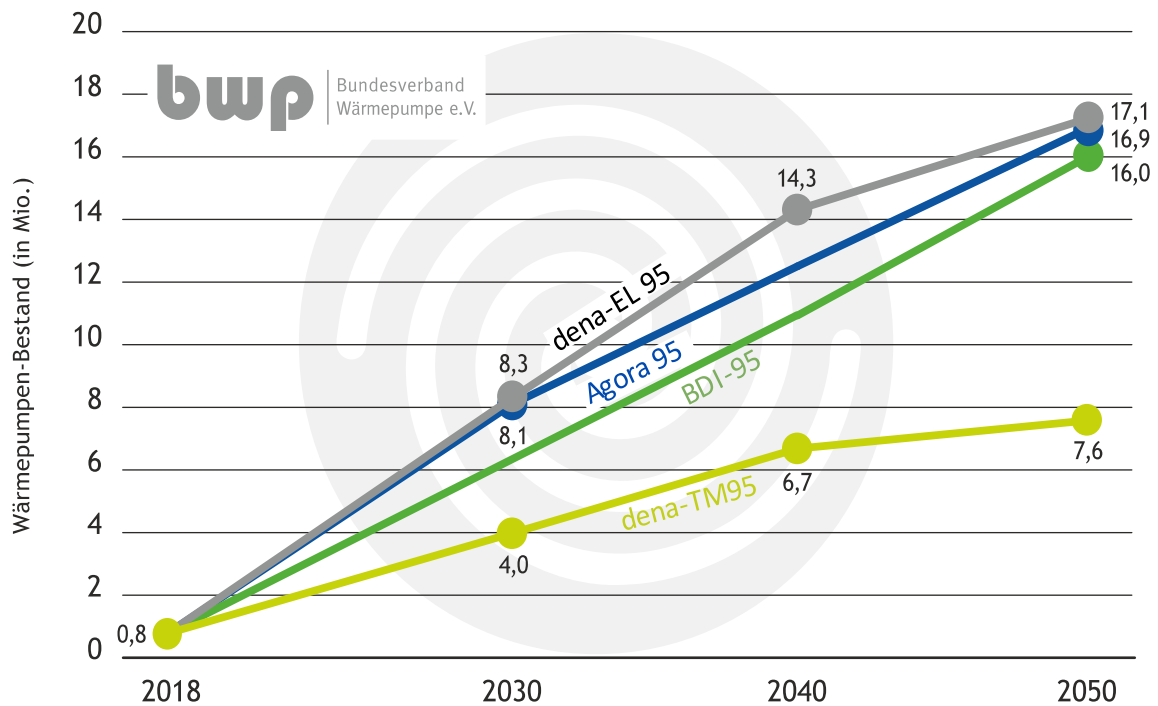


Abb. 10: Ausbaupfade der Wärmepumpe in vier Studien

Quellen: Agora Energiewende: »Wärmewende 2030«, BDI: »Klimapfade für Deutschland«, Gea/dena: »Gebäudestudie – Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- u. Ressourcenpolitik 2050 im Gebäudesektor«

Abbildung 10 ist eine grafische Zusammenfassung der Ergebnisse von vier Studien zu Wärmepumpen-Ausbaupfaden. Das wesentliche Ergebnis lautet:

- **Bis 2050 können die nationalen Klimaschutzziele im Bereich der Wärmebereitstellung durch den intensivierten Einsatz von Wärmepumpen erreicht werden.**

Abwärmenutzung mittels Wärmepumpen

In Gewerbe und Industrie fallen hohe Abwärmeströme bei hohen Temperaturen an. Gleichzeitig werden Produktions- und Verwaltungsgebäude im Winter mit fossilen Energieträgern geheizt:

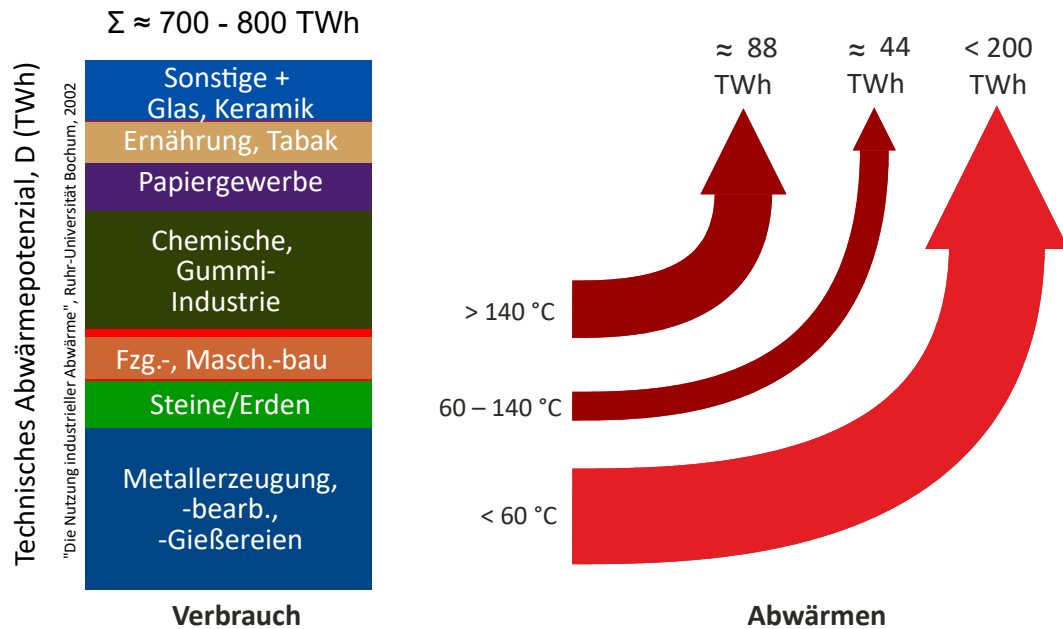


Abb. 11: Abwärmen aus industriellen Prozessen und Temperaturniveaus

Wenn auch nur ein Teil der Abwärme aus Gewerbe- und Industriebetrieben als thermischer Antrieb von Wärmepumpen verwendet wird, ist es bei sehr hoher Effizienz möglich, Betriebsgebäude und gegebenenfalls diejenigen benachbarter Unternehmen mit Wärme zu versorgen und dadurch die Emissionen für Raumheizung und Warmwasser auf Null zu bringen.

- Die Abwärme von vielen Gewerbe- und Industriebetrieben kann von Wärmepumpen verwendet und durch Speicherung zeitversetzt genutzt werden.
- Die Effizienz bei hohen Eingangstemperaturen kann dann bei über 500 % liegen.

5 Anhang

Emissionen des Verkehrs

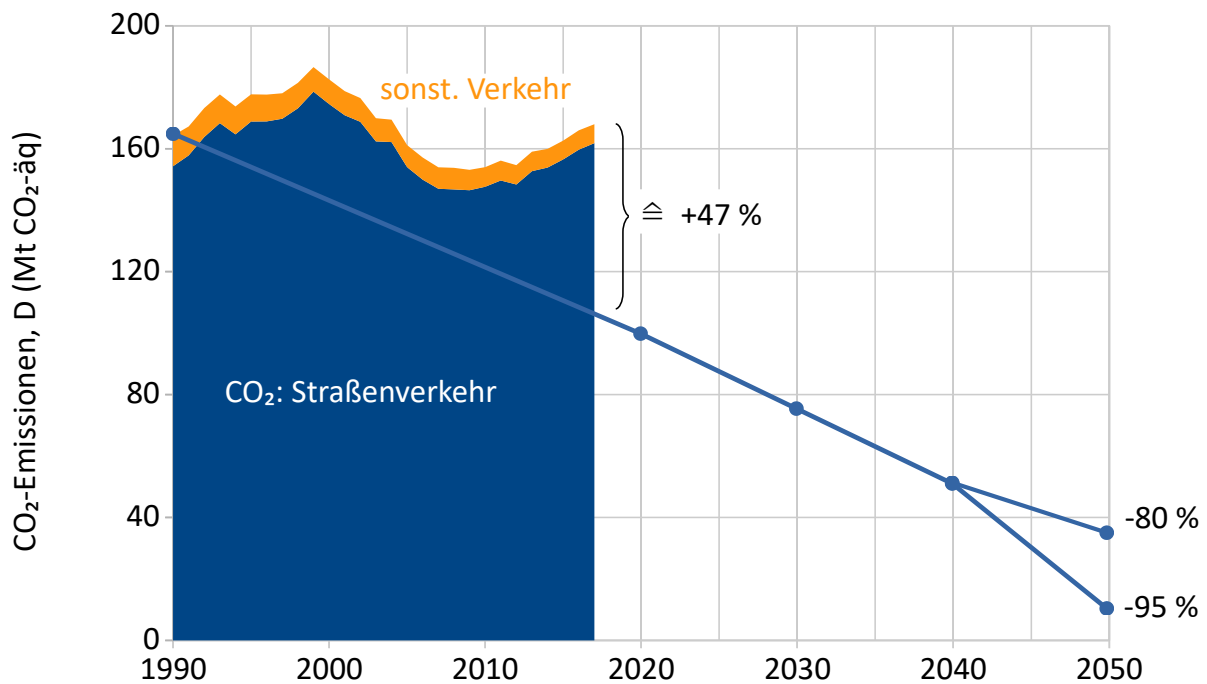


Abb. 12: CO₂-Emissionen des Verkehrs, 1990 – 2017, Daten: BMWi ⁽⁴⁾

Abbildung 12 zeigt:

- Die Emissionen des Straßenverkehrs sind zwischen 1990 und 1999 angestiegen, anschließend bis 2005 zurückgegangen und dann bis 2017 wieder angestiegen;
- 2017 liegen sie damit geringfügig über dem Niveau von 1990 und, bezogen auf den Minderungs-Zielpfad, um 47 % über dem Sollwert. Und es gibt keinen Hinweis auf eine Trendwende.

Gründe für diesen Verlauf liegen einerseits in Effizienzfortschritten sowie der Steigerung des Dieselmotor-Anteils und andererseits in höheren Motorleistungen und der wachsenden Verkaufszahlen von SUVs, die nicht nur ein höheres Gewicht, sondern auch einen höheren Luftwiderstand aufweisen und daher mehr Antriebsenergie benötigen. Hinzu kommt, dass der Fahrzeugbestand in Deutschland zwischen 1990 und 2017 von 42,5 Mio. auf ca. 56,5 Mio. angestiegen ist (und weiter ansteigt: zum 1. Januar 2019 auf 57,3 Mio. Fahrzeuge).

- Die Emissionen des »sonstigen Verkehrs« sind, was in Abbildung 12 nicht offensichtlich ist, zwischen 1990 und 2015 kontinuierlich zurückgegangen; lediglich 2016 sind sie etwas angestiegen. Und sie liegen während des gesamten Zeitraums unterhalb des Zielpfades der angestrebten Minderung.

Emissionen der Elektroenergiewirtschaft

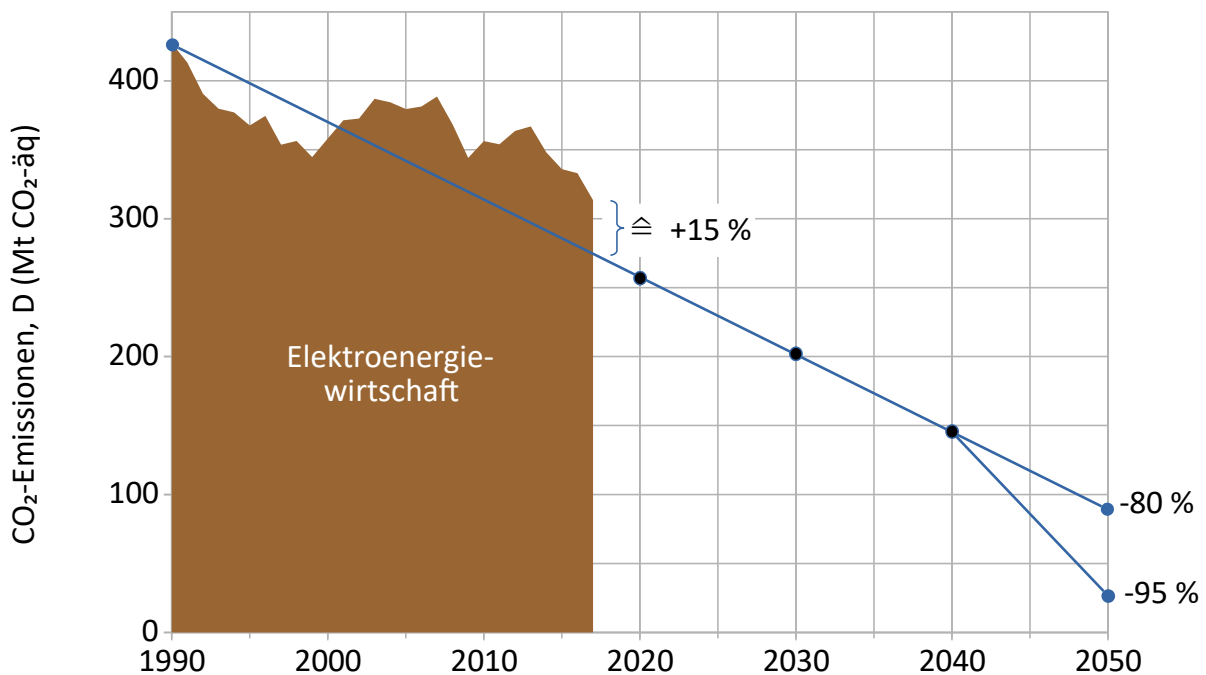


Abb. 13: Emissionen der Elektroenergiewirtschaft, 1990 – 2017, Daten: BMWi ⁽⁴⁾

Abbildung 13 zeigt:

- Die auf die Verbrennung von Braun- und Steinkohle zurückgehenden Emissionen der Elektroenergiewirtschaft sind zwischen 1990 und 1999 aufgrund der oben erwähnten DDR-Effekte deutlich zurückgegangen, aber bis 2007 wieder angestiegen.
- Die Weltfinanz- und -wirtschaftskrise der Jahre 2008 und 2009 bewirkten in Deutschland einen Rückgang der Kraftwerksemissionen um über 11 %;
- anschließend stiegen die Emissionen bis 2013 wieder um ca. 7 % an, um dann bis 2017 um ca. 10 % deutlich zurückzugehen; die Emissionen liegen aber 2017 immer noch um 15 % über dem Soll.

Ein Großteil des Rückgangs seit Anfang der 2000er Jahre ist auf den immer größer werdenden Anteil der Erneuerbaren zurückzuführen, die 2016 einen Anteil von 31,2 % und 2017 von 36,2 % vom Brutto-Elektroendenergieverbrauch hatten.

Emissionen des verarbeitenden Gewerbes

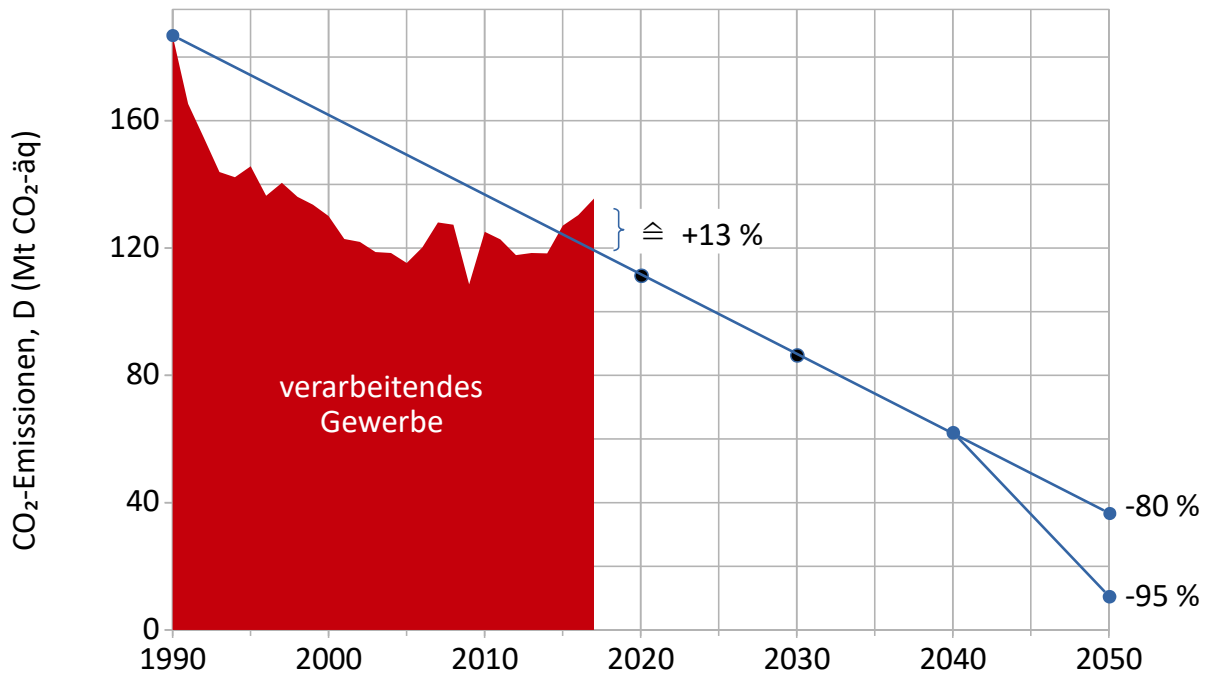


Abb. 14: Emissionen des »verarbeitenden Gewerbes«, 1990 – 2017, Daten: BMWi ⁽⁴⁾

Abbildung 14 zeigt:

- die Emissionen des verarbeitenden Gewerbes sind von 1990 - 2005 um 38 % zurückgegangen,
- anschließend sind sie bis 2007 um 11 % angestiegen und
- bis 2014 insgesamt um 7 % zurückgegangen (mit einem auf die Weltfinanz- und -wirtschaftskrise zurückzuführenden, kurzzeitigen und erheblichen Einbruch im Jahre 2009);
- nach 2014 sind die Emissionen drei Jahre in Folge deutlich um 15 % angestiegen;
- bis einschließlich 2014 lagen die Emissionen z. T. deutlich unter dem Minderungszielpfad, ab 2015 liegen sie darüber; im Jahr 2017 sogar um 13 %.

Emissionen der Haushalte

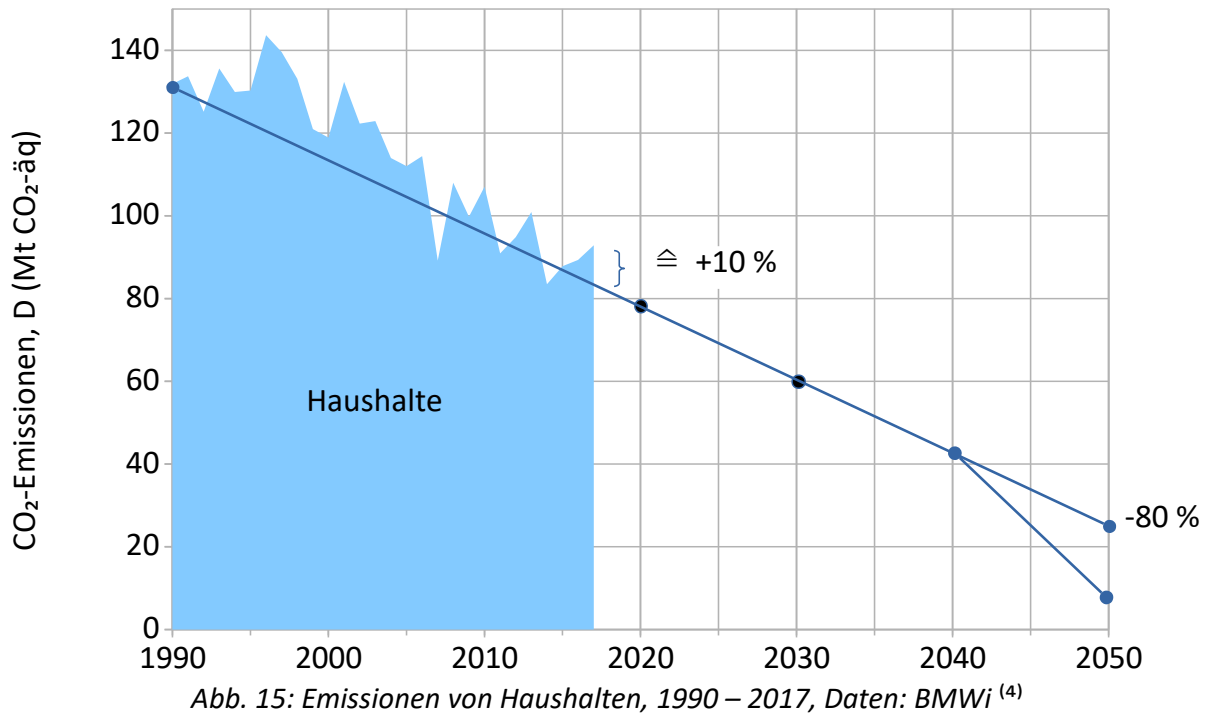


Abbildung 15 zeigt:

- Die CO₂-Emissionen aus Haushalten sind – mit starken Schwankungen – zwischen 1990 und 2014 um 37 % zurückgegangen;
- danach allerdings bis 2017 wieder um 11 % angestiegen;
- weitere nennenswerte Reduzierungen sind bei Verbrennung fossiler Energieträger nicht zu erwarten.

Brennstoffzellen-Heizung

Eine Brennstoffzellen-Heizung ⁽⁶⁾ kann ein Haus gleichzeitig mit Wärme, Warmwasser und Elektroenergie hocheffizient versorgen. Über das KfW-Programm 433 »Energieeffizient Bauen und Sanieren – Zuschuss Brennstoffzelle« unterstützen Bund und Länder die Anschaffung der noch sehr teuren Heizung, die damit in der Anschaffung zumindest in den Bereich anderer moderner Heizungsanlagen kommt.

Im Vorteil der gleichzeitigen Versorgung mit Elektroenergie und Wärme nach dem Nutzungsprinzip der Kraft-Wärme-Kopplung steckt auch der prinzipielle Nachteil, dass immer beides anfällt, aber eben der Bedarf nicht immer gleichzeitig vorhanden ist. Daher arbeiten sie vor allem in Gebäuden mit niedrigem Energiebedarf sehr wirtschaftlich. Die derzeitige Brennstoffzellen-Heizung benötigt Erdgas, wobei hier nur der im Erdgas gebundene Wasserstoff chemisch für die Elektroenergie- und Wärmeproduktion verwendet wird. Im Vergleich zu einer Gas-Brennwertheizung und Elektroenergiebezug aus dem Netz entsteht hier nur halb so viel Kohlendioxid.

Damit ist die Brennstoffzellen-Heizung durchaus unter bestimmten Randbedingungen eine sinnvolle und umweltfreundlichere Alternative als getrennte Gas-Brennwertheizung und getrennter Bezug von Elektroenergie aus dem Netz. Es wird aber dennoch CO₂ freigesetzt, und es wird weiterhin die fossile Energiequelle Erdgas benötigt.

Eine umweltfreundliche Variante in Zukunft könnte evtl. darin bestehen, dass regenerativ gewonnener Strom über Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt, methanisiert und dann ins Erdgasnetz eingespeist wird. Die dabei auftretenden energetischen Verluste sind aber erheblich.

Eine andere Option, die direkte Versorgung mit Wasserstoff erfordert zunächst den Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur z.B. in Form eines eigenen Wasserstoffgasnetzes parallel zum Erdgasnetz. Wärmepumpen und Brennstoffzellen lassen sich dann (wenn die H₂-Infrastruktur steht) bestens kombinieren.

6 Literatur

- (1) IPCC, 2007: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., XXX pp.; http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm
- (2) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie / Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, 28.9.2010; <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiekonzept-2010.property=pdf.bereich=bmwi2012.sprache=de.rwb=true.pdf>
- (3) alle Grafiken, soweit nicht anders angegeben: Ice-TeX Ingenieurbüro, J. Schwarz
- (4) <http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Themen/energiedaten.html>
- (5) <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/spezifische-emissionsfaktoren-fuer-den-deutschen>
- (6) Quellen:
<https://www.effizienzhaus-online.de/brennstoffzelle>
<https://heizung.de/brennstoffzelle/#Allgemeines>
<http://www.bine.info/publikationen/publikation/energieforschung/brennstoffzellen-emissionsarm-waerme-und-strom-erzeugen/>
<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/serienreif-brennstoffzelle-im-haus-sorgt-fuer-strom-waerme/>
https://www.asue.de/sites/default/files/asue/themen/brennstoffzellen/2018/vortraege/181107_ASUE_Brennstoffzellen-fuer-Energieberater_Heppenheim-2018.pdf
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/2017-01-09_cc_01-2017_endbericht-datenbasis-energieeffizienz.pdf
https://www.dgs.de/fileadmin/newsletter/2016/Quantifizierungsbericht_Aktionsprogramm_Klimaschutz_2020.pdf