

Faktensammlung Wärme

Herkunft und Nutzung
in der Schweiz



Wärme Initiative
Schweiz



Eine Initiative der AEE SUISSE

Autoren

Ch. Bauer^a, L. Baldini^b, M. Berger^c, A. Haselbacher^d, J. Roth^e, W. Villasmil^c, J. Worlitschek^c

^a) Paul Scherrer Institut, Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen.

^b) Empa, Überlandstrasse 129 CH-8600 Dübendorf.

^c) Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Technikumstrasse 21, 6048 Horw .

^d) ETH Zürich, Dep. of Mechanical and Process Eng., Sonneggstrasse 3, 8092 Zürich.

^e) SCCER Hae c/o Paul Scherrer Institut, Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen.

Diese Faktensammlung Wärme ist eine gemeinsame Publikation des Forums Energiespeicher Schweiz und der Wärme Initiative Schweiz.

Weitere vom Forum Energiespeicher herausgegebene Publikationen:

«Batteriespeicher in Verteilnetzen» (September 2018)

Autoren: Dr. Alexander Fuchs (Forschungsstelle Energienetze, ETH Zürich) und Dr. David Parra (Institute for Environmental Sciences, University of Geneva)

«Saisonale Flexibilisierung einer nachhaltigen Energieversorgung der Schweiz» (Dezember 2018)

Autoren: Markus Friedl (HSR Hochschule für Technik Rapperswil, IET Institut für Energietechnik), Tom Kober (Paul Scherrer Institut, Labor für Energiesystem-Analysen, Villigen), Kannan Ramachandran (Paul Scherrer Institut, Labor für Energie-system-Analysen, Villigen) und Jonas Mühlethaler (Swissgrid AG, Aarau)

«Saisonale Wärmespeicher – Stand der Technik und Ausblick» (Februar 2019)

Autoren: Michel Haller (Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR) und Florian Ruesch (Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR)

Alle Publikationen des Forums Energiespeicher Schweiz stehen unter www.speicher.aeesuisse.ch/fokusstudien zum Download bereit.

GELEITWORT

Viele Menschen sind sich nicht bewusst, dass in der Schweiz für Wärme mit rund 50 Prozent der höchste Anteil an Endenergie aufgewendet wird. Dass davon ein Grossteil durch Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Öl und Gas erzeugt wird, führt uns vor Augen, wie abhängig wir im Wärmesektor vom Ausland sind. Und die ständig bedrohlicheren Auswirkungen des Klimawandels zeigen, dass grosser Handlungsbedarf zur Substitution fossiler Energieträger im Wärmesektor besteht.

«Fossile und nicht-fossile Energieträger im Sommer zu verheizen, ist unsinnig und leicht zu vermeiden!» Dies ist die gemeinsame und breit abgestützte Überzeugung des Forums Energiespeicher Schweiz. Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft und Industrie formulieren damit, wo wir dringend die Hebel ansetzen müssen und können. Das Forum Energiespeicher Schweiz unterstützt damit die Wärme Initiative Schweiz, die sich als Vision die 100%-ige Umstellung des gesamten Schweizer Wärme- und Kältesektors auf erneuerbare Energien bis 2050 zum Ziel gesetzt hat. Aus zwei schlagenden Gründen: Weil es erstens heute schon zu vergleichbaren Wärmegestehungskosten technisch möglich ist und zweitens auch volkswirtschaftlich Sinn macht, Investitionen in erneuerbare Wärmesysteme im Inland zu tätigen, anstatt für viel Geld fossile Energieträger aus dem Ausland zu importieren.

Das vorliegende Faktenblatt Wärme trägt Resultate aus verschiedenen Studien und Statistiken zusammen und zeigt auf, wo welche und wieviel Wärme in der Schweiz verbraucht wird. Es soll der Politik und Verwaltung, der Wirtschaft, den Medien und allen Einwohnern und damit Wärmeverbrauchern der Schweiz als Grundlage für Entscheidungen und fundierte Berichterstattungen dienen. Jede in die Jahre gekommene Heizung, die heute noch mit einem fossilen Brenner ersetzt wird, ist eine zu viel. Wir sind es unseren nachfolgenden Generationen schuldig, so rasch wie möglich mit dem Verbrennen von fossilen Energieträgern aufzuhören, denn diese Energiespeicher sind endlich und haben in erdgeschichtlich extrem kurzer Zeit bereits gewaltige Mengen gebundenes CO₂ in die Atmosphäre entlassen.

Stefan Brändle

Forum Energiespeicher Schweiz | Leiter Arbeitsgruppe Wärmespeicher
Wärme Initiative Schweiz | Mitglied der Steuergruppe

Christoph Schaer

Wärme Initiative Schweiz | Vorsitzender der Steuergruppe

Vor dem Hintergrund der Diskussion um ein nachhaltiges Energiesystem soll dieses Faktenblatt darlegen, wie gross der Anteil der Wärme am Gesamtenergiebedarf der Schweiz ist und welches CO₂-Einsparungspotenzial besteht.

Dieses Faktenblatt ist eine Zusammenstellung wärmebezogener Energiedaten der Schweiz für das Jahr 2016 (wenn nicht explizit anders angegeben).

Es umfasst die Bereiche

- schweizerischer Wärmebedarf in Bezug auf den Endenergiebedarf und CO₂-Emissionen
 - a) Im Bereich Haushalte
 - b) Im Bereich Industrie
- Wärmeerzeugung im Bereich Haushalte

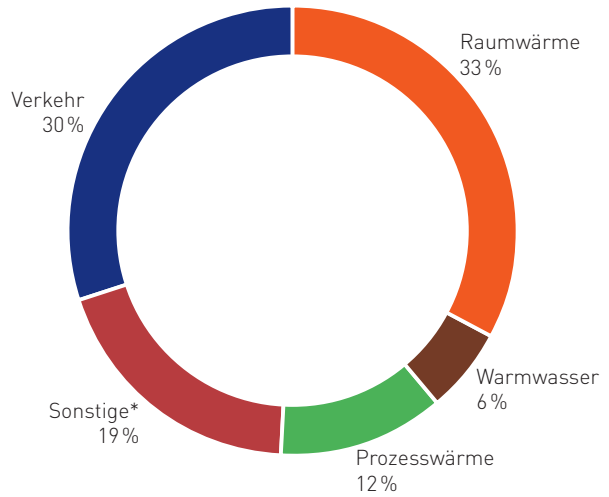
Dabei wird deutlich, dass ein grosser Anteil der Endenergie für die Wärmeerzeugung eingesetzt wird und ein grosser Teil der CO₂-Emissionen daraus stammt. Dies bedeutet im Umkehrschluss ein grosses Einsparpotenzial für CO₂. Die notwendigen Technologien, um dieses Potenzial ohne Komfortverlust auszuschöpfen, existieren schon heute.

Fossile und nicht-fossile Energieträger im Sommer zu verheizen, ist unsinnig und leicht zu vermeiden. Um fossile Energieträger im Winter zu ersetzen, werden Langzeit-Wärmespeicher benötigt. Diese werden in der Fokusstudie «Saisonale Wärmespeicher – Stand der Technik und Ausblick» ausführlicher beschrieben.

Herausgeber:
AEE SUISSE Dachorganisation der Wirtschaft für erneuerbare Energien und Energieeffizienz
Falkenplatz 11, Postfach, 3001 Bern, www.aeesuisse.ch, www.speicher.aeesuisse.ch, www.waermeinitiative.ch

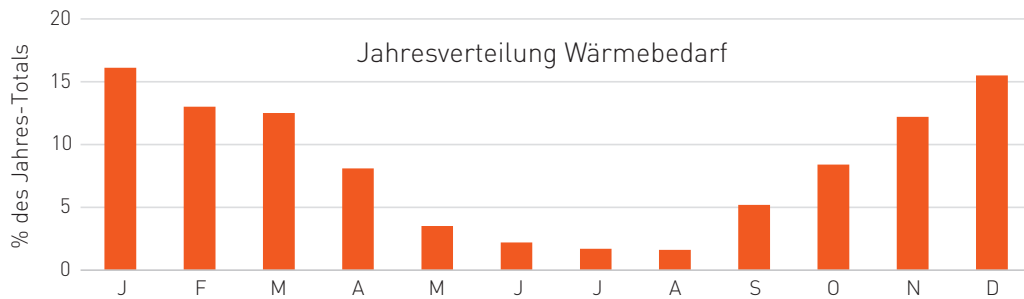
ÜBERSICHT

Die Wärmeerzeugung benötigt die Hälfte der jährlich im Inland umgesetzten Endenergie von 389 PJ¹.



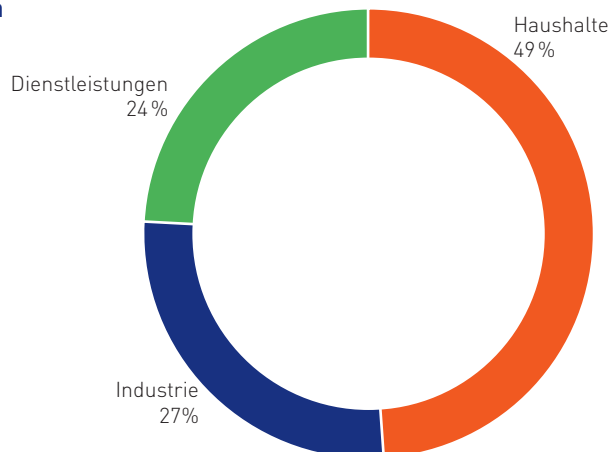
* Beleuchtung, Lüftung, Klima und Haustechnik, Antriebe und Prozesse¹

Ausgeprägte jahreszeitliche Abhängigkeit des Wärmebedarfs²



Grosses Potenzial für CO₂-Einsparung im Wärmesektor ohne Komforteinbussen, denn die Technologien existieren bereits.

CO₂-Ausstoss durch Wärmegewinnung 18 Mio Tonnen⁴

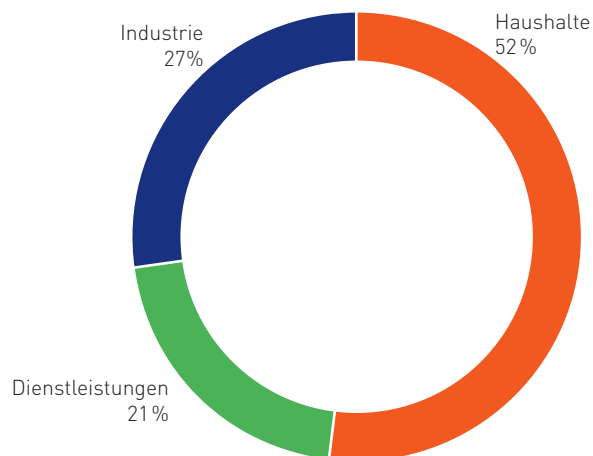


BEDEUTUNG/ANTEIL DES WÄRMEBEDARFS AM GESAMT-ENDENERGIEBEDARF

In der Schweiz haben Haushalte den grössten Wärmebedarf, gefolgt von der Industrie.³

Der Gesamtwärmedarf der Schweiz belief sich 2016 auf 389 PJ. Das entspricht 52% des gesamten inländischen Endenergiebedarfs – oder etwa 10 Mio m³ Heizöl, also einem Güterzug mit 1790 km Länge.

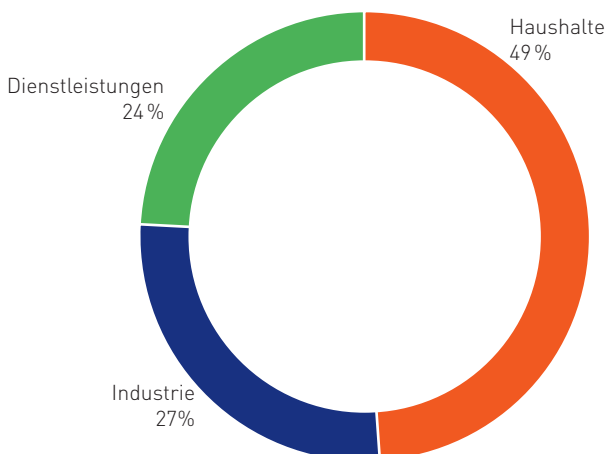
Die Haushalte haben den grössten Anteil mit 203 PJ (inkl. Waschen, Kochen, Backen, Kühlen).



Der CO₂-Ausstoss durch Wärmeerzeugung beträgt 18 Mio Tonnen.

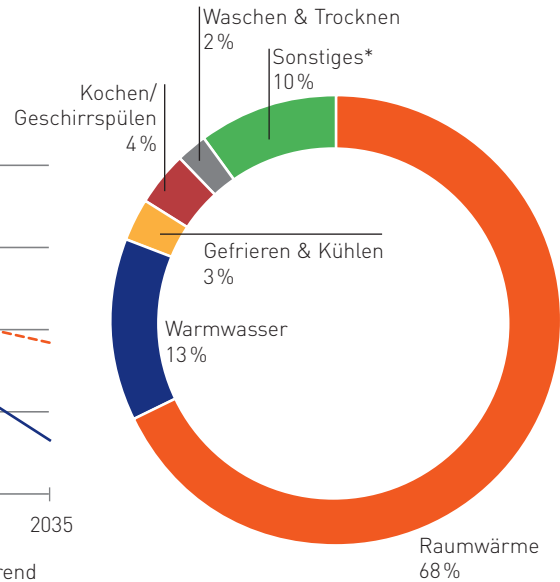
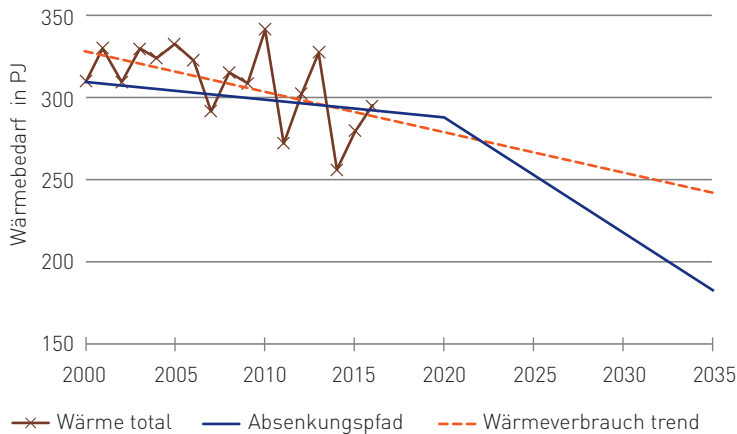
Der gesamte CO₂ Ausstoss im Jahr 2016 betrug **34 Mio Tonnen** aus der Verbrennung fossiler Energieträger im Verkehr und Wärmesektor. Dies entspricht 71% aller Treibhausgasemissionen der Schweiz (total 48 Mio t). Davon fielen **18 Mio Tonnen CO₂ für Wärme in Haushalten und Industrie** an.⁴

Das nationale Emissionsziel über alle Sektoren beläuft sich auf 43 Mio Tonnen für 2020 (Kyoto-Protokoll), für 2030 werden inländische Emissionen von höchstens 38 Mio Tonnen angepeilt (30%-ige Reduktion gegenüber 1990)⁵, um das 2-Grad-Ziel von Paris zu erreichen.



ENERGIE-/WÄRMEBEDARF IN HAUSHALTEN

90% (207 PJ) der Endenergie in Haushalten wird für die Bereitstellung von Wärme benötigt³.

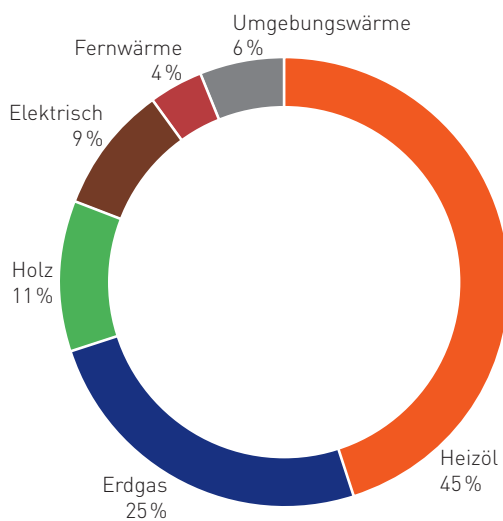


Gemäss **Art. 3 Verbrauchsrichtwerte⁶ (Energiegesetz vom 30. September 2016)** ist gegenüber dem Jahr 2000 eine Senkung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Person und Jahr um 16 Prozent bis 2020 und um 43 Prozent bis 2035

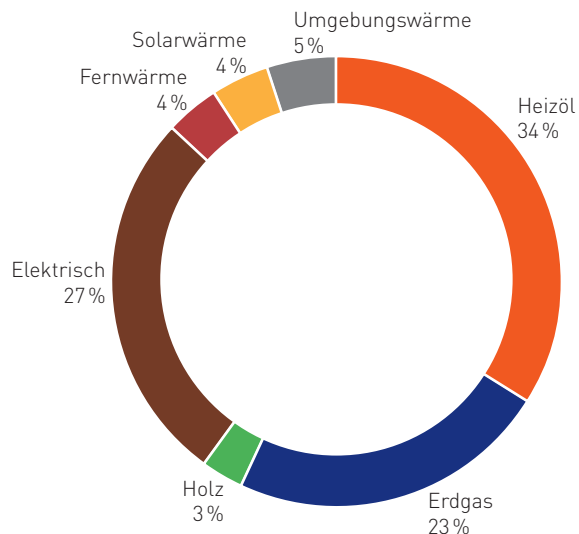
anzustreben. Auf den Wärmebedarf im Gebäudebereich umgelegt bedeutet dies, dass bis 2020 die Reduktionsziele weitgehend erfüllt sein werden, bis 2035 aber weitere Massnahmen erforderlich sind [siehe Grafik].

Raumwärme (175 PJ) und Warmwasser (32 PJ) werden heute vorwiegend fossil erzeugt.

Deckung Raumwärmebedarf*



Deckung Warmwasserbedarf



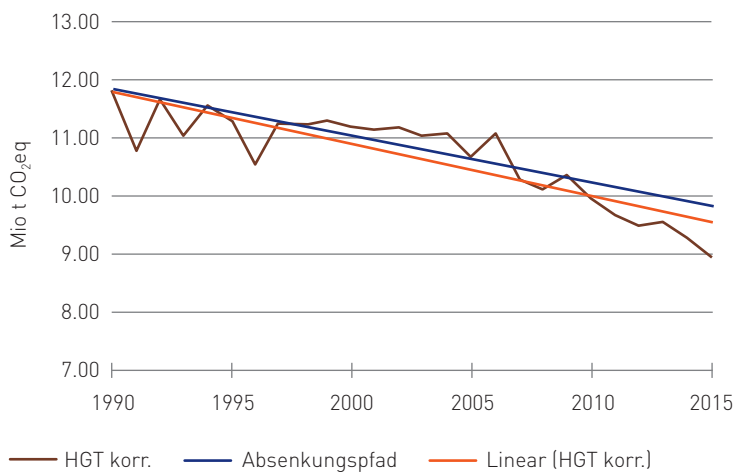
* witterungsbereinigt¹³

Die fossilen Brennstoffe decken heute drei Viertel des Wärmebedarf der Raumwärme in den Haushalten. Hinzu kommen neben elektrischer Wärmebereitstellung 3% Solarthermie bei der Warmwasser-

aufbereitung und 4% Fernwärme. Letztere verfügt über das Potential den Wärmesektor durch Einbindung erneuerbarer Wärmequellen in Zukunft klimafreundlicher zu machen.

Gebäude verursachen 27% der Treibhausgasemissionen⁴, 18% die privaten Haushalte (2015)⁸

Gemäss CO₂-Gesetz sind die Treibhausgasemissionen (THG) im Inland bis 2020 gegenüber 1990 gesamthaft um 20% zu vermindern. Für 2021–2030 sieht das total revidierte CO₂-Gesetz ein Reduktionsziel von 50% bis 2030 (min. 30% im Inland, max. 20% im Ausland) vor. Im Wärmesektor bewegen sich die privaten Haushalte, auf Basis der witterungsbereinigten Heizgradtage (HGT korr.) auf dem vorgesehenen Absenkungspfad. Das CO₂-Gesetz fordert jedoch eine Gesamtreduktion, die über alle Sektoren reicht.



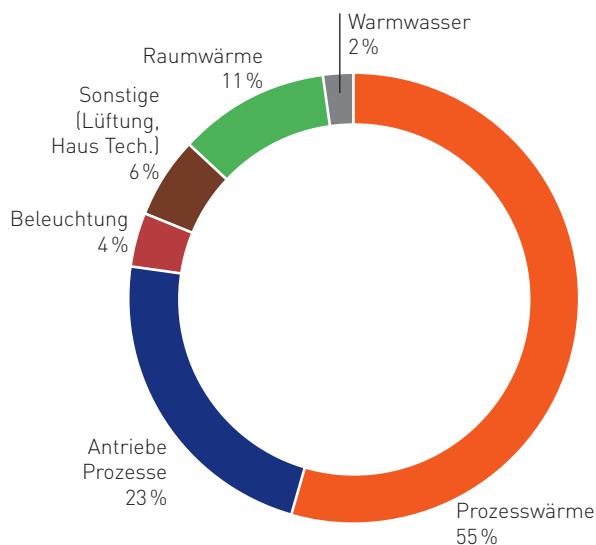
Potenzial für weitere CO₂-Reduktionen in Gebäuden bis 2020 und darüber hinaus

- Endverbrauch absenken durch Reduktion an Nutzenergiebedarf für Heizen und Warmwasser (bessere Gebäudeisolation, verminderter Flächen- und Wasserverbrauch etc.)
 - Substitution von fossilen Energieträgern durch erneuerbare
 - Effizienzsteigerung in der Energieumwandlung von Endenergie (Öl, Gas, Strom etc.) in Nutzenergie (Brennwertkessel, Wärmepumpen etc.).
 - Nutzung von Energiespeichern (für Integration von Erneuerbaren)
 - Nutzung von Umgebungswärme
-

ENERGIE/WÄRMEBEDARF IN DER INDUSTRIE

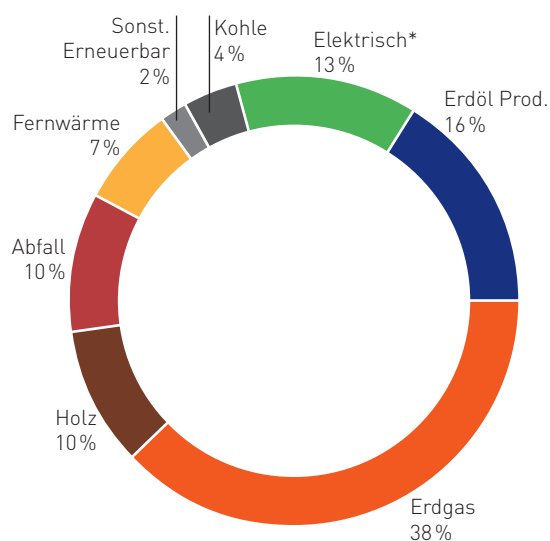
68 % (105 PJ) der Endenergie in diesem Sektor wird für die Bereitstellung von Wärme benötigt.³

2016 betrug der Endenergieverbrauch im Industriesektor nach der Statistik des Bundesamts für Energie BFE rund 156 PJ. Dies entsprach **20 % des gesamten inländischen Endenergieverbrauchs**. Die Aufteilung des industriellen Energieverbrauchs nach Verwendungszwecken ist in der Abbildung rechts dargestellt. Dieser Verbrauch wird durch Prozesswärme (55%) und Raumwärme (11%) dominiert, die zusammen mit dem Warmwasser einen thermischen Anteil von 68% ausmachen.



Der Endenergiebedarf für Wärme wird überwiegend (61 PJ) durch fossile Energieträger gedeckt.⁹

Die Aufteilung dieses thermischen Anteils nach Energieträgern ist nebenstehend gezeigt. Der Kältebedarf wird weitestgehend mit elektrisch angetriebenen Wärmepumpen erzeugt und in den Statistiken den Prozessen zugeordnet. Bei den anderen Energieträgern zur Wärmeerzeugung entfällt der Grossteil auf Gas (38%), Erdölprodukte (16%) und Kohle (4%), die zusammen einen Anteil von rund 58% ausmachen und erhebliche Mengen Treibhausgase erzeugen. Erneuerbare Energien decken hingegen weniger als ein Drittel des thermischen Energiebedarfs und weisen für die Zukunft ein dementsprechend grosses Potenzial auf, ebenso wie die Fernwärme.

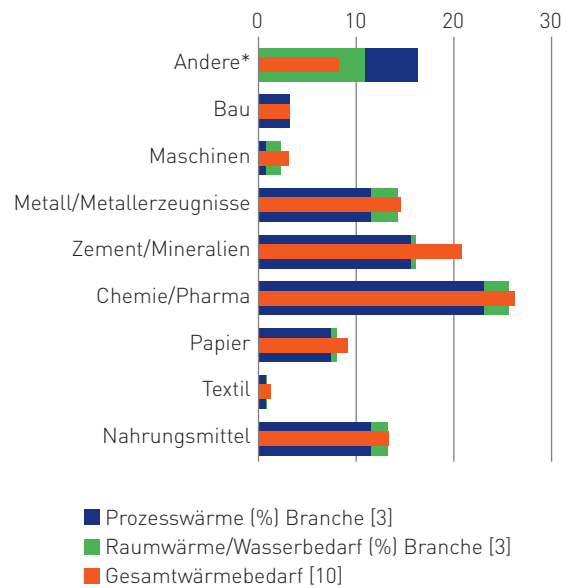


* Der Anteil der Elektrizität ist aus der Bilanz der Statistiken^{3,9} abgeschätzt

Der Endenergiebedarf für Wärme variiert stark von Branche zu Branche, der Prozesswärmebedarf dominiert diesen Sektor.^{3,10}

Der Endenergieverbrauch zur Erzeugung von Raumwärme/Warmwasser und Prozesswärme variiert stark von Branche zu Branche. Die meiste Prozesswärme wird in den Branchen Chemie/Pharma (~25%), Zement/Mineralien (16% bis 20%), Nahrung (13%) und Metalle (14%) benötigt. Durch die grobe Branchenunterteilung wird der grösste Teil des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser (28%) der Branche «Andere» zugeordnet. Grundsätzlich ist es schwierig, verlässliche Daten aus diesem Sektor zu erhalten.

Prozentualer Anteil an totalem Energiebedarf für Raumwärme/Warmwasser resp. Prozesswärme



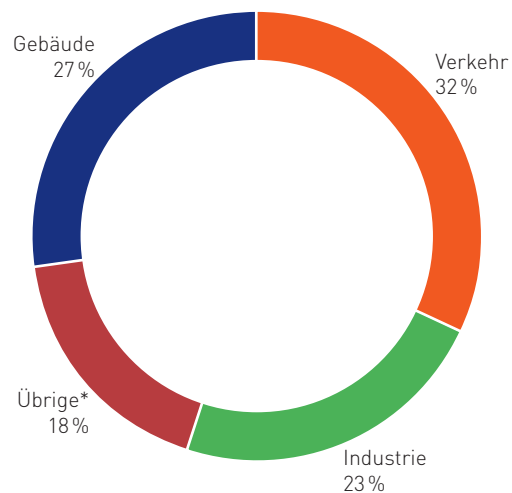
* Andere: u.a. Bergbau^{3,10} Medien (Druck), Holz und Kunststoffverarbeitung^{3,10}, Fahrzeugbau³

23% der schweizerischen Treibhausgas-Emissionen werden von der Industrie verursacht.⁴

2016 wurden nach Angaben des Bundesamts für Umwelt BAFU 5 Mio t CO₂ durch die Verbrennung von Brennstoffen in der Industrie verursacht. Dies ergab rund 27% der schweizerischen CO₂-Emissionen für Wärmeerzeugung.

Bezogen auf alle klimarelevanten Gasemissionen ergibt dies 23%.

Eine im Rahmen der Energieperspektiven 2050 erstellte Studie hat gezeigt, dass die jährlichen Treibhausgasemissionen der Industrie bis 2030 und 2050 mit entsprechenden politischen Rahmenbedingungen auf 4 bzw. 2 Mio Tonnen CO₂-Äquivalent abgesenkt werden könnten. Das sind 80 bzw. 40% der Emissionen im Jahr 2016 (Brenn- und Treibstoffe, ohne Stromerzeugung).¹¹

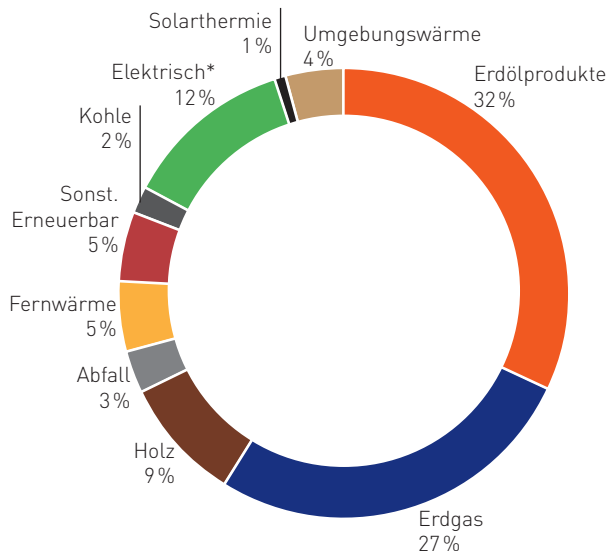


* synthetische Gase aus der Industrie, Landwirtschaft, Abfall (nicht Verbrennung)

ENERGIE/WÄRME AUS FERNWÄRME

Fernwärme trägt mit insgesamt 5% zur Wärmebereitstellung in Industrie und Haushalten bei.^{3,7}

Da Fernwärme zentral bereitgestellt wird, kann eine grosse Anzahl an Verbrauchsstellen mit einer einzelnen Massnahme dekarbonisiert werden – unabhängig vom Gebäudestandard oder der Einstellung der Eigentümer. Im besten Fall könnten heute damit bereits 5% der Wärmeversorgung klimafreundlich gewährleistet werden.



* Der Anteil der Elektrizität ist aus der Bilanz der Statistiken^{3,8} geschätzt.

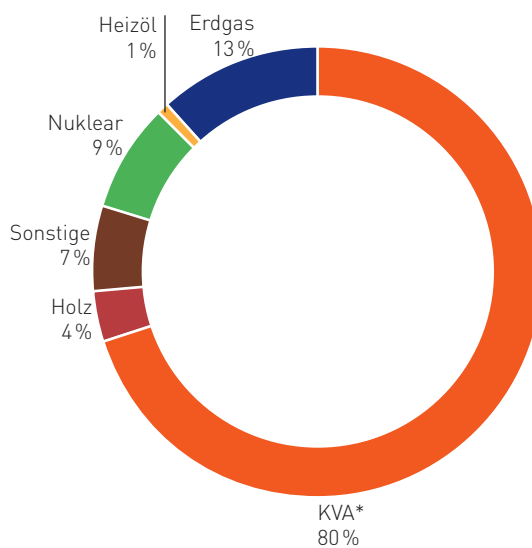
Fernwärme wird heute zum grössten Teil aus Abfall gewonnen.⁹

Die wichtigste Primärenergie für Fernwärme in der Schweiz stellt die Abwärme von Kehrrechtverbrennungsanlagen dar, gefolgt von Erdgas und Holz. Da Fernwärme oft über Kraft-Wärme-gekoppelte Systeme erzeugt wird, enthält die nebenstehende Grafik auch den Elektrizitätsanteil, der etwa 25% ausmacht.

Anlagen mit Heizöl sollten mit ihren hohen spezifischen Emissionen und der vergleichsweise geringen Effizienz, ebenso wie Erdgas, als erste durch erneuerbare Quellen substituiert werden.

Auch Anlagen, die an Kernkraftwerke angeschlossen sind (direkte Wärmeauskopplung aus dem Reaktor), welche sukzessive wegfallen, sind in naher Zukunft zu ersetzen.

Die Kopplung mit thermischen Energiespeichern kann die Energiebilanz von Fernwärme verbessern.



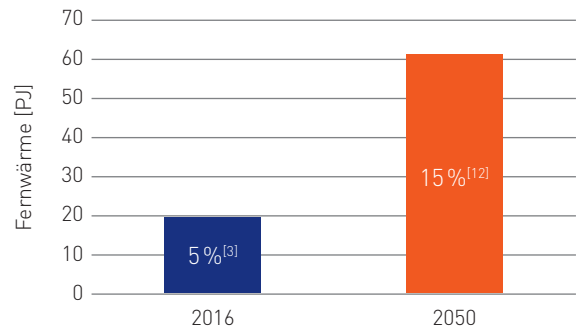
* incl. Eigenverbrauch der KVA

Fernwärme hat grosses Potenzial.¹²

Fernwärme hat ein grosses Potential sowohl zur Effizienzsteigerung der Wärmeversorgung als auch zur CO₂-Reduktion für die Schweiz. Erneuerbare Quellen für Fernwärme finden sich in der Kehrrichtverbrennung, im Grundwasser, in Seen, Flüssen, Holz, Geothermie und der Abwärme von Industrieprozessen.

Unterschieden wird bei der Wärmeverteilung in Nahwärme, welche sich auf eine Überbauung und kurze Distanzen bei kleiner und mittlerer Leistung beschränkt, und Fernwärme mit ausgeprägtem Netzcharakter und einem ausgedehnten Versorgungsgebiet. Nach einer im Auftrag des Verbands Fernwärme Schweiz (VFS) erstellten Studie können bis zu 15 % (61 PJ) des gesamtschweizerischen Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasser im Jahr 2050 wirtschaftlich über Nah- und Fernwärmenetze versorgt werden.¹²

Heute beträgt die über Fernwärme zur Verfügung gestellte Wärme ca. 25 PJ, was rund 5 % des gesamtschweizerischen Wärmebedarfs entspricht.³ Mehr als 70 % der erzeugten Fernwärme wird derzeit im Gebäudebereich genutzt: 62 % für Raumwärme und knapp 11 % für die Bereitstellung von Warmwasser.³



Basierend auf einem Wärmebedarf von 398 PJ

GRUNDLAGEN/BEGRIFFE

Wärme

Wärme ist mit einem Anteil von ca. 50 % am Gesamtenergieverbrauch die am häufigsten benötigte Energieform (Schweiz, 2016). Gebäudeklimatisierung, Warmwasserbereitung sowie Prozesswärme/-kälte zum Beispiel für die Metallverhüttung, Zementherstellung und Lebensmittelherstellung sind die Einsatzgebiete. Charakteristisch für jedes Einsatzgebiet und die eingesetzte Technik sind das Temperaturniveau und die Leistung. Ein Kühlschrank (0–10°C, ~200 W) und ein Wasserkocher (100°C, ~1kW) wandeln, bei völlig unterschiedlichen Anforderungen, elektrische Energie in Wärme. Eine Analyse zu diesem Thema muss diesem Umstand Rechnung tragen.

Kälte und Wärme

Aus thermodynamischer Sicht ist Wärme ebenso wie Kälte eine Menge thermischer Energie, die bereitgestellt oder übertragen werden soll. Die Temperatur entscheidet dabei, ob es sich um Wärme oder Kälte im umgangssprachlichen Sinn handelt. Ist das Temperaturniveau der thermischen Energie niedriger als das der Umgebung, ist das Vorzeichen der übertragenen oder erzeugten Energiemenge negativ (Kälte). Ist das Temperaturniveau der Energie höher, ist das Vorzeichen positiv (Wärme). Thermische Energie bewegt sich spontan nur von einem höheren zu einem tieferen Temperaturniveau. In umgekehrter Richtung muss zusätzlich Energie aufgewendet werden.

Wärme kann leicht aus elektrischer, kinetischer oder chemischer Energie gewonnen werden. Der umgekehrte Vorgang, Wärme in elektrische Energie oder kinetische Energie umzuwandeln, ist mit deutlichen Verlusten verbunden. Heute wird noch ein grosser Anteil der Wärme durch die Verbrennung von Kohle, Öl und Erdgas gewonnen. Diese Energieträger haben sich durch Ablagerung von pflanzlichem und tierischem Material im Laufe der Erdgeschichte vor vielen Millionen Jahren gebildet und werden deshalb mit dem Sammelbegriff «fossile Energieträger» bezeichnet.

Masseinheiten und Umrechnungsfaktoren

Je nach Anwendungsgebiet werden Energiemengen in J (Joule) oder in Wh (Wattstunde) angegeben. Die Grundeinheit für Energie nach dem SI-System ist J ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$) und wird für die Darstellung von Wärmemengen oder allgemeinen Energiemengen verwendet. Die Einheit Wh wird vorwiegend im Bereich der Elektrizität angewandt. Zwischen beiden Einheiten besteht ein direkter Zusammenhang: $W=J/s$; $h=3600\text{ s}$; damit sind $Wh=3600\text{ J}$. Die Zusätze k, M, G, T, P sind die jeweiligen verkürzten Schreibweisen für 1.000 (k); 1.000.000= 10^6 (M), 10^9 (G), 10^{12} (T) und 10^{15} (P). Damit entspricht 1 Wh=3.6 kJ

Wirkungsgrad

Als Wirkungsgrad wird das Verhältnis aus der nutzbaren Energiemenge nach dem Prozess zur Gesamtenergiemenge vor dem Prozess bezeichnet. Da Wandlungsprozesse verlustbehaftet sind, ist der Wirkungsgrad in der Regel $< 100\%$. Der Prozess kann eine Umwandlung, Übertragung oder Speicherung sein. Wird beispielsweise Wasser elektrisch erwärmt, so wird ein kleiner Teil der zugeführten Energie nicht zur Erwärmung des Wassers genutzt, sondern durch Isolationsverluste an die Umgebung abgegeben. Das Verhältnis aus der Energie, die im Wasser nach der Erwärmung in Form von Wärme verfügbar ist, zur eingesetzten elektrischen Energie beschreibt den Wirkungsgrad. Dieser ist bei realen Prozessen immer kleiner 100%.

Primärenergie, Nutzenergie und Endenergie

In der Energietechnik wird unabhängig von ihrer physikalischen Form (Wärme, elektrische Energie etc.) zwischen Primär-, Nutz- und Endenergie unterschieden. Die Primärenergie steht am Anfang der Umwandlungskette. Chemische Energie aus Erdöl, Kohle, Kernenergie aus bspw. Uran, aber auch Wind- oder Sonnenenergie fallen darunter. Nutzenergie bezeichnet die umwandlungsbehaftete Energie beim Verbraucher (Strom, Heizöl, Gas etc.) vor der Wandlung in die am Ende benötigte Energieform wie z. B. Wärme oder Licht.

Treibhausgase

In der industrialisierten Gesellschaft werden, u.a. zur Deckung des Energiebedarfs, eine Reihe von Gasen freigesetzt, die für die Klimaerwärmung verantwortlich gemacht werden. Die Treibhausgase sind⁴: Kohlenstoffdioxid (CO_2); Methan (CH_4); Lachgas (N_2O); teilhalogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe (HFC); perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC); Schwefelhexafluorid (SF_6); Stickstofftrifluorid (NF_3). HFC, PFC, SF_6 und NF_3 werden oft unter dem Begriff «synthetische Gase» vereint. Die Emissionen von CH_4 , N_2O und den synthetischen Gasen werden mit Hilfe von Global Warming Potentials (GWP) in CO_2 -Äquivalente umgerechnet. Im Sinne dieser Zusammenstellung ist CO_2 das Gas mit der grössten Relevanz.

Witterungskorrektur

Um in Bezug auf das Thema Wärme ein konsistentes Bild unabhängig von der Witterung zu erhalten, sind die jahreszeitlichen Schwankungen des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit der tatsächlichen Aussentemperatur zu beachten. Hierzu werden die Tage mit Heizbedarf (Heizgradtage/HGT) eines Jahres bestimmt und mit denen eines Durchschnittsjahres verglichen. Werden im fraglichen Jahr mehr HGTs als im Durchschnitt gezählt, wird der CO_2 -Ausstoss des Jahres nach unten korrigiert, falls es weniger sind, nach oben.¹³

¹ M. Haller, F. Ruesch, Fokusstudie Saisonale Wärmespeicher – Stand der Technik und Ausblick, 2019

² <https://www.hsr.ch/de/die-hsr/aktuell/meldungen/detail/article/aluminium-als-heizoel-ersatz-hsr-forscht-an-innovativer-energiespeicherloesung-fuer-die-energiewende/>

³ Prognos AG; Infrac AG; TEP Energy GmbH; Bundesamt für Energie (BFE), Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2016 nach Verwendungszwecken, 2017.

⁴ Bundesamt für Umwelt BAFU; Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013–2020); 2018

⁵ UVEK; Klimapolitik der Schweiz, August 2016
Erläuternder Bericht zur Vernehmlassungsvorlage

⁶ Energiegesetz(EnG) 730, vom 30. September 2016 (Stand am 1. Januar 2018), <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20121295/index.html> Zugriff am 9. Januar 2019

⁷ Prognos AG; Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 2000 – 2016, 2017
Ex-Post-Analyse nach Verwendungszwecken und Ursachen der Veränderungen,

⁸ Kenngrößen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz
1990–2015. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Klima, 2017.

⁹ Bundesamt für Energie Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2016, 2017

¹⁰ Bundesamt für Energie Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor Resultate 2016, 2017

¹¹ A. Kirchner, B. Daniel, F. Ess, T. Grebel, P. Hofer, A. Kemmler, A. Ley, A. Piegsa, N. Schütz, S. Strassburg, J. Struwe, M. Keller, Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, 2012. <https://www.prognos.com/publikationen/alle-publikationen/292/show/7f9a4382d75c-c40032147306d423aaca/>.

¹² Verband Fernwärme Schweiz (VFS); Dr. Eicher+Pauli AG, Weissbuch: Fernwärme Schweiz – VFS Strategie, 2014.

¹³ Prognos, 2015; Witterungsbereinigung auf Basis von Gradtagen und Solarstrahlung