

Jens Clausen, Thomas Seifert, Michael Huber (Hrsg.)

Die Wärmewende

Zentrale Aufgabe einer
klimaverantwortlichen Kommunalpolitik

Scientists for Future

Berlin 2024

Impressum

Dieses Buch fasst eine Reihe von Policy Papers zur Wärmewende zusammen, die von Mitgliedern der „Scientists for Future“ verfasst wurden. Die Policy Paper-Reihe zur Wärmewende stellt knapp und evidenzbasiert relevante Fakten mit Bedeutung für die Wärmewende dar. Sie richtet sich an politische EntscheiderInnen auf kommunalpolitischer Ebene, aber auch an Akteure aus Wirtschaft, Journalismus und Zivilgesellschaft und die am jeweiligen Thema interessierte Öffentlichkeit.

Dieser Text wurde von Mitgliedern der „Scientists for Future“ verfasst und durch Kollegen und Kolleginnen hinsichtlich der wissenschaftlichen Qualität (insbesondere der Belegbarkeit von Argumenten) ausführlich geprüft.

Dieses Projekt wurde unter dem Förderkennzeichen: 372223V284 gefördert durch das Umweltbundesamt und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Die Mittelbereitstellung erfolgte auf Beschluss des Deutschen Bundestages.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren. Endredaktion der Einzeltexte: Franz Ossing

Zitiervorschlag: Clausen, Jens; Seifert Thomas; Huber, Michael (Hrsg.) (2024). Die Wärmewende. Zentrale Aufgabe einer klimaverantwortlichen Kommunalpolitik. Scientist for Future. Berlin.

Veröffentlicht unter CC BY-SA 4.0

Mehr Informationen: www.de.scientists4future.org

Kontakt: kontakt@scientists4future.org



Vorwort

Deutschland soll nach dem Klimaschutzgesetz 2045 klimaneutral sein und es ist unter Fachleuten unstrittig, dass für einen fairen Beitrag Deutschlands zur Einhaltung des 2 °C-Ziels, bis 2030 nicht nur die Kohleverstromung völlig eingestellt, sondern auch der Erdgasverbrauch schnell halbiert und in wenigen weiteren Jahren völlig beendet werden muss. Eine Neuinvestition in die Erzeugung von Strom und Wärme auf Erdgasbasis als Brückentechnologie kommt einer Verzögerung der dringend notwendigen Energiewende gleich.

Die Wärmeversorgung wird dabei in Zukunft nicht nur Sache der Gebäudeeigentümer:innen sein, sondern auch eine kommunale Aufgabe. Die Kommunen müssen die Wärmeversorgung planerisch vorbereiten. Statt sich darauf zu beschränken, wie bisher Lizenzen an Gasnetzbetreiber zu vergeben, werden sie durch eine Wärmeplanung dafür sorgen, dass Wärmenetze auf Basis erneuerbarer Energien dort entstehen können, wo sie sozioökonomisch und ökologisch gegenüber der Einzelversorgung von Gebäuden vorteilhaft sind.

Durch den russischen Krieg gegen die Ukraine, die Gaspreiskrise und die öffentliche Diskussion um das Heizungsgesetz wurde die Wärmewende in den Jahren 2022 und 2023 intensiv öffentlich diskutiert. Im Rahmen des vom Umweltbundesamt geförderten Projekts „Key Points der kommunalen Wärmewende“ haben die Scientists For Future handlungsorientierte Kurzinformationen zur Wärmewende erstellt. Diese widmen sich den Themen „Kommunale Wärmeplanung; „Energieeffiziente Gebäude“, „Wärmenetze“, „Wärmepumpen“, „Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)“, „Zukunft der Gasnetze“, „Heizen mit Holz“ sowie „Wasserstoff zum Heizen“.

Die acht Kurzinformationen wurden zwischen Sommer 2022 und Sommer 2023 veröffentlicht. Für die vorliegende Ausgabe in Buchform haben wir sichergestellt, dass sowohl das novellierte Gebäudeenergiegesetz (GEG) als auch das neue Wärmeplanungsgesetz (WPG) überall dort berücksichtigt wird, wo dies erforderlich ist. Die an einigen Stellen vorhandenen Hinweise auf Fördermöglichkeiten haben wir nach der Erstpublikation nicht verändert. Die Fördermöglichkeiten sind veränderlich und müssen den aktuell gültigen Mitteilungen entnommen werden.

Diese Buchpublikation fasst die wichtigsten Themen der Wärmewende zusammen und soll als aktuelle, einfach zu lesende Handreichung für alle dienen, die sich gegenwärtig privat, beruflich oder durch ihre Aufgaben in Verwaltung und Kommunalpolitik mit dem Thema beschäftigen müssen.

Hannover, Frankfurt am Main und Celle, den 14.2.2024

Die Herausgeber

Inhaltsverzeichnis

1.	Kommunale Wärmeplanung.....	5
2.	Energieeffiziente Gebäude	28
3.	Wärmenetze	46
4.	Wärmepumpen	63
5.	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	77
6.	Zukunft der Gasnetze	97
7.	Heizen mit Holz.....	116
8.	Wasserstoff zum Heizen	136

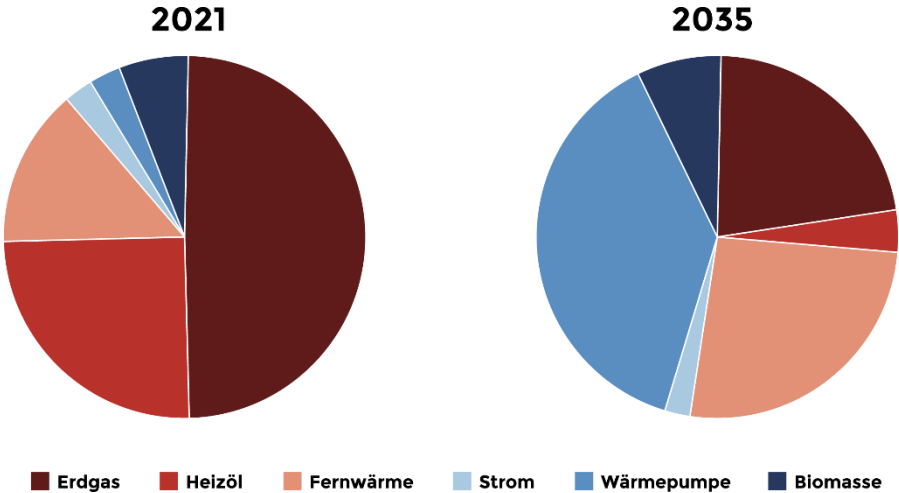
1. Kommunale Wärmeplanung

Autor:innen: ; Böhler, Heike; Clausen, Jens; Johannsen, Lea; Kranich, Kerstin; Huber, Michael; Seifert, Thomas

Das Wärmeplanungsgesetz (WPG) (Die Bundesregierung, 2023) ist gemeinsam mit der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (Die Bundesregierung, 2024) am 1. Januar 2024 in Kraft getreten. Beide Gesetze zielen auf die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung. Erstmals werden damit alle Städte und Gemeinden in Deutschland eine lokale Wärmeplanung bekommen.

Aber warum müssen sich die Kommunen in Zukunft um die Wärmeversorgung kümmern? Diese wurde doch bisher immer sehr zuverlässig vom Markt und den Energieunternehmen sichergestellt. Dafür gibt es einen zentralen Grund. Bisher werden in Deutschland etwa die Hälfte der Wohnungen durch eine Gasheizung beheizt, etwa ein Viertel durch Ölheizung. Ein weiteres Achtel wird mit Fernwärme versorgt, die zum größten Teil aus Erdgasverbrennung und Kohlekraftwerken stammt (Abbildung 1). Sieben von acht Wohnungen werden heute fossil beheizt und müssen daher in Zukunft mit anderen, regenerativen Energieformen versorgt werden. Diese neuen Energieformen können nicht so gut wie Erdgas in Pipelines oder Heizöl in Tankwagen transportiert werden. Stattdessen wird die Wärmeversorgung der Zukunft auf Energien wie Solarthermie, Wärme aus Seen, Flüssen und Abwasserkanälen, industrieller Abwärme, Geothermie und Abfallverbrennung aufbauen. Zusätzlich werden häufig Wärmepumpen benötigt. Für die Abfallverbrennung muss ausreichend Abfall (der ja eigentlich durch Kreislaufwirtschaft weniger werden soll) vorhanden sein und für die Solarthermie große Flächen in Kombination mit saisonalen Wärmespeichern. Industrielle Abwärme kann nur dort genutzt werden, wo vor Ort in Industriebetrieben unvermeidbare Abwärme abfällt. Kurz: Die Wärmeversorgung wird erneuerbarer, vielfältiger, vernetzter, sektorübergreifender und vor allem: deutlich lokaler. Dafür braucht es in jeder Kommune auf die jeweiligen lokalen Gegebenheiten zugeschnittene Planungen und den Aufbau einer passenden Infrastruktur.

Abbildung 1: Beheizungsstruktur heute und gegen Ende der Wärmewende



Quellen: 2021: (AGEB, 2021, S. 10), 2035: (Ariadne Projekt, 2021, S. 96)

Die Aufgabe ist also gewaltig: In drei Vierteln aller Wohngebäude müssen Öl- und Gasheizungen ersetzt werden. Zukünftig wird die Wärmeversorgung zu einem großen Teil durch Wärmepumpen und zu einem anderen großen Teil durch regenerative Wärme in Fernwärmenetzen und Quartierswärmenetzen übernommen. Die Heizung durch Scheitholz, Hackschnitzel oder Pellets sollte in Zukunft sogar eher abnehmen, weil nicht genug Biomasse verfügbar ist (Clausen et al., 2022).

Durch die kommunale Wärmeplanung schaffen sich Kommunen eine planerische Grundlage, die die Umsetzung dieser gewaltigen Aufgabe der Transformation der Wärmeversorgung vorbereitet und Bürgerinnen und Bürger wie auch Unternehmen und Stadtwerke bei ihren Anstrengungen des Umstiegs auf eine erneuerbare Wärmeversorgung bestmöglich unterstützt. Durch den Prozess der Wärmeplanung werden alle Menschen und Organisationen in der Kommune über das Thema informiert und mit eingebunden.

Kernaussagen

Die kommunale Wärmeplanung ist ab 2024 eine kommunale Pflichtaufgabe (Die Bundesregierung, 2023). Bis Mitte 2026 müssen alle Kommunen mit

mehr als 100.000 Einwohnenden über eine kommunale Wärmeplanung verfügen, bis Mitte 2028 alle übrigen Kommunen.

- Die kommunale Wärmeplanung besteht in der kartografischen Erfassung des Wärmebedarfs und der möglichen erneuerbaren Wärmequellen im Gebiet einer Kommune (Bestands- und Potentialanalyse).
- Weiter enthält sie ein klimaneutrales Szenario für das Jahr 2045 mit Ausweisung individueller Meilensteine für die Jahre 2030, 2035 und 2040 zur zukünftigen Entwicklung des Wärmebedarfs (Zielszenario).
- Darauf aufbauend erfolgt die Einteilung des beplanten Gebiets in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete und eine flächendeckende Darstellung der zur klimaneutralen Bedarfsdeckung geplanten Wärmeversorgungsarten und Versorgungsstruktur.
- Hierauf aufbauend werden im kommunalen Wärmeplan mögliche Handlungsstrategien und Maßnahmen entwickelt (Umsetzungsstrategie).
- Die kommunale Wärmeplanung ist durch die Kommune selbst oder in ihrem Auftrag zu erarbeiten. Energieversorger, Wohnungsunternehmen und Bürgerinnen und Bürger, besonders in ihren Funktionen als Wärmeabnehmer, Wärmeanbieter oder als die Maßnahmen durchführende Unternehmen des Handwerks oder der Wirtschaft, sind zu beteiligen.
- Durch die kommunale Wärmeplanung wird nicht nur die zukünftige erneuerbare Wärmeversorgung geplant, sie macht die Kommune auch unabhängiger von Preisschwankungen der Weltmarktpreise für Energie, strukturiert so den Rahmen für eine regionale und preisgünstige Wärmeversorgung und ist damit Teil der Sozialpolitik, Daseinsfürsorge und Wirtschaftsförderung.

Die kommunale Wärmeplanung ist damit von zentraler Bedeutung für die Umsetzung der Klimaneutralität und zur Aufrechterhaltung einer preisgünstigen und sicheren Wärmeversorgung.

Der Nutzen der kommunalen Wärmeplanung

Kommunale Wärmeplanung ist ein wichtiger Baustein der Daseinsvorsorge. Diese Planung ist die Grundlage für die Sicherung der Wärmeversorgung aller Bürger*innen in der Kommune.

Während bisher die größte Menge der - importierten - Wärmeträger durch Gasnetze oder Tankwagen zu den Gebäuden gebracht wurde, wird Wärme

mehr und mehr zu einer Ressource, die größtenteils regional produziert werden muss - wofür auch vielfältige Möglichkeiten bestehen. Dafür benötigt man Fläche, die wiederum in Flächennutzungs- und Bebauungsplänen auszuweisen ist.

Die Wärme der Zukunft hat Standorte: Geothermische Bohrungen, große Solarthermieanlagen, Flüsse und Seen für die Gewinnung von Umweltwärme über Wärmepumpen und Unternehmen und Infrastrukturen, deren Abwärme genutzt wird. Alle diese Anlagen sind, zusammen mit den für die Wärmeverteilung notwendigen Wärmenetzen und Wärmespeichern, in der Flächenplanung zu berücksichtigen. Für Wärmenetze ist auch die Festlegung von Fernwärmevorranggebieten wichtig, für die manche Kommunen eine Anschluss- und Benutzungspflicht beschließen. Ohne kommunale Koordination geht das nicht. Die Wärmeplanung sichert die Flächen für die Wärmeversorgung.

Das Beispiel Dänemark zeigt, dass durch eine kluge kommunale Planung im Laufe der Zeit nicht nur der Anteil erneuerbarer Energie an der benötigten Wärme immer weiter gesteigert werden kann (Clausen et al., 2021). Es zeigt auch, dass gute kommunale Lösungen auf Dauer für die Einwohnerinnen und Einwohner der Gemeinden die preiswerteste Art der Wärmeversorgung sind. Genau damit werden sie auch zu einer Säule der Sozialpolitik.

Zentral für eine kostengünstige Wärmeversorgung ist darüber hinaus die Frage, wer das Wärmenetz – wenn vorhanden – betreibt. Fernwärmegesellschaften im Besitz der Bürgerinnen und Bürger erweisen sich in Dänemark als etwas preiswerter als solche im Besitz von Wohnungsbaugesellschaften oder der Gemeinde, welche wieder deutlich preiswerter sind als private Energieversorger. Auch der Einfluss der Größe des Wärmenetzes, gemessen anhand des budgetierten Jahresumsatzes, ist erheblich (Chittum & Østergaard, 2014, S. 471; Danish Energy Agency, 2012, S. 41). Gemessen an den durchschnittlichen Heizkosten (Chittum & Østergaard, 2014, S. 471) sind private Netzbetreiber und der Einsatz von Erdgas als Energieträger in Dänemark am teuersten. Die größten Kostenvorteile ergeben sich in Dänemark beim Bezug der Wärme von sehr großen öffentlichen Netzbetreibern wie z.B. den lokalen Stadtwerken. Möglichkeiten und Kosten der Wärmeversorgung hängen stark von den lokalen Gegebenheiten ab. Neben den verfügbaren Wärmequellen spielen auch Faktoren wie die Dichte der Anschlussnehmer eine zentrale Rolle. So erreichen kleine Energiegenossenschaften im Vergleich mitunter

Kostenvorteile durch sehr hohe Anschlussquoten, da sie durch ihre lokale Verwurzelung Bürgerinnen und Bürger besonders gut erreichen. So können auch im ländlichen Raum Wärmenetze wirtschaftlich betrieben werden.

Wenn eine Kommune ihren Bürgerinnen und Bürgern also möglichst rasch möglichst viel erneuerbare Wärme zu möglichst günstigen Preisen zur Verfügung stellen will, dann schafft sie in der kommunalen Wärmeplanung hierfür die planerischen Grundlagen. Die Wärmeplanung informiert die Bürger*innen, welche Optionen sie am eigenen Wohnort für die Wärmeversorgung haben, ob es sich lohnt, auf den Bau eines Wärmenetzes zu warten oder ob sie sich um eine regenerative Heizungslösung im eigenen Haus kümmern müssen.

Was ist die Kommunale Wärmeplanung?

Eine kommunale Wärmeplanung legt die Grundlage für die lokale Wärmewende in der Kommune und die Transformation hin zu einer möglichst vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Wärmeversorgung. Ein nach dem Wärmeplanungsgesetz erstellter kommunaler Wärmeplan enthält dabei Analysen zum Bestand und aktuellen Wärmebedarf, zu den vorhandenen Wärmepotentialen, sowie ein Zielszenario für eine klimagerechte Wärmeversorgung mit einer Einteilung in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete und eine Umsetzungsstrategie (Die Bundesregierung, 2023).

Der Wärmeplan ist ein integraler Bestandteil der Klimaschutzplanung, mit der die Entwicklung der Kommune zur Treibhausgasneutralität gesteuert wird. Der Wärmeplan beschreibt in der Bestandsanalyse (§15 WPG) den gegenwärtigen Stand der Wärmeversorgung der Kommune. Grundlage einer guten Wärmeplanung ist eine maßstabsgetreue Karte der jeweiligen Kommune, die folgende Flächennutzungen und Merkmale enthält: Bebauungsstruktur, also Wohngebäude und Gewerbebetriebe und ihre Wärmebedarfe oder -verbräuche sowie die genutzten Energieträger, die Lage der für die Wärmeversorgung wichtigen Netze für Fernwärme, Erdgas und Nahwärme. In der Potentialanalyse (§16 WPG) sind nutzbare Wärmequellen verzeichnet, wie Industrie- oder Gewerbebetriebe, die Abwärme abgeben können und Klärwerke, Abwasserkanäle oder als Wärmequelle geeignete Gewässer. Weiter sollte er Flächen ausweisen, die für das Niederbringen geothermischer Bohrungen

oder für die Errichtung großer Solarthermiefelder geeignet sind und die deshalb in der Flächennutzungsplanung als Reserveflächen für die Wärmeversorgung geschützt werden. Darüber hinaus enthält der Wärmeplan ein Zielszenario (§17 WPG), wie die Wärmeversorgung der Kommune im Idealfall in 15 bis 20 Jahren oder spätestens im Jahr 2045 ohne die Nutzung von fossilen Energien erfolgen kann. Ebenso sind Flächen vorzusehen für Heizzentralen und saisonale Wärmespeicher. Zudem weist der kommunale Wärmeplan sogenannte Wärmeversorgungsgebiete (§18 WPG) mit unterschiedlichen Wärmeversorgungsarten (§19 WPG) für die netzgebundene oder dezentrale Wärmeversorgung aus. Dies sind Gebiete, welche sich zum Anschluss an ein Fernwärmenetz eignen, sowie Gebiete, die eher dezentral, also insbesondere mittels Wärmepumpen, beheizbar sind. Dabei werden jeweils die Wärmeversorgungsarten ermittelt, die möglichst geringe Wärmekosten bei gleichzeitig hoher Versorgungssicherheit und einer klimaneutralen Wärmeerzeugung aufweisen. Auch Gebiete, in denen ein Wasserstoffnetz geplant wird, können unter bestimmten Bedingungen ausgewiesen werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Wasserstoff vermutlich nur in Ausnahmefällen zur Anwendung kommen. Gebiete, in denen durch energetische Sanierungen sehr hohe Einsparungen beim Wärmeverbrauch erreicht werden können, werden ebenfalls ausgewiesen.

Abbildung 2: Kartenausschnitt Potenzial Abwassernutzung der Stadt Konstanz



Quelle: Ausschnitt aus dem Energienutzungsplan Konstanz der ein Gebiet zeigt, in dem Abwärme aus dem Abwasserkanal (schwarzer Strich) genutzt werden kann (Lehr, Beck & Göppel, 2018)

Auf dieser Basis lässt sich eine Umsetzungsstrategie erstellen, die die Erschließung von Wärmequellen für ein Fernwärmenetz umfasst, die aber auch

den Rückbau des Erdgasnetzes beschreibt und ggf. identifiziert, wie der Gebäudebestand so umgebaut werden kann, dass er mit erneuerbaren Energien beheizt werden kann. Zusätzlich lassen sich Planungen für energetische Sanierungsgebiete darstellen, mit denen die Transformation zur Versorgung mit erneuerbarer Wärme koordiniert für ganze Quartiere erfolgen soll.

Die Erstellung eines kommunalen Wärmeplans ist ein erster Schritt, der regelmäßig fortgeschrieben werden muss, um eine Transformation zu ermöglichen. Das Wärmeplanungsgesetz verpflichtet Kommunen, spätestens nach fünf Jahren den Wärmeplan zu evaluieren, die Fortschritte zu überprüfen und bei Bedarf zu aktualisieren (§25 WPG). Nur so kann eine Umsetzungsorientierung sichergestellt werden: "Kommunale Wärmeplanung ist nicht nur ein Instrument, sondern auch ein auf mehrere Jahrzehnte angelegter Multiaktors-Prozess unter Federführung der Kommune" (Riechel & Walter 2022).

Beispiel: kommunaler Wärmepläne

Eine Reihe von Kommunen hat bereits kommunale Wärmepläne, meist durch externe Ingenieurbüros, erarbeiten lassen und Dokumente dazu publiziert. Beispiele sind:

- Energieleitplan Stadt **Konstanz** (Lehr, Beck & Göppel, 2018)
- Masterplan Wärme **Freiburg i.Br.** (GEF Ingenieur AG, IFEU & badenova Gruppe, 2021)
- Energieleitplan Stadt **Bruchsal** (Umwelt- und EnergieAgentur Karlsruhe GmbH & Smart Geomatics Informationssysteme GmbH, 2020)

Energieplankarte Stadt **Zürich** (Stadt Zürich, 2017)

Der Blick in die Berichte zu den Energieplänen wie auch in die publizierten Kartenmaterialien ist instruktiv. Eine laufend aktualisierte Übersicht über Wärmepläne aus Deutschland bietet die Seite des Kompetenzzentrums kommunale Wärmewende: <https://www.kww-halle.de/wissen/themen-der-kommunalen-waermeplanung/praxisbeispiele-in-der-uebersicht/kommunale-waermeplaene-im-ueberblick>.

Welches sind die rechtlichen Grundlagen der kommunalen Wärmeplanung?

Das Wärmeplanungsgesetz des Bundes, das zum 01.01.2024 in Kraft getreten ist, schreibt vor, dass für alle Kommunen in Deutschland kommunale Wärmepläne erstellt werden müssen. Da der Bund aufgrund der föderalen Struktur Deutschlands die Kommunen nicht direkt verpflichten kann (Agora Energiewende, 2019, S. 27), sind die Länder verpflichtet, eine entsprechende Umsetzung des Bundesgesetzes in Landesrecht durchzuführen. Einige Bundesländer haben bereits Regelungen zur kommunalen Wärmeplanung erlassen, beispielsweise Hamburg, Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg und Hessen.

Das Wärmeplanungsgesetz des Bundes sieht vor, dass Kommunen mit mehr als 100.000 Einwohner*innen bis zum 30.06.2026 einen kommunalen Wärmeplan vorlegen müssen. Kommunen mit weniger als 100.000 Einwohner*innen haben bis zum 30.06.2028 Zeit, einen entsprechenden Wärmeplan zu erstellen. Die Länder haben die Möglichkeit, ein vereinfachtes Verfahren für besonders kleine Kommunen zu definieren. Die Wärmeplanung hat dabei immer den folgenden Grundaufbau und umfasst:

- den Beschluss über die Durchführung der Wärmeplanung
- die Bestandsanalyse nach § 15
- die Potenzialanalyse nach § 16
- die Entwicklung und Beschreibung eines Zielszenarios nach § 17
- die Einteilung des beplanten Gebiets in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete nach § 18 sowie die Darstellung der Wärmeversorgungsarten für das Zieljahr nach § 19 und
- die Entwicklung einer Umsetzungsstrategie mit konkreten Umsetzungsmaßnahmen, die innerhalb des beplanten Gebiets zur Erreichung des Zielszenarios beitragen sollen, nach § 20.

In Gebieten mit geringer Wärmedichte kann durch eine so genannte Eignungsprüfung nach § 14 quasi im Schnellverfahren die Eignung für ein Wärme- oder Wasserstoffnetz ausgeschlossen werden. In diesem Fall kann ein verkürztes Verfahren ohne vollständige Bestandsanalyse für das Gebiet durchgeführt werden.

Durch das Wärmeplanungsgesetz und seine Umsetzung in Landesrecht in den Bundesländern wird die kommunale Wärmeplanung zur Pflichtaufgabe

für alle Kommunen. Erstmals wird damit ein Bereich des Klimaschutzes zur kommunalen Pflichtaufgabe.

Einhergehend mit der Pflichtaufgabe haben die Kommunen auch Anspruch auf einen entsprechenden finanziellen Ausgleich für die entstehenden Kosten der Wärmeplanung. Die Details dieser so genannten Konnexitätszahlungen regeln die Länder in ihren jeweiligen Landesgesetzen und Verordnungen.

Welche Abteilung der Kommunalverwaltung könnte die Zuständigkeit übernehmen?

Die Aufstellung eines kommunalen Wärmeplans ist eine Teamaufgabe, für die Fähigkeiten zur Koordination zahlreicher Akteure genauso nützlich sind wie Kenntnisse im Umgang mit Geodaten, Erfahrung im Umgang mit Flächennutzungsplänen oder Sanierungsgebieten sowie mit der Durchsetzung von Zielen des Klimaschutzes und Energiefragen. Die Frage, ob die zentrale Zuständigkeit für die Aufstellung eines Wärmeplans in der Stadtplanung, im Umwelt- und Klimaschutz oder im Stab des Bürgermeisterbüros angesiedelt wird, lässt sich nicht eindeutig beantworten und hängt nicht zuletzt davon ab, welche Personen für die Aufgabe zur Verfügung stehen. Das Gefühl des Ownerships am Wärmeplan bei denjenigen zu erzeugen, die am Ende den Plan umsetzen müssen, ist ein weiterer wichtiger Aspekt.

Mit Blick auf die vorhandenen Kompetenzen und Kapazitäten in der Verwaltung wie auch in den möglicherweise vorhandenen Stadtwerken ist weiter zu klären, in welchem Umfang ggf. ein Dienstleister mit der Erstellung des kommunalen Wärmeplans beauftragt werden kann. Wer auch immer die Arbeit koordiniert, wird innerhalb der Verwaltung zur Datenerhebung, Planung und Umsetzung mit verschiedenen Einheiten zusammenarbeiten müssen (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021):

- Stadtplanung und -entwicklung,
- Umweltschutz / Klimaschutz / Energie,
- Stadtwerke und Eigenbetriebe (Energieversorgungsunternehmen, Wasserversorgung, Wohnungsbau) sowie
- Energieplanung / Energiemanagement.

Zusätzlich können Informationen aus dem Tiefbau, dem Hochbau, der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung, dem Denkmalschutz, dem Liegenschaftsmanagement, dem Verkehrsmanagement sowie der Kämmerei erforderlich werden.

Bisher wird Wärmeplanung meist auf der Ebene der Einzelgemeinde gedacht. Gerade für kleine Gemeinden kann jedoch auch eine Wärmeplanung im Konvoi mit mehreren Gemeinden gemeinsam eine gute Möglichkeit sein, um Ressourcen zu bündeln. Aus der Erfahrung bisheriger Wärmeplanungen empfiehlt sich bei einer gemeinsamen Wärmeplanung ein Konvoi von zwei bis circa zwölf Kommunen. Zu große Konvois bedeuten einen hohen Koordinationsaufwand, bei dem die einzelne Kommune oft weniger individuell betrachtet werden kann. Eine gemeinsame Wärmeplanung kann besonders fruchtbar sein, wenn bereits gute Arbeitsbeziehungen und Kooperationsformate zwischen den Kommunen bestehen und ein gleiches Verständnis über die Zeitpläne und Ziele im Rahmen der Wärmeplanung besteht. Synergien ergeben sich beispielsweise bei der gemeinsamen Ausschreibung von Dienstleistungen, im Rahmen einer gemeinsamen Datenerhebung und -analyse, aber möglicherweise auch im späteren Verlauf bei der Maßnahmenumsetzung. Eine gemeinsame Wärmeplanung im Konvoi ermöglicht die Nutzung potenzieller Synergien wie beispielsweise eine große räumliche Nähe, direkt angrenzende Wohn- oder Gewerbegebiete oder gemeinsam nutzbare Wärme- und Abwärmequellen. Diese Synergien sind besonders relevant, wenn Wärmequellen vorhanden sind, die eine Kommune alleine nicht ausschöpfen kann, z.B. bei ergiebigen Abwärmequellen. Ein besonderes Beispiel einer solchen interkommunalen Kooperation zeigt sich grenzüberschreitend zwischen den Städten Strasbourg und Kehl. Während in Kehl besonders große Abwärmemengen aus der Industrieproduktion vorliegen, plant das benachbarte Strasbourg den Ausbau des städtischen Wärmenetzes und wird zukünftig Kehler Abwärme nutzen, die mittels einer Wärmeleitung nach Strasbourg transportiert wird.

Eine zentrale Rolle spielt die Informationstechnik, da viele relevante Daten bereits in Geodatenbanken bereitstehen. In einigen Bundesländern bieten die Landesenergieagenturen bereits Geoinformationsdaten mit grundlegenden Informationen zur Wärmeplanung an, die dann durch eigene Datenerhebungen erweitert und zu einem digitalen Zwilling der Kommune ausgebaut werden können. Von Anfang an sollte der Prozess der kartografischen Planungen

IT-gestützt so weit als möglich automatisiert werden, denn nur so wird die Arbeit der kontinuierlichen Aktualisierung leistbar (Clausen, Benne, & Hinterholzer, 2021). Und je mehr Arbeit automatisch und digital abläuft, desto mehr werden Ressourcen frei für Kommunikations- und Planungsprozesse mit Stakeholdern und Öffentlichkeit.

Grundsätzlich erscheint es sinnvoll, die Wärmeplanung als neue Planungshoheit der Kommune zu verankern und entsprechendes Know-how in der Kommune aufzubauen und zu halten. Je weniger Dienstleistungen von außen zugekauft werden, desto eigenständiger kann die Kommune sich diese Planungshoheit erschließen. Wissen und Fähigkeiten sollten mittelfristig in der Kommunalverwaltung aufgebaut werden. Gerade kleine Kommunen aber werden bei der Aufstellung des Wärmeplans externe Hilfe benötigen.

Welche externen Ressourcen können eingebunden werden?

Das Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW) Deutsche Energie-Agentur (dena) in Halle (Saale) (www.kww-halle.de) berät Kommunen, bündelt Informationen zur kommunalen Wärmewende und baut das Angebot an Mustervorlagen und Best Practice-Beispielen in Zusammenarbeit mit den Landesenergieagenturen laufend aus.

Zudem unterstützen die Landesenergieagenturen in den Bundesländern die Kommunen vor Ort und bieten oftmals landesspezifische Unterstützungsangebote für Kommunen an. So werden in Nordrhein-Westfalen und Hessen beispielsweise Daten in einem zentralen Wärmekataster für Kommunen zur Verfügung gestellt (vgl. LEA (2024) und LANUV (2020)). Manche Landesenergieagenturen wie beispielsweise Niedersachsen und Hessen bieten regelmäßige Sprechstunden zur Beantwortung von Fragen. Auch kostenlose Fördermittelberatungen werden angeboten, die insbesondere bei der Erarbeitung von Maßnahmen und deren Finanzierung von Nutzen sein können. Des Weiteren ermöglichen Veranstaltungen und Netzwerke für Kommunen und Stadtwerke gegenseitigen Austausch. In einigen Bundesländern existieren regionale Stellen, die zusätzlich ortsnahe die Kommunen bei der kommunalen Wärmeplanung unterstützen. Dies ist beispielsweise in Baden-Württemberg mit über 30 regionalen Energieagenturen der Fall. Diese geben Kommunen individuelle Unterstützung und Begleitung. Ein verstärkter Ausbau solcher

Unterstützungsstrukturen scheint dringend wünschenswert, angesichts der Tatsache, dass die kommunale Wärmeplanung für alle Kommunen zur Pflichtaufgabe wird und insbesondere in kleinen Kommunen die Ressourcen dafür begrenzt sind.

Einige Dienstleister bieten auch heute schon an, Kommunen bei der Aufstellung der kommunalen Wärmeplanung zu unterstützen. Hierzu gehören u.a.:

- Unternehmen, die sich auf Energiekartografie, Software und Geodaten spezialisiert haben und so hochautomatisiert die notwendigen Daten, soweit sie bereits in Datenbeständen verfügbar sind, zusammenstellen und in die Planungsgrundlage des Wärmeplans einpflegen können,
- Stadtwerke und Energieversorger, die Beratung und Erstellung der kommunalen Wärmeplanung für Kommunen übernehmen können,
- Energieplanungs- und Ingenieurbüros mit Kompetenzen in der Wärmeplanung.

Eine Übersicht möglicher Dienstleister wird zukünftig durch das Kompetenzzentrum kommunale Wärmewende (KWW) bereitgestellt.

Um einen Auftrag an einen dieser Anbieter zu vergeben, muss die Dienstleistung im Haushaltsplan finanziert und ausgeschrieben werden. Das Kompetenzzentrum kommunale Wärmewende wird hierzu eine Hilfestellung zur Erstellung eines Leistungsverzeichnisses für einen kommunalen Wärmeplan bereitstellen. Ähnliche Hilfestellungen werden auch durch die KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg und die Energieagentur Rheinland-Pfalz bereitgestellt.

Neben Dienstleistern sind auch frei verfügbare Datenbanken und Softwarepakete von Bedeutung. So wurde mit Förderung durch die EU von 2016 bis 2020 eine Open Source Software für die Wärmeplanung entwickelt (Hotmaps-Projekt 2020). Das übergreifende Ziel von Hotmaps war die Entwicklung einer Open Source Kartierungs- und Planungs-Toolbox für Heizung/Kühlung und die Bereitstellung von Standarddaten für die EU28 auf nationaler und lokaler Ebene. Diese Daten und das Tool ermöglichen es, Ressourcen zur kosteneffizienten Deckung des Energiebedarfs zu identifizieren, zu analysieren, zu modellieren und zu kartieren. Hotmaps hilft bei der Entwicklung von Wärme- und Kältestrategien auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene. Hotmaps ist eine GIS-basierte Online-Software, die Behörden

und Energieplaner dabei unterstützt, einen strategischen Wärme- und Kälteplan für ihre Region zu erstellen. Die Software ist unter www.hotmaps.eu verfügbar. Eine detailliertere Planung ermöglicht zudem das OpenSource Tool Thermos, welches unter <https://www.thermos-project.eu/home/> frei zur Verfügung steht.

Mit dem Pan-European Thermal Atlas (Peta) steht Wärmeplanern zusätzlich eine interaktive Karte zur Verfügung, die eine schnelle Überprüfung der in den Regionen verfügbaren thermischen Ressourcen und des Wärmebedarfs ermöglicht (Heat Roadmap Europe u. a. 2018). Der Atlas verwendet offen zugängliche Geodaten der Europäischen Kommission, der Europäischen Umweltagentur und von Eurostat.

Neben Datenbanken werden auch lokale Daten, z.B. von Netzbetreibern, Schornsteinfegern und Unternehmen benötigt. Direkt beim erstmaligen Abrufen dieser Daten sollte ein festes Vorgehen mit den Daten-Eigentümern vereinbart werden, wie eine regelmäßige Aktualisierung erfolgen kann, denn die Datensammlung ist typischerweise eine große Barriere für Aktualisierungen der Wärmeplanung. Besonders bei Personalwechsel oder langen Zeiträumen zwischen den Aktualisierungen, geht das Wissen wie auch die Kontakte zu den Datenquellen oft verloren. Um den Zugriff auf solche Daten und deren Nutzung für die kommunale Wärmeplanung zu ermöglichen, ist es hilfreich, wenn die Zurverfügungstellung der Daten für diesen Zwecke gesetzlich geregelt ist und die Kommunen so auf diese Datenquellen rechtssicher zugreifen können.

Welche Akteure sollten an der Planung beteiligt werden?

Eine zuverlässige Wärmeplanung erfordert die Einbeziehung vieler Akteure. Das Wärmeplanungsgesetz schreibt die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie alle Behörden und Träger öffentlicher Belange, die durch die Wärmeplanung betroffen sind vor. Zudem müssen die Betreiber und potenziellen zukünftigen Betreiber von Energienetzen und Wärmenetzen beteiligt werden (WPG, §7). Nur wenn die Wärmeplanung frühzeitig bei allen mitgedacht wird, kann später die Umsetzung der Maßnahmen gelingen. Es empfiehlt sich daher frühzeitig die Einrichtung einer Projektgruppe, der relevanten Stakeholder. Die Projektgruppe ist von Beginn an begleitend bei der Wärmeplanung beteiligt. Sie

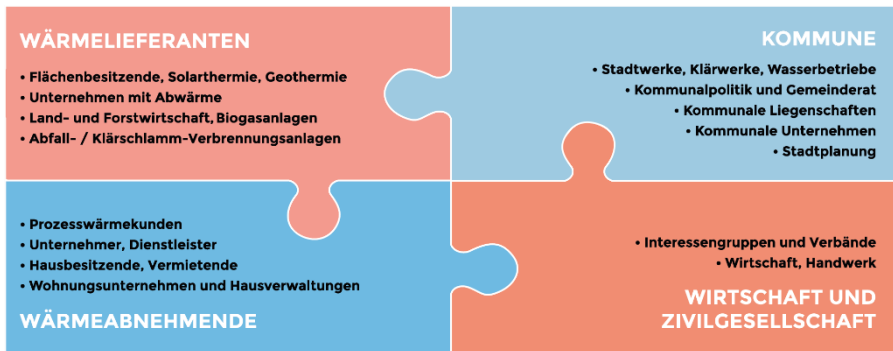
liefert Expertise und lokales Wissen für die Bestands- und Potentialanalyse und ist bei der Erarbeitung von Maßnahmen zur Erreichung des Zielszenarios beteiligt. Es empfiehlt sich zudem die Projektgruppe auch nach der Erstellung des ersten Wärmeplans weiter aktiv zu nutzen, um die Maßnahmenumsetzung voranzubringen. Zunächst ist die Mitarbeit einer Reihe von Abteilungen der Kommunalverwaltung für den Planungsprozess notwendig. Wichtig ist ein klares Commitment der Entscheidungsträger*innen in der Kommunalverwaltung und Kommunalpolitik zu den Zielen der kommunalen Wärmeplanung. Zudem muss seitens der Arbeitsebene Zeit für den Austausch und die Informationsbereitstellung eingeplant werden. Von zentraler Bedeutung sind zudem die lokalen Energieversorger, insbesondere, soweit sie Betreiber von Wärmenetzen, Stromnetzen und Gasnetzen sind. Sie verfügen durch die bei ihnen vorhandenen Kundendaten über exzellente und sehr aktuelle Informationen zum Energieverbrauch ihrer Kunden. Durch das Wärmeplanungsgesetz sind Energieversorger zur Bereitstellung der Daten für die kommunale Wärmeplanung verpflichtet. Das gleiche gilt für die Schornsteinfeger, die Daten zu den Heizungen und Feuerstätten im Rahmen der Wärmeplanung liefern müssen. In den Daten spiegelt sich auch der Fortschritt von Sanierungsaktivitäten im Gebäudebestand. Konkretisieren lassen sich diese Informationen, wenn auch die Wohnungswirtschaft miteinbezogen wird. Wenn diese die Wärmeplanung frühzeitig bei ihren Sanierungsaktivitäten berücksichtigt, kann sie zu einem wichtigen Ankerkunden für zukünftige Wärmenetze werden.

Weitere Akteure, deren Einbeziehung in die Wärmeplanung sinnvoll sein kann, sind:

- Bürgermeister*in sowie der Gemeinde- oder Stadtrat oder andere kommunalpolitische Gremien und
- weitere Akteure der kommunalen Verwaltung wie Klimaschutzmanager, die Verantwortlichen für die Energieversorgung kommunaler Liegenschaften, Hoch- und Tiefbau sowie Mobilität, sowie die Zuständigen für Grünflächen und für Bauleitplanung,
- kommunale Energieversorger,
- Wasser- und Abwasserbetriebe, die einerseits die in den Straßen verlegte Infrastruktur gut kennen und andererseits Informationen zu Abwärmepotentialen im Kanal und an der Kläranlage liefern können,

- technische Planungsbüros, die Tiefbauvorhaben in der Kommune betreuen oder betreut haben und über Kenntnisse der bestehenden Leitungsnetze verfügen,
- Wärmeabnehmende, also Hausbesitzende und Wohnungswirtschaft, ggf. Mieterverbände, Unternehmen und Dienstleister mit Heiz- und Prozesswärmebedarf,
- (Potentielle) Wärmeanbieter, also Betreibende von Unternehmen mit Abwärme, Akteure der Bioenergie, der Energiewirtschaft, ggf. Bürgerenergiegenossenschaften und Besitzende von Flächen, die in Zukunft für die solare oder geothermische Wärmegewinnung oder für Speicher und Heizzentralen benötigt werden,
- zivilgesellschaftliche Gruppen und Verbände, einschließlich lokale Umweltverbände und Vertretungen von Installationshandwerk, Schornsteinfegern und Contracting-Unternehmen.
- Ggf. benachbarte Kommunen, um interkommunale Wärmeprojekte vorantreiben zu können

Abbildung 3: Betroffene und zu Beteiligende an der kommunalen Wärmeplanung



Quelle: eigene Darstellung

Aufgrund der je nach lokaler Situation sehr unterschiedlichen Bedeutung der Gruppen für die kommunale Wärmeplanung geht es hier nicht um einen allgemeinen Prozess der "Bürgerbeteiligung", sondern um einen intensiven fachlichen Austausch mit Wärmeanbietern und Wärmekunden mit dem Ziel, die für die Wärmeplanung nötigen Daten zu erheben, die Planung im Rahmen

des Ziels der Klimaneutralität an den Bedürfnissen der Betroffenen auszurichten und zu einvernehmlich umsetzbaren Maßnahmen zu gelangen. Insbesondere mit großen Wärmekunden, Unternehmen der Energiewirtschaft, aber auch mit der Kommunalpolitik ist u.U. ein intensiver Dialog zu führen, um ihnen die Idee der kommunalen Wärmeplanung zu vermitteln und den Planungsprozess als Chance zu nutzen, Schritte zu einer erneuerbaren Wärmeversorgung einzuleiten.

Handlungsoptionen und Maßnahmenplanung in der kommunalen Wärmeplanung

Der kommunale Wärmeplan hat zum Ziel, die Wärmeversorgung unter dem zeitlichen Druck der sich verschärfenden Klimakrise von fossilen Energieträgern weg und zu erneuerbaren Energieträgern hinzuverlagern und dabei eine Mindestversorgung aller Menschen in der Kommune mit Raumwärme sicherzustellen. Hierzu beschreibt der Plan den Wärmebedarf der Wohnbebauung und des Gewerbes in der Kommune sowie den Um- und Aufbau der zukünftigen Energieversorgungsstruktur. Zu erwartende oder wahrscheinliche Einsparungen an Energie durch Sanierungsmaßnahmen sollten berücksichtigt werden.

Die im Plan enthaltenen Maßnahmen müssen mit Umsetzungsprioritäten versehen und in verbindliche Zeitpläne überführt werden. Nötige Etats für die nächsten Jahre sind zu planen. Auch ein jährliches Monitoring der Fortschritte ist vorzusehen. Wesentliche Handlungsmöglichkeiten der Kommune bestehen in folgenden Bereichen:

Vergleichsweise weitgehend sind die Handlungsmöglichkeiten rund um den Neubau. Die Kommune sollte für **Neubaubereiche** eine erneuerbare Energieversorgung vorsehen und die Versorgung ohne fossile Energieträger wie Erdgas planen. Durch städtebauliche Verträge können bestimmte Energieeffizienzklassen und auch die Nutzung erneuerbarer Energien u.a.m. vorgeschrieben werden.

Komplexer ist die Frage, wie die Kommune im **Gebäudebestand** auf eine klimaneutrale Wärmeversorgung hinwirken kann. Eine der Möglichkeiten ist, den Ausbau oder Neubau eines Wärmenetzes zu initiieren, welches sich aus erneuerbaren Energien speist und der Versorgung von Gebäuden im verdich-

teten Bestand dient. Oftmals sind sich die Beteiligten Akteure noch nicht bewusst welchen „Schatz“ an potenziellen Wärmequellen sie lokal heben können. Allein durch die Informationsbereitstellung im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung werden neue Geschäftsmodelle für Energieversorger und Bürgerenergiegenossenschaften sichtbar. Durch die Erstellung einer geförderten Machbarkeitsstudie kann das in der Wärmeplanung identifizierte grundlegende Potential konkretisiert und eine technisch und wirtschaftlich umsetzbare Vorzugsvariante berechnet werden. Kommt es zur Umsetzung in Form eines Wärmenetzes ist auch die Verhängung eines **Anschluss- und Benutzungszwangs** an die Fernwärme nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) rechtmäßig, wenn er sich mit Fortschritten im Klimaschutz begründen lässt (Die Bundesregierung, 2024). In Gebieten mit einem Anschluss- und Benutzungszwang dürfen keine fossilen Heizungsanlagen mehr neu gebaut oder ersetzt werden, sondern es muss stattdessen entweder ein Anschluss an das - regenerative - Wärmenetz erfolgen oder eine Heizung auf Basis erneuerbarer Energien eingebaut werden, wie dies z.B. in der neuen Fernwärmesatzung von Hannover geregelt ist (Landeshauptstadt Hannover, 2022). Wenn die Umsetzung des Anschluss- und Benutzungszwang fortschreitet, wird das Gasnetz immer weniger genutzt. Die Wärmeplanung sollte daher auch den Rückbau des Gasnetzes planen, da dieses mit sinkendem Erdgasabsatz immer unwirtschaftlicher wird und Netzbetreiber wie z.B. die Stadtwerke zunehmend wirtschaftlich belasten wird.

Gleichzeitig schafft die kommunale Wärmeplanung auch einen Rahmen, um die Umstellung bestehender - oftmals noch fossil betriebener - Wärmenetze auf regenerative Technologien zu forcieren. Dies stellt gerade für die mitunter stadteigenen Energieversorgungsunternehmen eine enorme Herausforderung dar. Umso wichtiger ist, dass hier bereits frühzeitig ein Konsens erarbeitet wird, wie eine Transformation der bestehenden Wärmenetze gelingen kann.

Im Bestand können beispielsweise mittels Quartierskonzepten und einem Quartiersmanagement Pläne für die Entwicklung eines klimafreundlichen und energieeffizienten Quartiers erarbeitet werden, die auch weitere Aspekte, wie demographische Veränderungen, den sozialen Zusammenhalt oder Aspekte der Mobilitätswende berücksichtigen. Durch ein Quartiersmanagement können gezielt auch Eigentümer angesprochen, beraten und für weitere Maßnahmen gewonnen werden. Eine weitere Option stellt die Einrichtung

energetischer Sanierungsgebiete dar. Kommunen können den schlechten Sanierungszustand von Gebäudebeständen als „städtebaulichen Mischstand“ einstufen und diesen mit mangelndem Klimaschutz begründen, was baurechtlich zulässig sei (Rath & Ekardt, 2021, S. 18). Im Rahmen einer städtebaulichen Sanierungsmaßnahme können Bau- und Ordnungsmaßnahmen nach §§ 146f BauGB ergriffen werden. *„Die Baumaßnahmen eröffnen die Möglichkeit zur Errichtung oder Erweiterung von Anlagen und Einrichtungen zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung, § 148 Abs. 2 BauGB“* (Rath & Ekardt, 2021, S. 18).

Im nicht verdichteten Bestand von Einfamilien- und Reihenhäusern wird sich die Wärmepumpe als dominierendes Heizungssystem durchsetzen. Die Kommune sollte in solchen Gebieten zusammen mit dem Stromversorger sicherstellen, dass das Stromnetz für die neue Herausforderungen der Versorgung einer großen Zahl von Wärmepumpen wo nötig ertüchtigt wird. Ebenso ist der Ausbau der PV- und der Elektromobilität zu berücksichtigen. Sowohl Wärmepumpen wie auch Ladestationen sollten mit dem Stromnetz kommunizieren und vom Netzbetreiber netzdienlich „smart“ gesteuert werden können.

Diese und andere Maßnahmen sind im kommunalen Wärmeplan niederzulegen. Sie sind konsequent umzusetzen und das Ziel der Klimaneutralität ist dabei immer im Auge zu behalten.

Den Wärmeplan umsetzen

Das selbstverständliche Ziel der Wärmeplanung ist es, dass ein möglichst guter Wärmeplan in jeder Kommune schnell und effektiv umgesetzt wird. Was passiert aber, wenn der Wärmeplan fertig ist? Der für die Planung wichtige Fokus auf die technischen und Daten bezogenen Aspekte birgt die Gefahr, dass am Ende ein Plan existiert, für den sich niemand in der Verwaltung, der Kommunalpolitik und der Bevölkerung verantwortlich fühlt.

Im Ergebnis sollte ein Plan vorliegen, mit dem Verwaltungsmitarbeitende kompetent umgehen können, weil sie gelernt haben, welche Funktionen in der GIS-Version und in den Datenbanken nützlich sind; ein Plan, mit dem sich

z.B. das Bauamt identifiziert und dementsprechend die Umsetzung der Maßnahmen konsequent forciert; ein Plan, der für kommunale Parlamente erschließbar und für die Umsetzungskontrolle nutzbar ist.

Da für die Planerstellung Daten aus vielen Verwaltungsstellen notwendig sind, ist dies eine Gelegenheit, vielen Abteilungsleitungen ihren Beitrag zum Klimaschutz deutlich und erlebbar zu machen. Es ist wichtig, dass während der Planerstellung nicht der Eindruck entsteht: „Gebt uns als Dienstleistungsbüro alle Daten, wir erstellen dann den Wärmeplan für euch und ihr habt damit nichts mehr zu tun“. Dann ist wahrscheinlich, dass der Plan in der Schublade verschwindet oder nicht an den speziellen Bedürfnissen der beauftragenden Kommune ausgerichtet ist.

Der Prozess muss vielmehr in engem Austausch mit den beteiligten Verwaltungsstellen geführt werden. Die Koordination der Erstellung des Wärmeplans, sei sie nun eine interne Stelle oder ein externes Büro, sollte vielmehr die Daten zusammentragen, sie in einer GIS-basierten Datenbasis wie auch in einem Bericht zugänglich machen und dann in Vorbereitung der Maßnahmenentwicklung an die beteiligten Verwaltungsstellen und die anderen für die Umsetzung der Maßnahmen wichtigen Akteure, z.B. die Stadtwerke, zurückgeben.

In einem intensiven fachlichen wie auch politischen Austausch mit Wärmeabnehmer*innen, Wärmelieferant*innen und den anderen beteiligten Akteuren einschließlich Verwaltung und Gemeinderat werden dann die Maßnahmen zur Umsetzung des Wärmeplans erarbeitet. Nicht zuletzt sollte die Projektgruppe mit den beteiligten Akteuren, die zu Beginn der Wärmeplanung gegründet wurde, in einem geeigneten Format fortgeführt werden. Der enge Dialog zwischen Kommune, (potenziellen) Wärmelieferanten und Wärmeabnehmern ist die Voraussetzung für einen erfolgreichen Aufbau einer neuen, erneuerbaren Wärmeversorgung vor Ort. Der gesamte Prozess der kommunalen Wärmeplanung sollte dabei die beteiligten Akteure involvieren, weiterbilden und befähigen, den Umsetzungsprozess im Anschluss an den Beschluss des Wärmeplans in ihrem jeweiligen Verantwortungsbereich voranzutreiben. Auch dies ist Aufgabe der Wärmeplanung. Jede Amtsleiterrunde und jede Sitzung des Gemeinderats, in der der Wärmeplan Thema ist, kann so zu einer Klimaschutzweiterbildung werden.

Durch jährliche Berichterstattung und Monitoring der Fortschritte sollten alle an der Planumsetzung beteiligten Verwaltungsstellen wie auch die externen Akteure über die Planumsetzung an eine (im Plan festzulegende) Koordinierungsstelle öffentlichkeitswirksam berichten und dabei neben den Fortschritten der Planumsetzung auch die Menge der eingesparten Energie oder die Menge der neu erschlossenen regenerativen Wärme quantifizieren. Nur so lassen sich Fortschritte auf dem Weg zur Klimaneutralität gestalten und zuverlässig nachweisen.

Wie kann die kommunale Wärmeplanung kommuniziert werden?

Die Öffentlichkeitsarbeit ist ein unverzichtbarer Teil einer auf den Umsetzungserfolg orientierten kommunalen Wärmeplanung. Frühzeitige Informationen darüber, was ein Wärmeplan ist und dass überhaupt einer erstellt wird, können dazu führen, dass Menschen klug sind und auf den Anschluss an ein Wärmenetz warten, anstatt eine Wärmepumpe oder eine Pelletheizung einzubauen. Genossenschaften für Wärmenetze bilden sich eher, wenn sie erfahren, wo geeignete Gebiete für Wärmenetze sind und welche regenerativen Wärmequellen genutzt werden können. Und auch Unternehmen, bei denen Abwärme anfällt, können nur dann auf sich aufmerksam machen, wenn sie von der Wärmeplanung wissen.

Die Kommunikation muss parallel mit dem Beginn der kommunalen Wärmeplanung seitens der Kommune begonnen und über den gesamten Zeitraum der Erstellung und der Umsetzung erfolgen. Am besten gelingt das, wenn die verantwortliche Stelle eine ständige Kommunikation mit und Informationen der Bürger*innen organisiert, regelmäßige Informationsveranstaltungen durchführt und dazu alle verfügbaren Medien nutzt, zum Beispiel eine eigens dafür erstellte Internetplattform. Auch aktive Zusammenarbeit mit lokalen und regionalen Medien ist wichtig.

Quellen

- AGEB. (2021). *Energieverbrauch in Deutschland Daten für das 1. bis 3. Quartal 2021*. Münster. Verfügbar unter: <https://www.ag-energiebilanzen.de/>
- Agora Energiewende. (2019). *Wie werden Wärmenetze grün?* Berlin. Verfügbar unter https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Waermetze/155_Waermetze_WEB.pdf
- BMWK & BMWSB. (2023). Gesetz zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung des Bürgerlichen Gesetzbuches, zur Änderung der Verordnung über Heizkostenabrechnung, zur Änderung der Betriebskostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung. Berlin. Zugriff am 15.1.2024. Verfügbar unter: <https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/280/VO.html>
- Chittum, A., & Østergaard, P. A. (2014). How Danish communal heat planning empowers municipalities and benefits individual consumers. *Energy Policy*, 74, 465–474. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.001>
- Clausen, J., Benne, M., & Hinterholzer, S. (2021). *Wärmeplanung als Instrument der Wärmewende. Digitale Unterstützung als Schlüssel zur Verbreitung in der Verwaltung. CliDiTrans Werkstattbericht*. Berlin: Borderstep Institut. Verfügbar unter <https://www.borderstep.de/publikation/clausen-j-benne-m-hinterholzer-s-2021-waermeplanung-als-instrument-der-waermewende-digitale-unterstuetzung-als-schluessel-zur-verbreitung-in-der-verwaltung-cliditrans-werkstattbericht-b/>
- Clausen, J., Ehrhardt, H., Huber, M., Linow, S., Seifert, T. & Beisheim, M. (2022). *Heizen mit Holz: knapp, teuer und unerwartet klimaschädlich. Policy Paper der Scientist for Future*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Danish Energy Agency. (2012). *Varmeprisanalyse* [Studie]. Kopenhagen: Forsyningstilsynet. Verfügbar unter <https://forsyningstilsynet.dk/media/5192/varmeprisanalyse.pdf>
- Die Bundesregierung. (2023). Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze. Berlin. Zugriff am 1.2.2024. Verfügbar unter: https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/waermeplanung/wpg-bgbl.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- Die Bundesregierung. (2024). Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG). Berlin. Zugriff am 1.2.2024. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/index.html>
- GEF Ingenieur AG, IFEU & badenova Gruppe. (2021). *Masterplan Wärme Freiburg 2030*. Freiburg i.Br. Verfügbar unter: <https://www.freiburg.de/pb/1847688.html>
- Hansestadt Hamburg (2020). *Hamburgisches Gesetz zum Schutz des Klimas (Hamburgisches Klimaschutzgesetz—HmbKliSchG)*.

- Heat Roadmap Europe, Europa Universität Flensburg, & Högskolan Halmstad. (2018). Pan-European Thermal Atlas 4.3. Verfügbar unter <https://heatroadmap.eu/peta4/>
- Hotmaps-Projekt. (2020). *Die Hotmaps-Toolbox. Unterstützung für die strategische Wärme- und Kälteplanung auf lokaler Ebene*. Europa. Verfügbar unter: <https://www.hotmaps-project.eu/strategic-heatingcooling-planning-with-hot-maps/>
- KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH. (2022). *Muster-Leistungsverzeichnis zur Vergabe und Ausschreibung von kommunalen Wärmeplänen*. Karlsruhe. Verfügbar unter: <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissenportal/kommunale-waermeplanung/leistungsverzeichnis>
- Koalitionsausschuss der Bundesregierung. (2022). *Ergebnis des Koalitionsausschusses vom 23. März 2022. Maßnahmenpaket des Bundes zum Umgang mit den hohen Energiekosten*. Berlin. Verfügbar unter <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Entlastungen/masnahmenpaket-bund-hohe-energiekosten.html>
- Landesregierung Baden-Württemberg. (2013). *Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW) vom 23. Juli 2013*. Stuttgart. Verfügbar unter: https://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/5oe/page/bsbawueprod.psm1/screen/JWPDFScreen/filename/KlimaSchG_BW.pdf
- Land Schleswig-Holstein. (2021). *Gesetz zur Änderung des Energiewende- und Klimaschutzgesetzes Schleswig-Holstein*. Kiel. Verfügbar unter https://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/IV/Service/GVOBl/GVOBl/2021/gvobl_16_2021.html
- Landeshauptstadt Hannover. (2022). *Drucksache Nr. 0081/2022 N1: Fernwärmesatzung Hannover*. Hannover. Verfügbar unter: <https://e-government.hannover-stadt.de/lhhsimwebre.nsf/DS/0081-2022N1>
- Landtag von Baden-Württemberg. (2020, 10). *Gesetz zur Weiterentwicklung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg*. Verfügbar unter: https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP16/Drucksachen/8000/16_8993_D.pdf
- LANUV. (2020). *Energieatlas NRW*. Zugriff am 2.2.2024. Verfügbar unter: https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarte_waerme
- LEA. (2024). *Wärmeatlas Hessen*. Zugriff am 2.2.2024. Verfügbar unter: https://www.waermeatlas-hessen.de/#z=8&c=9.0006%2C50.6068&r=0&l=top_plus_open%2Cde_grid_25832_group
- Lehr, N., Beck, T. & Göppel, W. (2018). *Energienutzungsplan Konstanz*. Konstanz. Verfügbar unter: https://www.konstanz.de/leben+in+konstanz/umwelt/klima+_energie/energienutzungsplan
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2021). *Kommunale Wärmeplanung. Handlungsleitfaden*. Stuttgart. Verfügbar unter

<https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikation/did/handlungsleitfaden-kommunale-waermeplanung/>

- Rath, T., & Ekardt, F. (2021). Kommunale Wärmewende: Bau- und kommunalrechtliche Handlungsoptionen. *ZNER*, (1), 12–22.
- Riechel, R. & Walter, J. (2022). *Kurzgutachten Kommunale Wärmeplanung*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/kurzgutachten-kommunale-waermeplanung>
- Stadt Freiburg i.Br. (2022). Eignungsgebiete Zukunft. *Geoportal Freiburg*. Verfügbar unter: https://geoportal.freiburg.de/freigis/?Map/layerIds=terrain_3d,buildings_3d,topplus_grau_wmts,alkis_sw_bg,wk_bbl_2020,wk_eig_z&visibility=true,true,true,true,true,true&transparency=0,0,0,0,0,0&Map/center=#
- Stadt Zürich. (2017). *Energieplankarte der Stadt Zürich*. Zürich. Verfügbar unter: <https://www.stadt-zuerich.ch/energie/de/index/energiepolitik/energieplanung/dokumente.html>
- Tammen, M. (2022, Februar 25). E-Mail AW: Nachfragen zu „Kommunale Wärmeplanung - wie geht das“.
- Umwelt- und EnergieAgentur Karlsruhe GmbH & Smart Geomatics Informationssysteme GmbH. (2020). *Energieleitplan Bruchsal*. Bruchsal. Verfügbar unter: <https://www.bruchsal.de/Home/Leben+in+Bruchsal/energieleitplan+bruchsal.html>

2. Energieeffiziente Gebäude

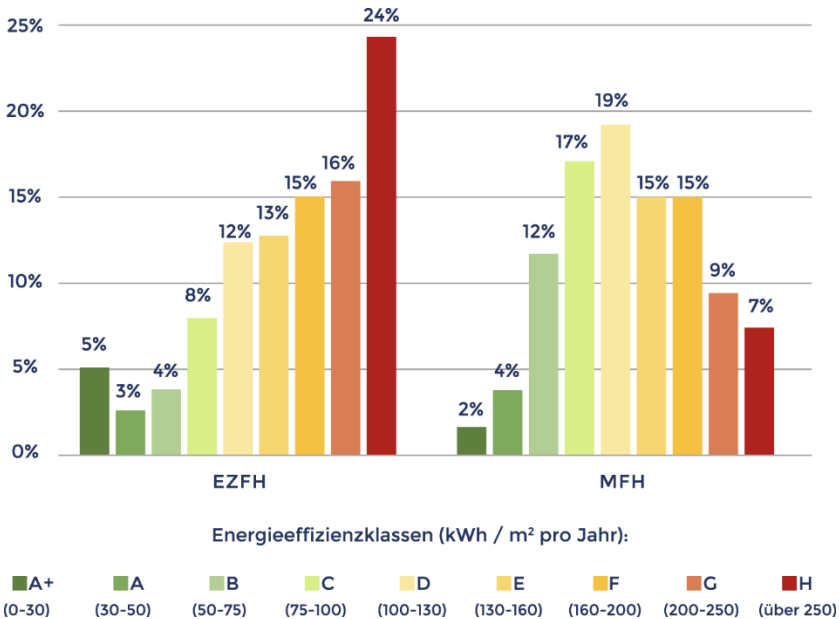
Autoren: Golla, Stefan; Huber, Michael; Clausen, Jens; Seifert, Thomas

Der deutsche Gebäudebestand spiegelt die niedrigen Energiepreise der letzten Jahrzehnte genauso wie den Wohlstand wider, der den Bau von immer mehr immer größeren Wohnungen ermöglichte. Über Jahrzehnte wurden Häuser gebaut, die relativ schlecht gedämmt sind und viel Wärmeenergie benötigen. Allein 24 % des Bestands an Ein- und Zweifamilienhäusern gehören heute in die schlechteste Energieeffizienzklasse H, die für einen jährlichen Endenergieverbrauch von mehr als 250 kWh/m² steht. 68 % der Ein- und Zweifamilienhäuser gehören in die schlechtesten vier Energieeffizienzklassen E bis H, und in diesen Gebäuden sind Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz dringend notwendig. Im Bestand der Mehrfamilienhäuser ist der Anteil in den Energieeffizienzklassen E bis H mit 46 % deutlich geringer (Abbildung 4).

Ein hoher Endenergieverbrauch im Bestand ist nicht nur für die Hausbesitzenden eine Belastung, sondern auch für die Kommune eine Herausforderung, denn die kommunale Wärmeplanung verpflichtet die Kommune, die zukünftige regenerative Wärmeversorgung des gesamten Gebäudebestands – privat, öffentlich und gewerblich – zu planen. Und je höher die Bedarfe sind, desto schwieriger ist es, die notwendigen CO₂-freien Wärmequellen zu finden und zu erschließen.

Die Verbesserung der Energieeffizienz des Gebäudebestandes ist also eine riesige Herausforderung für die Kommunen (Seifert et al., 2022). Dieses Kapitel richtet sich daher weniger an Hausbesitzende, die das eigene Gebäude sanieren wollen, sondern vor allem an die Kommunalpolitik, die mit geringen eigenen Mitteln möglichst viel zur Verbesserung der Energieeffizienz des Gebäudebestandes beitragen muss. Dabei steht die Qualität der Gebäudehülle im Zentrum dieses Kapitels.

Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Effizienzklassen im deutschen Wohngebäudebestand



Quelle: nach Mellwig (2021)

Dagegen ist es relativ einfach, Neubauten energieeffizient zu planen. Aufgrund des seit Anfang 2024 nochmals verschärften Gebäudeenergiegesetzes (GEG) müssen Gebäude ohnehin vergleichsweise energieeffizient errichtet werden. Durch Vorgaben in den Bebauungsplänen und entsprechende Klauseln in den Kaufverträgen vom Bauland bei Stadtentwicklungsprojekten können weitere Anforderungen auch in der Wärmeversorgung durchgesetzt werden. Auch dadurch, dass in Neubaugebieten oftmals gar keine Gasnetze mehr verlegt werden, ist eine regenerative Versorgung mit der benötigten, verhältnismäßig geringen Energiemenge in Form von Strom weitgehend gesichert (Barth et al. 2021). Ein wesentliches Problem von Neubaugebieten sowie jedem zusätzlich errichteten Gebäude ist jedoch, dass sie auf Jahrzehnte hinaus den Endenergieverbrauch erhöhen, allein schon durch die Nutzung der neuen Gebäude. Darüber hinaus verursachen sie einen erheblichen Ressourcenverbrauch, nicht nur für die Errichtung der Gebäude, sondern auch für den Neubau der notwendigen Infrastruktur wie z.B. dem Straßenbau. Der mit

Neubaubereichen verbundene Flächenverbrauch geht in der Regel zu Lasten der Naturflächen und Ackerflächen und steht im Widerspruch zu den Zielen des Flächenparens.

Kernaussagen

Ein energieeffizienter Gebäudebestand ist eine wesentliche Voraussetzung für die Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energie und damit zum Erreichen der kommunalen Klimaneutralität. Er senkt nicht nur den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen, sondern auch die Energiekosten und trägt so zur Sicherung der Daseinsvorsorge aller Menschen bei. Aber die meisten Gebäude gehören nicht der Gemeinde, sondern privaten Besitzern. Daher ist die Frage: was kann nun die Gemeinde tun, um einen energieeffizienten Gebäudebestand zu erreichen und damit der Klimaneutralität näherzukommen?

- Eine aktive, bürgernahe, kompetente Energieberatung ist wichtig, um die Gebäudebesitzer:innen zu informieren, wie sie ihre Immobilien möglichst wirksam und kosteneffizient auf einen möglichst hohen energetischen Standard bringen können. Je nach Größe der Gemeinde kann diese Energieberatung eigenständig oder auf Landkreisebene erfolgen.
- Eine Reihe von ordnungsrechtlichen Vorschriften setzen schon heute Mindeststandards der Energieeffizienz für den Gebäudebestand, wie auch bei Neu- und Umbauprojekten. Aber kaum eine Baubehörde, und meist auch keine andere Institution, kümmert sich um den Vollzug. Hier aktiv zu werden, würde Dinge in Bewegung bringen, ohne dass der Staat Fördermittel in die Hand nehmen muss. In den Ordnungs- und Bauämtern sollte die benötigte Fachkenntnis durch kontinuierliche Fortbildung ohnehin vorhanden sein.
- Die Dämmung der obersten Geschossdecke gehört oft zu diesen Pflichten und lässt sich dort, wo sie noch nicht erfolgt ist, oft kostengünstig und in Eigenleistung umsetzen. Als Gegenstand der Energieberatung ist sie genauso geeignet wie die Dämmung der Kellerdecke oder des Kellerbodens, eine Kerndämmung bei zweischaligem Mauerwerk oder eine raumluftechnische Anlage bei der Fenstersanierung. Auch die Dämmung bisher ungedämmter Heizungs- und Warmwasserrohre gehört dazu. Einige dieser Maßnahmen können in Eigenleistung umgesetzt

werden und alle sind förderfähig, wenn sie über das gesetzlich Geforderte hinausgehen.

- Mit dem seriellen Sanieren kommt eine neue Technologie auf den Markt, die das Potenzial bietet, besonders die einfachen Mehrfamilienhausbestände aus den 1950er bis 1980er Jahren kostengünstig zu sanieren. Die Gemeinde könnte versuchen, die lokalen Wohnungsunternehmen für diese Sanierungstechnologie zu gewinnen oder auch den eigenen Gebäudebestand seriell sanieren zu lassen.
- Die Erarbeitung von Quartierskonzepten und ein anschließendes Sanierungsmanagement können den Eigentümern in besonders sanierungsbedürftigen Gebieten helfen, schneller voranzukommen. Für diese Aufgabe können Kommunen die KfW-Förderung für Quartierskonzepte und Sanierungsmanagement in Anspruch nehmen. Dies lässt sich gut ergänzen durch die NKI-Förderung für die Anstellung eines Energie- oder Klimaschutzmanagers.

Das Ziel, eine hohe Energieeffizienz im Gebäudebestand zu erreichen, ist eine große Herausforderung für Kommunen. Bis zur Klimaneutralität in 2045 muss dies flächendeckend Realität sein. Es ist daher wichtig, dass jede Kommune ihre planungsrechtlichen und alle anderen Instrumente nutzt, um Einfluss auf die Sanierungsaktivitäten zu nehmen. Die Lebensqualität und die Attraktivität der Kommunen für Unternehmen werden wesentlich davon abhängig sein, frühzeitig in die Planung und Umsetzung dieser Aufgaben einzusteigen.

Sanierung des kommunalen Gebäudebestandes

Kommunen sind Eigentümer einer Vielzahl von Gebäuden und haben damit die Möglichkeit und Pflicht, deren energetischen Zustand zu optimieren. Nur wer seine eigenen Hausaufgaben macht, hat die Überzeugungskraft, die Einwohner:innen zu beraten und zu Anstrengungen, ihre Häuser energetisch zu ertüchtigen, zu motivieren. Neben zahlreichen Verwaltungsgebäuden befinden sich Schulen und KiTas, Kulturbauten, Sportstätten, Bäder usw. in städtischem Besitz. In Frankfurt sind dies z.B. etwa 3.500 Gebäude (Stadt Frankfurt am Main, 2023). Eine große Anzahl an Wohnungen wird von städtischen Wohnungsbaugesellschaften unterhalten (z.B. in Frankfurt knapp 54.000

Wohnungen). Der Einflussbereich der Städte erweitert sich unter Einbeziehung der Gebäude von städtischen Tochter- und Beteiligungsgesellschaften. Nach einer Bestandsaufnahme der Gebäude und ihres energetischen Zustandes ist eine kommunale Sanierungsstrategie zu erstellen, die im Einklang mit dem städtischen Klimaschutzplan und der kommunalen Wärmeplanung die energetisch drängendsten Probleme angeht. Dabei sind die gleichen herausfordernden Fragen nach der technischen Sanierungsstrategie, der Finanzierbarkeit und zeitlichen Planung zu klären, wie bei der privatwirtschaftlichen Sanierung von Einzelgebäuden.

Die Kommune kann ihre Anstrengungen zur Sanierung der städtischen Gebäude über die Medien kommunizieren und damit die energetische Ertüchtigung der Gebäude als gemeinschaftliche Aufgabe der Zukunftssicherung im Bewusstsein der Einwohner verankern. Im Zuge der Öffentlichkeitsarbeit, wie z.B. Tagen der offenen Tür, können geeignete Gebäude der Öffentlichkeit vorgestellt und damit ein Beitrag dazu geleistet werden, Kenntnisse über ökologische und kostengünstige Sanierungsmethoden wie auch über Heizungssysteme auf Basis regenerativer Wärme zu vermitteln.

Wie kann die Kommune eine gute Energieberatung organisieren?

Von den ca. 19 Millionen Wohngebäuden in Deutschland (Destatis, 2021) befinden sich die meisten in privater Hand. Auf den Energiestandard und die THG-Emissionen dieser Gebäude haben die Kommunen keinen direkten Einfluss. Die Aufgabe für die Kommunen besteht daher darin, die Eigentümer der Gebäude bei Sanierungsmaßnahmen zu unterstützen, da ohne deren Aktivitäten und Investitionen keine kommunale Klimaneutralität zu erreichen ist.

Klimaschutz-Manager:innen und Energieberater:innen

Zahlreiche Kommunen haben inzwischen Klimaschutzmanager:innen, die mit ihren Aktivitäten auch die Energieeffizienz des Gebäudebestandes in der Kommune im Auge haben müssen. Auch in den Bau-Referaten gibt es Fachleute, die sich um die Energieeffizienz und die energetische Sanierung der kommunalen Liegenschaften kümmern. Hilfreich sind in den Bundesländern

auch Landesenergieagenturen, die Kommunen und Unternehmen in Sachen Klimaschutz beraten (siehe Anhang). Darüber hinaus gibt es in Deutschland 111 lokale oder regionale Klimaschutz- und Energieagenturen, von denen die größte Zahl auf der Ebene von Landkreisen oder kreisfreien Städten agiert (UBA (Hrsg.), 2020).

Viele der 294 Landkreise und 107 kreisfreien Städte dürften aber noch nicht über eine einschlägige Einrichtung zur Beratung der Bürgerinnen und Bürger verfügen. Hier stehen dann zwar wie überall selbstständige Energieberaterinnen und Energieberater bereit, die aber bezahlt werden müssen oder für deren Tätigkeit beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) die „Bundesförderung Energieberatung für Wohngebäude (Vor-Ort-Beratung, individueller Sanierungsfahrplan) (Zuschuss)“ beantragt werden muss. Die Förderhöhe beträgt 80 % des förderfähigen Beratungshonorars, maximal jedoch 1.300 Euro bei Ein- oder Zweifamilienhäusern.

Verbraucherzentralen

Energieberatung wird auch durch die Verbraucherzentralen organisiert, bei denen man sich überall für kostenfreie Online-Kurse anmelden kann. Oft sind diese Beratungen für eine relativ allgemeine Erstinformation ausreichend. Eine Beratung, die auf konkrete Umsetzung unter Einbeziehung der jeweiligen baulichen Gegebenheiten zielt, setzt fachkundige Vor-Ort-Berater voraus.

Proaktive Beratung mit Energiekarawanen

Eine aktive Rolle der Kommunen und der Landkreise in der Öffentlichkeitsarbeit mit Kampagnen und Veranstaltungen zum Thema schafft Vertrauen und eine gute Basis, um die Eigentümer:innen zum Handeln zu bewegen. Es ist daher von großer Bedeutung, die Kommunikation und Interaktion mit den Gebäudebesitzern auf ein ganz neues Niveau zu heben. Dies bedeutet: Weg von der passiven, zentral organisierten Beratung, hin zu aktiver, möglichst aufsuchender Beratung. Sehr erfolgreich sind bereits in einigen Kommunen „Energiekarawanen“ unterwegs, die von Stadtteil zu Stadtteil ziehen und vor Ort eine gebäudebezogene, kostenlose Energieberatung anbieten. Als Beispiele seien die Energiekarawanen der Metropolregion Rhein-Neckar, von Augsburg und Rüsselsheim genannt (BMWK, 2023; Klimabündnis, 2023).

Durch diese Energie-Karawanen konnte die Sanierungsrate wesentlich gesteigert werden. Die Kommunikation mit der Öffentlichkeit kann auch durch Medienkampagnen über Vorteile und Fortschritte von Sanierungsaktivitäten, sowie entsprechende Beratungsangebote in der Stadt intensiviert werden, sowie über regelmäßige, lokale, z.B. ortsteilbezogene, Informationsveranstaltungen. Auf diese Weise wird das Sanierungsthema kontinuierlich und aktualisiert im Bewusstsein der Öffentlichkeit gehalten und die Motivation für die Mitwirkung an diesem Gemeinschaftsprojekt gestärkt. In kleineren Gemeinden sollte mindestens eine Person die Aufgabe bekommen, die Energieeffizienz der Gebäude in der Gemeinde zu fördern und dazu immer wieder auf das Thema hinzuweisen, aktuelle Förderprogramme bekannt zu machen oder von Zeit zu Zeit Informationsveranstaltungen zu organisieren.

Beratung zu Fördermaßnahmen

Die Effektivität der Beratung wird nicht nur von der Fachkompetenz der Beratenden in Bezug auf Technik, Kosten, baukulturelle und rechtliche Fragen bestimmt, sondern ist auch davon abhängig, wie gut auf die jeweils unterschiedlichen Bedürfnisse und Möglichkeiten der Hausbesitzenden eingegangen wird. Wann empfiehlt man eine Sanierung der Gebäudehülle? Soll das vor Erneuerung der Heizungsanlage oder danach geschehen und bis zu welchem Effizienz-Standard? Konzentriert man sich auf eine energetische Sanierung des Gebäudes im Zusammenhang mit ohnehin notwendigen Erhaltungsmaßnahmen (Kopplungseffekt)? Wird angesichts der Notwendigkeiten und gesetzlichen Vorgaben zum Klimaschutz der Aspekt der Wirtschaftlichkeit hintergestellt und die Beratung stattdessen an der Finanzierbarkeit, d. h. der Liquidität der Privatpersonen und der Verfügbarkeit von Fördermitteln ausgerichtet?

Ganz wichtig erscheint die aktive Unterstützung der Bürger:innen bei der umfassenden Nutzung von Fördermaßnahmen. Alternativ kann die Gemeinde auch darauf hinwirken, dass der Landkreis eine für die Beratung in allen Kommunen zuständige Energieagentur einrichtet. Da in einigen Bundesländern die Landkreise ohnehin verpflichtet werden sollen, ihre Kommunen bei der Energieberatung zu unterstützen, könnte auch die Einrichtung einer Koordinationsstelle in der Landkreisverwaltung sinnvoll sein. Diese Stelle würde dann die Beratung von anfragenden Bürger:innen und Unternehmen durch

staatlich anerkannte Beratende und ggfs. andere Bauexpert:innen vermitteln. In beiden Fällen könnte eine Erhöhung der Kreisumlage erforderlich werden und es stellt sich die Frage, ob diese Kosten der Gemeindekasse oder letztlich den Bürger:innen zugemutet werden können. Hier kann als Argument angeführt werden, dass in den letzten Jahren die Heizungskosten stark gestiegen sind. Die Aufgabe der Energieberatung besteht daher weniger als früher darin, Bürger:innen zum Handeln zu motivieren, sondern vielmehr darin, ihnen bei den notwendigen Maßnahmen zur Begrenzung der Energiekosten zu helfen. Und dieser Hilfs- und Beratungsbedarf wird auf dem Weg zur Klimaneutralität permanent größer werden. Neue Beratungsstrukturen sind daher dringend nötig.

Wie können die gesetzlichen Mindestanforderungen durchgesetzt werden?

Die Verbraucherzentrale (2022) informiert über Austausch- und Nachrüstverpflichtungen, die für alle Mehrfamilienhäuser unabhängig von einer geplanten Sanierung gelten. Auch nach dem Kauf eines Ein- oder Zweifamilien-Hauses müssen diese Pflichten innerhalb von zwei Jahren durch die neuen Besitzenden erfüllt werden. Ausgenommen sind Ein- und Zweifamilien-Häuser, wenn die Eigentümer:innen bereits seit Februar 2002 selbst im Gebäude wohnen.

- **Öl- und Gas-Heizkessel, die älter als 30 Jahre sind** und eine übliche Größe von 4 bis 400 kW Heizleistung haben, müssen ausgetauscht werden. Die Austauschpflicht gilt jedoch nicht für Brennwert- und Nieder-temperatur-Kessel. Welcher Kesseltyp es ist, teilt der bevollmächtigte Bezirksschornsteinfeger mit, der regelmäßig eine so genannte „Feuerstättenschau“ vor Ort durchführt.
- **Neue Heizungs- und Warmwasserrohre** in unbeheizten Räumen müssen gedämmt werden.
- **Oberste Geschossdecken zu unbeheizten Dachräumen** müssen bereits seit 2015 nachträglich gedämmt werden, wenn sie keinen "Mindestwärmeschutz" (i.d.R. 4 Zentimeter Wärmedämmung) aufweisen. Bei Holzbalkendecken genügt es, die Hohlräume mit Dämmstoff zu füllen. Die Dämmpflicht gilt für alle zugänglichen obersten Geschossdecken, unabhängig davon, ob sie begehbar sind oder nicht – also zum Beispiel auch

für Spitzböden und für nicht ausgebaute Aufenthalts- oder Trockenräume. Alternativ dazu kann auch das darüber liegende Dach mindestens entsprechend gedämmt sein.

Weitere Pflichten greifen immer dann, wenn Sanierungsmaßnahmen aus anderen Gründen ergriffen werden, z.B. wenn Fenster morsch sind und ausgetauscht werden müssen oder wenn die Fassade oder das Dach saniert werden. In diesen Fällen gibt das GEG bestimmte **Anforderungswerte an den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) der betroffenen Bauteile** und Umfeldmaßnahmen vor, welche die Verbraucherzentrale dokumentiert (Verbraucherzentrale, 2022). Werden die Anforderungen übererfüllt, sind sie in vielen Fällen auch im Rahmen der Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) förderfähig (Tabelle 1).

Der behördliche Vollzug des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) fällt in die Zuständigkeit der einzelnen Bundesländer. Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung dokumentiert die jeweiligen Zuständigkeiten in den Bundesländern (BBSR, 2022). In Niedersachsen sind beispielhaft die „unteren Bauaufsichtsbehörden“ für den Vollzug des GEG zuständig. Einen aktiven Vollzug der Vorschriften scheint es aber nur mit Blick auf alte Heizkessel zu geben, da diese im Rahmen der Feuerstättenschau durch die Schornsteinfeger überwacht werden. Die Isolierung von Heißwasserrohren, wie auch die Dämmung der obersten Geschosdecke, unterliegen prinzipiell der Kontrolle der örtlich zuständigen Baubehörde. Jede Kommune, die ihrer Aufgabe in Sachen Wärmewende nachkommen will, muss deshalb mit ihrer jeweiligen Vollzugsbehörde diese Kontroll-Tätigkeit organisieren. Kommunen sollten durch eine enge Zusammenarbeit mit den Vollzugsbehörden sowie auch durch die Information von Mietern über Beschwerdemöglichkeiten erreichen, dass zumindest die bestehenden Pflichten erfüllt werden. Dies gilt besonders für § 47 Abs. 4 GEG bei der Beurteilung der Frage, ob die „für eine Nachrüstung erforderlichen Aufwendungen durch die eintretenden Einsparungen innerhalb angemessener Frist erwirtschaftet werden können“. Hierzu ist es erforderlich, einschlägige Handreichungen zu entwickeln.

Tabelle 1: Anforderungswerte an Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) verschiedener Bauteile

Bauteile	U-Werte W/(m ² ·K)		Dämmstärkung Mindestanforderung ca.
	GEG	BEG	
Außenwand	0,24	0,20	Dämmung mit 12 - 16 cm
Fenster: Achtung: Maßgeblich ist der U-Wert des gesamten Fensters, der als Uw-Wert bezeichnet wird. Höhere Werte für Sonderverglasung	1,30	0,95	Zweischeiben- Wärmeschutz- Verglasung
Dachflächenfenster	1,40	1,0	Zweischeiben- Wärmeschutz- Verglasung
Verglasungen: für Sonderverglasungen wie z.B. Schallschutzverglasungen gelten andere Werte	1,10 - 2,0	1,0 - 1,6	Zweischeiben- Wärmeschutz- Verglasung
Dachschrägen, Steildächer	0,24	0,2 - 0,14	Dämmung mit 14 - 18 cm
Oberste Geschossdecken	0,24	0,14	Dämmung mit 14 - 18 cm
Flachdächer	0,20	0,14	Dämmung mit 16 - 20 cm
Wände und Decken gegen unbeheizten Keller, Bodenplatte	0,30	0,25	Dämmung mit 10 - 14 cm
Decken gegen unbeheizten Keller, Bodenplatte: (wenn der Aufbau bzw. die Erneuerung des Fußbodens auf der beheizten Seite erfolgt)	0,50	0,25	Dämmung mit 4 - 5 cm
Decken, die nach unten an Außenluft grenzen	0,24	0,20	Dämmung mit 14 - 18 cm

Quelle: gesetzliche Mindestanforderungen nach GEG (GEG 2023, Anhang 7) sowie Mindestanforderungen der Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) nach BMWK (2022)

Mit Blick auf die Zukunft wird ein solches Vorgehen an Bedeutung gewinnen, denn die Zahl der Pflichten wird gegenwärtig größer. Umso wichtiger wird es sein, Personalpolitik und Gewichtung der Aufgaben in der kommunalen Verwaltung darauf einzustellen.

So wurde durch die Bundesregierung im Herbst 2022 festgelegt, dass für Gaszentralheizungen in Wohngebäuden mit mindestens zehn Wohneinheiten noch im Jahre 2023 und in Wohngebäuden mit mindestens sechs Wohneinheiten bis Ende 2024 ein **hydraulischer Abgleich** durchzuführen ist (Bundesregierung, 2022). Bezüglich der Heizungsanlagen werden die Schornsteinfeger mit der Überwachung der Umsetzung einiger Vorschriften betraut

(GEG § 97). Dies gilt sowohl für die Kontrolle der Einhaltung der bereits gültigen Vorschriften zur Erneuerung von Heizungsanlagen als auch der ab 2024 gültigen Vorschrift, dass neu eingebaute Heizungen mindestens **65 Prozent erneuerbare Energien** nutzen müssen.

Kommunale Unterstützung der Sanierung mit Eigenleistung

Der relativ hohe Investitionsaufwand für energetische Sanierungen und die beschränkten finanziellen Möglichkeiten vieler Immobilienbesitzer:innen bedeuten eine erhebliche Hemmschwelle für die Wärmewende in Kommunen. In Abhängigkeit von der jeweiligen Fachkenntnis und den Fähigkeiten können jedoch eine Reihe von Arbeiten bei der energetischen Sanierung auch durch Wohnungs- oder Hausbesitzende selbst erledigt werden. Einige Fachunternehmen bieten sogar in Zeiten des Fachkräftemangels eine Kombination aus Eigenleistungen und bezahlter Dienstleistung an. Je nach den anfallenden Personal- und Sachkosten können dadurch die Sanierungskosten deutlich gesenkt werden. Besonders geeignet sind Vorarbeiten wie Putz abschlagen, Fenster ausbauen oder der Rückbau von Geschossböden. Gut geeignet sind auch die Dämmung der Kellerdecke und die Dämmung der obersten Geschossdecke oder des Daches, soweit dies von innen erfolgen kann.

Der Einbau dezentraler raumlufttechnischer Anlagen mit Wärmerückgewinnung, die eine sehr gute Amortisationszeit auch ohne Förderung haben, kann in Eigenarbeit geschehen, z.B. beim Anlegen von Wanddurchbrüchen und dem Verlegen von Lüftungsrohren. Diese Hinweise zu den Möglichkeiten der Eigenleistung sollten unbedingt in die Beratungsaktivitäten der Kommune mit aufgenommen werden. Darüber hinaus sollte darauf hingewiesen werden,

- dass die Kosten fachgerechter Sanierungsarbeiten und die erforderlichen Materialien steuerlich abgesetzt werden können und die Eigenleistung auch in der Bundesförderung wieder anerkannt wird (Energie Experten, 2023; Energie-Fachberater, 2022), und
- dass bei der Dämmung bevorzugt langlebige, nachhaltige Materialien verwendet werden.

Eigenleistungen können auch eine kostensenkende Option für die Kommunen selbst sein. Der Tausch von Heizkörperventilen, die Installation intelligenter Thermostatventile und ähnliche einfachere Tätigkeiten können, wenn dafür Zeit vorhanden ist, durch Hausmeister:innen erfolgen.

Zeit und Kosten sparen durch serielles Sanieren

Ein ursprünglich in den Niederlanden unter dem Namens *Energiesprong* entwickeltes Konzept hat das Potenzial, die energetische Sanierung im Bestand sprunghaft voranzubringen. Das Ziel ist, mit minimiertem Zeit- und Kostenaufwand die Gebäude auf bestmöglichen Energiestandard bis hin zum Passivhaus- bzw. Nullenergiehaus-Standard zu bringen. Die integrierte PV-Anlage auf dem Dach soll dabei genauso viel Strom erzeugen, wie für Haushaltsstrom und Wärmepumpe benötigt wird.

Besonders gut eignet sich diese in Deutschland als *Serielles Sanieren* bezeichnete Vorgehensweise vor allem für Siedlungen, Straßenzüge und Quartiere mit Häusern gleichen oder ähnlichen Bautyps. Das *Serielle Sanieren* beruht auf folgenden Kernelementen (UBA (Hrsg., 2021):

- Ein digitales Aufmaß ermöglicht die maßgenaue Fertigung von Fassadenelementen für Bestandsgebäude.
- Die Module sind optimiert auf eine effiziente und teilautomatisierte Vorfertigung sowie auf eine schnelle und unkomplizierte Montagefähigkeit vor Ort.
- In diese Module sind alle Wärmedämmelemente integriert und sie enthalten bereits alle Fenster und Türen.
- Die Sanierung kann i. d. R. im bewohnten Zustand der Gebäude erfolgen, da die erforderlichen Montagezeiten bei wenigen Wochen pro Gebäude liegen.
- Auch für die Dachsanierung sind vorgefertigte Module möglich, z. B. mit bereits integrierter PV-Anlage.
- Da die Sanierung im Regelfall auch das Heizungssystem umfasst, wird auch eine Wärmepumpenanlage in die Fassadenelemente integriert, in Form eines Heizungsmoduls montiert und mit dem Heizkreislauf im Gebäude verbunden.
- Auch die Integration von PV-Modulen in die vorgefertigten Fassaden ist möglich.

- Innerhalb der Wohnungen sind nur der Ausbau der alten Fenster und die Verbindung der Fensterlaibungen mit der neuen Fassade erforderlich. Auch die Wärmepumpe muss ggf. an geeigneter Stelle mit dem Heizkreislauf verbunden werden.
- Durch die rationelle und teilautomatisierte Vorfertigung der Fassadenelemente werden nicht nur Arbeitsstunden eingespart, sondern auch der Einsatz von Handwerkern vor Ort auf einen vergleichsweise kurzen Zeitraum begrenzt.

Das von privaten Immobiliengesellschaften besonders in den Niederlanden schon in 5.000 Häusern erprobte Sanierungskonzept sollten die Kommunen bei den eigenen Liegenschaften, bei städtischen Wohnbaugesellschaften oder auch in Kooperation mit privaten Wohnungsbaugesellschaften unbedingt einsetzen. Das serielle Sanieren ist auf dem Weg, in Deutschland die Pilotphase zu überwinden. 22 Wohnungsunternehmen sind dabei, 17.000 Wohnungen seriell zu sanieren (Dena, 2023). Zur Unterstützung des Markthochlaufs wird das serielle Sanieren gegenwärtig durch BAFA und KfW gefördert. So gewährt die KfW ab Anfang 2023 für das serielle Sanieren zum Effizienzstandard 40 oder 55 einen zusätzlichen Bonus von 15 % der Sanierungskosten als Tilgungszuschuss (KfW, 2023).

Voraussetzung der seriellen Sanierung ist eine möglichst durchgängige Digitalisierung des Planungs- und Produktionsprozesses unter Anwendung des Building Information Modeling (BIM). Dabei werden alle relevanten Bauwerksdaten digital erfasst und für die Planung, die Kalkulation und die industrielle Fertigung genutzt. Das Bauwerk wird als virtuelles Modell geometrisch visualisiert und zusätzlich mit zahlreichen weiteren Informationen, wie z.B. Bauteileigenschaften und Kosten, versehen. Die Daten dieses Modells fließen dann direkt in die Fertigungsprozesse der Bauelemente ein.

Derzeit wird das serielle Sanieren noch oft unter Einsatz von Holzbaukomponenten (z. B. mit Dämmstoffen gefüllte Holzrahmen) durchgeführt, aber auch andere Materialien werden angeboten. Mit Blick auf Holzbaulemente muss darauf hingewiesen werden, dass die Folgen des Klimawandels mit Waldsterben und gebremstem Waldnachwuchs bereits jetzt zu einer Verknappung an Bauholz geführt haben. Auch der bislang stillschweigend genutzte Nachschub von Bauholz aus Weißrussland und Russland ist zum Erliegen gekommen. Das heißt, dass nicht nur gestiegene Bauholzpreise, sondern auch das Gebot der

Nachhaltigkeit eher zu einer Reduzierung als zur Ausweitung des Bauens mit Holz führen werden.

Abbildung 5: Seriell saniertes Reihenhaus



Quelle: dena

Alternativ bietet sich der vermehrte Einsatz von Porenbeton an, der sich gut für serielle Vorfertigung eignet, ohne zusätzliche Dämmung auskommt und damit auch sehr kostengünstig ist. Beim kumulierten Energie- Aufwand, d. h. bei der Gesamtenergiebilanz über einen mindesten 50-jährigen Lebenszyklus, liegen Porenbeton und Holz (aus nachhaltigem Anbau) gleichauf (Walberg et al., 2015). Eine unabhängige Ökobilanz von Porenbeton lässt keine Schwachstellen erkennen (Ankele & Steinfeldt, 1996).

Quartierskonzepte und Sanierungsgebiete

Die energetische Sanierung im Gebäudebestand ist nicht nur Aufgabe der Hausbesitzer:innen, sondern auch Aufgabe für die kommunale Planung. Im Zuge der Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung (vgl. Kapitel 1) sollten

Lösungen auch auf der Ebene von Quartieren gesucht werden. Sind z.B. Wärmequellen vorhanden, mit denen mehrere Gebäude beheizt werden können, dann bedarf es einer integrierten Planung, welche Gebäude dies sein können und welche Sanierungsarbeiten ggf. innerhalb einzelner Gebäude sinnvoll oder gar notwendig wären. Mögliche Wärmequellen könnten z.B. Unternehmen mit Abwärme, Abwassersysteme u.a.m. sein.

Der Vorteil von Quartierskonzepten ist die Vernetzung von Erzeugern und Verbrauchern von Wärme, um ein Quartier aus erneuerbaren Energien zu versorgen. Es ist deshalb Aufgabe der Kommunen, die Wärmewende nicht nur auf der Ebene einzelner Gebäude zu sehen, sondern Sanierungsmaßnahmen und die in der kommunalen Wärmeplanung vorgesehene Wärmeversorgung im Quartier aufeinander abzustimmen.

Die Evaluierung des Förderprogramms „Energetische Stadtsanierung“ zeigt in der Analyse von 84 Quartierskonzepten, dass diese am häufigsten auf die bauliche Sanierung zum Zwecke des Klimaschutzes zielen (Heinrich, Langreder, Lang, Falkenberg & Meißner, 2019). Dabei stehen die bauliche Sanierung und die Frage der Versorgung mit möglichst erneuerbarer Wärme gleichermaßen im Mittelpunkt. Wesentliche Hemmnisse sind die hohen Kosten und folglich die Frage der Finanzierbarkeit.

Eine wesentliche Aufgabe des Sanierungsmanagements besteht deshalb darin, die Hausbesitzenden bei der Planung kosteneffizienter Maßnahmen und deren Finanzierung zu unterstützen. Erster Schritt ist dabei, Kostensenkungspotenziale zu erschließen, die sich aus der Durchführung einer großen Zahl von Sanierungsprojekten im gleichen Quartier ergeben. Gemeinsame Ausschreibungen und die Vergabe großer Aufträge motivieren nicht nur zusätzliche Anbieter, sondern führen oft auch zu günstigeren Angeboten. Der zweite Schritt ist, einen guten Überblick über die jeweils aktuelle Fördermittelsituation zu erarbeiten und zu ermitteln, welche Fördermittel sich z.B. kombinieren lassen. Neben dem Bundesprogramm Effiziente Gebäude kommen hier KfW-Programme und ggf. auch die Initiierung von Projekten der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) in Frage.

Es wurde auch schon vorgeschlagen, den schlechten Sanierungszustand von Gebäudebeständen als „städtebaulichen Missstand“ einzustufen und diesen mit mangelndem Klimaschutz zu begründen, was baurechtlich zulässig sei

(Rath & Ekardt, 2021). In energetischen Sanierungsgebieten lassen sich umfassende Maßnahmen im Quartier anstoßen, die dem Klimaschutz und der Klimaanpassung dienen und breitere Einsatzmöglichkeiten für erneuerbare Energien schaffen. Die politische Herausforderung „energetischer Sanierungsgebiete“ liegt in den hohen Kosten flächendeckender Sanierungsmaßnahmen einer großen Zahl von Gebäuden. Auch die Verfahren der seriellen Sanierung könnten in diesem Kontext ein Potenzial bieten (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2021).

Anhang: Energieagenturen der Bundesländer

Baden-Württemberg: Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA), Kaiserstraße 94a, D-76133 Karlsruhe, Tel.: 0721 98471-0, www.kea-bw.de

Bayern: Landesagentur für Energie und Klimaschutz (LENK), Franz-Mayer-Straße 1, 93053 Regensburg, Tel.: 0941 46297-871, www.lenk.bayern.de

Berlin: Berliner Energieagentur GmbH, Fasanenstraße 85, 10623 Berlin, Tel.: 030 293330 - 0, www.berliner-e-agentur.de

Brandenburg: Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB), Babelsberger Straße 21, 14473 Potsdam, Tel.: 0331 73061-0, www.energieagentur.wfbb.de

Bremen: Bremer Energie-Konsens GmbH, Am Wall 172 / 173, 28195 Bremen, Tel.: 0421 376671-0, www.energiekonsens.de

Hamburg: Hamburger EnergieAgentur Stadthausbrücke 8, 20355 Hamburg, Tel.: 040 42840 -2427, www.hamburg.de/energieagentur

Hessen: LandesEnergieAgentur Hessen GmbH (LEA), Wettinerstraße 3, 65189 Wiesbaden, Tel. 0611 95017 8400, www.lea-hessen.de

Mecklenburg-Vorpommern: Landesenergie- und Klimaschutzagentur, Mecklenburg-Vorpommern GmbH, Zur Schwedenschanze 15, 18435 Stralsund, Tel.: 03831 457038, www.leka-mv.de

Niedersachsen: Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen GmbH, Osterstraße 60, 30159 Hannover, Tel. 0511 89 703917, www.klimaschutz-niedersachsen.de

Nordrhein-Westfalen: NRW.Energy4Climate GmbH, Kaistraße 5, 40221 Düsseldorf, Tel.: 0211 822086-555 www.energy4climate.nrw

Rheinland-Pfalz: Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH, Trippstadter Straße 122, 67663 Kaiserslautern, Tel.: 0631 34371 100, www.energieagentur.rlp.de

Sachsen: Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH, Pirnaische Straße 9, 01069 Dresden, Tel.: 0351 4910-3152, www.saena.de

Saarland: ARGE SOLAR e.V., Altenkesseler Str. 17, InnovationsCampus Saar, Gebäude B 5, 66115 Saarbrücken, Tel.: 0681 99 88 4 - 0, www.argesolar-saar.de

Sachsen-Anhalt: Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt GmbH, Olvenstedter Straße 66, 39108 Magdeburg, Tel.: 0391 506740-0, www.lena.sachsen-anhalt.de

Schleswig-Holstein: Energie- und Klimaschutzinitiative Schleswig-Holstein, Zur Helting 5-6, 24143 Kiel, Tel.: 0431 9905-0, www.eki.sh

Quellen

- Ankele, K. & Steinfeldt, M. (1996). *Ökobilanz für typische YTONG Produktanwendungen*. Berlin. Verfügbar unter: [https://www.ioew.de/uploads/tx_u-
kioewdb/IOEW_SR_105_Oekobilanz_typische_YTONG-Produktanwendun-
gen.pdf](https://www.ioew.de/uploads/tx_u-
kioewdb/IOEW_SR_105_Oekobilanz_typische_YTONG-Produktanwendun-
gen.pdf)
- Barth, H.-J., Geyer, F., Hausmann, P., Koenig.Hoffmann, K. & Sambale, M. (2021). *Leitfaden für zukunftsgerechte Neubaugebiete*. Kempten. Verfügbar unter: [https://energieagenturen.de/wp-content/uploads/2021/09/210915_Sam-
bale_Leitfaden_Neubaugebiete.pdf](https://energieagenturen.de/wp-content/uploads/2021/09/210915_Sam-
bale_Leitfaden_Neubaugebiete.pdf)
- BBSR. (2022). *Regelungen der Länder zum Vollzug des GEG*. BBSR-Energieeinsparung.de. Verfügbar unter: [https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnE-
VPortal/DE/Service/Impressum/impressum_node.html](https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnE-
VPortal/DE/Service/Impressum/impressum_node.html)
- BMWK. (2022). *Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) vom 9. Dezember 2022*. Berlin. Verfügbar unter: [https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anla-
gen/BEG/bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-gebaeude-einzelmassnah-
men-20221209.pdf?__blob=publicationFile&v=1](https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anla-
gen/BEG/bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-gebaeude-einzelmassnah-
men-20221209.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- BMWK. (2023). *Verdoppelung der Sanierungsrate im Gebäudebestand der Metropolregion Rhein-Neckar mit Hilfe des Modells Energiekarawane*. Verfügbar unter: [https://www.klimaschutz.de/de/projekte/verdoppelung-der-sanierungsrate-im-
gebaeudebestand-der-metropolregion-rhein-neckar-mit](https://www.klimaschutz.de/de/projekte/verdoppelung-der-sanierungsrate-im-
gebaeudebestand-der-metropolregion-rhein-neckar-mit)
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. (2021, Mai 7). *Bundesförderung Serielles Sanieren*. BAFA. Verfügbar unter: [https://www.bafa.de/DE/Energie/Ener-
gieeffizienz/Serielles_Sanieren/serielles_sanieren_node.html;jsessio-
nid=55B4D7D3E056903D22EE478F19949594.1_cid378](https://www.bafa.de/DE/Energie/Ener-
gieeffizienz/Serielles_Sanieren/serielles_sanieren_node.html;jsessio-
nid=55B4D7D3E056903D22EE478F19949594.1_cid378)
- Bundesregierung. (2022). *Verordnung der Bundesregierung Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen (Mittelfristenergieversorgungssicherungsmaßnahmenverordnung – EnSimiMaV)*. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ensimimav/BJNR153000022.html>
- Energie Experten. (2023). *Sanieren in Eigenleistung: Neue BEG-Zuschüsse 2023*. Verfügbar unter: [https://www.energie-experten.org/news/sanieren-in-eigenleistung-
neue-beg-zuschuesse-2023](https://www.energie-experten.org/news/sanieren-in-eigenleistung-
neue-beg-zuschuesse-2023)
- Energie-Fachberater. (2022). *Förderung von Eigenleistungen bei der Sanierung - so geht's*. Verfügbar unter: [https://www.energie-fachberater.de/beratung-foerdermit-
tel/foerderung/foerdermittel/foerderung-von-eigenleistungen.php](https://www.energie-fachberater.de/beratung-foerdermit-
tel/foerderung/foerdermittel/foerderung-von-eigenleistungen.php)
- Dena. (2023). *Energiesprung: Piloten und Projekte*. Verfügbar unter: [https://www.ener-
giesprung.de/marktentwicklung-aktuell/piloten-und-projekte/](https://www.ener-
giesprung.de/marktentwicklung-aktuell/piloten-und-projekte/)
- Destatis. (2021). *Gebäude und Wohnungen Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden Lange Reihen ab 1969 - 2021*. Wiesbaden: Destatis. Verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/The-
men/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/be-
stand-wohnungen-2050300217004.html](https://www.destatis.de/DE/The-
men/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/be-
stand-wohnungen-2050300217004.html)

- Heinrich, S., Langreder, N., Lang, D., Falkenberg, H. & Meißner, K. (2019). *Evaluierung des Förderprogramms „Energetische Stadtsanierung - Zuschuss*. Basel. Verfügbar unter: https://www.kfw.de/%C3%9Cber-die-KfW/Newsroom/Aktuelles/News-Details_524096.html
- KfW. (2023). *Serielles Sanieren - der neue Bonus*. Verfügbar unter: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude/Seriell-Sanieren/>
- Klimabündnis. (2023). *Die Energiekarawane. Kommunen motivieren Bürger*innen zur energetischen Modernisierung*. Verfügbar unter: <https://www.klimabuendnis.org/aktivitaeten/kampagnen/energiekarawane.html>
- Mellwig, P. (2021). *Gebäude mit der schlechtesten Leistung (Worst performing Buildings) - Klimaschutzpotenzial der unsanierten Gebäude in Deutschland*. Heidelberg: IFEU. Verfügbar unter: https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruene-bundestag_de/themen_az/bauen/PDF/210505-ifeu-kurzstudie-gebaeude-mit-schlechtester-leistung.pdf
- Rath, T. & Ekardt, F. (2021). Kommunale Wärmewende: Bau- und kommunalrechtliche Handlungsoptionen. *ZNER*, (1), 12–22.
- Seifert, T.; West, C.; Tvrtković, M.; Huber, M.; Schweer, R.; Kranich, K. et al. (2021). *Was das Leben ausmachen wird: Perspektiven Paris - kompatibler kommunaler Zukunftsplanung*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5752014>
- Scientists for Future. (2022). *Kommunale Wärmeplanung Grundlage einer klimaverantwortlichen Stadtplanung*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Stadt Frankfurt am Main. (2023). *Amt für Bau und Immobilien. Über uns*. Verfügbar unter: <https://frankfurt.de/service-und-rathaus/verwaltung/aemter-und-institutionen/amt-fuer-bau-und-immobilien/ueber-uns>
- UBA (Hrsg.). (2020). *Ökonomische Indikatoren von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz - Aktualisierte Ausgabe 2020*. Dessau-Roßlau. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekonomische-indikatoren-von-massnahmen-zur-0>
- UBA (Hrsg.). (2021). *Serielle Sanierung in Europa und Deutschland*. Dessau-Roßlau. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/serielle-sanierung-in-europa-deutschland>
- Verbraucherzentrale. (2022, November 23). *GEG: Was steht im Gebäudeenergiegesetz?* Verfügbar unter: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/energetische-sanierung/geg-was-steht-im-gebaeudeenergiegesetz-13886>
- Walberg, D., Brosius, O., Schulze, T. & Cramer, A. (2015). *Massiv- und Holzbau bei Wohngebäuden*. Kiel. Verfügbar unter: <https://promassiv.de/pdfs/Studien/ARGE-Kiel-Studie-Massiv-Holz.pdf>

3. Wärmenetze

Autoren: Clausen, Jens; Graf, Christopher; Huber, Michael; Lottis, Dennis; Seifert, Thomas; Weber, Urban

Unbestritten spielt die Umstellung der Gebäudewärme auf CO₂-freie Energiequellen bei gleichzeitiger Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen eine fundamentale Rolle für das Erreichen der Treibhausgas-Neutralität bis 2045. Unbestritten ist auch, dass dafür Wärmenetze in vielen Fällen die optimale Lösung sein werden. So lange der Gaspreis relativ niedrig lag, war der Ausbau von bestehenden Wärmenetzen für Betreiber und Endkunden allerdings angesichts der geringen Anschaffungs- und Brennstoffkosten von Gasthermen für Wohnungen und Einzelgebäude wenig attraktiv. Andererseits erschien auch die Umstellung fossiler Wärmenetze auf CO₂-freie Wärmequellen zumindest kurz- und mittelfristig unwirtschaftlich. Nun machte der Überfall Russlands auf die Ukraine 2022 jedoch nicht nur auf die Gefahren der Abhängigkeit von importierter Energie aufmerksam, sondern setzte auch durch explodierende Erdgaspreise neue wirtschaftliche Rahmenbedingungen. Bisher weniger bekannte Lösungen der Wärmeversorgung wie die Wärmepumpe kamen so ins Gespräch.

Wärmenetze sind aus mehreren Gründen gerade für die Kommunalpolitik wichtig. Denn zum Ersten stellen sie eine gemeinschaftliche, also quasi kommunale Möglichkeit der Wärmeversorgung dar. Zum Zweiten ist es für die Endkunden besonders vorteilhaft, wenn die Wärmeversorgung durch die Kommune oder in ihrem Auftrag und in ihrem Eigentum betrieben werden. Und zum Dritten bedürfen sie der kommunalen Planung. Hintergrund dafür ist, dass die Rohrleitungen der Wärmenetze zumeist unter öffentlichen Straßen verlegt und daher in der Stadtplanung mitgedacht werden müssen. Hinzu kommt, dass die für die Wärmergewinnung erforderlichen Flächen bereitgestellt werden müssen. Das können, je nach lokaler Verfügbarkeit, Flächen für geothermische Bohrungen, solarthermische Großanlagen, Abfallverbrennungsanlagen oder Großwärmepumpen an Flüssen und Seen sein. All diese Technologien und Anlagen benötigen Standorte, an denen sie errichtet und betrieben werden können. Außerdem gibt es durch die zukünftige kommunale Pflichtaufgabe der Wärmeplanung (Die Bundesregierung, 2023) gleich noch eine Schnittstelle zwischen Wärmenetzen und Kommune.

Wärmenetze sind also aus verschiedenen Perspektiven ein Thema der Kommunalpolitik. Kommunalpolitiker:innen, die sich mit Energie und Klimaschutz beschäftigen, können sich in der vorliegenden Broschüre über die Bedeutung von Wärmenetzen für die Energiewende informieren. Aber auch für Sozialpolitiker:innen ist wichtig zu wissen, dass die Wärmeversorgung mit erneuerbarer Wärme in Wärmenetzen aktuell und langfristig preisgünstiger sein dürfte als fossile Energien, zumal die Abkehr von fossilen Brennstoffen so wieso unumgänglich ist.

Darüber hinaus bietet ein Wärmenetz das Potenzial, Wärmequellen und -senken innerhalb eines Stadtteils miteinander zu verbinden und damit beispielsweise Überschusswärme aus gewerblichen oder industriellen Prozessen nutzbar zu machen. Für die energieeffiziente Umsetzung und Integration von erneuerbaren und Überschuss-Wärme bieten sich insbesondere Niedertemperatur-Wärmenetze (40-70 °C Vorlauftemperatur) an, die sich sehr wirtschaftlich betreiben lassen.

Kernaussagen

Wärmenetze spielen in der Wärmeversorgung der Zukunft eine immer größere Rolle. Sie werden erhebliche Teile der verdichteten Wohnbebauung in Innenstädten mit Wärme versorgen. Verschiedene wissenschaftliche Studien sehen zum Erreichen der nationalen Klimaziele eine Verdopplung bis Verdreifachung der bestehenden Trassenkilometer innerhalb der nächsten 20 bis 30 Jahre als erforderlich an (AGFW, 2022). Daher besteht hier unmittelbarer und breitenwirksamer Handlungsbedarf.

- Durch Wärmenetze können Wärmepotenziale erschlossen werden, die sonst zur Wärmeversorgung nicht zur Verfügung stehen. Hierzu gehören die Nutzung von Abwärme aus Industrieprozessen oder Rechenzentren, über Wärmepumpen nutzbar gemachte Wärme aus Flüssen, Wärme aus tiefer Geothermie, Wärme aus großen solarthermischen Anlagen, Wärme aus der Verbrennung von Abfall und Klärschlamm und anderes mehr. Diese Wärmepotenziale werden zur Substitution der fossilen Energien aus Erdgas und Heizöl dringend gebraucht.
- Wärmenetze machen es möglich, regenerative Wärme von außerhalb in Ortskerne hinein zu bringen. Sie vereinfachen damit die Gewinnung und Nutzung von erneuerbarer Wärme.

- Das Beispiel Dänemark zeigt, dass die Wärmeversorgung durch Wärmenetze nicht nur klimafreundlich, sondern auch zu geringeren und stabileren Kosten im Vergleich zu fossilen Energien gewährleistet werden kann. Dies gilt besonders, wenn die Wärmeversorgung gemeinnützig, genossenschaftlich oder kommunal organisiert ist.
- Der Aufwand zum Umbau der bereits bestehenden großen Wärmenetze, die heute noch zu 80 % Abwärme aus fossilen Kraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung nutzen, auf regenerative Wärmequellen wird erheblich sein. Neben der Verbrennung von Reststoffen werden zunehmend Abwärme aus Industrieprozessen und Rechenzentren, Wärme aus Flusswasser, Solarthermie sowie die tiefe und oberflächennahe Geothermie eine Rolle spielen. An vielen Stellen wird das Temperaturniveau dieser Quellen durch Wärmepumpen angehoben werden müssen. Im Gegenzug sollte das gegenwärtig oft sehr hohe Temperaturniveau der Fernwärmenetze sukzessive abgesenkt werden.
- Neben großen Fernwärmenetzen wird es auch mehr Quartierswärmenetze und sogenannte „kalte Nahwärmenetze“ geben. Auch sie bieten Potenziale, unkonventionelle Wärmequellen abseits von fossilen Energien oder Strom zu erschließen. Die Stadtplanung muss diese Wärmenetze in der kommunalen Wärmeplanung mitdenken und den Rahmen für sie schaffen.

Wärmeversorgung wird in Zukunft nicht nur Sache der Gebäudeeigentümer:innen sein, die eine Gas- oder Ölheizung kaufen und sich wie selbstverständlich an die Gasversorgung anschließen lassen. Wärmeversorgung wird zunehmend zu einer kommunalen Aufgabe. Die Kommunen müssen die Wärmeversorgung der Zukunft planerisch vorbereiten. Statt sich darauf zu beschränken, wie bisher Lizenzen an Gasnetzbetreiber zu vergeben, werden sie durch eine Wärmeplanung dafür sorgen, dass Wärmenetze auf Basis erneuerbarer Energien dort entstehen können, wo sie sozioökonomisch gegenüber der Einzelversorgung von Gebäuden vorteilhaft sind.

Was ist eigentlich ein Wärmenetz?

Ein Wärmenetz ist ein Leitungsnetz, das als Wärmequelle für die Heizungsversorgung der an dieses Netz angeschlossenen Gebäude dient. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Ein **Kaltes Nahwärmenetz** stellt Wasser auf einem Temperaturniveau von ca. 5 °C bis 20 °C zur Verfügung. Die angeschlossenen Heizsysteme der Gebäude müssen mittels eigener Wärmepumpen die Temperatur auf das für das jeweilige Gebäude nötige Temperaturniveau anheben.
- Ein **Niedertemperatur-Wärmenetz** liefert Wasser mit Temperaturen zwischen 40 °C und 70 °C. Das heißt, Gebäude mit geeigneten Wärmeverteilungssystem und ausreichend gutem Dämmstandard können die gelieferte Wärme über Fernwärmeübergabestationen direkt in ihren Heizungskreislauf einspeisen, schlechter gedämmte Gebäude müssen ggfs. saniert werden oder zusätzlich eine eigene Wärmepumpe einsetzen.
- Ein **Konventionelles Wärmenetz** ist, insbesondere im Fall vieler alter und großer Wärmenetze, auf hohe Vorlauftemperaturen ausgelegt. Das liegt daran, dass die Abwärme der bisher üblichen Kohle- oder Erdgas-Heizkraftwerke problemlos hohe Temperaturen zwischen ca. 80 °C im Sommer und ca. 110 °C im Winter ermöglichte. Zudem sind viele der angeschlossenen Gebäude auf hohe Vorlauftemperaturen des Netzes ausgelegt, und die im Netz benötigte Wärmemenge kann in den vorhandenen Rohren überhaupt nur auf einem hohen Temperaturniveau transportiert werden. Deshalb ist die Umstellung dieser Netze auf niedrigere Temperaturen eine schwierige Aufgabe. Allerdings haben einige Fernwärmeversorger bereits begonnen, ihre bisherigen hohen Vorlauftemperaturen etwas abzusenken.

Abbildung 6: Verlegung von Fernwärmeleitungen.



Foto: Clausen

Wenn Rohre des Wärmenetzes unter der Straße vor einem Gebäude verlegt wurden, kann ein Anschluss erfolgen. Dabei schließt der Eigentümer des Wärmenetzes einen Versorgungsvertrag mit dem Hauseigentümer und verpflichtet sich dazu, die Wärme für das Gebäude zu liefern. Das Wärmenetz kann so zahlreiche Gebäude einer ganzen Stadt oder auch nur ein Quartier mit Wärme für Heizung und Trinkwarmwasser versorgen. Der Aufbau gleicht dem Stromnetz. Das Medium, mit dem die Wärme durch die Wärmenetzrohre an die Gebäude geliefert wird, ist heutzutage meist Wasser.

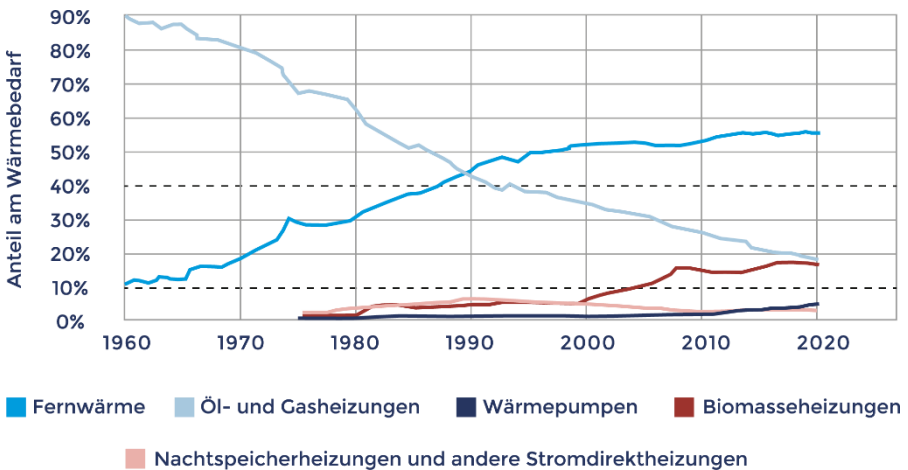
Die Rohre des Wärmenetzes haben einen größeren Durchmesser als die Heizung in der Wohnung. Abbildung 6 zeigt eine Baustelle zur Verlegung von Rohren mit einem Durchmesser von 25 cm in etwa 2 m Tiefe. Von solchen Leitungen unter der Straße zweigen dünnere Leitungen zu den Gebäuden ab. Im Gebäude fließt das Wasser aus dem Wärmenetz durch eine Fernwärmeübergabestation, welche die Wärme des Wassers aus dem Wärmenetz auf den Heizungskreislauf im Gebäude überträgt. Wärmenetze gibt es seit vielen Jahren. Bis in die Gegenwart hinein wurden sie meist von Kraftwerken in Kraft-Wärme-Kopplung gespeist. In vielen solcher Kraftwerke wird Kohle, Öl oder Gas verbrannt und heißer Dampf erzeugt. Dieser treibt eine Turbine zur Stromerzeugung an. Der dort wieder austretende Dampf ist dann immer noch warm genug, um ein Fernwärmenetz zu versorgen. Diese Technik ist nicht zukunftsfähig, denn sie nutzt fossile Energien, wodurch große Mengen CO₂ in die Atmosphäre abgegeben werden. Auch die Abdeckung der Wärmegrundlast durch mit grünem Wasserstoff betriebene KWK-Kraftwerke wird nicht möglich sein. Der grüne Wasserstoff wird dafür zu knapp und teuer sein. Hochtemperatur-Wärmenetze müssen also in den nächsten Jahren auf andere Wärmequellen umgebaut werden, wie sie z.B. für Berlin (Fraunhofer IEE, 2021) oder Hannover (Voigts, 2023) vorgeschlagen wurden. Neue Wärmenetze sollten zur effizienteren Nutzung CO₂-freier Wärmequellen (z.B. Wärme aus Abwasser, Flusswasser, Erdwärme oder Solarthermie) mit möglichst niedrigen Vorlauftemperaturen betrieben werden.

Warum gibt es in Dänemark so viele Wärmenetze?

Dänemark ist eine Art Musterland der Wärmenetze. Schon in den 1960er Jahren wurden Wärmenetze gebaut, um damit die Abwärme der Kraftwerke nutzen und so das Energiesystem effizienter gestalten zu können. Im Zuge

der Ölkrise kam die Motivation hinzu, die Abhängigkeit von Ölimporten zu reduzieren (Johansen & Werner, 2022). Im Jahr 2020 waren landesweit ca. 66 % der Wohngebäude an ein Fernwärmenetz angeschlossen und ca. 55 % des Wärmebedarfs wurde durch Wärmenetze bereitgestellt (Johansen & Werner, 2022). Der Anteil der Wohnungen, die mit individuellen fossilen Öl- oder Gasheizungen beheizt wurden, lag in 1960 bei ca. 90 % und sank kontinuierlich auf heute nur noch knapp 20 % (Abbildung 7).

Abbildung 7: Anteil des dänischen Wärmebedarfs, der zwischen 1960 und 2020 durch verschiedene Energieträger gedeckt wurde



Quelle: Johansen & Werner (2022), Wohn- und Gewerbegebäude incl. landwirtschaftlicher Gebäude

Auch sozialpolitische Motive unterstützten diesen Weg, weil die Nutzung von Abwärme eine preiswerte Wärmeversorgung ermöglichte. Eine vergleichende Untersuchung von Chittum und Østergaard (2014, S. 471) zeigt, dass die Kosten für das Heizen eines typischen dänischen Eigenheims mit Fernwärme zur Zeit der Untersuchung für ca. 95 % der Häuser die preiswerteste Lösung der Wärmeversorgung war. Gründe hierfür sind die technische Effizienz der Netze, die Kosten der eingesetzten Energiequellen (Dänemark hatte schon damals einen hohen CO₂-Preis), wie auch das Geschäftsmodell der un-

terschiedlichen Fernwärmeanbieter. Öffentliche Betreiber von Wärmenetzen erweisen sich in Dänemark als preiswerter als ihre privatwirtschaftlichen Wettbewerber.

Schwachpunkt der dänischen Fernwärmeversorgung ist, dass Energie nach wie vor fast ausschließlich in Form von Brennstoffen genutzt wird. 45 % der Primärenergie stammt aus Biomasse, von der knapp 80 % importiert werden (Johansen & Werner, 2022). Und auch die über 20 % Wärme aus der Abfallverbrennung werden, wie der hohe Biomasseimport, als nicht nachhaltig kritisiert. In den letzten Jahren wurden aber auch verbrennungsfreie Wärmequellen erschlossen. In schon über 120 Wärmenetzen tragen solarthermische Großanlagen zur Deckung des Wärmebedarfs bei, die größte mit einer Kollektorfläche von 15,7 ha steht in Silkeborg (Georgiev, 2019). Im Ørum Varmeværk in Dänemark stellen eine große Solarthermieanlage und eine 2,5 MW-Umgebungsluft-Wärmepumpe, deren Wärmetauscher über 80 Ventilatoren verfügt, zusammen 93 % der für das lokale Wärmenetz nötigen Wärme bereit (Aalborg CSP, 2022). Auch einige Geothermieanlagen sind schon in Betrieb (Johansen & Werner, 2022).

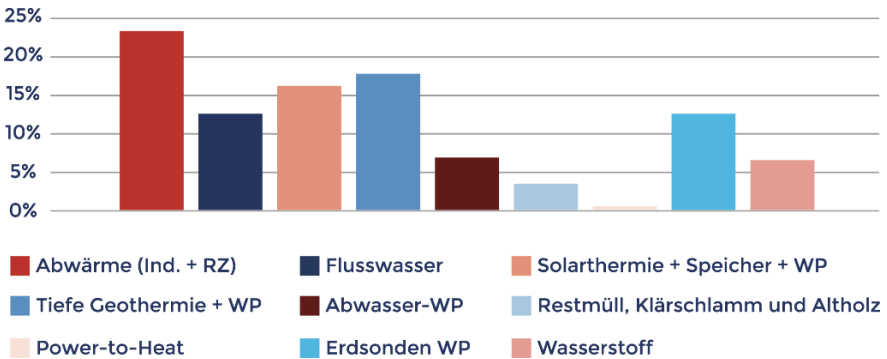
Wie kann man ein konventionelles Wärmenetz auf erneuerbare Energien umstellen?

Die in die großen deutschen Wärmenetze eingespeiste Energie kommt, genau wie in Dänemark, zu einem hohen Anteil aus Verbrennungsprozessen. Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW e.V., 2021) weist für die angeschlossenen 196 großen Wärmenetze einen Brennstoffeinsatz von 79 % Kohle, Erdgas und Öl sowie weitere 15 % aus der Müllverbrennung aus. 5 % stammen aus Biomasse und nur 1 % kommen aus anderen Energiequellen, u.a. Abwärme. 80 % werden in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt. Im Gegensatz zu Dänemark gehen also nicht 30 %, sondern knapp 80 % der Wärme auf fossile Energieträger zurück. Bis zur Klimaneutralität in 2045 müssen die großen Wärmenetze also 80 % der verteilten Wärme auf Basis regenerativer Wärmequellen neu erschließen. Wie kann dies ablaufen?

Die Abfallverbrennung ist in Deutschland bereits weitgehend etabliert und erreicht mit 15 % einen ähnlich hohen Wert wie in Dänemark. Die Verbrennung von zusätzlicher Biomasse ist in Deutschland, 40 Jahre nachdem der Trend in Dänemark eingeläutet wurde, keine nachhaltige Perspektive mehr.

Nicht nur das Umweltbundesamt warnt seit Jahren vor der Übernutzung von Biomasse (Umweltbundesamt, 2019), auch die Wissenschaft sieht die Perspektive kritisch (Scientists for Future, 2022b) und die Bundesregierung rät im Kontext der kommunalen Wärmeplanung ebenfalls dazu, überregionale Restriktionen bei Biomasse und klimaneutralem Wasserstoff zu beachten (BMWK, 2022).

Abbildung 8: Jahreswärmeertrag der Transformation der Berliner Fernwärme 2035



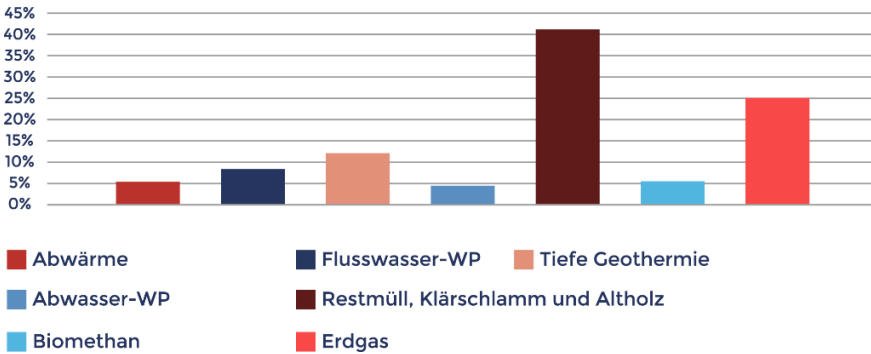
Quelle: Fraunhofer IEE (2021)

Eine radikale Alternative zeigt die „Potenzialstudie klimaneutrale Wärmeversorgung Berlin 2035“ des Fraunhofer IEE (2021) auf. Eine erneuerbare Fernwärmeversorgung für Berlin konstruiert diese Studie aus über 80 % Nieder-temperatur-Wärmequellen in Berlin und im Berliner Umland, die mit dem Einsatz von Groß-Wärmepumpen erschlossen werden. Die größten lokal nutzbaren Potenziale haben dabei die Abwärme aus Industrieprozessen und Rechenzentren (23,6% der erzeugten Wärme), die Wärme aus Flusswasser (12,9%), die Solarthermie (16,5%) sowie die tiefe (17,9%) und oberflächennahe (12,8%) Geothermie. Auch große saisonale Wärmespeicher sind vorgesehen.

Das Berliner Szenario erfüllt die Forderung, auf fossile Energien wie auch auf Biomasse weitgehend zu verzichten. Die reale Umsetzung sieht in den meisten Kommunen dennoch anders aus. Im Fall der Landeshauptstadt Hannover dominiert die Verbrennung von Restmüll, Klärschlamm und Altholz mit ca. 40 % der benötigten Wärmemenge immer noch die Planung der zukünftigen

Wärmeversorgung, die aber darüber hinaus ebenfalls ein breites Mix an Wärmequellen und vorübergehend auch noch Erdgas erschließt.

Abbildung 9: Jahreswärmeertrag der Erzeugeranlagen bei der Transformation der Hannoveraner Fernwärme bis 2035



Quelle: eigene Abschätzung, Basis Pressemeldungen energycity AG von 2019 bis 2022

Während das Berliner Beispiel von einem wissenschaftlichen Institut konzipiert wurde, spiegelt das Beispiel Hannover das Ergebnis eines zweiten Weges wider: auf Basis einer mehrjährigen Diskussion der Stadtwerke energycity AG mit Politik und Zivilgesellschaft wurde ein Konzept zur Wärmeversorgung unter Vermeidung wirtschaftlicher Risiken entwickelt, bei gleichzeitiger Verpflichtung zur Versorgung mit bezahlbarer Wärme. Die Umsetzung dieses wirtschaftlich-technisch Ansatzes ist in Hannover bis Ende 2026 geplant.

Auch in vielen anderen großen Städten werden gegenwärtig neue Wärmequellen erschlossen. Ausgangspunkt ist dabei oft die Frage, wie fossile KWK-Kraftwerke ersetzt werden können. Für jedes größere Wärmenetz stehen aber andere Wärmequellen zur Verfügung, da sich deren Verfügbarkeit von Ort zu Ort deutlich unterscheidet. Es wird also viele Einzellösungen und kein „One-Size-Fits-All“ geben. Wichtig ist, dabei auch im Auge zu behalten, dass die bisher üblichen Kraftwerke riesige Mengen an Wärme zur Verfügung stellten. Die Potenziale von Abwärmequellen, geothermischen Bohrungen u.a.m. sind dagegen meist deutlich kleiner, so dass jedes alte Kraftwerk durch

eine Vielzahl neuer Wärmequellen ersetzt werden muss. Um diese Transformation zu bewältigen, müssen komplexe Transformationsstrategien mit konkreten Meilensteinen erarbeitet werden.

So nutzen beispielsweise die Stadtwerke München das hohe Geothermiepotenzial der Region für ihre Wärmenetze auf relativ niedrigem Temperaturniveau. Im Quartier Freiham speist 90 °C heißes Wasser aus Tiefer Geothermie den Vorlauf eines 60 °C- Wärmenetzes (Stadtwerke München, 2016).

Auch die Einbindung überschüssiger Abwärme wird zukünftig eine wichtige Rolle spielen. Zahlreiche Quellen von Abwärme können genutzt werden: Rechenzentren, Abluft aus U-Bahn-Stationen, Abwärme aus Kühlprozessen in der Industrie oder aus Kühlhäusern und dem Einzelhandel sowie auch Abwasser in Abwasserkanälen und Kläranlagen: Sie alle können je nach Ausgangslage mit oder ohne Wärmepumpe genutzt werden. Fast überall fehlt aber Erfahrung in der Erschließung und Nutzung von Abwärme, so dass potentielle Abwärmequellen oft nicht erkannt und erschlossen werden (Lygnerud et al., 2022).

Averfalk et al. (2021) untersuchten Transformationsstrategien von Wärmenetzen in städtischen Gebieten auf dem Weg hin zu erneuerbarer Wärme. Dabei wird deutlich, dass zur besseren Einbindung von erneuerbaren Wärmequellen die Absenkung der Temperaturen im Wärmenetz hilfreich ist, denn je niedriger die Temperaturen im Wärmenetz liegen, desto mehr Wärmequellen können direkt eingespeist werden. Zudem gilt: falls das Temperaturniveau mit einer Wärmepumpe angehoben werden muss, ist die Arbeitszahl der Wärmepumpe umso besser, je niedriger das Temperaturniveau des Wärmenetzes ist. Eine solche Temperaturabsenkung ist damit langfristig lohnend, denn es werden sowohl Energie als auch Stromkosten gespart.

In großen Bestandsnetzen stellt die Temperaturabsenkung aber eine schwierige und langfristige Aufgabe dar, denn für jedes angeschlossene Gebäude muss geprüft werden, welcher Mindestwert der Vorlauftemperatur erforderlich ist. Reicht die geplante Vorlauftemperatur des Wärmenetzes für die Wärmeversorgung eines Gebäudes nicht aus, muss

- entweder durch energetische Sanierungsmaßnahmen der Wärmebedarf reduziert werden oder
- durch den Einbau größerer Heizkörper oder von Flächenheizungen eine

Wärmeversorgung mit niedrigerer Vorlauftemperatur ermöglicht werden oder

- die Wärmeverteilung durch eine digitale Steuerung der Heizungsanlage inkl. eines digitalen hydraulischen Abgleichs so optimiert werden, dass eine niedrigere Vorlauftemperatur zur Beheizung ausreicht.

Niedertemperatur- und kalte Wärmenetze

Niedertemperatur-Wärmenetze mit Temperaturen zwischen 40 °C und 70 °C reduzieren die Wärmeverluste, die Belastung der Rohre des Wärmenetzes und erhöhen die Effizienz von Wärmepumpen, die Wärmequellen niedriger Temperatur auf Netztemperatur hochpumpen. Außerdem wird die potenziell nutzbare Menge von Abwärme erhöht. (Schmidt et al., 2017)

Kalte Wärmenetze weisen noch niedrigere Temperaturen auf. Hier wird die Wärme auf niedrigem Temperaturniveau dezentral gewonnen und in ein Netz gespeist, das mit einem Temperaturniveau von 5 °C bis 20 °C betrieben wird. Durch die geringen Temperaturen im Netz sind die Wärmeverluste niedrig. Bei sehr niedrigen Vorlauftemperaturen kann durch das Netz sogar Umgebungswärme aufgenommen werden. Als Wärmequellen können Erdwärme, Abwärme, Abwasser, Solarthermie oder andere Niedertemperatur-Wärmequellen dienen. In den angeschlossenen Gebäuden hebt eine Wärmepumpe das Temperaturniveau auf die Vorlauftemperatur der jeweiligen Heizungsanlage an. Der Vorteil des Systems liegt darin, dass die individuelle Erschließung einer Wärmequelle entfällt. Es muss also nicht neben jedem Haus eine Erdsonde gebohrt oder ein Luftwärmetauscher installiert werden. Zudem ist der Leitungsbau vergleichsweise günstig, da auf eine Isolierung der Rohre verzichtet werden kann.

Niedertemperatur-Wärmenetze oder kalte Wärmenetze können auch als Teilnetze in größere Wärmenetze eingebunden werden. Sie nutzen dann z.B. den Wärme-Rücklauf der heißen Netze für Gebäude mit hohem energetischem Standard, die mit niedriger Vorlauftemperatur beheizt werden können. Ein besonders kalter Rücklauf würde wiederum die Chancen verbessern, Wärmeerzeuger wie Solarthermie oder Geothermie in die Netze einzubinden. Es ergäbe sich z.B. folgender Kreislauf:

1. Der Rücklauf aus dem Wärmenetz wird zunächst durch Nutzung von Niedertemperatur-Wärmequellen (Abwärme eines Rechenzentrums,

oberflächennahe Geothermie) und ggf. mithilfe einer Wärmepumpe auf ca. 70 °C erwärmt.

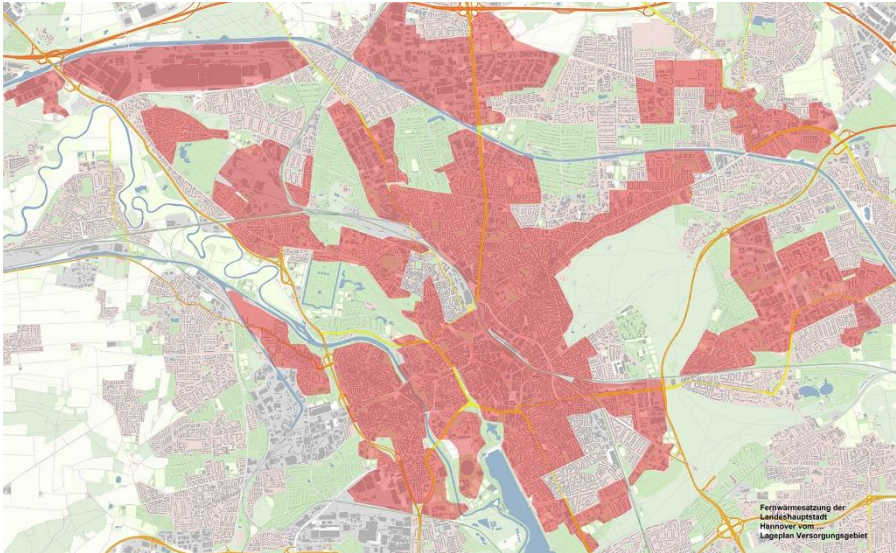
2. Mit der Abwärme, z.B. einer Müllverbrennungsanlage, wird eine Vorlauftemperatur von 100 °C erzeugt.
3. Mit dieser hohen Vorlauftemperatur wird ein konventionelles Wärmenetz betrieben, das Bestandsgebäude versorgt, deren Heizung eine sehr hohe Vorlauftemperatur (zumindest bis zu ihrer Sanierung) erfordert.
4. Der Rücklauf des konventioneller Wärmenetzes (ca. 40 – 50 °C) wird für den Betrieb eines Teilnetzes mit warmem Wasser genutzt, das modernere Gebäude mit geringeren Anforderungen an die Vorlauftemperatur versorgt oder als Wärmequelle für Wärmepumpen dient, die für einzelne Gebäude die Vorlauftemperatur anheben. Der Rücklauf wird hierdurch nochmals deutlich abgekühlt und der Kreislauf startet wieder mit Punkt 1.

Handlungsfelder der Kommunen Wärmeplanung und Fernwärmesatzung

Damit ein Wärmenetz seine Funktion zur sicheren Versorgung der Bevölkerung mit preiswerter und umweltfreundlicher Wärme möglichst gut erfüllt, ist es sinnvoll, in einer kommunalen Wärmeplanung eine Wärmewendestrategie zu entwickeln (Die Bundesregierung, 2023, Scientists for Future 2022a). Darin werden unter anderem Gebiete für die Versorgung mit Fernwärme festgelegt. Ausschlaggebend für die Festlegung dieser Versorgungsgebiete sind der Wärmebedarf pro Flächeneinheit und die Lage etwaiger bereits bestehender Wärmenetze. Je höher der spezifische Wärmebedarf und je dichter existierende Wärmenetze, desto sinnvoller ist die Ausweisung eines Gebietes als Fernwärme-Versorgungsgebiet, vgl. die Darstellung der Versorgungsgebiete durch Fernwärme in Hannover in

Abbildung 10.

Abbildung 10: Die Versorgungsgebiete der Fernwärmeversorgung in Hannover



Quelle: Landeshauptstadt Hannover (2022)

Innerhalb des Fernwärme-Versorgungsgebiets sind die Details der Versorgung in einer Fernwärmesatzung zu regeln. Insbesondere empfiehlt es sich hier, einen Anschluss- und Benutzungszwang zu verhängen. Eine solche Vorschrift kann so ausgestaltet werden, dass eine defekte Gas- oder Ölheizung nicht mehr einfach ersetzt werden darf, sondern stattdessen ein Anschluss an die Fernwärme erfolgen muss. Ausnahmen sind möglich, wenn z.B. ein Gebäude bereits durch erneuerbare Energien beheizt wird. Auf lange Sicht führt eine solche Vorschrift dazu, dass fast alle Gebäude im Versorgungsgebiet mit Fernwärme versorgt werden. Je mehr Gebäude im Versorgungsgebiet an das Wärmenetz angeschlossen werden, umso geringer sind die anteiligen Verluste und umso effizienter und preiswerter wird die Wärmeversorgung.

Wenn im Zuge der kommunalen Wärmeplanung festgestellt wurde, dass ein Teil des Gemeindegebiets langfristig praktisch nur mit Fernwärme klimaneutral beheizt werden kann, dann sollte in diesen Gebieten ein bestehendes Wärmenetz planmäßig ausgebaut und verdichtet werden. Besteht noch kein Wärmenetz, dann sollte ein solches neu geplant und gebaut werden. Die Ko-

ordination mit anderweitig fälligen Tiefbaumaßnahmen ist aus Kostengründen empfehlenswert und notwendig, um die Kosten für den Ausbau der Wärmenetze zu minimieren. Eine Kommunikation mit den betroffenen kommunalpolitischen Gremien, den Einwohner:innen und das Schaffen von Möglichkeiten der Beteiligung sind wesentlich für die Akzeptanz.

Die langjährigen Erfahrungen dänischer Kommunen mit dem Betrieb von Wärmenetzen zeigen, dass es vorteilhaft ist, wenn der Betrieb des Wärmenetzes gemeinnützig, also ohne das Ziel der Gewinnerzielung, erfolgt (Clausen, Benne & Hinterholzer, 2021), denn im Regelfall wird es sinnvoll sein, in der Fernwärmesatzung einen Anschluss- und Benutzungszwang anzuordnen, wodurch der Betreiber des Wärmenetzes praktisch ein Versorgungsmonopol erhält. Ein solches Monopol ist zur Erzielung einer hohen Energieeffizienz des Wärmenetzes und damit auch aus Gründen des Klimaschutzes und der Verantwortung der Gemeinde, für günstige Preise zu sorgen, dringend geboten. Es sollte aber institutionell verhindert werden, dass der Betreiber des Wärmenetzes als Monopolist auf Kosten der Wärmeabnehmer unangemessene Gewinne erwirtschaftet. Hierfür haben sich in Dänemark besonders die Organisation der Wärmeversorgung in Form einer Genossenschaft im Eigentum der Wärmeabnehmenden oder als Gesellschaft im Eigentum der Gemeinde als zweckmäßig erwiesen (Danish Energy Agency, 2012).

Eine weitere vorsorgende Tätigkeit der Gemeinde zur Sicherstellung der Wärmeversorgung besteht darin, die zur Wärmegewinnung nötigen Flächen und Bauplätze in der Flächennutzungsplanung und den Bebauungsplänen auszuweisen.

Abbildung 11: Fläche für Solarkollektoren in Silkeborg in Dänemark



Quelle: Clausen

Was aber ist zu tun, wenn in der Gemeinde ein Wärmenetz zwar zweckmäßig wäre, aber ein Stadtwerk nicht vorhanden ist? Zahlreiche Bioenergieörfer haben in den letzten Jahren gezeigt, dass die Errichtung einer zentralen Wärmeversorgung und eines Wärmenetzes im ländlichen Raum durchaus möglich ist. Bei diesen Gründungen ist die Rechtsform der Genossenschaft die häufigste vor verschiedenen privatrechtlichen Rechtsformen (Roland & Eigner-Thiel, 2016).

Grundsätzlich erscheint es aber auch möglich, dass eine Gemeinde eine Partnerschaft mit einer Nachbargemeinde eingeht, wenn diese schon über ein Stadtwerk verfügt. Ziel wäre dabei, das Aktivitätsgebiet des bestehenden Stadtwerks auf eine weitere Gemeinde auszudehnen.

Quellen

- Aalborg CSP. (2022). 2.5MW integrated heat pump system, Denmark. *Aalborg CSP*. Verfügbar unter: <https://www.aalborgcsp.com/projects/district-heating-projects/25mw-integrated-heat-pump-system-denmark>
- AGFW e.V. (2021). *AGFW-Hauptbericht 2020*. Frankfurt. Verfügbar unter: <https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht>.
- AGFW. (2022). *Fernwärmenetze im Kontext nationaler Klimaziele: Potenziale für „Urban-Turn“*. Frankfurt am Main: AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. Verfügbar unter: <https://www.agfw.de/forschung/urbanturn>.
- Averfalk, H.; Benakopoulos, T.; Best, I.; Dammel, F.; Engel, C.; Geyer, R. et al. (2021). *Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. Final Report of IEA DHC Annex TS2 - Implementation of Low-Temperature District Heating Systems*. Kassel.
- BMWK. (2022). *Diskussionspapier des BMWK: Konzept für die Umsetzung einer flächendeckenden kommunalen Wärmeplanung als zentrales Koordinierungsinstrument für lokale, effiziente Wärmenutzung*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/diskussionspapier-waermeplanung.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Chittum, A. & Østergaard, P. A. (2014). How Danish communal heat planning empowers municipalities and benefits individual consumers. *Energy Policy*, 74, 465–474. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.001>
- Clausen, J. (2020). *Regenerative Wärmequellen. Wärmepotentiale zur Versorgung der Landeshauptstadt Hannover*. Berlin: Borderstep Institut. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/publikation/clausen-j-2020-regenerative-waermequellen-waermpotentiale-zur-versorgung-der-landeshauptstadt-hannover-borderstep-institut-hannover-und-berlin/>
- Clausen, J., Benne, M. & Hinterholzer, S. (2021). *Wärmeplanung als Instrument der Wärmewende. Digitale Unterstützung als Schlüssel zur Verbreitung in der Verwaltung. CliDiTrans Werkstattbericht*. Berlin: Borderstep Institut. Verfügbar unter:

<https://www.borderstep.de/publikation/clausen-j-benne-m-hinterholzer-s-2021-waermeplanung-als-instrument-der-waermewende-digitale-unterstuetzung-als-schluesel-zur-verbretung-in-der-verwaltung-clidittrans-werkstattbe-richt-b/>

- Danish Energy Agency. (2012). *Varmepri-sanalyse*. Studie. Kopenhagen: Forsyningstil-synet. Verfügbar unter: <https://forsyningstilsynet.dk/media/5192/varmepri-sanalyse.pdf>
- Die Bundesregierung. (2023). Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisie-rung der Wärmenetze. Berlin. Zugriff am 1.2.2024. Verfügbar unter: https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/waermeplanung/wpg-bgbl.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- Fraunhofer IEE. (2021). *Potenzialstudie klimaneutrale Wärmeversorgung Berlin 20*. Ber-lin. Verfügbar unter: <https://www.bund-berlin.de/service/publikationen/de-tail/publication/potenzialstudie-klimaneutrale-waermeversorgung-berlin-2035/>
- Georgiev, I. (2019). *Case study on Solar-heating plant in Silkeborg, Denmark*. Brüssel. Verfügbar unter: <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publica-tion/981d585d-c492-11e9-9d01-01aa75ed71a1>
- Johansen, K. & Werner, S. (2022). Something is sustainable in the state of Denmark: A review of the Danish district heating sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112117. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112117>
- Landeshauptstadt Hannover. (2022). *Drucksache Nr. 0081/2022 N1: Fernwärmesat-zung Hannover*. Hannover. Verfügbar unter: <https://e-government.hannover-stadt.de/lhhsimwebre.nsf/DS/0081-2022N1>.
- Lygnerud, K.; Nielsen, S.; Persson, U.; Wynn, H.; Wheatcroft, E.; Antolin-Gutierrez, J.; Leonte, D.; Rosebrock, O.; Ochsner, K.; Keim, C. et al. (2022). *Handbook for in-creased recovery of urban excess heat*. ReUseHeat Project, Grant Agreement 767429, European Commission. Verfügbar unter: <https://www.reuse-heat.eu/wp-content/uploads/2022/09/ReUseHeat-Handbook-For-Increased-Recovery-of-Urban-Excess-Heat.pdf>.
- Roland, F. & Eigner-Thiel, S. (2016). *10 Jahre Bioenergiedörfer – Ergebnisse einer Me-taanalyse von 160 Bioenergiedörfern*. Göttingen. Verfügbar unter: http://www.bi-oenergiedorf.info/fileadmin/user_upload/Schriftenreihe/SR-4_10_Jahre_BED_2017.pdf.
- Schmidt, D.; Kallert, A.; Blesl, M.; Li, H.; Svendsen, S.; Nord, N. et al. (2017). *Future Low Temperature District Heating Design Guidebook. Final Report of IEA DHC Annex TS 1, Low Temperature District Heating for Future Energy Systems*. Kassel und Paris. AGFW-Projekt Germany und International Energy Agency (IEA DHC|CHP).
- Scientists for Future. (2022a). *Kommunale Wärmeplanung Grundlage einer klimaver-antwortlichen Stadtplanung*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4fu-ture.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2022b). *Heizen mit Holz: knapp, teuer und unerwartet klimaschäd-lich*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommu-nale-waermewende/>

- Stadtwerke München. (2016). *Niedertemperaturnetz Freiam-Nord: die richtige Lösung*. München. Verfügbar unter: <https://www.swm.de/dam/doc/geschaeftskunden/fernwaerme/niedertemperaturnetz-freiam-nord.pdf>
- Umweltbundesamt. (2019). *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE - Studie*. Dessau-Roßlau. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf
- Voigts, I. (2023, September 5). Transformation der Wärmeversorgung - Lösungen für die Wärmewende in Hannover. Gehalten auf der Energieforum 2023, Lüneburg. Zugriff am 4.10.2023. Verfügbar unter: <https://www.leuphana.de/institute/in-sugo/energie-und-umweltrecht/veranstaltungen/energieforum/energieforum-2023.html>

4. Wärmepumpen

Autor:innen: Clausen, Jens; Miara, Marek; Weber, Urban; Seckmeyer, Gunther; Linow, Sven; Hoffmann, Rana; Huber, Michael

Es ist abzusehen, dass die Wärmepumpe die dominierende Heizungstechnologie der Zukunft sein wird, insbesondere für Gebäude, die nicht an Wärmenetze angeschlossen werden (Bürger, Braungardt & Miara, 2022). Überkommene Heizungstechnologien, die fossile Energieträger nutzen (Heizöl, Erdgas), sind ein Auslaufmodell. Für Biomasse-basierte Heiztechnologien ist nur begrenzt Brennstoff verfügbar und sie sind teilweise mit Feinstaub-Emissionen verknüpft (Scientists for Future, 2022). Wasserstoff wird in der Wärmeversorgung sinnvollerweise nur in KWK-Großkraftwerken für Wärmenetze eingesetzt werden. Photovoltaik und Solarthermie können gut mit Wärmepumpen kombiniert werden. Schon 2024 soll die Wärmepumpe mit Absatzzahlen um die 500.000 Stück p.a. einen Anteil von über 50 % im Markt für Wärmeerzeuger erreichen (BMWK et al., 2022).

Die Herausforderung für alle Beteiligten bei der zukünftigen Wärmeversorgung, von den Herstellern über die Installateure bis zu den Hausbesitzenden, liegt darin, dass für die Wärmepumpe andere Rahmenbedingungen und Anforderungen gelten als für das Heizen mit Erdgas, Heizöl oder Pellets. Eine Reihe von Eigenschaften der Wärmepumpen erscheinen in der Tat zunächst ungewöhnlich und müssen überzeugend erklärt werden:

- In Wärmepumpen wird nichts verbrannt. Manche Menschen zweifeln daher daran, dass es mit einer Wärmepumpe warm genug wird.
- Eine Wärmepumpe entzieht auch der winterlichen Außenluft wohlige Heizwärme. Viele Menschen hindert das, Vertrauen zu dieser Technologie aufzubauen, weil sie nicht wissen, dass man auch mit kalter Winterluft heizen kann.
- Aus Hygienegründen und besonders zur Vermeidung von Legionellen erhitzen wir unser Warmwasser meist auf 60 °C oder mehr. Mit historisch überbrachter Technologie erledigte die klassische Verbrennerheizung das als Nebenfunktion. Beim Einsatz einer Wärmepumpe muss diese entweder auf diese hohen Vorlauftemperaturen ausgelegt werden, was teuer ist, oder die Warmwasserversorgung erfolgt elektrisch

mit Kleinthermen und Durchlauferhitzern. Das sind Hausbesitzende, Installateure und Architektinnen und Architekten noch nicht unbedingt gewohnt.

- An Luftwärmepumpen, die sich im Winter abtauen, müssen wir uns gewöhnen, denn dieses Abtauen kann eine große Dampfwolke erzeugen.
- Moderne Wärmepumpen arbeiten leise. Früher wurde die Geräuschbelastung durch die Außeneinheit oft bemängelt, aber moderne Wärmepumpen haben deutlich geringere Schallemissionen als ältere.
- Viele Menschen nehmen an, dass eine Wärmepumpe nur zu einem geringen Teil durch eine Photovoltaikanlage mit Strom versorgt werden könnte. Aber wenn die Photovoltaikanlage nicht zu klein und ein Stromspeicher vorhanden ist, können oft 60 % des Strombedarfs der Heizung selbst erzeugt werden.

Dieses Kapitel möchte die Wärmepumpen-Technologie näher erklären und informiert darüber hinaus darüber, dass Wärmepumpen nicht nur für Neubauten, sondern auch zur Heizung von Bestandsgebäuden gut geeignet sind.

Kernaussagen

Der russische Überfall auf die Ukraine hat nicht nur die Erdgaspreise in die Höhe getrieben, sondern auch die Diskussion um die aus Nachhaltigkeitsgründen sowieso anstehende Wärmewende in Deutschland massiv in Fahrt gebracht. Neben Gas- und Ölheizung sind jetzt auch regenerative Wärmeerzeuger stärker ins Gespräch gekommen. Hierzu gehört die Wärmepumpe für die Versorgung einzelner Gebäude mit Wärme aus der Umwelt und aus erneuerbar erzeugtem Strom.

- Deutschland soll nach dem Klimaschutzgesetz spätestens 2045 klimaneutral sein. Bis dahin müssen alle Öl- und Gasheizungen ersetzt werden. Da Holz und Pellets schon heute knapp sind, wird die Wärmepumpe das dominierende Heizsystem werden. Schon im Jahr 2024 soll jede zweite neu installierte Heizung eine Wärmepumpe sein.
- Wärmepumpen können Umweltwärme aus der Luft, dem Erdreich, dem Grundwasser und je nach Verfügbarkeit auch andere Wärmequellen für das Heizen nutzbar machen.
- Je nach energetischem Standard des Gebäudes und der Temperatur und

Art der genutzten Umweltwärme kann eine Wärmepumpe im Jahresmittel pro Kilowattstunde Strom drei bis vier, unter besonders günstigen Bedingungen auch fünf Kilowattstunden Wärme zum Heizen bereitstellen.

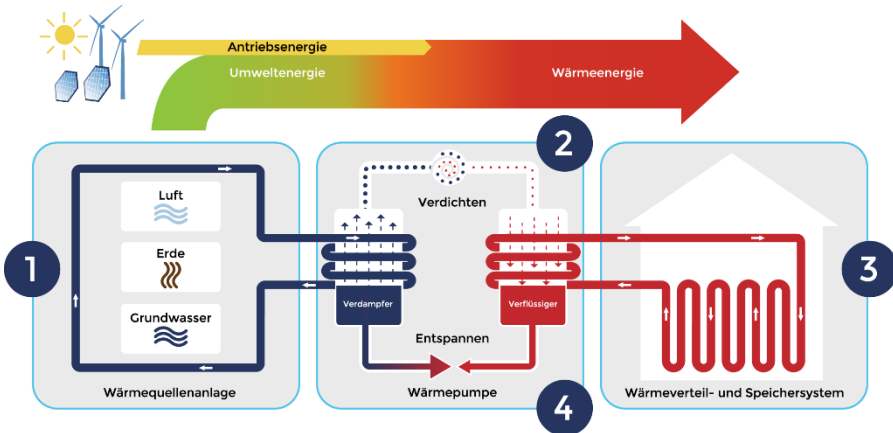
- Wärmepumpen arbeiten besonders effizient, wenn die Wärme über Flächenheizungen verteilt wird. Besonders verbreitet ist die Fußbodenheizung. Aber auch Wände und Decken können mit Flächenheizsystemen nachgerüstet werden.
- Verzichtet man auf den Anspruch höchster Effizienz, dann zeigen zahlreiche Beispiele, dass sich auch ältere Bestandsgebäude mit Wärmepumpenanlage durch die vorhandenen Heizkörper beheizen lassen. Oft reicht schon der Austausch einzelner Heizkörper für eine erste Optimierung des Heizsystems aus.
- Die Ausrüstung zahlreicher Gebäude mit Wärmepumpen zeitgleich zur Verbreitung von Elektroautos wird den Strombedarf in Wohngebieten deutlich erhöhen. Gemeinden sollten darauf hinwirken, dass die Stromnetze rechtzeitig ertüchtigt werden. Die erneuerbare Stromerzeugung muss dabei zügig ausgebaut und auch direkt lokal genutzt werden. (v.a. Photovoltaik und Windkraft).
- Wärmepumpen erfordern den Einsatz von Kältemitteln, die früher häufig sehr klimaschädlich waren. Da sich die Freisetzung durch Lecks nie ganz vermeiden lässt, wurde in der EU-Verordnung Nr. 517/2014 vorgeschrieben, dass als Kältemittel in Wärmepumpen künftig nur noch Stoffe mit einem geringen Treibhausgaspotential wie Propan, Butan oder Ammoniak zum Einsatz kommen.
- Neben der Wärme sind viele Wärmepumpen auch in der Lage, Kühlung bereitzustellen. Ein wachsender Bedarf an Gebäudekühlung entsteht durch den fortschreitenden Klimawandel, vor allem in den Sommermonaten. Wärmepumpen können also auch dazu beitragen, hitzebedingte Gesundheitsschäden abzumildern.

Wärmepumpen werden gemütliche Raumwärme auch nach dem Ende der Versorgung mit Erdgas und Heizöl sicherstellen können. Bis dahin ist aber viel zu tun.

Was ist eigentlich eine Wärmepumpe?

In einer Wärmepumpenanlage kreist ein Arbeitsfluid, oft auch als Kältemittel bezeichnet. Zum Heizen nimmt das Kältemittel Umgebungswärme auf, anschließend wird es verdichtet und dabei insbesondere seine Temperatur erhöht. Dann gibt es diese Wärme an die Heizungsanlage ab und fließt abgekühlt wieder zurück. Die Wärmepumpenanlage basiert auf dem gleichen physikalischen Prinzip wie ein Kühlschrank, nur dass bei diesem der Innenraum nicht beheizt, sondern gekühlt wird. Der Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2021) stellt das Funktionsprinzip der Wärmepumpe wie in Abbildung 12 grafisch dar

Abbildung 12: Funktionsprinzip der Wärmepumpe



Quelle: nach Bundesverband Wärmepumpe, modifiziert durch Clausen & Hinterholzer (2022)

Durch die **Wärmequellenanlage (1)** wird die Wärmeenergie der Umwelt (Luft, Erdwärme, Grundwasser) durch ein Kältemittel/Arbeitsfluid entzogen, welches kälter ist als die jeweilige Umgebung. Dadurch wärmt sich das Kältemittel auf. Die **Wärmepumpe (2)** sorgt mit dem elektrisch angetriebenen Verdichter für die nötige Erhöhung der Temperatur. Den Effekt kennen wir von der Fahrrad-Luftpumpe: Wenn wir damit arbeiten, erhöht sich nicht nur der Luftdruck, sondern die verdichtete Luft wird auch deutlich erwärmt. Das

Wärmeverteilsystem (3) mit seinen Heizkörpern verteilt die Wärme im zu beheizenden Gebäude. Nachdem das Kältemittel Wärme an das Wärmeverteilsystem abgegeben hat, wird es auf dem Rückweg wiederum in der **Wärmepumpe (4)** entspannt und damit weiter abgekühlt. Es kann dann wieder Wärme aus der Umgebung aufnehmen.

Das Prinzip der Wärmepumpe führt dazu, dass mit einem begrenzten Einsatz an elektrischem Strom ein Vielfaches an Wärme aus der Umwelt aufgenommen und genutzt werden kann. Die meisten Wärmepumpen liefern 3- bis 4-mal so viel Wärme, wie sie an Strom verbrauchen. Mit einer Kilowattstunde Strom lassen sich also bis zu vier Kilowattstunden Wärme erzeugen. Unter besonders günstigen Bedingungen können es auch bis zu fünf Kilowattstunden sein.

Welche Wärmepumpen gibt es?

Eine **Luft-Wasser-Wärmepumpe** entzieht der Umgebungsluft Wärme und gibt diese an ein Warmwasserheizsystem mit Heizkörpern oder Flächenheizung ab.

Eine **Sole-Wasser-Wärmepumpe** entzieht dem Erdreich oder dem Grundwasser Wärme und gibt diese an ein Warmwasserheizsystem mit Heizkörpern oder Flächenheizung ab. Der Begriff „Sole“ rührt daher, dass für den Wärmeaustausch in der Erdsonde nicht Wasser, sondern wässrige Lösungen mit Frostschutzzusatz verwendet werden, die „Sole“ genannt werden.

Eine **Wasser-Wasser-Wärmepumpe** entzieht i. d. R. dem Grundwasser oder einem Fließgewässer Wärme und gibt diese an eine Warmwasserheizung mit Heizkörpern oder Flächenheizung ab.

Eine **Luft-Luft-Wärmepumpe** ist eine zum Heizen eingesetzte Klimaanlage und gibt die Wärme nicht über einen Heizwasserkreislauf ab, sondern durch einen Luftstrom. Das Gebäude braucht daher keine Heizkörper oder Heizflächen.

Die meisten Wärmepumpen lassen sich auch auf den Kühlbetrieb umschalten. Wenn das Wärmeverteilsystem dafür geeignet ist, kann mit der Wärmepumpe im Sommer also auch gekühlt werden. Im Kühlbetrieb pumpt sie die Wärme aus dem Haus heraus. Diese Wärme kann durch Sole-Wasser-Wärmepumpen in eine Erdsondenbohrung eingespeist und gespeichert werden, so dass sie anteilig im nächsten Winter zum Heizen eingesetzt werden kann.

In Neubauten sind Wärmepumpen schon heute das am häufigsten eingesetzte Heizungssystem. Dies wird auch so bleiben, denn in Neubauten sind aufgrund des im Herbst 2023 novellierten Gebäudeenergiegesetzes (Die Bundesregierung, 2024) ab Anfang 2024 nur noch Heizungen zulässig, die mindestens zu 65 Prozent Erneuerbaren Energien nutzen. Dies sind z.B. Wärmepumpen (Luft, Sole und Wasser), der Anschluss an ein Fernwärmenetz oder eine Biomasseheizung. Mit Blick auf immer knapper und teurer werdende Biomasse (Scientists for Future, 2022) dürfte daher der Bedarf an Wärmepumpen deutlich steigen.

Kältemittel in Wärmepumpen

Die EU-Verordnung Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase, kurz F-Gase-Verordnung, schreibt eine kontinuierliche Reduktion des klimaschädlichen Potenzials von Kältemitteln vor. 2020 traten Verwendungsverbote für Kältemittel in Kraft, deren Global Warming Potential (GWP) das 2.500-fache von CO₂ (GWP-Wert 1) übersteigt. Ab 2025 werden Kältemittel mit einem GWP von über 750 verboten. Gegenwärtig werden mehr und mehr Wärmepumpen mit dem Kältemittel Propan (GWP-Wert 3) und Ammoniak (GWP-Wert 0) angeboten. Erste Anlagen nutzen auch bereits CO₂ (GWP-Wert 1) als Kältemittel. In Zukunft wird also die oftmals angeführte Klimaschädlichkeit des Kältemittels kein Argument gegen Wärmepumpen mehr sein.

Eine interessante Anwendung von Wärmepumpen gibt es in sogenannten „kalten Nahwärmenetzen“. Ein „kaltes Nahwärmenetz“ stellt jedem angeschlossenen Gebäude eine Wärmequelle mit einer konstanten Temperatur von ca. 5 bis 20 °C zur Verfügung, die für die Wärmepumpe im Gebäude eine höhere Arbeitszahl ermöglicht als durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe normalerweise erzielt werden kann. Typische Wärmequelle für kalte Nahwärmenetze sind z.B. Flächenkollektorfelder oder Erdsondenfelder. Der Betreiber des gemeinschaftlich betriebenen kalten Nahwärmenetzes kann i. d. R. den energetisch ergiebigsten Platz für das Kollektorfeld bzw. das Erdsondenfeld wählen.

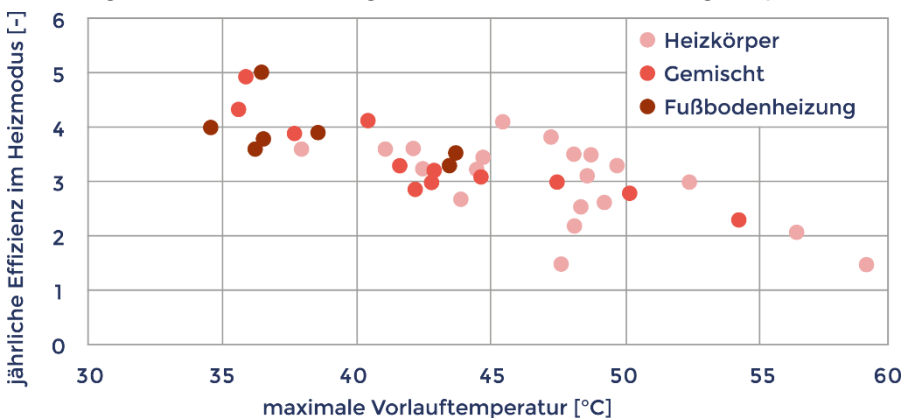
Wann arbeitet eine Wärmepumpe effizient?

Die Effizienz einer Wärmepumpe hängt von einer ganzen Reihe von Einflussfaktoren ab. Am wichtigsten ist dabei der Temperaturhub, also die Differenz zwischen der Temperatur der Wärmequelle und der Vorlauftemperatur, die für die Heizung benötigt wird:

Die Temperatur der Wärmequelle: Es ist leicht verständlich, dass aus einem Grundwasserstrom, der ganzjährig Temperaturen von 13 °C aufweist, Wärme leichter herauszuholen ist, als aus kalter Umgebungsluft im Winter. Sole-Wärmepumpen, die die Wärme aus Erdsonden nutzen und Wasser-Wärmepumpen, welche die Wärme aus dem Grundwasser nutzen, erreichen daher meist eine höhere Effizienz als Luftwärmepumpen, die die Heizwärme der Umgebungsluft entnehmen. Je wärmer das genutzte Umgebungsmedium ist, desto effizienter läuft die Wärmepumpe und desto mehr Wärme stellt sie pro Kilowattstunde eingesetzter Elektrizität als Raumwärme bereit. Selbst aus frostiger Winterluft kann Wärme entzogen werden, an besonders kalten Tagen jedoch mit eher niedrigerer Effizienz.

Die Vorlauftemperatur der Heizung: Je geringer die Vorlauftemperatur der Heizung sein kann, desto größer ist der Wirkungsgrad der Wärmepumpe. 35 °C Vorlauftemperatur sind z.B. deutlich günstiger als 50 °C oder gar mehr (Abbildung 13).

Abbildung 13: Der Zusammenhang von Effizienz und Wärmeübergabesystem



Quelle: Miara (2022), Messdaten von 41 Luft/Wasser Wärmepumpen

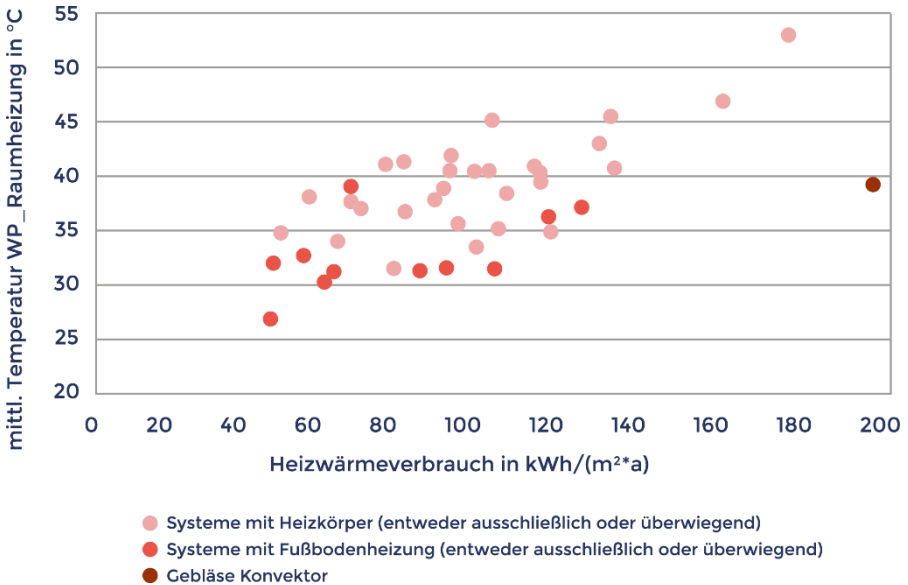
Indirekt ist auch wichtig, welches Wärmeübergabesystem eingesetzt werden kann. Eine Flächenheizung erwärmt große Oberflächen und kann einen Raum daher auch mit niedriger Vorlauftemperatur wärmen. Die Heizfläche von herkömmlichen Heizkörpern ist kleiner und kann für eine Wärmepumpenheizung unzureichend sein. Viele Erfahrungen aus der Praxis zeigen aber, dass auch im Altbau nach dem Einbau einiger größerer Heizkörper eine geringere Vorlauftemperatur ausreicht und damit der effiziente Betrieb einer Wärmepumpe möglich ist. Abbildung 13 zeigt, dass Fußbodenheizungen zwar grundsätzlich eine höhere Effizienz ermöglichen, aber auch, dass mit Heizkörpern in vielen Häusern mit Wärmepumpenheizung ähnlich hohe Effizienzen erreicht werden.

Letztlich ist auch der Energiestandard des Hauses von Bedeutung. Je geringer der Wärmebedarf, desto geringer ist die nötige Vorlauftemperatur und desto höher die Effizienz der Wärmepumpe. Durch energetische Sanierungsaktivitäten spart man mit Wärmepumpe also doppelt, denn es sinkt nicht nur der Wärmebedarf, sondern zusätzlich steigt die Effizienz der Wärmepumpenanlage und auch der Stromverbrauch sinkt.

Wie kann auch ein altes Haus mit Wärmepumpe beheizt werden?

Auch in Bestandsgebäuden funktionieren Wärmepumpen zuverlässig und auch hier wird die Effizienz maßgeblich von der erforderlichen Vorlauftemperatur der Heizung beeinflusst. Diese wiederum hängt vom spezifischen Heizwärmebedarf und dem Wärmeübergabesystem ab. In Abbildung 14 sind Ergebnisse der Auswertung vieler Praxisbeispiele mit einem Wärmebedarf von bis zu 130 kWh/m² und mit unterschiedlichen Wärmeübergabesystemen gezeigt.

Abbildung 14: Mittlere Betriebstemperatur der Wärmepumpe im Betriebsmodus Raumheizung über dem spezifischen Heizwärmeverbrauch



Quelle: Günther et al. (2020)

Es wird deutlich, dass mit steigendem Heizwärmeverbrauch eine tendenziell höhere Vorlauftemperatur erforderlich ist. Das Alter des Gebäudes ist nach den vom Fraunhofer ISE erhobenen Daten dagegen nicht entscheidend (Günther et al., 2020). Die Daten zeigen aber auch, dass ein Umstieg auf Flächenheizsysteme nicht zwangsläufig erforderlich ist, wenngleich ein solcher Umstieg zu niedrigeren Vorlauftemperaturen der Heizung und zu einer höheren Effizienz führt. Auffällig in der genannten Erhebung ist darüber hinaus, dass Anlagen mit Wärmeverteilung über Heizkörper mit recht unterschiedlichen Temperaturen betrieben wurden. Dies liegt u.a. daran, dass einige Heizkörper bei gleichem Platzbedarf wesentlich größere Oberflächen aufweisen, andere durch eingebaute Ventilatoren eine höhere Konvektion erreichen und im Sommer auch zum Kühlen genutzt werden können.

Als Flächenheizung ist die Fußbodenheizung am bekanntesten. Aber auch Wände oder Zimmerdecken können zum Heizen genutzt werden. Hierfür

können entweder wasserführende Heizungsrohre direkt in die Wand oder Decke eingebettet werden, oder es wird eine Unterkonstruktion an die Decke oder an der Wand angebracht und anschließend fertige Modulplatten samt Heizrohren eingehängt (CO₂-Online, 2022a, 2022b). Die Trockenverlegung mit Unterkonstruktion und Heizmodulen ist dabei auch für die Sanierung von Gebäuden gut geeignet.

Grundsätzlich führt auch jede Absenkung des Heizwärmebedarfs durch Maßnahmen der thermischen Sanierung (Gebäudedämmung) zu einer Absenkung der nötigen Vorlauftemperatur und damit zu einer höheren Effizienz der Wärmepumpenanlage. Wärmepumpenpraktiker empfehlen einen einfachen Test um zu prüfen, ob ein Haus wärmepumpentauglich ist: man senkt einen Winter lang die Vorlauftemperatur auf 55 °C (oder geringer) ab. Wenn es dann nicht zu kalt wird, ist eine Wärmepumpe möglich. Aber auch wenn der 55 °C-Test nicht erfolgreich ist, bieten zahlreiche Hersteller mittlerweile Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Vorlauftemperaturen bis zu 70 °C an.

Die 65-Prozent-Vorschrift und die Wärmepumpe

Nachdem das im Jahr 2023 novellierte Gebäudeenergiegesetz (Die Bundesregierung, 2024) nach Abschluss der kommunalen Wärmeplanung Mitte 2026 in Großstädten und Mitte 2028 in allen anderen Kommunen seine volle Wirksamkeit erreicht, soll jede neu eingebaute Heizung mit mindestens 65 Prozent erneuerbarer Energie betrieben werden. Die Bundesregierung fasst Kernaussagen verschiedener Studien und Szenarien für die zukünftig klimaneutrale Wärmeerzeugung wie folgt zusammen (BMWK & BMWSB, 2022):

- **„Die Reduktion des Wärmebedarfs in Gebäuden ist zentral.** Nicht nur das Sanierungstempo, auch die Sanierungstiefe muss am Ziel der Klimaneutralität ausgerichtet werden.
- **Wärmenetze** werden eine wichtige Rolle bei der Wärmeversorgung übernehmen. Mit klimaneutralen Wärmenetzen kann man unterschiedliche erneuerbare Wärmepotenziale kostengünstig erschließen und insbesondere dicht bebaute Gebiete mit erneuerbarer Wärme oder Abwärme versorgen.
- **Wo möglich, sollte erneuerbare Wärme oder unvermeidbare Abwärme direkt genutzt werden.** Insbesondere die Nutzung der Umgebungswärme mit Wärmepumpen spielt in allen Studien und Szenarien eine entscheidende Rolle. Sie wird ergänzt durch geothermische Systeme und Solarthermie und

insbesondere in Wärmenetzen durch die Nutzung von unvermeidbarer Abwärme oder Wärme aus allen Tiefebereichen der Geothermie.

- **Biomasse, grüner Wasserstoff und andere strombasierte synthetische Brennstoffe sind knappe Ressourcen.** Sie werden aufgrund einer hohen Nachfrage in anderen Sektoren voraussichtlich auch mittel- bis langfristig teuer bleiben. Grüner Wasserstoff und strombasierte Brennstoffe stehen zudem in den kommenden Jahren noch nicht in nennenswertem Umfang zur Verfügung.“

Nicht nur beim Neubau von Gebäuden, auch beim Ausfall einer alten Heizungsanlage und dem notwendigen Ersatz wird es in Zukunft nur noch gestattet sein, Wärmeversorgungsanlagen einzubauen, die mindestens 65 % erneuerbare Wärme nutzen. Dies geschieht z.B. durch den:

- Anschluss an ein Wärmenetz,
- Einbau einer Wärmepumpe mit den Wärmequellen Luft, Erdreich oder Wasser,
- Einbau einer Biomasseheizung auf Basis von fester oder flüssiger Biomasse,
- Einbau einer Gasheizung unter Nutzung von „grünen“ Gasen oder Wasserstoff,
- Einbau einer Hybridheizung, also z.B. der Kombination von Wärmepumpe und Gasheizung oder den
- Einbau einer Stromdirektheizung.

Im Fall des Heizungstausches nach einer Heizungshavarie gelten Übergangsfristen.

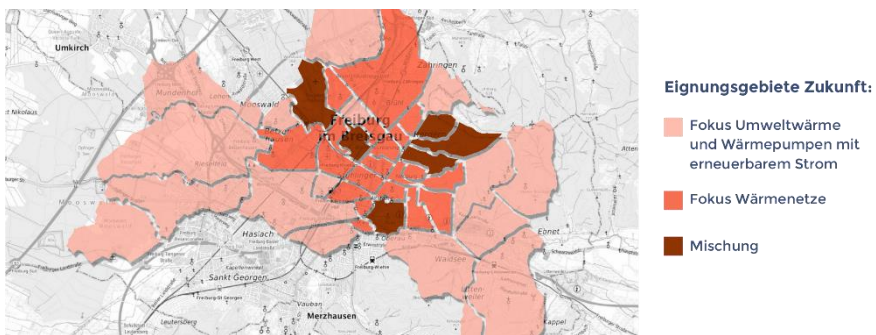
Die deutliche Warnung der Bundesregierung vor Knappheiten bei der Versorgung mit Biomasse, grünem Wasserstoff und anderen strombasierten synthetischen Brennstoffen sowie die Einschränkung der Nutzung einer Stromdirektheizung auf extrem energieeffiziente Gebäude reduziert die verbleibende Auswahl faktisch auf den Anschluss an ein Wärmenetz oder den Einbau einer Wärmepumpe. Als Übergangstechnologie verbleibt zusätzlich in der Zeit bis zum Einstellen der Gasversorgung die Hybridheizung.

Die Klimapolitik der neuen Bundesregierung führt dazu, dass die Wärmepumpe sich als Heizsystem der Zukunft mit sehr hohem Marktanteil etablieren wird.

Was kann die Gemeinde unternehmen?

Wärmepumpen sollten auch Gegenstand der kommunalen Wärmeplanung sein. Die Verpflichtung der Gemeinden zu einer solchen Planung ist Gegenstand des seit dem 1.1.2024 gültigen Wärmeplanungsgesetzes (Die Bundesregierung, 2023). Wenn im Zuge der kommunalen Wärmeplanung (Scientists for Future, 2022) festgestellt wird, dass in einem Teil des Gemeindegebiets auch langfristig kein Fernwärmenetz errichtet werden wird, wird sich dort zukünftig die Wärmepumpe als dominierendes Heizsystem durchsetzen. Die Stadt Freiburg i. Br. weist in diesem Sinne z.B. Eignungsgebiete mit einem Fokus auf „Umweltwärme und Wärmepumpen mit erneuerbarem Strom“ aus.

Abbildung 15: Einteilung des Stadtgebiets nach zukünftigen Eignungsgebieten



Quelle: Datengrundlage: Stadt Freiburg (2022), www.freiburg.de, Kartenhintergrund: © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Während sich die Kommune in den geplanten Gebieten mit Fernwärmeversorgung um die Errichtung und den Betrieb eines Fernwärmenetzes auf Basis regenerativer Energie kümmern muss, sind die Aufgaben in Gebieten außerhalb des Fernwärmegebietes andere: Hier ist sicherzustellen, dass die Stromnetze zur Versorgung einer großen Anzahl von Gebäuden mit Wärmepumpen und für die Elektromobilität ausreichend dimensioniert sind. Wo dies nicht der Fall ist, muss der Netzbetreiber angehalten werden, die Netze rechtzeitig zu ertüchtigen.

Zusätzlich ist es hilfreich, Planungen für energetische Sanierungsgebiete zu beginnen, mit denen die Transformation zur Versorgung mit erneuerbarer

Wärme koordiniert für ganze Quartiere erfolgen kann. In solchen Gebieten sollte für die Eigentümer durch eine gemeinsame Planung und besonders günstige Förderbedingungen ein hoher Anreiz entstehen, den jeweiligen Gebäudebestand zukunftsfähig zu gestalten.

Auch bei der Aufstellung kommunaler Wärmepläne sollte überlegt werden, ob unterstützende Planungen für den Bau von Wärmepumpen erfolgen können. So könnte der kommunale Wärmeplan z.B. ausweisen, in welchen Gebieten oberflächennahe Geothermie gestattet bzw. ausgeschlossen ist. Und wo sie gestattet ist, könnte die Planung konkret mit Blick auf kleine Grundstücke in Reihenhaussiedlungen Vorschläge machen, wo Erdsonden platziert werden sollten, um Mindestabstände sicherzustellen und die langfristige Unterkühlung der Sonden zu vermeiden.

Quellen

- BMWK & BMWSB. (2022). *65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024 Konzeption zur Umsetzung*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/bauen/konzeptpapier-65-prozent-ee.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- BMWK, BMWSB, BDEW, BEE, BFW, BDH et al. (2022). *Gemeinsame Absichtserklärung. Mehr Tempo bei der Transformation der Wärmeversorgung: Wir brauchen schneller mehr Wärmepumpen*. Berlin.
- Bürger, V., Braungardt, S. & Miara, M. (2022). *Durchbruch für die Wärmepumpe. Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand*. Freiburg i. Br. Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/durchbruch-fuer-die-waermepumpe/>
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2021). *Wie funktioniert die Wärmepumpe?* www.waermepumpe.de. Zugriff am 6.12.2021. Verfügbar unter: <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2022). *Absatzzahlen und Marktanteile*. www.waermepumpe.de. Verfügbar unter: <https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/>
- Clausen, J. & Hinterholzer, S. (2022). *Wärmepumpenanlagen: Technologie - Wirtschaftlichkeit - Diffusionsfaktoren*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.bor-derstep.de/wp-content/uploads/2022/03/Vorstudie-Waermepumpe_20220302.pdf
- CO2-Online. (2022a). *Deckenheizung: Wärmen und Kühlen von oben*. CO2-Online. Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/heizung/deckenheizungen/#c168279>

- CO2-Online. (2022b). Wandheizung: Wärme von allen Seiten. CO2-Online. Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/heizung/wandheizungen/>
- Die Bundesregierung. (2023). Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze. Berlin. Zugriff am 1.2.2024. Verfügbar unter: <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/waermeplanung/wpg-bgbl.pdf?blob=publicationFile&v=1>
- Die Bundesregierung. (2024). Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG). Berlin. Zugriff am 1.2.2024. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/index.html>
- Günther, D., Wapler, J., Langner, R., Helmling, S., Miara, M., Fischer, D. et al. (2020). *Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „WPsmart im Bestand“ (Abschlussbericht)*. Freiburg i. Br. Verfügbar unter: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/BMWi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf
- Miara, M. (2022). Potenziale und Hindernisse von Wärmepumpen. Gehalten auf der Klimastadt:bauen ! 14. Bremerhavener Bauforum Wärmepumpen am 28.4.2022. Verfügbar unter: https://gruene.berlin/fileadmin/BE/lv_berlin/01_Landesarbeitsgemeinschaften/LAG_Bauen/2022-04-27_Waermepumpen_Potenzi_ale_und_Hindernisse_Miara.pdf
- Scientists for Future. (2022). *Heizen mit Holz: knapp, teuer und unerwartet klimaschädlich*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2022). Kommunale Wärmeplanung Grundlage einer klimaverantwortlichen Stadtplanung. Berlin. Zugriff am 9.11.2022. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Stadt Freiburg i.Br. (2022). Eignungsgebiete Zukunft. *Geoportal Freiburg*. Verfügbar unter: https://geoportal.freiburg.de/freigis/?Map/layerIds=terrain_3d,buildings_3d,topplus_grau_wmts,alkis_sw_bg,wk_bbl_2020,wk_eig_z&visibility=true,true,true,true,true,true&transparency=0,0,0,0,0,0&Map/center=#

5. Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Autor:innen: Huber, Michael; Clausen, Jens; Ehrhardt, Helge; Gerhards, Christoph; Hoffmann, Rana; Klafka, Peter; Köhne, Anja; Linow, Sven; Seifert, Thomas

Von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) spricht man, wenn die Energie eines Energieträgers gleichzeitig für die Erzeugung von Elektrizität und Wärme genutzt wird. Es ist also eine Technologie zur effizienten Nutzung von Brennstoffen. Brennstoffe für KWK können fossil sein, wie Erdgas, Erdöl oder Kohle, sie können auch regenerativ sein, wie z. B. Biogas und biogene Feststoffe oder auch grüner Wasserstoff und grünes Methan.

- KWK wird in Zukunft, in einem zu ca. 95% auf erneuerbaren Energien beruhenden Energieversorgungssystem, nur noch einen Bruchteil dieser Brennstoffe nutzen können. Damit wird sich die Rolle der KWK ändern müssen und KWK wird eher im Bereich der Reserve-Stromversorgung eine kleinere, aber nach wie vor wichtige Rolle spielen. Diese anstehenden Veränderungen betreffen unterschiedliche Anwendungen der KWK in unterschiedlichem Maße, je nachdem in welchen Leistungsklassen und für welche Zwecke KWK heute und zukünftig eingesetzt wird:
- Derzeit gibt es ca. 50 große Heizkraftwerke – also KWK-Kraftwerke – mit jeweils über 50 MW elektrischer Leistung (Umweltbundesamt, 2022) mit teils mehreren Kraftwerksblöcken. Diese werden überwiegend noch mit Steinkohle und Braunkohle betrieben, wenige arbeiten mit kombinierten Gas- und Dampfturbinen (GuD). Sie erzeugen Elektrizität für das Stromnetz und gleichzeitig Wärme für lokale, meist größere Fernwärmenetze.
- Es gibt mehr als 61.000 mittelgroße und kleinere Heizkraftwerke, sog. Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Verbrennungsmotor oder kleiner Gasturbine, die für einzelne Unternehmen, Gebäude oder Quartiere Strom und Wärme erzeugen (Statista, 2022). Viele dieser BHKW dienen in Industriebetrieben zur Eigenerzeugung von Elektrizität und Prozesswärme. Diese BHKW werden fast alle mit fossilem Erdgas betrieben. Nur etwa 700 oder etwa 1 % davon werden mit biogenen Feststoffen aller Art beheizt (Kirchner, 2015).
- Eine besondere Rolle spielen die ca. 9.000 Biogasanlagen in Deutschland mit BHKW mit einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von

knapp 0,5 MW, deren Abwärme größtenteils ungenutzt bleibt, da potenzielle Wärmekunden zu weit entfernt sind (FNR, 2021, 2022; Rutz, 2015).

Was geschieht nun mit diesen KWK-Anlagen, wenn es immer weniger Brennstoffe gibt, die in einem CO₂-freien Energiesystem genutzt werden können? Welche dieser Anlagen benötigen wir in einem regenerativen Energiesystem der Zukunft, z.B. zur Stabilisierung der Versorgung in Zeitabschnitten mit geringem Angebot an regenerativem Strom? Und in welchem Maße werden synthetische Brennstoffe wie grüner Wasserstoff oder grünes Methan einen Weiterbetrieb möglich machen? Müssen zusätzliche GuD und BHKW auf Basis CO₂-freier Brennstoffe zugebaut werden oder vorhandene umgerüstet oder abgebaut werden, da keine Brennstoffe für sie bereitgestellt werden können? Wie stark sind die Geschäftsmodelle der KWK-Betreiber betroffen? Dieses Kapitel will diese Fragen beantworten.

Kernaussagen

Die effiziente, gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gehört seit den 1970er Jahren zum ökologischen Programm der Energiewende. Deshalb wurde KWK auch seit 2002 massiv gefördert. Zu diesem Zeitpunkt galt die relative Verminderung von CO₂-Emissionen noch als ein wirksamer Baustein der Klimapolitik. Heute müssen wir, um das 2 °C-Ziel zu erreichen, bis 2030 nicht nur die Kohleverstromung völlig einstellen, sondern den Erdgasverbrauch halbieren und in maximal 15 weiteren Jahren völlig beenden. Eine Neuinvestition in die Grundlasterzeugung von Strom und Wärme auf Erdgasbasis ist nicht mit den Klima-Regularien in Deutschland zu vereinbaren (Oei et al., 2019). Das heißt, durch das Pariser Klimaabkommen und die Weiterentwicklung zu einem regenerativen Energiesystem haben sich wesentliche Randbedingungen verändert, so dass KWK heute neu bewertet werden muss.

- Prinzipiell gilt: Wenn bei der Erzeugung von Elektrizität auch Wärme anfällt, sollte diese Wärme möglichst vor Ort genutzt werden. Unter diesem Aspekt bleibt KWK in einer CO₂-freien Zukunft sinnvoll, wenn auch in stark reduziertem Maßstab.
- Große, moderne GuD-Kraftwerke werden auch in Zukunft zur Erzeugung von Strom in Zeitabschnitten benötigt, in denen Windenergie und

Sonnenstrom nicht in ausreichender Menge vorhanden sind (Dunkelflaute). Der Energiebedarf dieser Reservekraftwerke wird durch grünen Wasserstoff gedeckt werden müssen. Ein Anschluss dieser großen Kraftwerke an geeignete Pipelines wird daher notwendig sein. Bei diesen dann strombedarfsgeführten Kraftwerken ist KWK nur noch zur temporären Einspeisung der Abwärme in Wärmenetze möglich. Zur Abdeckung der Wärmegrundlast der Wärmenetze können diese Reservekraftwerke zukünftig nicht sinnvoll eingesetzt werden. Für die Grundlast der Fernwärmenetze müssen neue, regenerative Wärmequellen erschlossen werden.

- Durch den zu erwartenden Rückbau großer Teile des Erdgas-Verteilnetzes werden etliche bestehende kleine, dezentrale KWK-Anlagen und BHKW keinen Zugang mehr zu Brennstoff haben. Dennoch können einige dieser BHKW (evtl. auch Brennstoffzellen-Anlagen) als Teil eines Energie-Insel-Konzepts weiterhin eine wichtige Rolle für die Netzstabilität und die Versorgungssicherheit mit Elektrizität spielen: Durch den Einsatz von aus grünem Strom lokal erzeugtem und gespeichertem Wasserstoff könnten sie sowohl lokale Spitzenlast bereitstellen als auch EE-Strommangelzeiten überbrücken. Derzeit erscheint dies oft noch unwirtschaftlich, ist aber bei sukzessiver Umsetzung in Zukunft realisierbar (siehe die weiter unten erwähnte Beispiele). Auch eine Gleichstellung von Privatpersonen, Energiegenossenschaften, sowie kleinen und mittleren Unternehmen mit Energieversorgungsunternehmen bei der Eigenstromerzeugung und -speicherung wird dies unterstützen.
- Auch die Funktion von biogas-basierter KWK wird sich ändern: Durch den Klimawandel und in Anbetracht der ökologischen Anforderungen an die Landwirtschaft mit dem Primat der Lebensmittelversorgung wird der Anbau von Energiepflanzen zurückgehen, so dass deutlich weniger Biogas zur Verfügung stehen wird. Die nationale Biomasse-strategie (BMWK, BMEL und BMUV) sieht vor, dass Pflanzenanbau, der nicht für den Lebensmittelbereich nötig ist, langfristig nur noch zur Rohstoffversorgung und nicht zur energetischen Nutzung erfolgen darf. Dies steht auch mit den Bestrebungen der Chemischen Industrie in Einklang (BMWK, BMEL, BMUV, 2022). In den nächsten Jahren könnte sich allerdings der Betriebsmodus von Biogasanlagen von Grundlast- zu Mittellasterzeugung verschieben.

- KWK, die mit Gas aus Abfallbehandlung, Kläranlagen, Grubengasen oder industriellen Reststoffen versorgt wird, stellt eine eigene Gruppe dar. Ein Zubau von Anlagen auf der Grundlage dieser Gase kann dort sinnvoll sein, wo ungenutzte Abfall-Potenziale wie Faulschlamm aus Kläranlagen oder aus der anaeroben Kompostierung von Bioabfall bestehen.

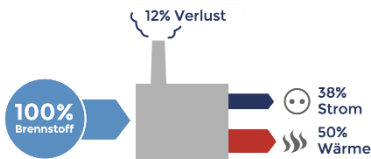
Für die Kraft-Wärme-Kopplung kündigt sich also an, dass sich ihre in den letzten 40 Jahren etablierte Rolle in der Strom- und Wärmeversorgung grundlegend ändert. Das Ziel der Dienstlichkeit für das Stromnetz wird für den Betrieb von KWK-Anlagen deutlich wichtiger werden als das Ziel der Maximierung der effizienten Nutzung von Brennstoffen. In Zukunft wird unausweichlich die Verbrennung nur noch eine begrenzte Rolle in der Strom- und Wärmeversorgung spielen dürfen.

Was ist eigentlich Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)?

Grundprinzip: Eine Anlage der Kraft-Wärme-Kopplung nutzt den eingesetzten Brennstoff zunächst zum Antrieb eines Generators, der Elektrizität erzeugt, und verwertet die unvermeidliche Abwärme für die Versorgung eines Wärmeabnehmers. Früher war Kraft-Wärme-Kopplung eine Möglichkeit, die Effizienz der Nutzung fossiler Energieträger, wie Steinkohle, Braunkohle, Erdgas oder Heizöl, in Kraftwerksanlagen zu verbessern. Die reine Erzeugung von Elektrizität in Kraftwerken erreicht einen energetischen Wirkungsgrad von 30 % bis ca. 45 %. Durch die zusätzliche Nutzung der Abwärme können weitere 40% oder mehr der Energie aus den Energieträgern genutzt werden. Damit wird insgesamt über 80 % der eingesetzten fossilen Energie nutzbar. Der Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V. stellt den Unterschied zwischen einem KWK-Kraftwerk und der getrennten Erzeugung von Strom und Wärme wie in Abbildung 16 gezeigt dar.

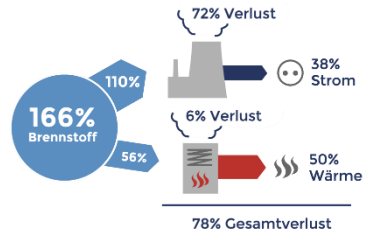
Abbildung 16: Energieerzeugung bei Kraft-Wärme-Kopplung und herkömmlichen Kraftwerken

Kraft-Wärme-Kopplung



Getrennte Erzeugung

(Strom im Kraftwerk / Wärme im Kessel)



Um die gleiche Menge Strom und Wärme zu erzeugen, ist bei getrennter Erzeugung 66 Prozent mehr Energie erforderlich.

Quelle: eigene Darstellung nach Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V. (BKWK 2022)

Eignung verschiedener Kraftwerkstypen für KWK: Bezüglich der Eignung für KWK unterscheiden sich die verschiedenen Kraftwerkstypen. Häufig genutzt werden Kohlekraftwerke, da sie mit Dampfturbinen arbeiten, die zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrads (Stromwirkungsgrad bis 47%) den Dampf nach Durchströmen der Turbine kondensieren müssen. Statt diese Abwärme über Kühltürme in die Umgebung abzugeben ist die weitgehende Übernahme in ein Wärmenetz ohne besonderen Aufwand gut möglich. Gut geeignet sind auch besonders effiziente GuD-Kraftwerke (Stromwirkungsgrad bis zu 61 %), da sie die Abwärme der Gasturbine zur Dampferzeugung für eine nachgeschaltete Dampfturbine nutzen, deren Kondensator dann gleich zur KWK-Einspeisung ins Wärmenetz dienen kann (Gesamtwirkungsgrad mit Abwärmenutzung bis 90%). Auch die in kleineren BHKW oft verwendeten Gas-Motoren (Stromwirkungsgrad ca. 30% bis 40%) eignen sich gut für KWK, da ihre ohnehin nötigen Kühler ebenfalls gut als Wärmequelle für Wärmenetze dienen können.

KWK – ein altes Konzept: Das Konzept der Kraft-Wärme-Kopplung ist keineswegs neu und wurde schon 1882 von Thomas Alva Edison in seiner Pearl Street Electricity Station realisiert, dem ersten zentralen Kraftwerk in den USA. Die Anlage versorgte einen Teil der New Yorker Innenstadt mit Strom und Wärme (Kelly, 2016). Durch den Bau von Stromleitungen wurde dann

eine Verlagerung der Kraftwerke aus den Städten in ländliche Gebiete möglich (TÜV-Nord, 2019). Die Verwendungsmöglichkeit für die Abwärme wurde so eingeschränkt und KWK kam aus der Mode.

Seit ca. 1960 wird KWK zunehmend für Fernwärme genutzt: Seit den 1960 Jahren erfolgte in der Bundesrepublik und in einigen Ballungsgebieten der DDR ein Ausbau der KWK und, damit verbunden, ein Ausbau der Fernwärme. Ein großer Anteil der in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Wärme wird – soweit nicht lokal als industrielle Prozesswärme genutzt – heute in der Heizsaison in Fernwärmenetze eingespeist. Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW e.V., 2021) weist für die angeschlossenen 196 großen Wärmenetze einen Brennstoffeinsatz von 79 % Kohle, Erdgas und Öl sowie weitere 15 % aus der Müllverbrennung aus. 80 % dieser Energien werden in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt.

Erweiterter Einsatz von KWK durch Verbrennung von Müll und Nutzung von Biomasse: Im Zuge der Entwicklung und Markteinführung der erneuerbaren Energien kamen seit den späten 1970er Jahren weitere Energieträger für die Nutzung in KWK dazu. Biogas, Klärgas, Pflanzenöl, Holz, Pellets, Bioethanol und vor allem Siedlungsabfälle („Müllverbrennung“) wurden zunehmend in KWK-Anlagen eingesetzt und zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt. Da die hierfür verwendeten Anlagen oft kleiner waren als die großen Kraftwerke, prägte sich für diese Anlagen der Begriff Blockheizkraftwerk oder BHKW.

Zubau vieler Erdgas-BHKW: Aufgrund des hohen Wirkungsgrades eroberte sich das mit fossilem Erdgas betriebene BHKW einen festen Platz unter den energiesparenden Technologien. Kleinere und mittlere Stadtwerke installierten BHKWs, um in Abhängigkeit vom jeweiligen Strompreis an der Börse ihre BHKWs als kostengünstigere Alternative zum Fremdstrombezug temporär zuschalten zu können. Für die Wärmeversorgung großer kommunaler Gebäude wie z. B. Schulen oder Verwaltungsgebäude wurden, begünstigt durch Förderzuschüsse, zunehmend BHKW installiert. Die Erzeugung von – bei den herkömmlichen Gaspreisen – vergleichsweise kostengünstigem Eigenstrom wurde als zusätzlicher Benefit gerne mitgenommen, so dass bislang die vergleichsweise teurere Umstellung der Heizung auf potenziell CO₂-freie Wärmepumpen unterblieb.

Alternative Brennstoffzellen: Die neueste Entwicklung der KWK sind Brennstoffzellen, die Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser umsetzen und so Strom erzeugen. Auch in diesen Anlagen wird Wärme frei, so dass Brennstoffzellen als KWK-Anlage dienen können. Seit den 1990er Jahren bekannt, werden solche Brennstoffzellen-Anlagen seit den 2010-er Jahren vereinzelt eingesetzt. Für Einzelgebäude in der Regel unwirtschaftlich, könnten sie wg. ihres zumindest theoretisch höheren Stromwirkungsgrads im Rahmen des oben erwähnten Energie-Insel-Konzepts an Bedeutung gewinnen.

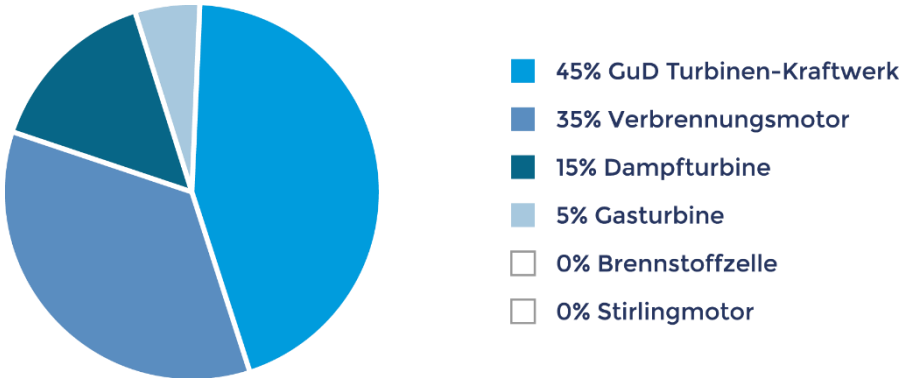
KWK: Ist-Stand

Die KWK erfuhr in Deutschland bereits seit 2002 mit dem ersten KWK-Gesetz (Sitte & Glatzel, 2002) und dann nochmal seit 2010 dank des 2009 im EEG verankerten KWK-Bonus eine schnelle Verbreitung. Die Zahl der Anlagen im Bestand umfasste 2011 knapp 13.000 Anlagen, in 2020 waren es schon über 63.000 Anlagen (Statista, 2022). In 2020 verteilte sich die Leistung dieser Anlagen auf die in Abbildung 17 dargestellten Anlagentypen.

Große Anzahl von kleineren BHKW: Mengenmäßig ist der Anteil kleinerer BHKW von 1 kW bis 10 MW Leistung mit 61.000 Anlagen am höchsten. Sie nutzen fast alle fossiles Erdgas. Überall wo Gebäudeheizung oder Prozesswärme im Vordergrund steht, werden zunehmend auch kleinere Gasturbinen eingesetzt. Die in dieser Gruppe der KWK-Anlagen registrierten ca. 130 Stirlingmotoren und ca. 40 Brennstoffzellen sind für die gegenwärtige Praxis der KWK aufgrund ihrer geringen Anzahl unbedeutend.

Große GuD-Kraftwerke der Stromversorger: Die höchste Leistung entwickeln die etwa 130 GuD-Kraftwerke bzw. Kraftwerksblöcke der Stromversorger, die jeweils mehr als 50 MW Leistung aufweisen (Bundesnetzagentur, 2022a). Bei praktisch allen neueren GuD-Kraftwerken wird KWK auch zur Speisung von Wärmenetzen genutzt.

Abbildung 17: Elektrische Leistung typischer Kraft-Wärme-Kopplungs-Techniken



Quelle eigene Darstellung nach Umweltbundesamt (2020, S. 12), gezeigt wird der Anteil an der insgesamt installierten Leistung aller zugelassenen KWK-Anlagen

Erheblicher Beitrag zur industriellen Stromversorgung: KWK erwies sich auch für die Erzeugung von Prozesswärme in industriellen KWK-Kraftwerken als wirtschaftlich. So gibt es heute in der Industrie immerhin einen Bestand von ca. 250 Dampfturbinen- und ca. 20 Gasturbinen-Kraftwerken mit KWK.

Bislang noch überwiegend fossiler Betrieb: Die in der KWK eingesetzten Energieträger sind zu 52 % Erdgas und zu ca. 16 % Stein- und Braunkohlen sowie Mineralöle. Zu ca. 26 % dient Biomasse als Energieträger (Umweltbundesamt, 2020, S. 15). Ca. drei Viertel der eingesetzten Energieträger sind fossil.

Bislang Schwerpunkt effiziente Brennstoffnutzung: Solange fossile Brennstoffe genutzt werden, liegt der Vorteil von KWK im Vergleich zur reinen fossilen Stromerzeugung ohne Abwärmenutzung in der höheren Ausnutzung des Energieträgers. Mit Blick auf das Jahr 2030, in dem 80 % des Stroms regenerativ sein sollen, wird sich dieser Vorteil der KWK auf einen immer kleiner werdenden Anteil an fossilen Brennstoffen begrenzen. KWK wird also immer unwichtiger. Unter dem Aspekt klimafreundlicher Gebäude-Wärmeversorgung fällt der Vergleich von KWK zur Luft-Wasser-Wärmepumpe bereits beim Strommix 2020 (mit Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung von 400 g CO₂/kWh) deutlich gegen die KWK und zu Gunsten der Wärmepumpe aus (Umweltbundesamt, 2020).

KWK und Biogasanlagen

Seit ca. 2010 ein wesentlicher Beitrag zur Energieversorgung: Schon seit den 1970er Jahren gehörten Biogasanlagen neben Wind und Sonne zum Technologiepaket der grünen Energiewende (Dokumentationsgruppe, 1978). Aber wie bei Windkraft und Photovoltaik begann auch bei der Bioenergie erst durch das EEG im Jahr 2000 allmählich die großskalige Anwendung. Die Bruttostromerzeugung aus Biogas wuchs von 0,001 TWh in 1990 über 0,445 TWh im Jahr 2000 auf 15,3 TWh im Jahr 2010 und 28,5 TWh im Jahr 2021 (AGEE-Stat, 2022). Die Erfassung des Endenergieverbrauchs erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte weist erst 2003 die ersten Zahlen aus. Pro 100 kWh erzeugter elektrischer Energie aus Biomasse wurden damals nur 30 kWh Wärme einer Nutzung zugeführt. In 2010 wurden 7,4 TWh und in 2021 13,3 TWh erreicht. Erst durch den KWK-Bonus im EEG 2009 kam die Wärmenutzung letztlich in Fahrt.

Umstellung von Biogasanlagen auf Spitzenlast: Gegenwärtig laufen Bestrebungen, die Stromerzeugung von Biogasanlagen so umzustellen, dass sie ihre elektrische Leistung primär zu Zeiten hohen Strombedarfs bereitstellen. Das setzt zusätzliche Investitionen in die Flexibilisierung der Biogasanlagen durch den Zubau von Motoren und Generatoren sowie Erweiterung der Biogas-Speicher voraus. Technisch ist eine solche witterungsunabhängige Bereitstellung von Spitzenleistung durch flexibilisierte Biogasanlagen durchaus realisierbar (VisuFlex, 2023). Zwar liegen die Stromgestehungskosten dabei erheblich über denen von Wind und PV, letztlich konkurrieren flexibilisierte Biogasanlagen aber mit den Anbietern von Residuallast-Spitzenleistung und können zudem Minuten- und Stundenreserve bereitstellen so dass sie auch deutlich höhere Preise erzielen können. Alternativ wäre auch die Einspeisung von Biomethan ins Gasnetz möglich. Dass diese Flexibilisierung nicht in größerem Maßstab stattfindet, liegt an den erheblichen Investitionskosten, z.B. für zusätzliche Speicher, Generatoren oder Aufbereitungsanlagen. Noch immer fahren die meisten Biogas-Kraftwerke in Deutschland daher im Grundlastmodus (Schug, 2022).

Biogas aus Energiepflanzenanbau ist heute teuer, klimaschädlich, umweltschädlich und nicht nachhaltig: Mengenmäßig werden in Biogasanlagen ca. 45 % eigens dafür angebaute nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) und ca. 49 % Gülle eingesetzt. Nur zu ca. 6% werden organische Abfälle z. B. aus der

Lebensmittelindustrie und kommunalem Biomüll genutzt (FNR, 2023a). 2021 wurde in Deutschland auf 2,65 Mio. Hektar Mais angebaut, davon ca. ein Drittel (0,88 Mio. Hektar) für die Biogasproduktion (FNR, 2022b). Dafür wurden die Maisflächen zuungunsten von Lebensmittel- und Futtermittelanbau ausgeweitet, sowie auch bisheriges Grasland und Brachland in Ackerland umgewandelt. Aufgrund des beim Maisanbau aus der Stickstoffdüngung freigesetzten Treibhausgases N_2O (ca. 300-mal klimaschädlicher als CO_2), des ins Grundwasser auch durch Gülle eingetragenen Nitrats sowie des hohen Grundwasserverbrauchs durch Feldberegnung und der hohen Erosionsrate auf Maisfeldern ist Biogas auf Basis von Maisanbau klimaschädlich, umweltschädlich und nicht nachhaltig.

Alternativ zum Maisanbau ist auch die Erzeugung der Biomasse mittels Blühwiesen mit regionalen Wildpflanzen möglich: Ohne Pestizid- und Kunstdüngereinsatz kann so eine hohe Biodiversität erreicht werden, z.B. mit den von der Bayerischen Landesanstalt für Wein- und Gartenbau entwickelten Wildpflanzenmischung (Degenbeck, 2020). Der Biogasertrag liegt allerdings nur bei 35 - 50% im Vergleich zu Mais und der Subventionsbedarf würde sich deutlich erhöhen.

Energetische und wirtschaftliche Ineffizienz vom Energiepflanzenanbau: Auch energetisch ist Biogas ineffizient, denn Photovoltaik erbringt, bezogen auf die Fläche, heute den 32-fachen Energieertrag im Vergleich zu Mais (Fraunhofer ISI, 2022). Hinzu kommt, dass Stromerzeugung mit Biogas aus Energiepflanzenanbau sehr aufwendig ist, bei Auktionen regelmäßig Preise erzielt, die dreimal höher liegen als Wind- oder Solarstrom (Bundesnetzagentur, 2022c) und so den Strompreis nach oben treibt. Aufgrund steigender Kosten ist auch der Weiterbetrieb bestehende Biogasanlagen zumindest unsicher, da die Bauern im Zuge der Debatte über die Abschöpfung von Übergewinnen schon jetzt bis zu 25 Cent/kWh als kostendeckendes Minimum fordern (NDR, 2022).

Biogas ist bestenfalls eine Nischenlösung: Die von vielen Stadtwerken und Kommunen geäußerte Absicht, von Erdgas auf Biogas bzw. Biomethan umzustellen, ist - nüchtern betrachtet - nur eine Nischen-Lösung. Dies gilt nicht nur für die Stromerzeugung, sondern auch für Biogas-Einsatz in KWK-Anlagen. Eine Steigerung der Biomassenutzung ist aufgrund der Klima- und Umweltwirkungen des Energiepflanzenanbaus nicht realistisch (Scientists f.iior

Future, 2022d; Umweltbundesamt, 2019). 2020 betrug der Erdgasverbrauch in Deutschland 905 TWh (Scientists for Future, 2022f); demgegenüber steht eine heutige Produktion von Biomethan, also auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas, von 11 TWh. Mit Biomethan ist kein Ersatz des fossilen Erdgases in nennenswertem Umfang möglich. In den aktuellen Langfristszenarien für die Umstellung auf Treibhausgas-Null bis 2045 wird sogar erwartet, dass der Biomasseinsatz für die Stromerzeugung langfristig gegen Null geht (Sensfuß, 2022). Auch die Nationale Biomassestrategie besagt, dass bis 2045 Pflanzenanbau nur noch für Lebens- und Futtermittel und als Rohstoff für die Industrie aber nicht mehr für Energiezwecke erfolgen darf (BMWK, BMEL, BMUV, 2022). Sinnvoll ist der Einsatz von Biogas langfristig nur, wenn er strengen Nachhaltigkeitskriterien entspricht, indem z. B. ausschließlich Biomasse aus Abfall- und Reststoffen eingesetzt wird. Eventuell könnten die bereits vorhandenen, auf Basis nachwachsender Rohstoffe laufenden Biogasanlagen noch einige Jahre vermehrt zur Deckung von Spitzenlast genutzt werden, um den Ausgleich von Schwankungen bei Wind- und Solarstrom zu unterstützen (Fell und Welteke-Fabricius 2022).

Sonderfall Wasserstoff-Brennstoffzellen-KWK

Schon in den 1990er Jahren arbeiteten Unternehmen der Heizungsbranche an Brennstoffzellen-Heizgeräten, die neben Wärme auch Strom erzeugen sollten (Vaillant, 1999). Die Logik folgte der Erfahrung des Umgangs mit anderen fossilen Brennstoffen: aus einem Brennstoff so viel wie möglich wertvollen Strom herausholen und mit der unvermeidbaren Abwärme heizen.

Seit 2006 sind Mikro-KWK auf Brennstoffzellenbasis in Erprobung: Durch die Bundesregierung wurde 2006 das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie auf den Weg gebracht. Ein wesentliches Ziel des Programms war die technologische Entwicklung von Brennstoffzellen in den drei Dimensionen Wirkungsgrad, Lebensdauer und Kosten (BMVI & BMWi, 2017). In Europa war Deutschland am Ende des evaluierten Zeitraums der führende Markt für Brennstoffzellenheizgeräte für Haushalte. Die Evaluation des Programms dokumentiert 2.000 installierte Mikro-KWK-Anlagen (BMVI & BMWi, 2017). Die Bedeutung der Zahl relativiert sich allerdings vor dem Hintergrund, dass im selben Jahr der Bestand an Wärmepumpen die Marke von einer Million überschritt (Christian, 2018).

Für Heizungszwecke energetisch ineffizient und unwirtschaftlich: Ist es in einem regenerativen Energiesystem überhaupt sinnvoll, aus Strom Gas zu erzeugen, nur um dieses in einer KWK wieder in Strom zurück zu verwandeln? Perner, Unteutsch und Lövenich (2018, S. 13) dokumentieren die auf diesem Weg zu berücksichtigenden Wirkungsgrade der verschiedenen Prozesse. Zunächst gehen ca. 5 % der regenerativ erzeugten Primärenergie im Übertragungsnetz verloren, mindestens weitere 30 % treten als Abwärme in der Elektrolyse auf, so dass bestenfalls 67 % in Form von Wasserstoff verfügbar sind. Daraus macht die Brennstoffzelle ca. 24 % Wärme und 21 % Strom, die wieder ins Netz eingespeist werden. Ziehen wir diese 21 % von den ursprünglichen 100 % ab, so wurden durch den aufwändigen Prozess aus 79 % des regenerativ erzeugten Stroms 24 % Wärme gewonnen. Verluste durch die Speicherung von Wasserstoff sind dabei noch nicht berücksichtigt. Der Gesamtwirkungsgrad liegt damit bei ca. 30 %, etwa ein Zehntel des Wirkungsgrades einer Wärmepumpe, die auf Basis von regenerativ erzeugtem Strom ca. 300 % Wärme bereitstellt. Beim Vergleich der Wärmepumpe mit einer mit grünem Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellenheizung erwarten Baldino et al. (2021, S. 7) für die Haushalte daher Heizkosten, die knapp um den Faktor acht höher liegen als im Fall der elektrischen Wärmepumpe. Hinzu kommt, dass Wasserstoff als möglicher klimaneutraler Energieträger vermutlich bis auf weiteres nur begrenzt verfügbar sein dürfte (Scientists for Future, 2022a) und daher nur in Anwendungen zum Einsatz kommen sollte, in denen er aufgrund seiner stofflichen Eigenschaften unverzichtbar ist. Der Einsatz von Brennstoffzellen zur Wärmegewinnung über KWK ist daher bis auf Nischenanwendungen nicht sinnvoll.

Wasserstoff-Brennstoffzellen in Energie-Insel-Lösungen: BHKW auch in Form von Brennstoffzellen-Anlagen könnten u.a. bei Energie-Insel-Lösungen eine wichtige Rolle für die lokale Netzstabilität und die Versorgungssicherheit mit Strom spielen. KWK-Wärme fällt dann als Nebenprodukt ab. Ob dabei Brennstoffzellen die herkömmlichen Verbrennungsmotoren ersetzen können, hängt davon ab, ob ihr potenziell höherer Stromwirkungsgrad durch die Entwicklung preisgünstigerer Anlagen zum Tragen kommt.

KWK in einem regenerativen Energiesystem

Die fossile KWK hat in einem regenerativen Energiesystem keine Zukunft. Ihre undifferenzierte Förderung muss schnellstmöglich eingestellt werden (Oei et al., 2019, BEE, 2021). Die Kraft-Wärme-Kopplung wird aber auch mit regenerativen Brennstoffen in einem regenerativen Energiesystem nur eine beschränkte, wenn auch wichtige Rolle spielen. In einem Versorgungssystem mit einem Anteil von ca. 95 % an erneuerbaren Energien wird KWK primär ein sinnvoll genutztes Nebenprodukt der Stromnetzstabilität sein.

Überbrückung von EE-Stromschwankungen und Dunkelflauten durch Energiespeicher: Eine Verschiebung von Stromangebot und -nachfrage wird über Tage und Wochen über Elektrolyse zu Wasserstoff und/oder grünem Methan (Power-to-Gas-Technologien, PTG) ausgeglichen werden müssen. Der so gewonnene Brennstoff (Wasserstoff, Methan oder z. B. Methanol) kann lange Zeit gespeichert und dann teilweise unter Kraft-Wärme-Kopplung wieder in Strom und Wärme rückgewandelt werden (Kopernikus-Projekt Ariadne, 2021). Für diese Rückverstromung sind erhebliche Reservekraftwerks-Kapazitäten erforderlich. Ein Anteil dieses Reservestroms wird von großen Gasturbinen sowie Gas-und-Dampf-Kraftwerken und ein anderer Teil von BHKW mit Verbrennungsmotoren erbracht werden (Fraunhofer ISE, 2020).

Zukünftiger Bedarf an Gaskraftwerken: Nach Umstellung auf 100% CO₂-freie Energieversorgung wird für 2045 von einer Stromspitzenlast von ca. 160 GW ausgegangen, dies entspricht einer Verdoppelung gegenüber heute (Dena, 2018). Unter Berücksichtigung von steuerbaren Lasten, wie E-Auto und Wärmepumpen werden 2045 dann bis zu ca. 80 GW nach aktuellem Bedarf steuerbare Erzeugungskapazität nötig sein. Derzeit sind in Deutschland Gaskraftwerke mit ca. 32 GW Leistung installiert. Das heißt, um EE-Strommangelzeiten und vor allem Dunkelflauten überbrücken zu können, bräuchten wir bis 2045 weitere 30 GW bis 40 GW (also insgesamt ca. 80 GW) mit grünem Wasserstoff oder grünem Methan betriebene große und kleine Gaskraftwerke. Je nach Ausbau des innerdeutschen und europäischen Stromnetzes würde jedoch ggfs. ein Ausbau auf ca. 40 GW Reservekraftwerke genügen (50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH & TransnetBW GmbH, 2021), da in einem solchen vernetzten System dann durch Importe zeitgleiche Überschüsse oder Reservekraftwerke aus Nach-

barstaaten genutzt werden könnten. In jedem Falle sollten bestehende Gaskraftwerke für die zukünftige Spitzenlastdeckung weiter vorgehalten und je nach dem zukünftigen Angebot von grünem Methan und Wasserstoff ggf. auf Wasserstoff-Einsatz umgerüstet werden.

Kraftwerke zur Wärmeversorgung mit KWK werden in Zukunft unwirtschaftlich: Die Betriebszeiten der Residuallast-Kraftwerke - also die Zeiten, wo bei Wind- oder Solarstrommangel diese Kraftwerke mit grünem Wasserstoff oder Methan einspringen müssen, werden sich im Schnitt über alle Kraftwerke auf weniger als ca. 1.500 Volllaststunden pro Jahr reduzieren. Die relativ hohen Kosten für die grünen Brennstoffe machen den Betrieb dieser Kraftwerke für eine Grundlastversorgung sowohl für Wärme als auch für Strom unwirtschaftlich (Bundesnetzagentur, 2022b; DWD, 2018; Grams, Beerli, Pfenninger, Staffell & Wernli, 2017). Auch während dieser kurzen Laufzeiten sollte die Abwärme der Kraftwerke aber genutzt werden.

Gaskraftwerke oder GuD zum Ersatz für Kohle sind für die Grundlast der Fernwärme ein Irrweg: Im Rahmen des gesetzlich geregelten Kohleausstiegs müssen alle Kohlekraftwerke bis spätestens 2038 stillgelegt werden. Diese Kohlekraftwerke werden derzeit neben der Grundlaststromversorgung vielerorts auch mithilfe von KWK zur Wärmeerzeugung für Fernwärmenetze eingesetzt. Oft wird geplant, sie durch Gaskraftwerke oder GuD-Kraftwerke zu ersetzen. Aufgrund der hohen Brennstoffkosten und eines in Zukunft strombedarfsgeführten Kraftwerkseinsatzes werden diese Residual-Gaskraftwerke nur noch einen stark reduzierten Beitrag zur Wärmeversorgung leisten können. Auch eine Umstellung der Erdgasnetze auf Wasserstoff würde für die Fernwärmeversorgung mittels KWK aus großen Gaskraftwerken nichts ändern. Wärme aus Wasserstoffverbrennung wäre zumindest für die Grundlast viel zu teuer. Stattdessen muss für die Wärmeversorgung in der Fernwärme ab sofort auf CO₂-freie Wärmequellen gesetzt werden. Das ist nicht nur klimapolitisch geboten; mit zunehmendem Ausbau der Erzeugung von erneuerbarem Strom wird zudem auch der Betrieb von Wärmenetzen auf Basis von Wärmepumpen zur mit Abstand kostengünstigsten Lösung werden (Scientists for Future, 2022a, 2022b, 2022c).

Auch der Weiterbetrieb kleiner, dezentraler, bislang fossiler KWK-Anlagen ist eventuell sinnvoll: Auch diese können zumindest mittelfristig zur Deckung

von Spitzenlast von Strom oder Wärme beitragen. Ob ein langfristiger Weiterbetrieb der vorhandenen 63.000 kleinen BHKW wirtschaftlich sein kann, hängt von der zukünftigen Entwicklung des Strommarktdesigns ab und lässt sich gegenwärtig kaum vorhersagen. Hinzu kommt die Frage, ob sich die Gasversorgung der dezentralen KWK mit grünem Wasserstoff oder synthetischem Methan oder Biogas sicherstellen lässt. Der Rückbau der Erdgasnetze als Konsequenz aus dem Rückbau der Erdgasheizungen dürfte zahlreichen kleineren BHKW die Gasversorgung entziehen.

Fernwärme erfordert in Zukunft große Wärmespeicher: Wichtig ist auch der Zubau großer Wärmespeicher, denn der Bedarf an Reservestrom fällt zeitlich nur bedingt mit dem Wärmebedarf der Fernwärmekunden zusammen. Viele Fernwärmeversorger haben bereits begonnen, große Wärmespeicher zu bauen. Zum Beispiel bauen die Stadtwerke München für ihr aus Geothermie und GuD-KWK gespeistes Fernwärmenetz gegenwärtig einen zusätzlichen 45.000 m³ fassenden Warmwasserspeicher (Stadtwerke München, 2022).

Aufbau von dezentralen Energie-Inseln: Eine „Energie-Insel“ umfasst eine Kombination folgender Komponenten:

- lokale Stromversorgung aus lokal erzeugtem Wind- und/oder Solarstrom,
- CO₂-freies Wärmenetz, gespeist mittels Wärmepumpen aus Erdwärme, Abwasserwärme, Flusswasserwärme oder Solarthermie evtl. auch in Kombination mit Saisonalspeichern,
- Elektrolyseur und Wasserstoff-Speicher mit Abwärmenutzung zur Verwertung von lokalem EE-Überschussstrom und
- BHKW oder Brennstoffzellen-Kraftwerk zur Stromerzeugung bei EE-Strommangel.

Die Kraftwerks-Abwärme kann zur Einspeisung ins Wärmenetz genutzt werden. Da Strombedarf und Wärmebedarf nicht synchron sind, wird der Einsatz von Strom- und Wärmespeichern sinnvoll sein. Nachahmenswerte Beispiele solcher Konzepte sind z. B. die Stadtwerke Lemgo, das Projekt Weststadt Esslingen oder das Industrieunternehmen Max Bögl (Bayerische Staatszeitung, 2021; Maier-Soljk, 2022, Roeder, 2022).

Was kann die Gemeinde unternehmen?

Gemeinden, in denen sich moderne GuD-Kraftwerke mit KWK befinden, sollten diese Kraftwerke als nützlich für ein zukünftiges, regeneratives Energiesystem beibehalten und ihre Betriebsfähigkeit langfristig sicherstellen. Allerdings muss bei der Planung berücksichtigt werden, dass diese Kraftwerke künftig für die Grundlastversorgung der Fernwärme ausfallen werden. Für die Fernwärme-Grundlast muss deshalb eine Umstellung auf CO₂-freie Wärmequellen in Angriff genommen werden. Langfristig wird ein GuD-Kraftwerk mit Wasserstoff oder synthetischem Methan als Residual-Kraftwerk nicht mehr primär wärmebedarfsgesteuert sondern strombedarfsgesteuert eingesetzt werden. Ob sich dann der Einsatz zur Spitzenlastherzeugung bei Wärme im Wettbewerb mit anderen Wärmequellen noch lohnt, wird sich zeigen müssen. Jedenfalls können moderne GuD-Kraftwerke mithilfe von KWK auch weiterhin einen gewissen Beitrag zur Fernwärmeversorgung leisten, während sie zur Stromerzeugung arbeiten. Ein Zubau neuer großer Gasheizwerke als Hauptwärmequelle für Fernwärmenetze passt dagegen nicht in ein zukunfts-sicheres Konzept einer auf erneuerbaren Energien basierenden Energieversorgung.

Bei der Erstellung kommunaler Wärmepläne (Scientists for Future, 2022e) sollte kritisch hinterfragt werden, welche heute vorhandenen KWK-Anlagen langfristig weiter Zugang zu Brennstoffen haben werden. Wird – wie es einige Stadtwerke heute schon ankündigen – im Zuge des Rückbaus von Erdgasheizungen das Gasnetz zurückgebaut, werden mit Erdgas betriebene kleine KWK-Anlagen teilweise als Strom- wie auch als Wärmequelle ausfallen. Auch kurzfristig sind Änderungen des Betriebsmodus von BHKW aufgrund schwankender Gaspreise möglich.

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung muss die Umstellung der Wärmeversorgung auf CO₂-freie Wärmequellen zügig in Angriff genommen werden. Das gilt sowohl für bestehende Fernwärmenetze als für noch aufzubauende Nahwärmenetze.

Ähnlich sollte in der langfristigen Planung die zukünftige Strom- und Wärmelieferung aus Biogasanlagen mit nachwachsenden Rohstoffen geprüft werden. Sollte im Strommarktdesign die Erzeugung von Biomethan und dessen Einspeisung in das Stromnetz höher priorisiert und höher vergütet werden, könnte an einigen Anlagen die lokale Wärmeverfügbarkeit sinken. Mittel- und

langfristig wird der Anteil der Erzeugung von Strom und Wärme aus Biogas voraussichtlich abnehmen.

Quellen

- 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH & TransnetBW GmbH. (2021). *Netzentwicklungsplan Strom 2035. Version 2021, 1. Entwurf*. Berlin, Dortmund, Bayreuth, Stuttgart. Verfügbar unter: https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/NEP_2035_V2021_1_Entwurf_Zahlen-Daten-Fakten_1.pdf
- AGEE-Stat. (2022). *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (A-GEE-Stat) (Stand: Februar 2022)*. Berlin: Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Verfügbar unter: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html
- AGFW e.V. (2021). *AGFW-Hauptbericht 2020*. Frankfurt. Verfügbar unter: <https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht>
- Baldino, C., O'Malley, J., Searle, S. & Christensen, A. (2021). *Hydrogen for heating? Decarbonization options for households in the European Union in 2050*. ICCT. Verfügbar unter: <https://theicct.org/publication/hydrogen-for-heating-decarbonization-options-for-households-in-the-european-union-in-2050/>
- Bayerische Staatszeitung. (2021, April 1). Operation am Stromversorgungsherzen. Forschungsprojekt: Schäden durch großflächigen Stromausfall verhindern. *Bayerische Staatszeitung*.
- BEE. (2021). *Kernforderungen für die Bundestagswahl 2021 zum Ausbau der Erneuerbaren Energien im Wärmesektor*. Berlin: Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. Verfügbar unter: https://www.bee-ev.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/Meldungen/Positionspapiere/2020/20201005_BEE_Kernforderungen_Waermesektor_BT-Wahl.pdf
- BKWK. (2022). *Vergleich: Energieerzeugung bei Kraft-Wärme-Kopplung und herkömmlichen Kraftwerken. Infografik*. Berlin: Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V. Verfügbar unter: <https://www.bkwk.de/kraft-waerme-kopplung/infografiken/>
- BMWK, BMEL, BMUV. (2022). Eckpunkte für eine Nationale Biomassestrategie (NABIS). Berlin. Zugriff am 6.2.2024. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/eckpunkte-nationale-biomassestrategie-nabis.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- BMVI & BMWi. (2017). *Evaluierung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase 1*. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.now-gmbh.de/projektfinder/nip-evaluation/>
- Bundesnetzagentur. (2022a). *Kraftwerksliste Bundesnetzagentur (bundesweit; alle Netz- und Umspannebenen) Stand 22.11.2022*. Bonn. Verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Ver-sorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html>

- Bundesnetzagentur. (2022b). *Genehmigung des Szenariorahmens 2023-2037/2045*. Bonn. Verfügbar unter: https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/Szenariorahmen_2037_Genehmigung.pdf
- Bundesnetzagentur. (2022c). *Monitoringbericht 2021*. Bonn. Verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Monitoringberichte/start.html>
- Christian. (2018, August 21). *Wärmepumpen knacken die 1 Millionen Marke in Deutschland*. Hans& Co. Verfügbar unter: <https://www.haus.co/magazin/bestand-zentrale-waermeerzeuger-2017/>
- Degenbeck, M. (2020). *Bioenergie. Mehr Vielfalt durch Wildpflanzenmischungen*. Veitshöchheim. Verfügbar unter: https://lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/bioenergie_wildpflanzenmischungen.pdf
- Dena. (2018). *Dena-Leitstudie Integrierte Energiewende*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf
- Dokumentationsgruppe. (1978). *Wer keinen Mut zum Träumen hat, hat keine Kraft zum Kämpfen. Dokumentation zum Alternativen Umweltfestival Berlin 1978*. Berlin.
- DWD. (2018). *Wetterbedingte Risiken der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien durch kombinierten Einsatz von Windkraft und Photovoltaik reduzieren*. *dwd.de*. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilung/DE/2018/20180306_pressemitteilung_klima_pk_news.html
- Fell, H.-J. & Welteke-Fabircius, U. (2022). *Energiewende sichern. Mit lokalen Speicherkraftwerken und nachhaltiger Biomasse für Strukturwandel und Klimaschutz in der Landwirtschaft*. Kassel/Berlin. Verfügbar unter: <https://www.energywatchgroup.org/publications/>
- FNR. (2021). *Basisdaten Bioenergie Deutschland 2021*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Verfügbar unter: https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2020/Mediathek/broschuere_basisdaten_bioenergie_2020_web.pdf
- FNR. (2022a). *Biogas und Biomethan im Wärmemarkt*. Verfügbar unter: <https://biogas.fnr.de/biogas-nutzung/waerme>
- FNR. (2022b). *Basisdaten Bioenergie Deutschland 2022*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Verfügbar unter: https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2022/Mediathek/broschuere_basisdaten_bioenergie_2022_06_web.pdf
- FNR. (2023a). *Gärsubstrate*. *fnr.de*. Verfügbar unter: <https://biogas.fnr.de/biogas-gewinnung/gaersubstrate>
- FNR. (2023b). *EEG 2021- Neuer Rahmen für Biogasanlagen*. *fnr.de*. Verfügbar unter: <https://biogas.fnr.de/rahmenbedingungen/eeg-2021>
- Fraunhofer ISE. (2020). *Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem . Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen*. Freiburg. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html>
- Fraunhofer ISI. (2022). *Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende Ein Leitfaden für Deutschland | Stand April 2022*. Freiburg i. Br. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/agri-photovoltaik-chance-fuer-landwirtschaft-und-energiewende.html>

- Grams, C. M., Beerli, R., Pfenninger, S., Staffell, I. & Wernli, H. (2017). Balancing Europe's wind-power output through spatial deployment informed by weather regimes. *Nature Climate Change*, 7(8), 557–562. <https://doi.org/10.1038/nclimate3338>
- Holtmann Saaten. (2023). Mais – Zahlen und Fakten. *holtmann-saaten.de*. Verfügbar unter: <https://holtmann-saaten.de/mais-zahlen-und-fakten/>
- Kelly, M. (2016). A brief history of CHP development in the United States. ACEEE. Verfügbar unter: <https://www.aceee.org/blog/2016/02/brief-history-chp-development-united>
- Kirchner, D. (2015). *Stromerzeugung aus Biomasse. Eine Übersicht und Tendenzen*. Kassel. Verfügbar unter: https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energie-systemtechnik/de/Dokumente/Veroeffentlichungen/2015/20150901_I-WES_Kirchner.pdf
- Kopernikus-Projekt Ariadne. (2021). *Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 Szenarien und Pfade im Modellvergleich*. Ariadne Report. Potsdam. Verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitaet-2045-szenarienreport/>
- LWG. (2020). Energie aus Wildpflanzen: Wild, bunt, stark! *Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG)*. Verfügbar unter: https://www.lwg.bayern.de/landespflanze/natur_landschaft/089725/index.php
- Maier-Solgg, F. (2022, September 30). Grüner Wasserstoff: Elektrolyse für klimaneutrales Quartier. *Deutsches Architektenblatt*. Verfügbar unter: <https://www.dabonline.de/2022/09/30/gruener-wasserstoff-elektrolyse-klimaneutrales-quartier-photovoltaik-esslingen/>
- NDR. (2022, September 22). Biogas-Branchentreffen im Wandel der Energiekrise. Verfügbar unter: <https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/Biogas-Branchentreffen-im-Wandel-der-Energiekrise,biogas468.html>
- Oei, P. Y., Hainsch, K., Löffler, K., Hirschhausen, C. von, Holz, F. & Kemfert, C. (2019). *Neues Klima für Europa: Klimaschutzziele für 2030 sollten angehoben werden*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.682894.de/19-41-1.pdf
- Perner, J., Unteutsch, M. & Lövenich, A. (2018). *Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe*. Köln. Verfügbar unter: https://www.agora-energie-wende.de/fileadmin2/Projekte/2017/SynKost_2050/Agora_SynKost-Studie_WEB.pdf
- Roider, H. (2022). Stadtwerke Lemgo gewinnen mit iKWK-System den Titel „BHKW des Jahres 2022“. *bayern.innovativ.de*. Verfügbar unter: <https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/bhkw-des-jahres-2022>
- Rutz, D. (2015). *Nachhaltige Wärmenutzung von Biogasanlagen. Ein Handbuch*. 2. Auflage. München. Verfügbar unter: https://www.wip-munich.de/pv-policy-group-european-best-practice-report/Handbuch_2ed_DE_150413_e7-WIP-cleanversion.pdf
- Schug, A. (2022, Februar 25). Der ungenutzte Gasspeicher. *energiezukunft*. Zugriff am 6.3.2022. Verfügbar unter: <https://www.energiezukunft.eu/erneuerbare-energien/biomasse/der-ungenutzte-gasspeicher/>

- Scientists for Future. (2022a). *Wasserstoff in der Energiewende: unverzichtbar, aber keine Universallösung*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2022b). *Wärmenetze. Die klimaneutrale Wärmeversorgung für verdichtete Stadtgebiete*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2022c). *Wärmepumpen. Die klimaneutrale Wärmeversorgung im Neubau und für Bestandsgebäude*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2022d). *Heizen mit Holz: knapp, teuer und unerwartet klimaschädlich*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2022e). *Kommunale Wärmeplanung Grundlage einer klimaverantwortlichen Stadtplanung*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2022f). *Wärmewende gegen Erdgasabhängigkeit*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/waermewende-gegen-erdgasabhaengigkeit/>
- Sensfuß, F. (2022, November 15). *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland*. Karlsruhe. Zugriff am 10.12.2022. Verfügbar unter: <https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/index.php>
- Sitte, R. & Glatzel, W.-D. (2002). „Zukunftssicher, umweltverträglich und kostengerecht“ – Zur Energiepolitik unter Rot-Grün. *WSI Mitteilungen*, (6), 360–365.
- Stadtwerke München. (2022). *Der neue Energiestandort Süd*. swm.de. Verfügbar unter: <https://www.swm.de/magazin/energie/energiestandort-sued>
- Statista. (2022). *Bestand der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in Deutschland in den Jahren 2011 bis 2021*. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/468179/umfrage/anzahl-der-kwk-anlagen-in-deutschland/>
- TÜV-Nord. (2019). *Eine kurze Geschichte der Energie*. TÜV-Nord. Verfügbar unter: <https://www.tuev-nord.de/explore/de/erinnert/eine-kurze-geschichte-der-energie/>
- Umweltbundesamt. (2019). *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE - Studie*. Dessau-Roßlau. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf
- Umweltbundesamt. (2020). *Status quo der Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland - Sachstandspapier*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/status-quo-der-kraft-waerme-kopplung-in-deutschland>
- Umweltbundesamt. (2022). *Kraftwerke und Verbundnetze in Deutschland*. [umweltbundesamt.de](https://www.umweltbundesamt.de). Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/kraftwerke-verbundnetze-in-deutschland>
- Vaillant. (1999). *Umweltbericht 1998*. Remscheid.
- VisuFlex (2023). „VisuFlex – Visualisierung der Netz-/Systemdienlichkeit flexiblierter Biogasanlagen“. Verfügbar unter: <https://visuflex.fnr.de/visualisierung>

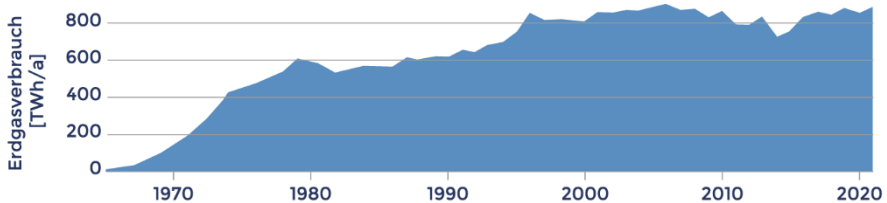
6. Zukunft der Gasnetze

Autoren: Klafka, Peter; Clausen, Jens; Ehrhardt, Helge; Huber, Michael; Seifert, Thomas

In 2045 soll Deutschland klimaneutral sein, so steht es im Klimaschutzgesetz (Die Bundesregierung, 2021). Dieses Ziel klingt abstrakt, bedeutet konkret aber das Ende für die Nutzung fossiler Energieträger, bei deren Verbrennung CO₂ frei wird. Bei Kohle wird der Ausstieg schon seit Jahren diskutiert und ist in den Köpfen der Menschen verankert. Denn der Kohleausstieg wurde beschlossen und gesetzlich geregelt (Die Bundesregierung, 2020). Mit dem „Fit For 55“-Paket der Europäischen Union wurde auf den Weg gebracht, dass Personenkraftwagen oder leichte Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor ab 2035 in der EU nicht mehr auf den Markt gebracht werden dürfen. Das Ende der Nutzung von Benzin und Diesel ist damit eingeläutet. Auch die Nutzung von Erdgas wird zum Erreichen der Klimaneutralität aufgegeben werden müssen. Über diesen Sachverhalt wird bisher nicht ausreichend klar gesprochen. Stattdessen wird Erdgas teilweise noch immer als auszubauende Brückentechnologie propagiert.

Erdgas hat sich seit den 1960er Jahren zu einem wichtigen Energieträger entwickelt.

Abbildung 18: Erdgas-Verbrauch in Deutschland 1965 bis 2020



Quelle: *Statistical Review of World Energy*, BP (2023)

Erdgas ist 2020 mit 905 TWh/a, entsprechend 27 % der Gesamt-Primärenergie nachfrage von 3.387 TWh/a, der zweitwichtigste Energieträger Deutschlands (AG Energiebilanzen, 2022) gewesen. Für die Haushalte ist Erdgas mit

42,1 %, genauso wie für die Industrie mit 35,7 %, der wichtigste Energieträger (Umweltbundesamt, 2022).

Für die Erzeugung von Wärme werden 598 TWh/a Erdgas (66 %) eingesetzt, davon entfallen 257 TWh/a (28%) auf die Raumwärmeversorgung der Haushalte, 236 TWh/a (26 %) auf die Prozesswärmebereitstellung in der Industrie und 105 TWh/a (12 %) auf die Wärmeversorgung des Dienstleistungssektors (AG Energiebilanzen, 2021).

Erdgas wird durch Pipelines verteilt. Das Fernleitungsnetz in Deutschland ist 41.600 Kilometer lang. An diesem sind rund 3.800 große Verbraucher direkt angeschlossen (Bundesnetzagentur, 2022a) sowie die Übergaben in die Verteilnetze. Die der Bundesnetzagentur gemeldete Gasnetzlänge im Verteilernetz einschließlich der Hausanschlussleitungen beträgt weitere gut 554.400 km und weist rund 11 Mio. Ausspeisepunkte an Letztverbraucher auf (Bundesnetzagentur, 2022).

Während die Debatte über die Zukunft des Heizens und auch die Zukunft der industriellen Prozesswärme schon weit entwickelt ist (Clausen et al., 2022; Madeddu et al., 2020; Rehfeldt, 2022), ist die Zukunft des Erdgasnetzes noch eine weitgehend offene Frage. Was passiert mit 600.000 km Erdgasleitungen, wenn der Erdgasabsatz zurückgeht? Droht den Kommunen ein Rückgang der Konzessionsabgaben? Können die Erdgasnetze umgestellt werden auf grüne Gase, zum Beispiel Wasserstoff oder Biogas? In diesem Kapitel möchten wir Antworten auf diese Fragen geben.

Kernaussagen

Das Erdgasnetz ist eine in Jahrzehnten gewachsene Selbstverständlichkeit der Energieversorgung. Mit einer Gesamtlänge von insgesamt ca. 600.000 km erreicht es die Mehrzahl der Städte und Dörfer. Fast jeder zweite Haushalt in Deutschland heizt mit Erdgas. Eine große und weiterhin steigende Zahl von Kraftwerken wird mit Erdgas betrieben. Viele Industrieunternehmen nutzen Erdgas als Energiequelle oder Rohstoff in ihren Prozessen. Erdgas gehört aber zu den fossilen Energien und seine Verwendung muss bis zur angestrebten Klimaneutralität 2045 eingestellt werden. Wie geht es also mit den Gasnetzen weiter?

- Eine Vorstellung ist, dass zukünftig einfach andere Gase durch die Leitungen fließen. Das könnte zum Beispiel Biogas sein, von dem allerdings

nur wenig zur Verfügung steht. Die aktuelle Erzeugung von Biogas entspricht nur ca. 10 % des Erdgasverbrauchs und viele Stimmen mahnen, dass nicht nur zur Schonung der Natur die Produktion von Biogas sinken sollte.

- Auch über grünen Wasserstoff oder daraus hergestelltem Methan wird oft gesprochen. Wasserstoff scheint aus gleich zwei Gründen kein guter Ersatz für Erdgas zu sein: Zum einen sind die zur Verfügung stehenden Mengen sehr wahrscheinlich noch über Jahrzehnte klein, zum anderen bleibt von einer Kilowattstunde grünem Strom nach der Umwandlung in künstliches Methan nur gut eine halbe Kilowattstunde zum Heizen übrig, während mit einer Wärmepumpe aus der gleichen Menge grünem Strom über drei Kilowattstunden Wärme bereitgestellt werden können. Das Heizen mit Wasserstoff wird voraussichtlich deutlich teurer werden als das Heizen mit Wärmepumpen.
- Die gesetzlichen Rahmenbedingungen, z.B. das Energiewirtschaftsgesetz und das Konzessionsrecht, setzen einen florierenden Gasmarkt voraus. Es fehlen bisher Regelungen, die einen geordneten Ausstieg aus der flächendeckenden Gasversorgung sowie eine Reduktion der Erdgas-Infrastruktur ermöglichen.
- Die Wirtschaftlichkeit der Gasnetze wird voraussichtlich stark sinken. Durch die Sanierung von Gebäuden sinkt der Gasabsatz kontinuierlich. Hinzu kommt die beginnende Umrüstung vieler Gebäude auf das Heizen mit Wärmepumpen, nicht zuletzt auch durch das kommende gesetzliche Verbot des Neueinbaus von Gasheizungen. Auch industrielle Gaskunden mit Bedarf an Prozesswärme beginnen die Elektrifizierung der Wärmeversorgung vorzubereiten. Fallenden Absätzen stehen aber keine sinkenden Netzkosten gegenüber, solange die Ausdehnung der Gasnetze nicht zurückgeht. Daher müssen in Zukunft die Netzkosten auf immer weniger Kunden umgelegt werden, wodurch der Gaspreis steigen wird.
- Durch die sinkende Ertragskraft der Gasnetze und den sinkenden Absatz sind auch die kommunalen Einnahmen aus den Konzessionsabgaben zukünftig unsicher. Zudem könnte es dazu kommen, dass sich für einzelne Gasnetze kein Konzessionär mehr findet.
- Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung sollte berücksichtigt werden, dass die Erdgasnetze im Bereich der privaten Wärmeversorgung

mittel- bis langfristig entfallen werden. Im Bereich großer Reservekraftwerke ist dagegen darauf zu achten, dass der Anschluss an die Gas-Fernnetze zum Weiterbetrieb mit grünem Methan oder Wasserstoff erhalten bleibt.

In Zukunft wird die Existenz eines Erdgasnetzes in vielen Gebieten keine Selbstverständlichkeit mehr sein. Die Kommunen und Gas-Netzbetreiber sollten sich frühzeitig auf die Veränderungen einstellen, welche die Energiewende mit sich bringen wird, und sie in der Planung bereits heute berücksichtigen.

Grüne Gase im Erdgasnetz?

Die Idee ist naheliegend: Wenn wir kein fossiles Erdgas mehr fördern, verteilen und nutzen dürfen, dann produzieren wir grüne Gase unter Einsatz von grünem Strom und speisen diese in das Erdgas-Verteilnetz ein. So könnte weiterhin Gas zum Heizen und für die industrielle Produktion eingesetzt werden und die mit hohen Investitionen aufgebaute Gasnetz-Infrastruktur und die Verbrauchs-Infrastruktur könnte weiterhin genutzt werden.

Die Energieversorgung muss sich aber immer an drei wesentlichen Zielen orientieren: Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit. Die Idee, synthetisches klimaneutrales Gas in großen Mengen zu erzeugen und ins Erdgasnetz für die Wärmeversorgung einzuspeisen hat einen ganz wesentlichen Nachteil: sie ist deutlich teurer als die Alternativen.

Der Grund ist, dass für die Herstellung von klimaneutralem Wasserstoff zunächst grüner Strom erzeugt werden muss. Mit diesem Strom wird dann in einer Elektrolyseanlage Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Bei Bedarf kann der Wasserstoff zu synthetischem Methan weiterverarbeitet werden. Sowohl bei der Elektrolyse als auch bei der Methansynthese kommt es aber zu Energieverlusten. Maximal 60 Prozent der Energie des grünen Stroms werden gegenwärtig in synthetischem Gas gespeichert, zukünftig wird ein etwas höherer Wirkungsgrad für möglich gehalten (Fendt, Buttler, Gaderer & Spliethoff, 2016; Hodges et al., 2022; Tjarks, 2017; Zachmann et al., 2021).

In der Anwendung konkurriert dieses Gas bei der Bereitstellung von Raumwärme mit der Wärmepumpentechnologie, die mit einer Kilowattstunde Strom 3 bis 4,5 Kilowattstunden Wärme bereitstellt (vgl. Scientists for Future,

2022c). Letztlich führt dies dazu, dass für das Heizen mit synthetischem Gas ca. sechsmal so viel grüner Strom erzeugt werden muss wie für das Heizen mit einer Wärmepumpe. Damit erfüllt synthetisches Gas eine wesentliche Anforderung an die Energieversorgung nicht: es ist nicht wirtschaftlich (Clausen, 2022; Scientists for Future, 2022a). Auf die zukünftigen Kund:innen kommen u.U. deutlich höhere Heizkosten zu.

Ein zweites Argument ist, dass wir Wasserstoff aus Ländern importieren werden, in denen er weit billiger hergestellt werden kann. Auch dies ist durchaus denkbar, allerdings wird dieser Kostenvorteil durch Umwandlungs- und Transportkosten größtenteils oder vollständig wieder zunichte gemacht (Saerbeck, 2023).

Dazu kommt, dass es innerhalb der nächsten 20 Jahre unwahrscheinlich ist, dass für Raumwärme genügend Wasserstoff oder darauf basierende Synthesegase zur Verfügung stehen. Denn andere Wasserstoffabnehmer, wie die chemische Industrie, die Stahlindustrie und die Luftfahrtunternehmen haben keine elektrische Alternative zum Wasserstoff. Sie werden daher bei Knappheit entweder regulatorisch Vorrang genießen oder bereit sein, höhere Preise zu zahlen, um die Raumwärmekunden als Wasserstoffabnehmer zu verdrängen.

Andere Branchenunternehmen setzen Hoffnung in Biogas als Ersatz um ihre Gasnetze weiterhin auslasten zu können. Während 2020 fast 600 TWh Erdgas für die Wärmeerzeugung eingesetzt und über die Netze verteilt wurden (AG Energiebilanzen, 2021), lag die deutsche Biogasproduktion in der Größenordnung von 70 bis 80 TWh (Deutsches Biomasseforschungszentrum & Wuppertal Institut, 2022). Die derzeitige Biogasproduktion erreicht also gerade einmal 12 % des Erdgasverbrauchs. Die überwiegende Menge davon wird derzeit in dezentralen Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Stromerzeugung eingesetzt. Selbst wenn zukünftig das Biogas überwiegend in das Erdgasnetz eingespeist werden sollte, wäre das heutige riesige Verteilnetz damit nicht wirtschaftlich zu betreiben. Zudem prognostizieren zahlreiche Studien einen Rückgang der Produktion von Biogas auf Basis nachwachsender Rohstoffe (Umweltbundesamt, 2019), weil Teile der heute eingesetzten Biomasse zukünftig als Rohstoff für chemische Produkte genutzt werden können.

Um die Biogasmengen, die noch zur Verfügung stehen werden, konkurrieren dann elektrische Spitzen-Residuallast-Kraftwerke zur Abdeckung von Dunkelflauten sowie Industrieunternehmen, die aufgrund ihrer Produktionsprozesse unvermeidbar Gas benötigen. Absehbar werden daher keine (großen) Mengen an Biogas ausreichend preiswert für die Einspeisung in Verteilnetze zur Verfügung stehen.

Ein Netz für grüne Gase wird in Zukunft im Wesentlichen Großkunden versorgen, beispielsweise Stahlwerke und Spitzenlast-bzw. Reservekraftwerke (Scientists for Future 2023). Diese Abnehmer sind überwiegend direkt am Gas-Fernleitungsnetz oder über kurze Zuleitungen im Verteilnetz angeschlossen. Der überwiegende Teil des deutschen weit verzweigten Gas-Verteilnetzes von heute 560.000 km (Bundesnetzagentur, 2022a), das durch viele Wohnstraßen und Gewerbegebiete mit kleineren Abnehmern verläuft, ist von der Stilllegung bedroht.

Wie langsam die Entwicklung hin zu einem Netz mit grünen Gasen gehen wird, wird auch am aktuellen Netzentwicklungsplan Gas 2020 – 2030 der Fernleitungsnetzbetreiber deutlich. Bis 2030 sind dort nur 1.294 km der über 41.000 km Fernleitungen für die Nutzung durch grünes Gas eingeplant.

Welche gesetzlichen Rahmenbedingungen wirken sich auf die Zukunft des Gasnetzes aus?

Das deutsche Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung, auch Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) genannt, gibt es seit 1935 (Die Bundesregierung, 2022). Im Zuge der Energiewende wurde es in den letzten Jahren häufig verändert. Es enthält die grundlegenden Regelungen für die leitungsgebundene Energieversorgung mit Strom und Gas. Zweck des Gesetzes ist, eine möglichst sichere, preisgünstige und umweltfreundliche Versorgung mit Strom und Gas sicherzustellen, die zunehmend auf erneuerbaren Energien beruht.

Das Recht auf Nutzung der Strom- und Gasnetze

Das Energiewirtschaftsgesetz verpflichtet die Netzbetreiber, allen Kunden ihre Netze diskriminierungsfrei zur Verfügung zu stellen. In § 17 Abs. 1 (Die Bundesregierung, 2022) heißt es dazu:

„Betreiber von Energieversorgungsnetzen haben Letztverbraucher, gleich- oder nachgelagerte Elektrizitäts- und Gasversorgungsnetze sowie -leitungen, Ladepunkte für Elektromobile, Erzeugungs- und Gasspeicheranlagen sowie Anlagen zur Speicherung elektrischer Energie zu technischen und wirtschaftlichen Bedingungen an ihr Netz anzuschließen, die angemessen, diskriminierungsfrei, transparent und nicht ungünstiger sind, als sie von den Betreibern der Energieversorgungsnetze in vergleichbaren Fällen für Leistungen innerhalb ihres Unternehmens oder gegenüber verbundenen oder assoziierten Unternehmen angewendet werden.“

Damit hat grundsätzlich jeder das Recht auf eine Nutzung der Strom- und Gasnetze zu fairen Preisen. In Rechnung gestellt werden dürfen ein Grundpreis, ein Arbeitspreis sowie die Kosten, die mit der Herstellung eines Neuanchlusses verbunden sind. Die Netzbetreiber werden von den Regulierungsbehörden kontrolliert. Vor dem Hintergrund der zurückgehenden Nachfrage nach Erdgas und des daraus resultierenden wirtschaftlich notwendigen Schrumpfens der Erdgasnetze ist die Logik des Anspruchs von Endkunden auf einen Anschluss an das Erdgasbestandsnetz zu überdenken und neu zu regeln.

Die Konzessionierung von Gasnetzen

Für das Recht zur Verlegung und den Betrieb von Leitungen unterhalb öffentlicher Verkehrswege zahlen Netzbetreiber den Gemeinden jährliche Konzessionsabgaben in Höhe von ca. 3,2 Mrd. €. Dies macht ca. 1,1 % an den Gesamteinnahmen der Verwaltungshaushalte der Gemeinden in Höhe von jährlich 266,3 Mrd. € aus (BMF, 2022).

Aus § 46 Abs. 2 EnWG ergibt sich, dass der jeweilige Inhaber einer Konzession auch Eigentümer des jeweiligen Netzes ist und er die Übertragung des Eigentums vom vorherigen Inhaber der Konzession verlangen kann (Bundesnetzagentur & Bundeskartellamt, 2015). *„Für die wirtschaftlich angemessene Vergütung ist der sich nach den zu erzielenden Erlösen bemessende objektivierte Ertragswert des Energieversorgungsnetzes maßgeblich“* heißt es zur Bestimmung des Wertes in § 46 EnWG.

Das Konzessionsrecht insgesamt wird den Ansprüchen einer Transformation der Energieversorgung nicht mehr gerecht. Verschiedene Anpassungen sind erforderlich, um eine effektive kommunale Wärmeplanung zu ermöglichen (Peters 2022).

Einer weiteren Ausdehnung von Gasnetzen können Kommunen bei der Ausweisung von Bebauungsflächen entgegenwirken. Nach § 9 Abs. 1 Nr. 23a des BauGB können Kommunen grundsätzlich in Bebauungsplänen die Versorgung mit Erdgas für Neubaugebiete auch aus Gründen des Klimaschutzes ausschließen. Dazu kommt, dass viele Erdgasversorger nicht mehr bereit sind, Neubaugebiete ans Erdgasnetz anzuschließen, da in die Mehrheit der Neubauten bereits heute keine Gasheizungen mehr einbaut werden. Die Erdgasversorger können sich dabei auf die "Angemessenheit der *technischen und wirtschaftlichen Bedingungen*" des Energiewirtschaftsgesetzes berufen.

Die CO₂-Abgabe

Die CO₂-Abgabe wurde im Verkehrs- und Gebäudesektor im Januar 2021 durch das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) eingeführt. Bis 2025 werden von der zuständigen Behörde Emissionszertifikate zu einem Festpreis verkauft, der 2021 bei 25 Euro pro Tonne CO₂ lang und bis 2025 schrittweise auf 45 Euro ansteigt. Ab 2026 soll es ein nationales Emissionshandelssystem mit einem Preiskorridor von zunächst mindestens 55 und höchstens 65 Euro geben. Je Kilowattstunde Erdgas wurden 2021 ca. 0,5 Cent erhoben, 2025 wird es knapp 1 Cent/kWh Erdgas sein. Die Preisentwicklung danach ist nicht genau absehbar, da sie von noch kommenden politischen Vorgaben bestimmt wird. Wahrscheinlich ist z.B. die Zusammenführung des zunächst separat geplante Emissionshandels mit dem Emissionshandel für CO₂-Emissionen aus Kraftwerken und Industrie, für den derzeit Zertifikate ab 2031 mit über 120 Euro/t CO₂ gehandelt werden. Die CO₂-Abgabe wird dazu führen, dass Erdgas über den Marktpreis hinaus kontinuierlich teurer und damit im Vergleich zu anderen Methoden des Heizens weniger wirtschaftlich wird.

Sanierungen und Wärmepumpen führen zu sinkendem Gasabsatz

Die Notwendigkeit der Energiewende wurde durch den Überfall Russlands auf die Ukraine nochmals verdeutlicht. Denn jetzt steht nicht mehr nur die Klimakrise, sondern auch die Energieversorgungssicherheit im Brennpunkt. Die Reduktion des Energiebedarfs durch Einsparmaßnahmen wird staatlich gefördert, ebenso der Ersatz alter Gaskessel durch andere Heizungen wie Wärmepumpen. Und die sehr stark gestiegenen Gaspreise sorgen zudem für

eine zunehmende Wirtschaftlichkeit von Wärmedämm-Maßnahmen. Die in der Vergangenheit sehr niedrigen Energie-Sanierungsraten werden sich voraussichtlich erhöhen, auch wenn der Fachkräftemangel sich als Hemmnis erweisen kann. Viele Prognosen (Ariadne Projekt, 2021; Dambeck et al., 2021; Dena, 2021; Sensfuß, 2022) erwarten daher einen sich fortlaufend reduzierenden Bedarf an Gas für Raumwärme und Warmwasserbereitung. Die Europäische Kommission strebt mit ihrem „Fit for 55“- Programm einen Rückgang des Erdgasverbrauchs bis 2030 um ca. 30 % an (EU-Kommission, 2022).

Eine Erweiterung des Gasabsatzes durch Neukundengewinnung ist hingegen nicht absehbar. In Neubaugebieten ist es schon seit mehreren Jahren nicht mehr wirtschaftlich, ein Gasnetz zu verlegen, da Neubauten einen sehr geringen Raumwärmebedarf haben (Teufler, 2019). Dieser wird schon heute überwiegend mit Wärmepumpen gedeckt (Destatis, 2022a). Bei Neubauten nahm der Anteil von Erdgasheizungen bereits stark ab, dieser Rückgang hat sich jetzt nochmal beschleunigt. Lag der Anteil der Erdgas-Heizungen bei Neubauten in 2021 noch bei 34,3 % (Destatis 2022 a) fiel er im ersten Halbjahr 2022 auf nur noch 16,2 % ab (Destatis; 2022 b).

Der Markthochlauf der Wärmepumpe zusammen mit dem kommenden Verbot der Ersatzinvestition in neue Öl- und Gasheizungen wird zu einem starken Wachsen des Marktanteils der Wärmepumpe im Markt für Wärmeerzeuger führen. Innerhalb der nächsten 20 Jahre wird daher die Zahl der Gasheizungen kontinuierlich zurückgehen.

Zusammen mit der fortschreitenden energetischen Gebäudesanierung wird der Erdgasabsatz deutlich sinken. Das ist klimapolitisch so gewollt und wird gravierende Auswirkungen für die Gasnetzbetreiber, die Gasversorger und die Kommunen haben.

Verstärkt wird dieser Effekt durch weitere Änderungen, die sich bei der Erzeugung industrieller Prozesswärme ankündigen. Auch in Branchen, die Wärme mit Temperaturen bis zu 135 °C benötigen, können Wärmepumpen mit einer Kilowattstunde Strom deutlich mehr als eine Kilowattstunde Wärme bereitstellen. Ein Einsatz ist damit z.B. in der Lebensmittelbranche, im Maschinenbau, der Textilindustrie und in Teilen der chemischen Industrie möglich (Madeddu et al., 2020; Rehfeldt, 2022). Die mit Wärmepumpen bereitstellbare Prozesswärme wird voraussichtlich zukünftig noch höhere Temperaturbereiche bis 200°C abdecken.

Zudem lassen sich mit Strom noch deutlich höhere Temperaturen erzeugen. Dies geht durch Widerstandsheizungen, Heizstrahler, Induktionsöfen und Lichtbögen für mehrere hundert bis über tausend Grad, wobei aus einer Kilowattstunde Strom dann nur ca. eine Kilowattstunde Wärme wird. Bei einem Umweg über grüne Gase werden es aufgrund der Umwandlungsverluste nur ca. 0,6 bis 0,7 Kilowattstunden sein. Auch industrielle Wärmenutzer werden also, wo immer möglich, aus Gründen der Wirtschaftlichkeit eher Strom direkt einsetzen, als teureres grünes Gas zu nutzen. Grüne Gase werden in Deutschland aufgrund der unvermeidbaren Umwandlungsverluste, der Kosten der eingesetzten technischen Anlagen und des Transportaufwandes auf absehbare Zeit je kWh teurer sein, als elektrische Energie aus Wind- und Photovoltaik-Erzeugung.

Dem Rückgang des Gasabsatzes steht kein entsprechender Rückgang der Gas-Netzkosten gegenüber. Die Netzkosten sind fast unabhängig von der Menge des abgesetzten Gases. Sie sind im Wesentlichen durch Abschreibungen und Instandhaltungen des weitverzweigten Verteilnetzes bestimmt. Lediglich die Betriebskosten der Verdichterstationen sind abhängig von der Menge des Gases.

Das durchschnittliche Netzentgelt für Haushaltskunden liegt gegenwärtig bei ca. 1,6 Cent pro kWh (Bundesnetzagentur, 2022a). Geht durch energetische Sanierungen, mehr Wärmepumpen und wegfallende Industriekunden der Gasabsatz um 25% zurück, muss der Netzpreis je kWh um 33%, also ca. 0,5 Cent/kWh, ansteigen, um die gleich gebliebenen Kosten zu decken. Die verbleibenden Gaskunden müssen je kWh also einen höheren Netzpreis bezahlen. Das macht den Gaseinsatz wirtschaftlich unattraktiver, was zu weiteren Kundenverlusten durch Umstieg auf die Wärmepumpe bzw. zu weiteren Dämmmaßnahmen führen wird, die wiederum für einen Rückgang des Gasabsatzes und damit einem Anstieg der Netzpreise führen. Diese Wirkungskette beginnt langsam, der Anstieg der Netzentgelte nimmt dann mit zunehmendem Rückgang des Gasabsatzes immer schneller zu. Ist der Gasabsatz um 50% zurückgegangen, dann steigen die durchschnittlichen Entgelte um 1,6 Cent/kWh auf 3,2 Cent/kWh.

Eine weitere Beschleunigung dieses sich selbst verstärkenden Kreislaufs wird durch die Verkürzung der Abschreibungsdauern für Ersatzinvestitionen ver-

ursacht. Diese ist mit der Begründung der absehbaren Beendigung der Erdgasnutzung bereits genehmigt (Bundesnetzagentur, 2022b). Ein Gasnetzbetreiber, der heute eine Ersatzinvestition tätigen muss, kann diese jetzt so abschreiben, dass die Abschreibung bis 2045 vollständig getätigt ist. Statt wie bisher z.B. 40 Jahre Abschreibungsdauer auf Rohre, können jetzt 22 Jahre angesetzt werden. Die kalkulatorischen Kosten der Netze erhöhen sich in diesem Fall. Der resultierende prozentuale Anstieg erhöht sich weiter, je später eine Investition getätigt wird und je mehr sich die Abschreibungsdauer über die Jahre verkürzt. Zwar könnte ein Netzbetreiber im Vertrauen auf in Zukunft verfügbare grüne Gase auch eine längere Abschreibungsdauer wählen, die Erfahrung zeigt aber, dass Möglichkeiten zur schnellen Abschreibung meist genutzt werden.

Noch nicht geklärt ist der Umgang mit den Investitionen, die vor 2023 getätigt wurden und ggf. Abschreibungsdauern bis nach 2045 unterliegen. Hier drohen zukünftige Sonderabschreibungen, welche die Gasnetzpreise dann weiter erhöhen (Bundesnetzagentur, 2022b).

Insgesamt werden durch den absehbaren Rückgang des Gasabsatzes und die Verkürzung der Abschreibungsdauern die Netzentgelte deutlich steigen. Zusammen mit steigenden Preisen für CO₂-Emissions-Zertifikate wird sich eine zunehmende Unwirtschaftlichkeit des Erdgaseinsatzes gegenüber Wärmepumpen ergeben, was einen sich selbst verstärkenden Kreislauf in Gang setzen kann. Denn in den nächsten Jahren werden sich viele Verbraucher und Kommunen dieser Zusammenhänge bewusstwerden, was dann zu einer „Raus aus dem Gas“-Mentalität führen könnte.

Das Gasnetz als kommunalpolitisches Risiko

Die Gasindustrie investiert bis in die Gegenwart hohe Summen in Ausbau und Unterhaltung ihrer Netze. 2020 wurden 1,68 Mrd. € in Neu- und Ausbau der Fernleitungs- und Verteilnetze investiert. Weitere 988 Mio. € flossen in Wartung und Instandhaltung der Netzinfrastruktur (Bundesnetzagentur, 2022a). Bis 2030 sieht der Netzentwicklungsplan der Fernleitungsbetreiber weitere Investitionen von 7,8 Mrd. € in Erdgasnetze und 0,7 Mrd. € in Wasserstoffnetze vor (Die Fernleitungsnetzbetreiber, 2021). Die Investitionshöhe er-

weckt den Eindruck, als könne auch in Zukunft alles so weitergehen wie bisher. Agora Energiewende kritisierte noch vor kurzer Zeit die Bundesnetzagentur, weil sie weitere hohe Investitionen möglich macht (Saerbeck, 2021).

Was aber, wenn die Nachfrage nach dem teuren Wasserstoff klein bleibt und auch Biogas nur in kleinen Mengen zur Verfügung steht? Dann erfolgen hohe Investitionen in eine Infrastruktur, die nur noch wenige Jahre genutzt wird und die kaum noch abgeschrieben werden kann. Damit droht eine Investitionsruine, die sich zur Kostenfalle für noch verbleibende Gaskunden oder Kommunen entwickeln könnte. Denn die von einigen Erdgasnetzbetreibern vorgetragene Aussicht auf große Mengen grüner Gase, also Wasserstoff, daraus hergestelltem synthetischem Methan oder Biogas, stellt sich bei näherer Betrachtung wahrscheinlich als Illusion heraus.

Es ist nötig, die weiteren Planungen des Energiesystems auf eine energieeffiziente und damit auch weitgehend elektrifizierte Welt auszurichten. Und die benötigt eher eine Ertüchtigung der Stromnetze als einen Ausbau der Erdgas-Infrastrukturen, sowohl auf überregionaler als auch auf kommunaler Ebene. Schon heute befürchtet der Verband kommunaler Unternehmen (VKU), dass eine bestehende Infrastruktur entwertet werden könnte, die mehrere hundert Milliarden Euro wert ist (DTS Nachrichtenagentur, 2022).

Auf Ebene der Kommunen sind mehrere Entwicklungen zu befürchten:

- Die Ertragskraft von Stadtwerken wird durch einen Rückgang des Gasverkaufs sinken. Dies gilt insbesondere für Stadtwerke, die diesen Rückgang nicht durch einen wachsenden Fernwärme- oder Stromabsatz ausgleichen können.
- Die Einnahmen aus Konzessionsabgaben für Gasnetze werden deutlich sinken, da der Gasabsatz zurückgehen wird.
- Bei einer Neuvergabe der Konzession für das Gasnetz könnte es sein, dass sich kein neuer Konzessionär bewirbt. Dann aber wären die noch verbliebenen Endkunden ohne Gasnetzbetreiber, die Gemeinde müsste als Versorger einspringen.

Der Rückbau des Gasnetzes ist bei einer Stilllegung derzeit gesetzlich gefordert und würde sehr hohe Kosten verursachen. Eine sinnvolle gesetzliche Regelung wäre es, nicht mehr benötigte Gasleitungen zunächst im Boden zu belassen und erst beim nächsten Tiefbauvorgang zu entfernen. Denn zumindest

für Leitungen im Verteilnetz ist eine Dringlichkeit für eine sofortige Entfernung nach Stilllegung nicht zu erkennen.

Das Gasnetz und die kommunale Wärmeplanung

In den nächsten Jahren steht in den größeren Kommunen mit mehr als 10.000 bzw. 20.000 Einwohner:innen die Erstellung einer kommunalen Wärmeplanung an.

Eine kommunale Wärmeplanung legt die Grundlage für die lokale Wärmewende in der Kommune und die Transformation hin zu einer möglichst vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Wärmeversorgung. Ein kommunaler Wärmeplan enthält dabei Analysen zum aktuellen Wärmebedarf, zu den vorhandenen Wärmepotentialen, sowie ein Zielszenario für eine klimagerechte Wärmeversorgung und einen Maßnahmenplan (vgl. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021; Scientists for Future, 2022d).

Wesentliche Festlegungen innerhalb eines kommunalen Wärmeplans betreffen zum einen die mögliche Lage und Ausdehnung eines Fernwärmenetzes. Für jedes regenerativ versorgte Fernwärmenetz sollte, um höchste Effizienz zu erreichen, eine Anschluss- und Benutzungspflicht in einer Fernwärmesatzung festgelegt werden (Scientists for Future, 2022b). In den Satzungsgebieten wird perspektivisch eine sehr hohe Versorgungsrate mit Fernwärme erzielt werden, so dass der Anteil der Erdgaskunden stark zurückgehen wird. In diesen Gebieten sollte daher der Rückbau des Gasnetzes von vornherein mit geplant und auch kommuniziert werden. Nur so lässt sich vermeiden, dass die Kommune oder der konzessionierte Energieversorger ein immer unwirtschaftlicheres Gasnetz lange Zeit aufrechterhalten muss, was die verbleibenden Kunden mit immer höheren Kosten belasten wird.

In weiteren Gebieten wird die Wärmepumpe die dominierende Wärmetechnik werden. Da in Gebäuden mit schlechtem Energiestandard der Energieeffizienzklassen F, G und H bis zu deren energetischen Sanierung häufig der Einbau einer Hybridheizung aus Gaskessel und Wärmepumpe zu erwarten ist, wird in diesen Gebieten ein Rückbau des Gasnetzes kurz und mittelfristig eher nicht möglich sein. Trotzdem müssen die Kommunen die Besitzer dieser Gebäude rechtzeitig auf die i. d. R. langfristig notwendige Einstellung der Erdgasversorgung hinweisen.

Für die langfristige Gasversorgung, v.a. industrieller Kunden, sollte ermittelt werden, ob ein Anschluss an das überregionale Netz grüner Gase in absehbarer Zeit möglich erscheint und welche Mengen an Wasserstoff, synthetischem Methan oder Biogas mittel- und langfristig eingekauft werden können. Wichtig ist es, die zukünftige Preisentwicklung für solche Gase abzuschätzen, um so das Interesse der Endkunden an der Versorgung mit diesen Energieträgern beurteilen zu können. Weiter ist abzuschätzen, welche Gasmengen für die Versorgung von prioritären Kunden, wie z.B. Spitzenlastkraftwerken, für die Wärme- und Stromnetze benötigt werden.

Ebenfalls notwendig ist es, die Lage der in der Gemeinde vorhandenen BHKW zu ermitteln und zu prüfen, bis wann für diese eine Gasversorgung als gesichert gelten kann. Im Dialog mit den Betreibern sollte geklärt werden, für welche Anlagen sich unter Umständen keine Ersatzinvestitionen mehr lohnen.

Perspektiven für kommunale Wärmeversorger

Gemeinden, die über eigene Stadtwerke als Gasnetzbetreiber verfügen, stehen vor großen Herausforderungen. Das Pariser Klimaabkommen und das deutsche Klimaschutzgesetz, vor allem aber die Gesetze der Atmosphärenphysik geben die unabänderlichen Notwendigkeiten vor, die Nutzung sämtlicher fossiler Energien schnellstmöglich einzustellen.

Der positive Blick nach vorn zeigt in der Wärmeversorgung drei große Zukunftsmärkte:

Ein Ausbau der Fernwärme kann dazu führen, dass die Fernwärme einen wesentlich größeren Teil der Wohnungen mit Wärme versorgt. Hierzu müssen Leitungen verlegt und Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Wärme geplant und gebaut werden (Scientists for Future, 2022b). Die Aufgaben, die auf die Betreiber von Wärmenetzen zukommen, sind groß und in vielen Kommunen wird der Bau von Wärmenetzen überhaupt erst begonnen werden müssen, um zumindest die dicht bebauten Kernbereiche von Siedlungen zu versorgen.

Nahwärmenetze und Quartierswärmelösungen sind überall dort wichtig, wo es die Anschlussdichte und die lokalen Wärmequellen hergeben. Quartiersbezogene Wärmequellen können Rechenzentren, Kühlhäuser, Abwasserleitungen, Grubenwasser, Klärwerke, Flüsse, Seen oder geothermische Anlagen

sein, die über Wärmepumpen genutzt werden. Oft findet sich aber kein Unternehmen, welches eine begrenzte Zahl von Gebäuden an ein kleines Leitungsnetz anschließt, um solche lokalen Wärmequellen zu nutzen. Stadtwerke als bereits bestehende oder noch aufzubauende kommunale Wärmeversorger sind daher wichtige Akteure beim Aufbau von Nahwärmenetzen und Quartierswärmelösungen. Sinnvoll kann es auch sein, dass die Kommune für diesen Zweck die Einrichtung von Energiegenossenschaften unterstützt.

In Gebieten ohne Wärmenetze wird es eine hohe Nachfrage nach Wärmepumpen geben (Scientists for Future, 2022c und d). Nicht jeder aber kann die hohen Investitionen dafür aufbringen. Schon heute bieten daher viele kommunale Wärmeversorger **Wärmepumpenanlagen in Contractingmodellen** an. Auch hier liegen Umsatzpotenziale für kommunale Unternehmen. Zusätzlich können Stromversorger spezielle Wärmepumpentarife anbieten. In der netzdienlichen Flexibilisierung elektrischer Wärmepumpen liegen ebenfalls große Chancen für die Zukunft.

Die Wärmekunden wollen auch in Zukunft gemütlich und warm wohnen und sie sind auch in Zukunft bereit, für zuverlässige, umweltfreundliche und im Vergleich kostengünstige Wärme zu zahlen. Gas als Wärmequelle steht aber dafür zukünftig für die meisten Kunden nicht mehr zur Verfügung.

Quellen

- AG Energiebilanzen. (2021). *Anwendungsbilanzen zur Energiebilanz Deutschland. Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Anwendungszwecken*. Berlin. Verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2020/10/ageb_20v_v1.pdf
- AG Energiebilanzen. (2022). *Energieverbrauch in Deutschland Daten für das 1. - 4. Quartal 2021*. Münster. Verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/01/quartalsbericht_q4_2021.pdf
- Ariadne Projekt. (2021). *Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. Szenarien und Pfade im Modellvergleich*. Potsdam. Verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitaet-2045-szenarienreport/#weiterfuehrende-kapitel-110-appendix-modellbeschreibungen-glossar>
- BMF. (2022). *Eckdaten zur Entwicklung und Struktur der Kommunal Finanzen 2012 bis 2021*. Berlin: Bundesfinanzministerium. Verfügbar unter: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Oeffentliche_Finanzen/Foederale_Finanzbeziehungen/Kommunalfinanzien/Eckdaten_Entwicklung_Kommunalfinanzien.html

- BMWK & BMWSB. (2022). *65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024 Konzeption zur Umsetzung*. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/bauen/konzeptpapier-65-prozent-ee.pdf?blob=publicationFile&v=5>
- BP. (2023). *Statistical Review of World Energy*. bp.com. Verfügbar unter: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/energy-charting-tool-desktop.html#/results/et/natgas-cons/unit/EJ/regions/DEU/view/area>
- Bundesnetzagentur & Bundeskartellamt. (2015). *Gemeinsamer Leitfaden von Bundeskartellamt und Bundesnetzagentur zur Vergabe von Strom- und Gaskonzessionen und zum Wechsel des Konzessionsnehmers*. Bonn. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/EntflechtungKonzession/Konzessionsvertraege/LeitfadenKonzessionsrecht/Leitfaden_Konzessionsvertraege_2te_Auflage_2015.pdf?blob=publicationFile&v=3
- Bundesnetzagentur. (2022a). *Monitoringbericht 2021*. Bonn. Verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Monitoringberichte/start.html>
- Bundesnetzagentur. (2022b). *Festlegung von kalkulatorischen Nutzungsdauern von Erdgasleitungsinfrastrukturen („KANU“)*. Bonn. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK9-GZ/2022/2022_bis0999/BK9-22-0614/BK9-22-0614_Konsultation_Internet.html
- BWP. (2022). *BWP zum 2. Wärmepumpengipfel in Berlin*. Berlin: Bundesverband Wärmepumpe e.V. CEIC. (2021). *Deutschland Erdgas: Verbrauch*. ceicdata.com. Verfügbar unter: <https://www.ceicdata.com/de/indicator/germany/natural-gas-consumption>
- Clausen, J. (2022). *Das Wasserstoffdilemma: Verfügbarkeit, Bedarfe und Mythen*. Berlin: Borderstep Institut. Verfügbar unter: https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2022/06/AP2-Wasserstoff-Potenziale-Bedarfe_27-6-2022.pdf
- Clausen, J., Brendel, H., Breyer, C., Ehmler, Hartmut, Gerhards, Christoph, Golla, Stefan et al. (2022). *Wärmewende beschleunigen, Gasverbrauch reduzieren*. Ein Kurzimpuls. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6363715>
- Dambeck, H., Ess, F., Falkenberg, H., Kemmler, A., Kirchner, A., Kreidelmeyer, S. et al. (2021). *Klimaneutrales Deutschland 2050- In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65% im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals*. Berlin: Prognos AG, Öko-Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt Energie. Verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB.pdf
- Dena (2021). *Dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf

- Destatis. (2022a). Mehr als die Hälfte der im Jahr 2021 gebauten Wohngebäude heizen mit Wärmepumpen. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22_226_31121.html
- Destatis. (2022b). Gasheizung in knapp 16 % der im 1. Halbjahr 2022 genehmigten Wohngebäude geplant. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_N056_311.html
- Deutsches Biomasseforschungszentrum & Wuppertal Institut. (2022). *Kurzstudie zur Rolle von Biogas für ein klimaneutrales, 100 % erneuerbares Stromsystem 2035*. Leipzig. Zugriff am 14.1.2023. Verfügbar unter: <https://wupperinst.org/p/wi/p/s/pd/2063>
- Die Bundesregierung. (2020, August 8). *Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz)*. Verfügbar unter: [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&start=/*\[@attr id=%27bgbl120s1818.pdf%27\]#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr id%3D%27bgbl120s1818.pdf%27%5D_1617785468919](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&start=/*[@attr id=%27bgbl120s1818.pdf%27]#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr id%3D%27bgbl120s1818.pdf%27%5D_1617785468919)
- Die Bundesregierung. (2021). *Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) zuletzt geändert August 2021*. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/>
- Die Bundesregierung. (2022). *Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz)*. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/
- Die Fernleitungsnetzbetreiber. (2021). *Netzentwicklungsplan Gas 2020–2030*. Berlin. Verfügbar unter: <https://fnb-gas.de/netzentwicklungspl%C3%A4ne/netzentwicklungsplan-2020/>
- DTS Nachrichtenagentur. (2022, Mai 22). *Energiewirtschaft rügt Bundespläne zum „Rückbau“ des Gasnetzes. Presse Augsburg*.
- EU Kommission. (2022, Mai 18). *REPowerEU: Ein Plan zur raschen Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen aus Russland und zur Beschleunigung des ökologischen Wandels*. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_22_3131
- Fendt, S., Buttler, A., Gaderer, M. & Spliethoff, H. (2016). Comparison of synthetic natural gas production pathways for the storage of renewable energy: Comparison of synthetic natural gas production pathways. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 5(3), 327–350. <https://doi.org/10.1002/wene.189>
- Hodges, A., Hoang, A. L., Tsekouras, G., Wagner, K., Lee, C.-Y., Swiegers, G. F. et al. (2022). A high-performance capillary-fed electrolysis cell promises more cost-competitive renewable hydrogen. *Nature Communications*, 13(1), 1304. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28953-x>
- Madeddu, S., Ueckerdt, F., Pehl, M., Peterseim, J., Lord, M., Kumar, K. A. et al. (2020a). The CO reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (power-to-heat). *Environmental Research Letters*, 15(12), 124004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd02>
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2021). *Kommunale Wärmeplanung. Handlungsleitfaden*. Stuttgart. Verfügbar unter: <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikation/did/handlungsleitfaden-kommunale-waermeplanung/>

- Peters, M (2022). *Strom- und Gaskonzessionen an die kommunale Wärmeplanung anpassen*. Zeitschrift für Neues Energierecht 6/22. Verfügbar unter: <https://cloud.skip.scientists4future.org/apps/files/?dir=/G%20-%20%20FG%20Kommunaler%20Klimaschutz/AG%20W%C3%A4rme-wende/Protokolle/2022-12-16%20Protokoll&openfile=909192>
- Rehfeldt, M. (2022, Juni 22). CO₂-Neutrale Prozesswärmeerzeugung. Gehalten auf einem Fachgespräch, Berlin.
- Saerbeck, B. (2021, November 4). Worüber keiner reden will: Der bevorstehende Abschied vom Gasnetz. *agora-energiewende.de*. Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/blog/worueber-keiner-reden-will-der-bevorstehende-abschied-vom-gasnetz/>
- Saerbeck, B. (2023, März 14). Gasverteilnetze: Auslauf- oder Zukunftsmodell. Gehalten auf der Wärme vor Zwölf, Berlin. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=mz7UA-zmroM>
- Scientists for Future. (2022a). *Wasserstoff in der Energiewende: unverzichtbar, aber keine Universallösung*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2022b). *Wärmenetze. Die klimaneutrale Wärmeversorgung für verdichtete Stadtgebiete*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2022c). *Wärmepumpen. Die klimaneutrale Wärmeversorgung im Neubau und für Bestandsgebäude*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2022d). *Kommunale Wärmeplanung Grundlage einer klimaverantwortlichen Stadtplanung*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Scientists for Future. (2023). *Kraft-Wärme-Kopplung. Von der fossilen Effizienztechnologie zu einer neuen Rolle in der Wärmewende*. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- Sensfuß, F. (2022, November 15). *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland*. Karlsruhe. Verfügbar unter: <https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/index.php>
- Teufler, M. (2019, November 19). *Erdgas im Neubau ist oftmals nicht wirtschaftlich*. *energate messenger*. Verfügbar unter: <https://www.energate-messenger.de/news/196697/erdgas-im-neubau-ist-oftmals-nicht-wirtschaftlich>
- Tjarks, G. H. (2017). *PEM-Elektrolyse-Systeme zur Anwendung in Power-to-Gas Anlagen*. Jülich. Verfügbar unter: <https://publications.rwth-aachen.de/record/689617/files/689617.pdf>
- Umweltbundesamt. (2019). *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE - Studie*. Dessau-Roßlau. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf
- Umweltbundesamt. (2022). *Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren*. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einfluss-faktoren>

- Wärmepumpen-Gipfel. (2022). *Eckpunktepapier zur Diskussion der Beschleunigung des Wärmepumpenhochlaufs - Vorhaben und Maßnahmen zum 2. Wärmepumpen-Gipfel* -. Berlin. Verfügbar unter: https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/05_Presse/01_Pressemitteilungen/Eckpunktepapier_Waermepumpenhochlauf.pdf
- Zachmann, G., Holz, F., Roth, A., McWillimas, B., Sogalla, R., Meissner, F. et al. (2021). *Decarbonisation of Energy Determining a robust mix of energy carriers for a carbon-neutral EU*. Luxemburg. Verfügbar unter: <https://econpapers.repec.org/RePEc:diw:diwpok:pbk175>

7. Heizen mit Holz

Autoren: Clausen, Jens; Ehrhardt, Helge, Huber, Michael; Linow, Sven; Seifert, Thomas; Beisheim, Mirco

Mit der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes gilt ab Anfang 2024 für Neubauten in Neubaugebieten, dass jede neu eingebaute Heizung mindestens 65 Prozent erneuerbare Energie nutzen muss. Im Gebäudebestand gilt dies je nach Größe der Gemeinde entweder ab Mitte 2026 oder ab Mitte 2028 (vgl. Kapitel 1). Die bisher stark verbreiteten Erdgas- und Ölheizungen dürfen dann nicht mehr eingebaut werden, auch nicht als Ersatz für ältere Anlagen. Viele Menschen gehen davon aus, dass dann das Heizen mit Holz wieder an Bedeutung gewinnen wird.

Wenn man sich die Argumente des Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V. (DEPV) anschaut, dann erschien dies noch vor wenigen Jahren als nachhaltige und aussichtsreiche Perspektive (DEPV, 2018), denn Holz für die Pellets stand aus Sicht des DEPV als nachwachsender, klimafreundlicher Rohstoff in großer Menge zur Verfügung. Dabei nehme der deutsche Wald an Fläche und Holzvorrat kontinuierlich zu. Und wenn immer mehr Menschen mit Pellets heizen *„ließe sich auf eine kostengünstige Weise enorm viel CO₂ einsparen und wir würden unsere Klimaziele schneller erreichen! Auf der Basis der durchschnittlich in Deutschland eingeschnittenen Holzmenge und der dabei anfallenden Sägespäne können bei uns Pellets für mehr als eine Million Heizungen hergestellt werden.“*

Ähnlich positiv sieht das die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (2021). Aus ihrer Sicht ist das Heizen mit Holzpellets nicht nur *„hoch effizient und besonders emissionsarm, sondern erfreut sich auch zunehmender Beliebtheit. Vom kleinen Pelletofen bis hin zu Heizwerken im Megawattbereich, von der Mietwohnung über Einfamilienhäuser bis zu Bioenergiedörfern und städtischen Quartieren: Holzpellets liefern in den verschiedensten Anwendungsbereichen erneuerbare und weitgehend klimaneutrale Wärme.“*

Aber ist überhaupt genug Holz für alle da? Wir müssen ja nicht nur eine Million heute fossil versorgte Heizungen ersetzen, sondern 20 Millionen. Und wie wird sich in den nächsten Jahren des Klimawandels die Menge an Holz entwickeln, die verfügbar ist? Wie teuer werden Holzbrennstoffe, wenn sie

am Markt knapp werden? Diese und weitere Fragen wollen wir Ihnen auf den folgenden Seiten beantworten.

Kernaussagen

Seit Jahrtausenden wird mit Holz geheizt und auch heute trägt Holz zur Wärmeversorgung bei. Aber der Einsatz von Holz zum Heizen kann nur wenig ausgeweitet werden:

- In Deutschland mehr Holz als Brennstoff zu produzieren, ist kaum vorstellbar. Wissenschaftlicher Konsens ist, dass mit einer relevanten Steigerung der Produktion von Scheitholz, Pellets oder Hackschnitzeln nicht gerechnet werden kann, ohne massive Eingriffe in Landschaft und Landwirtschaft zu benötigen. Es könnte darüber hinaus sein, dass die Nachhaltigkeit der Holznutzung aufgrund des durch den Klimawandel bedingten Waldsterbens nicht mehr gegeben ist.
- Der Klimawandel senkt die Produktivität der Wälder. Durch zunehmende Trockenheit in der Vegetationsperiode und den damit verbundenen Folgen, wie absterbende Bäume, Insektenbefall (Borkenkäfer) oder Stürme und Waldbrände wird der Wald stark verändert. Seit 2019 wird erheblich mehr Schadholz eingeschlagen und welche Baumarten zukünftig gute Erträge liefern können, ist unklar.
- Zahlreiche Staaten schauen sich gegenwärtig nach klimafreundlichen Energierohstoffen um, um damit fossile Energieträger wie Kohle, Gas und Öl zu ersetzen. Das führt schon heute dazu, dass Holz und Pellets nicht in nachhaltiger Forstwirtschaft produziert werden, sondern für unseren Brennstoffbedarf Wälder und andere Ökosysteme im Kahlschlag abgeerntet werden. Die Hoffnung auf den Import großer Mengen an preiswerten und zugleich ökologisch verträglichen Energieholz ist nicht realistisch und der Import sollte u.U. sogar unterbunden werden.
- Vieles deutet darauf hin, dass der Preis für Energieholz dem Preis für andere Energieträger folgt und deutlich steigen wird. Holz ist eine der wenigen grundsätzlich nachhaltig produzierbaren Energieträger, der leicht transportiert werden kann. Daher wird sich ein teilweise internationaler Wettbewerb zahlungskräftiger Kunden entwickeln.
- Die Verbrennung von Holz aus tatsächlich nachhaltiger Forstwirtschaft wäre einigermaßen klimafreundlich. Die Verbrennung von Holz aus

Kahlschlag ist dagegen sogar noch klimaschädlicher als die Verbrennung fossiler Energieträger.

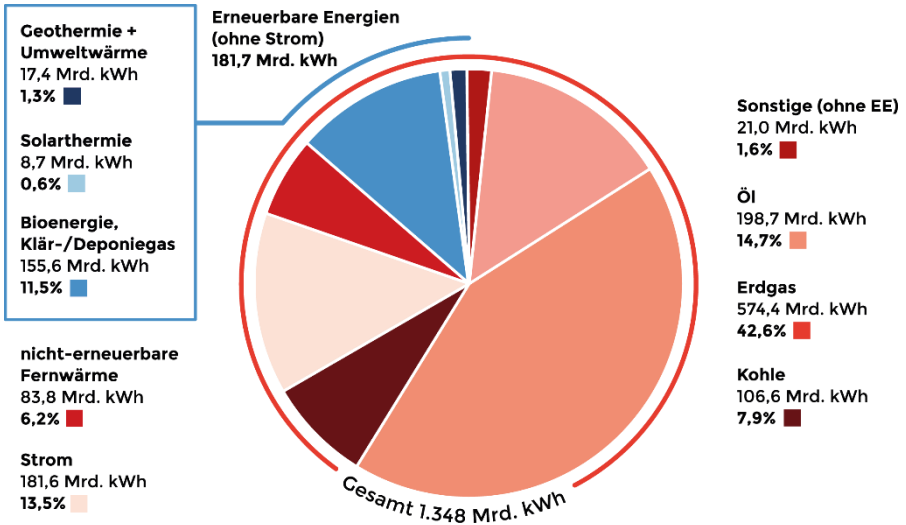
- Auf der Suche nach Lösungen für die Klimakrise wird Holz mit vermeintlich gutem Gewissen in Öfen verfeuert, aber häufig deutlich mehr als nötig. Jedes zweite Scheit, welches in den Ofen wandert, ersetzt keine fossilen Energieträger, sondern macht die Wohnung gemütlich extra warm. Das scheinbar klimafreundliche Holz ermutigt die Menschen dazu, mit gutem Gewissen mehr zu Heizen als nötig ist.

Wir möchten damit alle Lokalpolitiker und Lokalpolitikerinnen und alle Wohnungsbesitzenden warnen, sich auf die Zukunftsperspektive von leicht verfügbarem und billigem Holz zu verlassen. Seien sie kritisch und stellen sie sicher, dass Sie nur das Holz verplanen, das regional sicher und dauerhaft zur Verfügung steht und nachhaltigem Waldbau stammt.

Heizen mit Holzbrennstoffen

Mehr als die Hälfte der in Deutschland zur Erzeugung von Wärme in Industrie und Haushalten eingesetzten Energie wird durch das Verbrennen von Erdgas und Heizöl erzeugt. Auch aus Strom und Kohle wird in großen Mengen Wärme erzeugt. Mit 13,4 % rangieren die erneuerbaren Energien auf dem vierten Platz. Unter ihnen dominiert die Bioenergie, zu der auch die Holzbrennstoffe gehören.

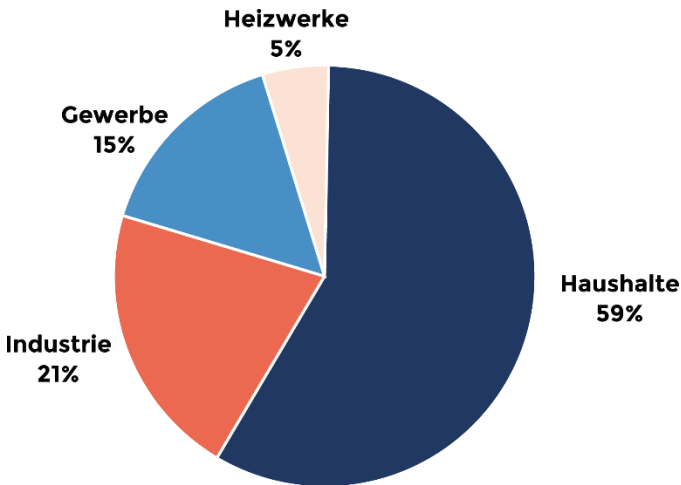
Abbildung 19: Energieeinsatz zur Wärmeerzeugung in Deutschland 2020



Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (2022)

Bei etwa zwei Drittel der in Deutschland heute zur Wärmegewinnung eingesetzten erneuerbaren Energie handelt es sich um Brennholz wie Scheitholz, Hackschnitzel, Späne, Pellets sowie um etwas Stroh, insgesamt werden 117 TWh Holzbrennstoffe verbraucht.

Abbildung 20: Nutzung von Holzbrennstoffen



Quelle: BDEW (2020).

Von den insgesamt ca. 700 TWh Energie, die in privaten Haushalten insgesamt für die Raumwärme eingesetzt werden, sind also ca. 10 % Scheitholz, Hackschnitzel und Pellets. Verheizt werden davon etwa zwei Drittel in Kaminen und Kaminöfen, die meist eine Zusatzheizung darstellen. Etwa ein Drittel wird in Zentralheizungsanlagen, z.B. in Form von Holzpellets oder Hackschnitzeln, verfeuert. Daneben kann Holz auch in Heizwerken und Heizkraftwerken als Brennstoff für Wärmenetze eingesetzt.

Heizen mit Holz

Etwa 10 % der Raumwärme wird durch das Verfeuern von Holz in Zentralheizungen, Kaminen und Kaminöfen erzeugt. Nutzer von Kaminen und Kaminöfen wohnen dabei durchschnittlich in größeren Häusern oder Wohnungen und verbrauchen ca. 20 % mehr Heizenergie pro m² als die Nutzer von Wohnungen ohne Kaminöfen. Das weist nicht auf einen sparsamen und nachhaltigen Einsatz wertvoller Energie hin.

Die Statistik der Wärmeerzeuger des Bundesverbandes der deutschen Heizungsindustrie weist für das Jahr 2020 einen Bestand von ca. 900.000 Biomasseheizanlagen aus (BDH, 2021). Kleinere Anlagen in Einzelhäusern werden oft mit Holzpellets betrieben, größere auch mit Hackschnitzeln. Der Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V. (DEPV, 2022) erwartet für 2022 eine Pelletproduktion von ca. 3,6 Mio. t (ca. 18 TWh).

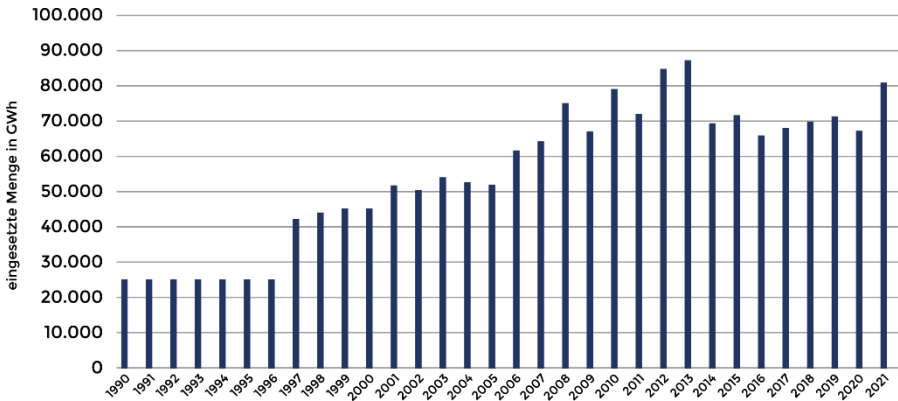
Kamine und Kaminöfen sind als Zusatzheizung in Einfamilienhäusern sehr verbreitet und finden sich in Deutschland in etwa jeder vierten Wohnung (BDEW, 2020). Eine Untersuchung von CO₂-Online findet sie in jedem dritten Ein- oder Zweifamilienhaus (CO₂-Online, 2018), wobei die Wohnfläche von Gebäuden mit solchen Zusatzheizungen größer ist, als der Durchschnitt (CO₂-Online, 2018). Kamine oder Kaminöfen werden überwiegend mit Scheitholz betrieben und tragen dort, wo sie vorhanden sind, nicht unerheblich zur Wärmeversorgung bei. Der Bericht von CO₂-Online dokumentiert eine jährliche Wärmemenge von ca. 45 kWh/m², die durch Holzheizung in Kaminöfen erzeugt wird. Der Wärmeverbrauch in Gebäuden mit Zusatzheizung liegt dabei 20 % höher als in Gebäuden ohne Zusatzheizung (CO₂-Online, 2018). Bundesweit lässt das auf ca. 42 TWh Energie schließen, die in Kaminöfen und Kaminen verfeuert werden, dies entspricht knapp zwei Drittel der zum Heizen von Haushalten eingesetzten biogenen Festbrennstoffe (BDEW, 2020).

Zusätzliche Holzpotenziale sind nicht verfügbar

Holz steht zur Energieerzeugung zwar grundsätzlich zur Verfügung, die Potenziale sind aber begrenzt. Weitgehende Einigkeit herrscht dahingehend, dass derzeit die energetische Nutzung von biologischen Abfall- und Reststoffen, Landschafts- und Pflegeholz wie auch die Umwandlung in Biogas einen Beitrag zur Strom- und Wärmeversorgung leisten können. Weitere Nutzungen bestehen in der Verbrennung von Feuerholz, Pellets und Stroh wie auch in der Nutzung von Anbaubiomasse, z.B. in Biogasanlagen. Insgesamt schätzt das Umweltbundesamt die dauerhaft vorhandenen Potenziale auf ca. 170 TWh/a ein. Als holzartige Festbrennstoffe stehen von dieser Menge ca. 70 bis 80 TWh zur Verfügung. Die verfügbare Menge dürfte in Zukunft eher kleiner werden (Umweltbundesamt, 2022).

Mit Blick darauf, dass diese Menge an Energie bereits seit dem Jahr 2010 kontinuierlich genutzt wird (vgl. Abbildung 21) und seither kaum noch steigt ist aber vergleichsweise klar, dass die Nutzung holzartiger Biomasse nicht deutlich ausgeweitet werden kann.

Abbildung 21: Nutzung von holzartigen Festbrennstoffen in deutschen Haushalten



Quelle: BMWK (2022)

Holznutzung wird zukünftig immer mehr in Konkurrenz zu Kompostierung und Humusaufbau stehen, so dass zunehmend weniger für energetische Zwecke verfügbar sein wird.

Auch die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina weist darauf hin, dass die Verwendung von Biomasse als „Vermeidungsstrategie im globalen Klimawandel“ ungeeignet ist (Leopoldina, 2013) „Die direkte Nutzung von Biomasse als Rohstoff für industrielle energetische Nutzung verbietet sich wegen der geringen Effizienz und der vielfältigen Nebenwirkungen.“ Damit erscheint aber auch eine Ausweitung der Mengen als wenig hilfreich. Allenfalls Abfall- und Reststoffe sollten energetisch genutzt werden.

In der Studie „Biomasseheizkraftwerke in Deutschland bis 2020“ resümiert Trend Research zur Verfügbarkeit von Altholz: „Bei einzelnen Holzfraktionen, wie beispielsweise Altholz, werden die zur Verfügung stehenden Potenziale bereits vollständig ausgeschöpft“ (Piest, 2021). Der NABU (2022) und andere Ver-

bände weisen ebenfalls auf Knappheit hin sowie darauf, dass die Altholzverbrennung in Deutschland den Bedarf an Frischholz für die Herstellung von Spanplatten in die Höhe treibt. Die Verfügbarkeit von Waldholz wiederum wird zunehmend durch den Klimawandel eingeschränkt.

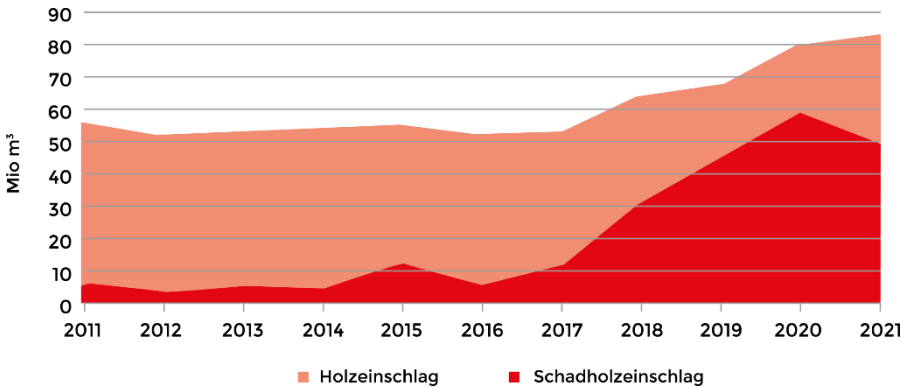
Der Klimawandel gefährdet die Verfügbarkeit von Brennholz

In vielen Landstrichen verdorren in den letzten Jahren Bäume und Sträucher. Bilder aus den Mittelgebirgen zeigen ganze Hänge, an denen die Bäume vertrocknet sind. Von Januar 2018 bis einschließlich April 2021 wurden in Deutschland auf rund 500.000 Hektar Fläche Baumverluste verzeichnet. Der Verlust entspricht fast fünf Prozent der gesamten Waldfläche und ist damit erheblich höher als bisher angenommen (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, 2022). Bis zu 80 % der Bäume zeigen Klimawandel bedingte Kronenschäden, was auf nachlassende Vitalität und Wachstum hinweist. Bei 20% dieser Bäume droht sogar frühzeitiges Absterben.

Schätzungen zufolge wurden in Europa im Zeitraum 1950-2000 jedes Jahr ca. 35 Mio. m³ Holz, d. h. 8,1 % des gesamten Holzeinschlags, hauptsächlich durch Stürme und Borkenkäfer geschädigt, wobei es große Schwankungen gab (European Commission. Joint Research Centre., 2021). Im Jahr 2018 aber lag diese Zahl bei über 100 Millionen m³. Insektenbefall (+602 %), Waldbrände (+231 %) und Stürme (+140 %) haben im Vergleich zu 1971-1980 in Europa insbesondere im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts drastisch zugenommen und es wird erwartet, dass solche Störungen aufgrund des Klimawandels in Zukunft häufiger und intensiver auftreten werden (Seidl et al., 2017). Der Klimawandel wird den Wald durch Veränderungen der Niederschläge, der Temperatur wie auch durch Dürren und Stürme verändern, was sich auf die Holzproduktion, die Kohlenstoffspeicherung und andere Ökosystemleistungen auswirken wird (Lindner et al., 2014; Senf, Buras, Zang, Rammig, & Seidl, 2020).

Das statistische Bundesamt dokumentiert, dass der Anteil des Schadholzeinschlags am gesamten Holzeinschlag in den Jahren seit 2018 drastisch zunimmt (Abbildung 22).

Abbildung 22: Entwicklung des Holzeinschlags und des Schadholzeinschlags in Deutschland



Quelle: Destatis (2022)

Durch den Klimawandel verlängert sich die Vegetationsperiode. Durch höhere Temperaturen im Sommer und wenige, aber heftige Niederschläge kommt es dazu, dass weniger Wasser für Forst- und Landwirtschaft zur Verfügung steht während gleichzeitig alle Pflanzen größere Mengen an Wasser benötigen, so dass von deutlich geringerem Zuwachs an Biomasse ausgegangen wird (Döbbeler et al. 2020).

Auch mittel- und langfristig ist mit einer deutlichen Verringerung des Holzzuwachses in den Wäldern zu rechnen. Und mit Blick auf die Nutzung von sogenanntem „Waldrestholz“, also den Teilen vom Baum, die kein Rundholz sind, empfehlen Naturschützer dringend, dieses Holz in Zukunft im Wald zu belassen, da verrottendes Holz für die Nährstoffverfügbarkeit, die Bodenbildung, die Biodiversität und damit für die Gesundheit des Waldes sehr wichtig ist (Umweltbundesamt, 2019b, Döbbeler et al. 2020).

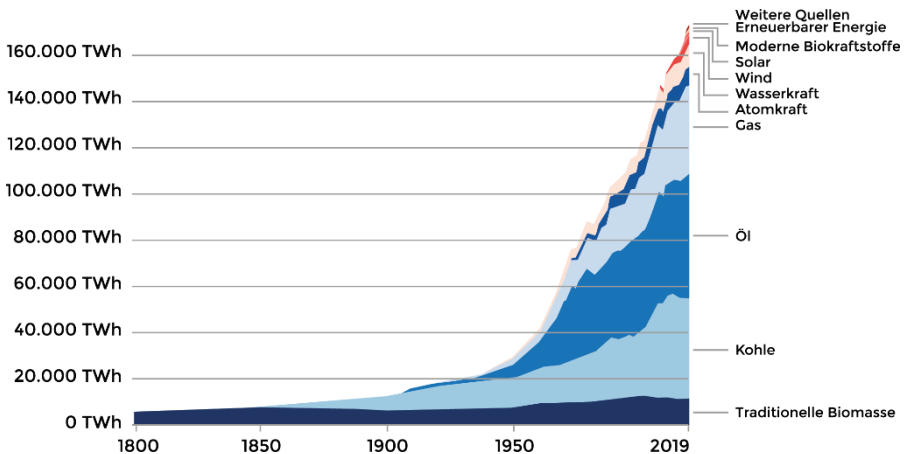
Angesichts der schwindenden Wälder darf sich nachhaltige Forstwirtschaft nicht auf eine Balance von Einschlag und Nachwuchs beschränken, sondern muss den Erhalt der Waldflächen zum Ziel haben, d.h. den Ausgleich der klimabedingten Waldverluste beinhalten.

Für die Planer und Entscheider in den Kommunen bedeutet das, dass der derzeitige hohe Schadholzanfall zwar eine hohe Verfügbarkeit von Holz suggeriert, aber die Vorstufe von massivem zukünftigem Holzangel ist.

Import ist keine Lösung: Auch andere Länder benötigen ihr Holz als Energiequelle

Die Welt steht am Anfang einer Epoche, in der der fortschreitende Klimawandel dazu führen wird, dass mehr und mehr Länder der Erde einen immer rascheren Ausstieg aus den fossilen Energien anstreben. Im Jahr 2019 machten Kohle, Öl, Erdgas und Atomenergie 82 % der genutzten Primärenergie aus. Weitere 9 % sind Strom aus Wasserkraft, Wind und Photovoltaik, also Energieformen, die letztlich nur schwer über Kontinente hinweg transportabel sind.

Abbildung 23: Globaler Verbrauch an Primärenergie nach Typ bis 2019



Quelle: Ritchie & Roser (2022)

Unabhängig davon, dass Deutschland bis 2018 ein Netto-Importeur von Rundholz war, könnte der Holzbedarf gegenwärtig noch aus heimischen Wäldern gedeckt werden (Bringezu et al., 2021). Schon für 2030 prognostizieren Bringezu et al. (2021) aber bei wachsendem Verbrauch und tendenziell stabilem Ertrag einen Importbedarf. Im Markt für Holzpellets gab es 2021 noch einen kleinen Exportüberschuss, der aber angesichts eines schneller als die Produktion wachsenden Marktes rasch zu einem Importbedarf führen wird.

Deutlich wird dies gegenwärtig in Großbritannien. Dort wurden von 2012 bis 2018 insgesamt 4 Blöcke des Kohlekraftwerkes Drax auf Pellets umgestellt,

was einen immensen Importbedarf erzeugt (Environmental Paper Network, 2021). Mit 7,37 Mio. t pro Jahr liegt der Pelletverbrauch von Drax über doppelt so hoch wie die gesamte Pelletsproduktion in Deutschland (3,4 Mio. t in 2021). Das Holz dafür stammt nicht aus nachhaltiger oder regionaler Forstwirtschaft, sondern wird z.B. aus den USA importiert, wo dafür ganze Wälder abgeholzt werden (Ernsting, 2020). Nach Einstellung der Subventionen für Strom aus Biomasse im Jahr 2018 werden in Großbritannien gegenwärtig keine weiteren Biomassekraftwerke geplant.

Mit Blick auf den weltweiten Energiemix ist leicht absehbar, dass auch andernorts die Nachfrage nach Bioenergie und Holz steigen wird. Denn es ist die einzige „nachwachsende“ Energie, die in großen Mengen transportiert werden kann. Aber Holz wird fast überall intensiv genutzt, in vielen armen Ländern von Menschen, denen kaum eine Alternative zur Verfügung steht. Ein steigender Holzimport nach Deutschland würde damit nicht nur zu einer Übernutzung von Holzressourcen führen, sondern auch die globale Ungerechtigkeit vergrößern, zumal die FAO bereits seit Jahrzehnten einen massiven weltweiten Waldschwund beklagt (FAO & UNEP, 2020). Auch würde die heutige Abhängigkeit von Gas- und Ölimporten nur durch eine andere Abhängigkeit ersetzt.

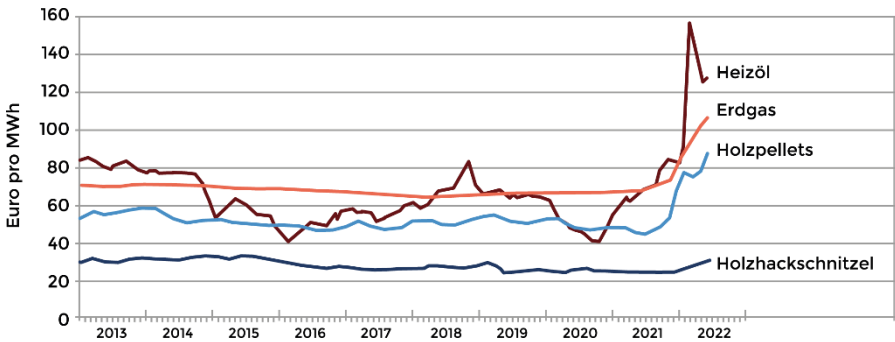
Holzbrennstoffe werden gegenwärtig teurer

Die Preise für Heizenergie haben bis zum Jahr 2021 über lange Zeit nur wenig geschwankt. Eine erhebliche Abhängigkeit vom schwankenden Weltmarktpreis zeigte nur Heizöl, dessen Preis in 2016 und 2020 mit ca. 4 Cent/kWh besonders niedrig lag und das 2013 mit knapp 9 Cent/kWh den höchsten Preis erreichte.

Der Preis für Holz hackschnitzel bewegte sich in den letzten 10 Jahren zwischen 2 und 3 Cent/kWh, der für Holzpellets zwischen 4,5 und 5,5 Cent/kWh und der für Scheitholz zwischen 5,3 und 6,3 Cent/kWh (C.A.R.M.E.N., 2022). Letztlich spiegelt das eine historisch erhebliche Verlässlichkeit der Versorgung mit Holz und ein stabiles Preisniveau wider.

Durch die allgemeine Steigerung von Energiepreisen seit dem Herbst 2021 ist diese Stabilität aus den Fugen geraten. Gegenwärtig notieren Erdgas und Heizöl gleichermaßen oberhalb von 9 Cent/kWh und Pellets werden für einen Preis von knapp unter 8 Cent/kWh angeboten.

Abbildung 24: Preisentwicklung bei Holzbrennstoffen, Heizöl und Erdgas 2013 bis 2022



Quelle: C.A.R.M.E.N. (2022)

Wie wird es weitergehen? Eine langfristig angelegte Analyse der Holzpreise (Nellen, 2012) zeigt, dass die hauptsächlichen Triebfedern für die Entwicklung der Holzpreise volkswirtschaftlicher Art waren: die allgemeine wirtschaftliche Situation, die Preise für Substitute, aber auch Naturereignisse wie Stürme, Hitze und Schädlinge. So fielen z.B. die Holzpreise nach dem Sturm „Lothar“ im Jahr 2000 um ungefähr ein Drittel. Es wäre wenig überraschend, wenn sich der hohe Anfall von Schadholz (vgl. Abbildung 22) in den letzten Jahren zunächst dämpfend auf den Holzpreis auswirkt. Was aber geschieht, wenn danach weniger Schadholz anfällt und mit Blick auf den nötigen Aufwuchs auch weniger geschlagen werden kann? Oder, wie ebenfalls anzunehmen ist, die Nachfrage steigt? Die Fähigkeit des ökonomischen Systems, vorsorgend mit sich anbahnenden Knappheiten umzugehen, schätzen wir als begrenzt ein.

Deutliche Preissteigerungen von Brennholz in jeder Form sind nicht auszuschließen, wodurch dieser Markt für zusätzliche Anbieter attraktiv wird. Dadurch besteht die Gefahr, dass zunehmend nicht nachhaltig eingeschlagenes Holz importiert wird (Bringezu et al 2021).

Die Verbrennung von Holz kann mit überraschend hohen Treibhausgasemissionen verbunden sein

Nahezu Jeder Brennstoff erzeugt bei seiner Verbrennung CO₂-Emissionen. Diese fallen je nach dem Kohlenstoffgehalt des Brennstoffs höher oder niedriger aus. Besonders hoch sind sie bei Braunkohle, eher niedrig bei Erdgas.

Hinzu kommen weitere Treibhausgasemissionen aus der sogenannten Vorkette, also alles, was für die Produktion und den Transport des Brennstoffs nötig ist. Bei Erdgas sind das vor allem Methanemissionen aus kaum vermeidbaren Leckagen, bei Anbaubiomasse die Emissionen aus der landwirtschaftlichen Produktion, also z.B. die Verbrennung von Treibstoffen im Schlepper oder die Lachgasemissionen aus der Düngung. Beim Brennstoff Holz kann es im Fall von Kurzumtriebsplantagen ähnlich sein wie bei der Anbaubiomasse, bei Waldholz hängt es davon ab, wie nachhaltig die Forstwirtschaft betrieben wird.

Ausgangspunkt unserer Überlegungen zu Emissionsfaktoren ist der Anhang 9 des Gebäudeenergiegesetzes von 2020 (GEG). Dort sind Emissionsfaktoren als CO₂-Äquivalente aufgeführt, die auch andere Treibhausgase als CO₂ berücksichtigen, wie in Tabelle 2 gezeigt.

Tabelle 2: Ausgewählte Emissionsfaktoren

Kategorie	Energieträger	Emissionsfaktor [g CO ₂ -Äquivalent pro kWh]
Fossile Brennstoffe	Heizöl	310
	Erdgas	240
Biogene Brennstoffe	Bioöl	210
	Biogas	140
	Holz	20

Quelle: Anhang 9 Gebäudeenergiegesetz (Bundesregierung, 2020)

Für Holz setzt das GEG 20 gCO_{2eq}/kWh an. In einer ähnlichen Größenordnung bewegen sich die Angaben zu Emissionsfaktoren der Wärmebereitstellung aus fester Biomasse des Umweltbundesamtes (2019a). Aber alle diese

Angaben gehen explizit oder implizit von Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft aus.

Völlig anders zu bewerten ist der Einsatz von Holz, wenn z.B. Importholz eingesetzt wird, welches durch die Abholzung ganzer Wälder gewonnen wird. Dann wäre Holz als nicht nachhaltiger Rohstoff wie folgt zu bewerten: Holz weist je nach Wassergehalt einen Heizwert zwischen ca. 3,2 kWh/kg im Fall von Holzhackgut mit hohem Wassergehalt und 4,9 kWh/kg bei Holzpellets auf (C.A.R.M.E.N., 2020). Bei der Verbrennung von 1 kg Holz werden ca. 1,83 kg CO₂ freigesetzt (CO₂-Online, 2012). Es ergibt sich für die Verbrennung von verschiedenen Holzbrennstoffen aus nicht-nachhaltiger Forstwirtschaft ein Emissionsfaktor zwischen 370 bis 570 gCO₂/kWh. Durch die gegenwärtig und wohl auch zukünftig auftretende und durch den Klimawandel verstärkte Holzknappheit werden z.B. in Osteuropa und den USA ökologisch wertvolle Wälder abgeholzt. Auch die Verbrennung des Holzes von durch die Hitze- und Trockenperioden abgestorbenen Wäldern, z.B. aus dem Harz, ist kritisch zu bewerten, da auch dieses Holz nicht kontinuierlich, sondern nur in langer Zeit wieder nachwächst und als „Kalamitätsholz“ nicht dauerhaft verfügbar ist (Niedersächsische Landesforsten, 2019).

Kritisch ist dabei ein möglicher Lock-in-Effekt: was passiert, wenn das Kalamitätsholz aufgebraucht ist, aber der Markt bzw. die Hausbesitzer weiter einen hohen Bedarf haben. Dann könnte es zu steigenden Importen oder zur Übernutzung der heimischen Wälder kommen.

Auch die EU scheint das Problem zu erkennen. Die Energieerzeugung aus primärer holzartiger Biomasse (also frisch geschlagenem Holz) soll im Rahmen der Richtlinie über erneuerbare Energien nach einem Beschluss des Ausschusses des Europäischen Parlaments nicht mehr als erneuerbar gelten und kann somit nicht mehr von Förderprogrammen für erneuerbare Energien profitieren (Taylor & Romano, 2022). Sekundäre holzartige Biomasse wie Sägespäne, Schwarzlauge aus der Papierherstellung und Holzabfälle sollen aber auch zukünftig als erneuerbar gelten (Taylor & Romano, 2022).

Kamine und Kaminöfen

An kalten Wintertagen ist es am Feuer besonders gemütlich. Aber auch auf das gemütliche Kaminfeuer soll hier ein kritischer Blick geworfen werden. CO₂-Online (2018) hat in einer Studie zur Zusatzheizung auch einige Fragen

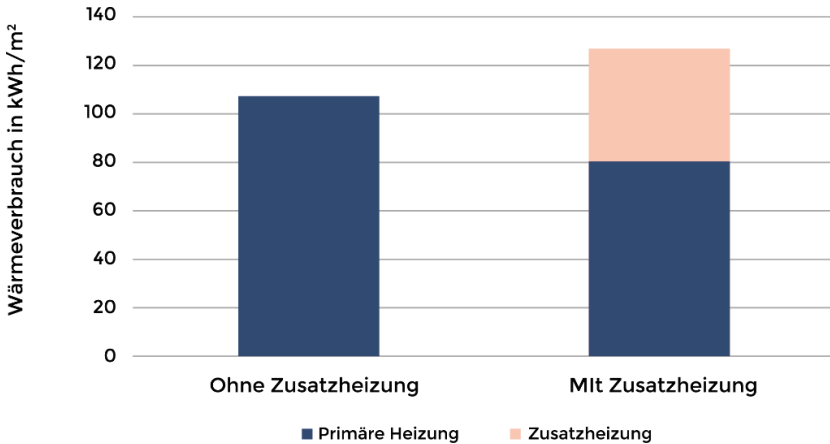
zur Nutzung von Kaminen und Öfen behandelt. Interessant dabei ist, dass die Fragen zur Holzheizung zu 81 % von Männern beantwortet wurden, wobei allein von der Altersgruppe 50 bis 70 Jahre mehr als die Hälfte der Antworten stammte. Heizen ist also genauso wie Grillen oder Holzmachen mit der Ketten säge Männersache.

Mit Blick auf den Betrieb von Kaminen und Kaminöfen unterscheidet CO₂-Online (2018) dann fünf Gruppen von Nutzenden: Die „gemütlichen Zuheizer“ waren in der Teilstichprobe der Zusatzheizungsnutzer mit 54,4 % am stärksten vertreten. Sie steigern ihre Raumtemperatur durch häufiges und oft tägliches Heizen mit Holz. Der zweithäufigste Nutzertyp waren die „sparsamen Substituierer“ (20,8%), die sich durch ebenfalls oft tägliches Zuheizen bemühen, den Brennstoffverbrauch und die Kosten für die Hauptheizung zu reduzieren. Die Gruppe derer „mit dem Holz vor der Hütte“ (11,3 %) heizt ebenfalls häufig und schätzt dabei „den einfachen und kostengünstigen Zugang zu Brennstoffen“. Nur 7,1 % gehören zu den „Notheizern“, die die Raumtemperatur nur dann durch Zuheizen erhöhen, „wenn die Hauptheizung im kalten Winter nicht ausreicht. Und einen eher geringen Brennstoffverbrauch weisen auch die „gelegentlichen Romantiker“ (6,4 %) auf, die an seltenen Tagen den Kamin zur Stimmungsverbesserung anheizen.

Die Motive für das Heizen mit Holz sind einfach und die Befragten meinen, folgende Aussagen treffen zu oder teilweise zu: „Ich nutze die Einzelraumheizung wegen des Komforts und der Behaglichkeit (warme Raumtemperaturen)“ (95 %), „Durch die Nutzung der Einzelraumheizung reduziere ich den Brennstoffverbrauch für die Hauptheizung und spare Kosten für die Hauptheizung“ (92 %), „Durch die Nutzung der Einzelraumheizung bin ich unabhängiger von fossilen Brennstoffen“ (76 %), „Ich nutze Holz, weil ich der Meinung bin, dadurch etwas für die Umwelt und das Klima zu tun.“ (78 %) und 69 % meinen „Ich habe einfachen und kostengünstigen Zugang zu Brennstoffen für die Einzelraumheizung (Holz, Pellets o.ä.)“.

Wenn wir annehmen, dass das meiste Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft kommt, dann trägt das Verhalten in der Tat zu Klima- und Umweltschutz bei. Problematisch ist aber, dass nur die Hälfte des verheizten Holzes den fossilen Brennstoffverbrauch reduziert. Die andere Hälfte wird zusätzlich verheizt. Und so trifft denn auch die bei vielen vorhandene Vorstellung, dass mit Holz zu heizen gut für Klima und Umwelt ist, leider oft nicht zu.

Abbildung 25: Nutzung von holzartigen Festbrennstoffen in deutschen Haushalten



Quelle: CO2-Online (2018)

Womit heizen wir angesichts der zukünftig begrenzten Holzverfügbarkeit?

Wenn wir geschickt mit den vorhandenen Energieressourcen umgehen, dann wird es uns auch mit geringem Einsatz von Holz zum Heizen nicht an Wärme mangeln. Folgende Energieressourcen stehen im Zentrum einer nachhaltigen Wärmeversorgung (Gerhards et al., 2021):

Strom, der in Windkraftwerken wie auch durch Photovoltaik gewonnen wird treibt Wärmepumpen an, die das Zwei- bis Fünffache der benötigten Strommenge an Wärme liefern. Zusätzlich kann ein Teil des Stroms in Wasserstoff umgewandelt werden, der in windstillen Zeiten im Winter zur Überbrückung in KWK-Kraftwerken eingesetzt wird.

Biologische Abfall- und Reststoffe aus der Holz- und Nahrungsmittelproduktion wie auch aus der Landwirtschaft werden je nach Eignung schon heute in Biogasanlagen oder in Verbrennungsanlagen zur Erzeugung von Wärme oder in Kraft-Wärme-Kopplung genutzt. Zusätzlich wird das produzierte Biogas zunehmend dezentral gespeichert und ebenfalls zu Verstromung in Engpass-situationen eingesetzt.

So lange dies nötig ist kann auch **Abfall und Klärschlamm** (mit Phosphor-Rückgewinnung!) verbrannt werden, um Wärme für Fernwärmenetze zu erzeugen.

Industrielle Abwärme, Wärme aus der tiefen Geothermie, aus Flusswasser oder großen Solaranlagen und aus großen Saisonalspeichern kann über Wärmepumpen in Fernwärmenetze eingespeist werden, mit denen verdichtete Wohngebiete versorgt werden.

Die von Akteuren der Erdgaswirtschaft immer wieder ins Gespräch gebrachte Lösung in Zukunft über das bisherige Erdgasnetz **grünen Wasserstoff** auch zur Gebäudeheizung zu verteilen halten wir aus Gründen von Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit für illusorisch (Clausen 2022, Gerhards et al., 2021). Die verfügbaren Mengen an grünem Wasserstoff werden dazu in den nächsten 20 bis 30 Jahren nicht ausreichen und der Effizienznachteil gegenüber der Wärmepumpe wird zu sehr hohen Kosten führen.

Auch das oftmals als Energiequelle für die Wärmeversorgung als Ersatz für Erdgas vorgeschlagene **Biomethan** erweist sich bei näherer Betrachtung als äußerst problematisch. Nur wenige Biogasanlagen bereiten das Biogas auf Erdgasqualität auf und speisen das gewonnene Biomethan ins Erdgasnetz ein. Eine Ausweitung der Produktionsmenge ist aus verschiedenen Gründen weder realistisch noch klimapolitisch wünschenswert (Umweltbundesamt 2019b). Der Aufwand für die Aufbereitung von Biogas zu reinem Biomethan ist zudem energetisch und wirtschaftlich so hoch, dass letztlich kein wesentlicher Beitrag zur Gewinnung von Gebäudewärme zu erwarten ist.

Quellen

Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (2022). Grafik-Dossier: Der Wärmemix in Deutschland 2020, 2018 & 2016. Unendlich viel Energie. Zugriff am 18.6.2022. Verfügbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/der-waermemix-in-deutschland-2016-2018>

BDEW. (2020). Foliensatz zur BDEW Publikation Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland Basisdaten und Einflussfaktoren 4. Aktualisierte Ausgabe. Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. Verfügbar unter: <https://polit-x.de/de/documents/3657774/>

BDH. (2021). Gesamtbestand zentrale Wärmeerzeuger 2020. Köln: Bundesverband der Deutschen Heizindustrie (BDH). Verfügbar unter: Bundesverband der Deutschen Heizindustrie (BDH) website: <https://www.bdh-industrie.de/presse/pressegrafiken>

- BMWK. (2022). Tabelle 5: Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte 1990 bis 2021. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjz8KDPutn3AhWWQvEDHdbBDhYQFnoE-CAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.erneuerbare-energien.de%2FEE%2FRedaktion%2FDE%2FDownloads%2Fzeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2021-excel.xlsx%3F_blob%3Dpublication-File%26v%3D27&usg=AOvVaw0mw9EkQ_1qOyNsmKGxDtbi
- Bringezu, S., Distelkamp, M., Lutz, C., Wimmer, F., Schaldach, R., Hennenberg, K. J., ... Egenolf, V. (2021). Environmental and socioeconomic footprints of the German bioeconomy. *Nature Sustainability*, 4(9), 775–783. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00725-3>
- Bundesregierung. (2020). Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze (Gebäudeenergiegesetz – GEG). Verfügbar unter: [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&bk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*\[@attr id=%27bgbl107s1519.pdf%27\]#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D_1603811241858](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&bk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*[@attr id=%27bgbl107s1519.pdf%27]#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D_1603811241858)
- C.A.R.M.E.N. (2022). Marktpreisvergleich Preisentwicklung bei Heizöl, Erdgas, Holzpellets und Hackschnitzel. Verfügbar unter: <https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/marktpreisvergleich/>
- C.A.R.M.E.N. (2020). So viel Heizwert steckt im Holz. Verfügbar unter: <https://www.carmen-ev.de/2020/10/27/so-viel-heizwert-steckt-im-holz/>
- Clausen, J. (2022). *Das Wasserstoffdilemma: Verfügbarkeit, Bedarfe und Mythen*. Berlin: Borderstep Institut. Verfügbar unter: www.borderstep.de
- CO2-Online. (2012). Wie viel CO2 wird bei der Verbrennung von Holz frei? Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/service/klima-orakel/beitrag/wie-viel-co2-wird-bei-der-verbrennung-von-holz-frei-8572/>
- CO2-Online. (2018). Die Zusatzheizung – Nutzung ergänzender Heizsysteme im Gebäudebereich. Berlin: CO2-Online. Verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj-wriilL73AhXWQ_EDHYmoDLoQFnoE-CAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.co2online.de%2Ffileadmin%2Fco2%2Fresearch%2Fzusatzheizung-studie.pdf&usg=AOvVaw0oQL8NV0crtTIO_SgLaxpt
- Destatis. (2022, April 14). Neuer Rekordwert beim Holzeinschlag 2021. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/04/PD22_170_41.html
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. (2022, Februar 21). Sorge um den deutschen Wald. Verfügbar unter: https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/01/20220221_sorge-um-den-deutschen-wald.html
- DEPV. (2018, März 27). DEPI-Geschäftsführer Bentele im Interview: Deutscher Wald wächst. Verfügbar unter: <https://www.depv.de/p/Pellets-stammen-aus-nachhaltiger-Forstwirtschaft-swTv7BF34ZLURkHS5jTvCV>

- DEPV. (2022). *Pellet Produktion und Verbrauch*. Berlin: Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V. (DEPV). Verfügbar unter: <https://www.depv.de/p/Pelletproduktion-und-verbrauch-in-Deutschland-Anteil-ENplus-5eJAc88yiMU8j4BUh6SmPM>
- Döbbeler, H.; Buresch, M.; Heitkamp, F.; Nagel, R.-V.; Spellmann, H. (2020). Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl in Hessen. Ergebnisse aus dem Integrierten Klimaschutzplan Hessen 2025: Projekt L-12 „Klimarisiko- und Zielbestockungskarten Forst“. Verfügbar unter: www.nw-fva.de
- Environmental Paper Network. (2021). Mapping The Biomass Industry. *Environmentalpaper*. Zugriff am 17.6.2022. Verfügbar unter: <https://environmentalpaper.org/tools-and-resources/mapping-bioenergy/>
- Ernsting, A. (2020). Desaster fürs Klima. Der Umstieg von Kohle auf Holz. Verfügbar unter: <https://www.robinwood.de/magazin/desaster-f%C3%BCrs-klima>
- European Commission. Joint Research Centre. (2021). The use of woody biomass for energy production in the EU. LU: Publications Office. Verfügbar unter: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/831621>
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2021, Juni 29). Mit Holzpellets klimafreundlich heizen. Verfügbar unter: <https://heizen.fnr.de/service/presse/news-und-presse/aktuelle-nachricht/mit-holzpellets-klimafreundlich-heizen>
- FAO & UNEP. (2020). The State of the World's Forests 2020. FAO and UNEP. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>
- Gerhards, C., Weber, U., Klafka, P., Golla, S., Hagedorn, G., Baumann, F. et al. (2021). *Klimaverträgliche Energieversorgung für Deutschland – 16 Orientierungspunkte / Climate-friendly energy supply for Germany – 16 points of orientation*. Scientists for Future Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4409334>
- Leopoldina. (2013). Stellungnahme: Bioenergie – Möglichkeiten und Grenzen. Halle (Saale): Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina.
- Lindner, M., Fitzgerald, J. B., Zimmermann, N. E., Reyer, C., Delzon, S., van der Maaten, E., ... Hanewinkel, M. (2014). Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management*, 146, 69–83. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.030>
- NABU Bundesverband, Deutsche Umwelthilfe, Robin Wood & Biofuelwatch. (2022). Energieerzeugung aus Altholz in Deutschland. Auswirkungen auf Klima und Ressourcen. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.biofuelwatch.org.uk/2022/alt-holz-informationspapier/>
- Nellen, B. (2012). Preisentwicklung von 1919 bis 2010. *Wald & Holz*, (1), 14–15.
- Niedersächsische Landesforsten. (2019, November 29). Der Wald fest uim Griff des Klimawandels. Verfügbar unter: <https://www.landesforsten.de/2019/11/29/der-wald-fest-im-griff-des-klimawandels/>
- Piest, B. (2021, Mai 2). Woher wird das Holz für Biomasse-Heizkraftwerke in Deutschland kommen? Verfügbar unter: <https://braunschweig-spiegel.de/woher-wird-das-holz-fuer-biomasse-heizkraftwerke-in-deutschland-kommen/>
- Ritchie, H. & Roser, M. (2022). Energy mix. *Our World in Data*. Verfügbar unter: <https://ourworldindata.org/energy-mix>

- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., ... Reyer, C. P. O. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7(6), 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- Senf, C., Buras, A., Zang, C. S., Rammig, A., & Seidl, R. (2020). Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications*, 11(1), 6200. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1>
- Taylor, K. & Romano, V. (2022, Mai 20). Umweltverbände erringen historischen Sieg bei Biomassevorschriften. *Euractiv*. Verfügbar unter: <https://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/umweltverbaende-erringen-historischen-sieg-bei-biomassevorschriften/>
- Umweltbundesamt. (2022). Erneuerbare Energien in Deutschland. Daten zur Entwicklung im Jahr 2021. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/hg_erneuerbareenergien_dt.pdf
- Umweltbundesamt. (2019a). Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Dessau-Roßlau. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger-2018>
- Umweltbundesamt. (2019b). Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE - Studie. Dessau-Roßlau. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf

8. Wasserstoff zum Heizen

Autoren: Clausen, Jens; Huber, Michael; Linow, Sven; Gerhards, Christoph; Ehrhardt, Helge; Seifert, Thomas

Grundsätzlich lässt sich Wasserstoff (H₂) wie Erdgas in Pipelines oder Tank-schiffen transportieren und in Tanks oder Kavernen speichern. Das suggeriert, dass grüner, also elektrolytisch mit regenerativem Strom CO₂-frei erzeugter Wasserstoff alle Aufgaben übernehmen könnte, für die wir heute fossile Rohstoffe wie Erdöl und - vor allem - Erdgas einsetzen. Doch das trügt, denn für viele Zwecke ist der Einsatz von grünem Wasserstoff energetisch ineffizient und viel zu teuer. Letztlich werden wir grünen Wasserstoff nur da verwenden können, wo Erdgas und Erdöl nicht durch direkten Stromeinsatz ersetzt werden können oder wo Wasserstoff als Grundstoff dient, wie z. B. in der Chemischen Industrie - oder bei der CO₂-freien Stahlherstellung.

Die Wasserstoff-Farblehre - Begriffsklärung:

Mit erneuerbarem Strom hergestellter Wasserstoff wird als **grüner** Wasserstoff bezeichnet. Aus Erdgas hergestellter Wasserstoff heißt **grauer** Wasserstoff. Wird dieser unter Nutzung der Carbon Capture and Storage (CCS)-Technologie produziert, handelt es sich um **blauen** Wasserstoff. Die Farbbezeichnung **türkis** trägt Wasserstoff aus Methanpyrolyse. Wird Atomenergie als Energiequelle der Elektrolyse benutzt, entsteht Wasserstoff mit der Charakterisierung **pink** oder **rosa**.

Vielfach wird davon ausgegangen, dass Wasserstoff in den bisherigen Gasleitungen transportiert und anstelle von Erdgas verheizt oder - über Tankstellen verteilt - Benzin und Diesel ersetzen kann. So bietet sich scheinbar die Möglichkeit, die vorhandene Infrastruktur weiter nutzen zu können. Wasserstoff wird in dieser Logik zum Energieträger einer Gesellschaft, die an alten Technologien festhalten will, um genauso weiter machen zu können, wie wir es bisher gewohnt sind. Dabei wäre Wasserstoff als Ersatz in vielen heutigen fossilen Anwendungen einfach nur eine recht ineffiziente und kostspielige

Lösung. Zudem ist eine Grundannahme dabei falsch: die technische Infrastruktur kann nicht einfach übernommen werden, sondern muss kostspielig umgebaut oder ertüchtigt werden.

So wird in einigen Studien der Erdgasnetzbetreiber ein klarer Zweckoptimismus deutlich: Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches DVGW, der unter seinen Mitgliedern über 2.000 Versorgungsunternehmen versammelt, geht nicht von einer Knappheit an Wasserstoff aus. In einer vom DVGW herausgegebenen Studie wird errechnet, dass dem hohen Bedarf eine genauso hohe Verfügbarkeit von mehr oder weniger klimafreundlichem Wasserstoff gegenübersteht (Gatzen & Reger, 2022). Dem unterliegt die nicht belegte Annahme einer Importquote von 90 %, also in der Höhe der heutigen Öl- und Gasimporte. Diese optimistischen Annahmen zur Verfügbarkeit vor allem von Importen bilden dabei den Kern des Arguments, dass Wasserstoff sogar für die Wärmeversorgung zur Verfügung stünde: *„Entgegen der häufigen Annahme muss Wasserstoff keine Mangelware bleiben. Bereits ab dem Jahr 2030 kann der Bedarf an Wasserstoff mehr als gedeckt werden. Die Menge übertrifft um ein Vielfaches alle gängigen Nachfrageprognosen“* (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., 2022, S. 5). Diese beeindruckend optimistische Vermutung lässt sich weder technisch noch wissenschaftlich bestätigen. Mehr noch: Es wird nicht belegt, woher Wasserstoff in großen Mengen schnell herkommen kann.

Ist also Wasserstoff der neue Universalenergieträger für Gasheizungen, Heizkraftwerke, Autos, Stahlwerke und die chemische Industrie? Oder entsteht hier die gefährliche Illusion, wir könnten in vielen Bereichen alles so lassen, wie es ist? Auf den folgenden Seiten stellen wir Zahlen und Fakten zu Wasserstoff vor. Welches sind die Chancen und Risiken? Was kann Wasserstoff wirklich? Was kann er nicht?

Kernaussagen

Wasserstoff wird immer wieder als neue Universalenergie bezeichnet. Gleichzeitig ist klar, dass größere Mengen an grünem Wasserstoff gegenwärtig nicht verfügbar sind. Und auch in Zukunft wird Wasserstoff nicht zu Preisen zur Verfügung stehen, die mit direkt eingesetztem Wind- und Solarstrom konkurrieren können. Was also hat es mit Wasserstoff als Energieträger der Zukunft auf sich?

- Wasserstoff wird benötigt, um Ammoniak und Methanol als Grundstoffe für die chemische Industrie herzustellen. In der Eisen- und Stahlherstellung erfolgt gerade die Umstellung auf Wasserstoff als Reduktionsmittel - er soll die Kohle ersetzen. Für die langfristige Speicherung von Energie wird Wasserstoff von einer breiten Mehrheit der Wissenschaft als notwendiger Energieträger eingestuft.
- Der Einsatz von Wasserstoff als Energieträger ist auch in zahlreichen weiteren Anwendungen scheinbar sehr reizvoll. So könnte man grünen Wasserstoff oder seine Folgeprodukte in Gasheizungen oder Verbrennungsmotoren verbrennen und so alte und ineffiziente Technologien auch in der Zukunft nutzen.
- Aber der Einsatz von Wasserstoff ist nicht unbedenklich oder folgenlos für die Erdatmosphäre: Die indirekte Treibhausgaswirkung von H_2 schätzt Derwent (2018) ca. 4-mal und Warwick et al. (2022) sogar 11-mal so schädlich ein wie Kohlendioxid. Auch Wasserstoff ist also ein klimaschädliches Gas, das zum Treibhauseffekt beiträgt und das sparsam verwendet und in geschlossenen Kreisläufen geführt werden muss. Und gerade das ist beim kleinsten aller vorkommenden Moleküle nicht einfach.
- Die Verwendung von Wasserstoff ist nur sinnvoll, wenn er mit erneuerbarem Strom hergestellt wird (grüner Wasserstoff). Dies ist zukünftig auch die billigste Produktionsmethode. Aus Erdgas hergestellter Wasserstoff (grauer bzw. blauer Wasserstoff) und Wasserstoff aus Methanpyrolyse (türkis) ist wegen der Nutzung von Erdgas sowie der Vorkettenemissionen von Methan nicht klimaneutral und Atomenergie als Energiequelle der Elektrolyse birgt zu hohe Risiken und Langzeitfolgen, um damit umweltfreundlich Wasserstoff (pink bzw. rosa) herzustellen.
- Die Produktion von Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser mit Strom ist ein altbewährtes Verfahren, das prinzipiell auch für grünen Wasserstoff eingesetzt werden kann. Aber aus Kostengründen (H_2 aus Erdgas war billiger) gibt es bislang national und international nur wenige Elektrolyseanlagen. Hierzulande scheitert die Erzeugung von größeren Mengen grünen Wasserstoffs am zu langsamen Ausbau von Wind- und Solarstrom. Es wird deshalb zumindest Jahre dauern, bis merkliche Mengen an Wasserstoff importiert werden können. Lieferungen z. B.

aus Katar, Kanada, Namibia, Marokko usw. können erst in einigen Jahren aufgenommen werden. Bis größere Mengen importiert werden können, werden mindestens 10 Jahre vergehen. Und was bezüglich des erhofften Wasserstoffimports oft verschwiegen wird ist, dass der Transport so aufwändig ist, dass importierter Wasserstoff ein Vielfaches von heutigem Erdgas oder Erdöl kosten wird. Dabei ist es egal, ob der Wasserstoff komprimiert, verflüssigt oder chemisch gebunden transportiert wird. Auch ist die politische Stabilität der Lieferländer, z.B. in Afrika, ein wichtiges Kriterium.

- Wasserstoff steht im Wettbewerb mit anderen Energieträgern. Sowohl beim Antrieb von Fahrzeugen als auch bei der Wärmeerzeugung konkurriert Wasserstoff mit dem Einsatz von Elektrizität, deren Einsatz aus physikalischen Gründen um ein Vielfaches effizienter ist. Setzen wir auf Elektrizität, dann brauchen wir z.B. für die Wärmeversorgung etwa um den Faktor fünf weniger Windkraftwerke und Photovoltaik, als wenn wir auf Wasserstoff setzen - so groß sind die Verluste der Erzeugung und Verbrennung von Wasserstoff gegenüber elektrischen Lösungen wie Wärmepumpen oder Elektroautos. Der Import von Wasserstoff z.B. für Heizungszwecke wäre für die Masse der Bevölkerung unbezahlbar.

Der Einsatz von Wasserstoff muss daher durch die Politik dorthin gelenkt werden, wo sein Einsatz notwendig und effizient ist und volkswirtschaftlich hohen Nutzen stiftet.

Es gibt Bedarf für Wasserstoff in vielen Sektoren

Theoretisch ist Wasserstoff ein Alleskönner. Als brennbarer Energieträger könnte er in Wasserstoffthermen Wohnungen heizen und warmes Wasser bereitstellen, er kann in Verbrennungsmotoren verbrannt werden und alle Arten von Fahrzeugen antreiben, er kann sowohl in BHKWs, Brennstoffzellen als auch in Gasturbinen Strom erzeugen. Außerdem können verschiedene industrielle Prozesse mit Wasserstoff statt mit fossilen Stoffen betrieben werden. So lassen sich Ammoniak- und Düngemittelherstellung, Reduktionprozesse von Eisen zur Stahlherstellung, aber auch Zementherstellung oder Glaschmelzen in absehbarer Zeit umstellen. Wasserstoff kann zudem gut als Rohstoff für die chemische Industrie eingesetzt werden. Darüber hinaus wird grüner Wasserstoff in einer treibhausgasfreien Wirtschaft als langfristiger

Speicher für Energie unverzichtbar sein. Ausgehend von Wasserstoff lassen sich Grund- und Brennstoffe, wie Ethan, Methan, Methanol oder synthetisches Benzin herstellen (Fasihi, Bogdanov & Breyer, 2016). Damit könnten viele Anwendungen auch ohne den Einsatz fossiler Stoffe so bleiben, wie sie sind, wenn wir ausreichend schnell genug Wasserstoff hätten.

Faktisch ist für die Anwendung von Wasserstoff maßgeblich, ob Wasserstoff die verfahrenstechnisch und energetisch effizienteste und damit günstigste Variante ist. Denn unabhängig von theoretischen und technischen Möglichkeiten, Wasserstoff einzusetzen, muss verantwortliche Politik auf die Umsetzungsgeschwindigkeit und die Kosten der Bereitstellung ausreichender Mengen von Wasserstoff achten.

In einigen Sektoren zeichnet sich die Notwendigkeit der Verwendung von Wasserstoff bereits ab. Dies betrifft z. B. die Eisen- und Stahlproduktion sowie die chemische Grundstoffindustrie und die Funktion von Wasserstoff als Energiespeicher.

Raffinerien benötigen heute Wasserstoff für einige Prozesse, wie z.B. zum Cracken von Erdöl bei der Herstellung von fossilen Kraftstoffen. Dieser Teil des heutigen Wasserstoffbedarfs wird zukünftig entfallen.

In anderen Anwendungen konkurriert der Wasserstoff mit anderen guten Lösungen:

- In **Fahrzeugen**, wie z.B. PKWs ist der Elektroantrieb die effizienteste und praktischste Lösung. Der Antrieb mit Wasserstoff wurde daher von den Herstellern für die Zukunft faktisch bereits aufgegeben (Clausen, 2022). Bei Lieferfahrzeugen, Stadtbussen sowie bei Eisenbahnen stellt sich die Situation ähnlich dar. Selbst bei Langstrecken-LKW weist das Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung darauf hin, dass, falls 2027 die ersten Wasserstoff-LKWs verfügbar sind, bereits die batterieelektrischen LKW der zweiten Generation auf den Straßen sein werden (Plötz, 2022). Das Zeitfenster für die erfolgreiche Markteinführung von Brennstoffzellen-LKW wäre damit faktisch geschlossen und es gäbe für Wasserstoff-LKW nur noch eine kleine Nische, nämlich den Transport schwerer Lasten in sehr entlegene Gebiete (Plötz, 2022). Vergleichbar ist die Situation bei Nahverkehrszügen. Durch fortschreitende Batterietechnik wäre der Einsatz von Wasserstoffzügen nur bei sehr langen Strecken ohne Nachlademöglichkeit als Brückenlösung so lange

sinnvoll, bis die Strecken elektrifiziert oder Batteriezüge mit hoher Reichweite verfügbar sind (VDE (Hrsg.) 2019, Soller, 2020). Hintergrund der Priorisierung der Elektromobilität durch Wissenschaft, Hersteller und Politik ist der erheblich höhere Wirkungsgrad von Elektrizität in der Energiekette. Von einer Kilowattstunde grünem Strom bringt ein Elektroauto ca. 0,7 kWh auf die Straße, ein Wasserstoffauto nur etwa 0,26 kWh (Perner, Unteutsch & Lövenich, 2018, S. 12); bei synthetischem Diesel aus Wasserstoff wird der Wirkungsgrad sogar noch geringer.

- Ähnlich sieht es bei der **Erzeugung von Heizwärme und Warmwasser** aus. Zahlreiche Studien wissenschaftlicher Institute charakterisieren den Einsatz von Wasserstoff zum Heizen im Vergleich zur elektrischen Wärmepumpe als teuer und ineffizient (für einen Überblick siehe Clausen 2022). Aus einer Kilowattstunde grünem Strom werden lediglich etwa 0,7 kWh Heizenergie in Form von Wasserstoff hergestellt, während eine Wärmepumpe daraus ca. 3 kWh Wärme oder mehr erzeugt.
- Die Bereitstellung **industrieller Prozesswärme** wird in vielen Studien als Einsatzgebiet von Wasserstoff gesehen. Als - problematische - Alternative schlägt die BDI-Studie zu Klimapfaden (The Boston Consulting Group & Prognos, 2018) den Einsatz riesiger Mengen Biomasse vor, bei der allerdings heute schon unklar ist, wo sie herkommen soll (Clausen et al., 2022; Umweltbundesamt, 2019). Eine Studie des Potsdam Instituts für Klimafolgenforschung (Madeddu et al., 2020) setzt auch hier auf eine fast vollständige Elektrifizierung. Sehr viele Industrieprozesse sind schon heute elektrisch möglich, und viele noch fossil betriebene Verfahren sind gut auf resistive oder induktive Stromheizung oder sogar Wärmeerzeugung durch Lichtbögen umstellbar.

Auch mit Blick auf die Prozesswärme ist die Verwendung von Elektrizität im Vergleich zum Einsatz von Wasserstoff oft der energetisch günstigere Pfad, da die hohen Verluste bei der Herstellung von Wasserstoff entfallen. Allerdings erscheint vielen Firmen die Umstellung der bisherigen Erdgasheizung auf Wasserstoff als technisch einfachere Lösung, Diese setzt aber voraus, dass dann auch genug kostengünstiger Wasserstoff zur Verfügungen stehen wird. Noch offen ist allerdings, ob es gelingt, alle Prozesse zu elektrifizieren (Guidehouse, FfE, Universität Stuttgart & BBG und Partner, 2022). Bei eini-

gen wenigen Prozessen, in denen Wasserstoff als chemischer Reaktionspartner benötigt wird (Stahl, Chemische Industrie) stellt sich Wasserstoff derzeit als die einzige Lösung dar.

- In der **Schifffahrt** stellt sich das Problem der Speicherung großer Energiemengen für lange Non-Stop-Fahrten. Hier könnte verflüssigter Wasserstoff die effizienteste Lösung sein. Künstliche Treibstoffe (Power-to-Liquid), die auf Basis von grünem Wasserstoff hergestellt werden, sind in der Regel weniger effizient, da zur Erzeugung ein bzw. mehrere Umwandlungsprozesse nötig sind. Hier werden z. B. Ammoniak und Methanol diskutiert, da sie sehr viel einfacher gespeichert werden können als Wasserstoff. Die Vorteile flüssiger Treibstoffe in der Hochseeschifffahrt sind so erheblich, dass andere Antriebssysteme nur schwer vorstellbar sind. Auch werden bereits mit Ammoniak versorgte Brennstoffzellen in Schiffen erprobt (Fraunhofer IMM, 2021), was allerdings im Vergleich zum flüssigen Wasserstoff energetisch weniger effizient ist. Aber auch die Kraft des Windes kann mit Segelantrieben zusätzlich genutzt werden.
- Einen Sonderfall stellt der „Traum vom klimaneutralen Fliegen“ (Bottler, 2021) dar, den uns die **Luftfahrtbranche** unter Verweis auf Sustainable Aviation Fuel (SAF) aus Wasserstoff verspricht. Auf der Langstrecke ist heute kaum eine machbare Alternative zu fossilem Kerosin als synthetisches Flugbenzin, ggf. auch biobasiert, bekannt. Aber auch die Verwendung von synthetischem Flugbenzin führt nur zu kleinen Klimaschutzeffekten von etwa 33 % des Treibhausgasereffekts. Es wird daher kaum ein Weg daran vorbeiführen, den Flugverkehr radikal einzuschränken, zu elektrifizieren oder lange Zeit auf neue Erfindungen zu warten.

Studien, die versuchen, den gesamten Wasserstoffbedarf in Deutschland für die nahe Zukunft bis 2050 abzuschätzen, liefern ein breites Spektrum von Ergebnissen. Dies umfasst nach Lechtenböhrer et al. (2019, S. 12) mit dem Zieljahr 2050 mindestens ein Spektrum von ca. 170 TWh/a bis zu 660 TWh/a. Peterssen et al. (2022) schätzen die benötigte Menge an Wasserstoff sogar auf 1.000 TWh/a.

Viele Branchen haben Wasserstoffbedarfe angemeldet, ohne dass klar ist, wo dieser Wasserstoff herkommen kann. Die Möglichkeit der Wasserstoffnutzung wird immer wieder mit so genannter Technologieoffenheit begründet,

und endet bei der Forderung, Wasserstoff so billig anzubieten, dass er auch in energetisch ineffizienten Technologien preiswert eingesetzt werden kann. In anderen Anwendungsgebieten dagegen wird die Notwendigkeit von Wasserstoff kaum bestritten. Aber wieviel Wasserstoff wird es eigentlich geben? Zu welchen Kosten? Und was bedeutet dies für den Einsatz von Wasserstoff in der Wärmewende?

Das Angebot an Wasserstoff ist begrenzt

In der „Nationalen Wasserstoffstrategie“ hat sich die Bundesregierung das Ziel gesetzt, in Deutschland bis zum Jahr 2030 Wasserstoffelektrolyseure mit einer Leistung von 5 Gigawatt (GW) zu installieren (BMW, 2020) Unter der Annahme von 4.000 Volllaststunden und einem optimistisch hohen Wirkungsgrad der Elektrolyseanlagen von 70 % führt dies zu einer nationalen Wasserstoffproduktion von etwa 14 TWh/a Wasserstoff. Hierfür würden etwa 20 TWh/a grüner Strom benötigt.

Bis 2035 sieht die Strategie die Verdoppelung dieser Kapazität vor, lässt aber offen, dies auch erst 2040 zu realisieren. Längerfristig sieht das World Energy Council den H₂-Output der deutschen Produktion bis 2050 auf 106 bis 183 TWh/a steigen (World Energy Council Europe, 2021, S. 14), was am unteren Rand vom angemeldeten Bedarf liegt.

Tabelle 3: Wasserstoffproduktion in Deutschland bis 2050

	Leistung in GW_{el}	Produktionsmenge in TW/a
2030	5	15
2040	25	75
2050	50	150

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Ökoinstitut (2021, S. 68) unter der Annahme von ca. 3.000 Volllaststunden in der Elektrolyse (Öko-Institut e.V., 2021, S. 69; Robinius et al., 2020, S. 37)

Eine ganze Anzahl weiterer Studien schätzen ähnliche Größenordnungen (Dambeck et al., 2021; Fraunhofer IEG, Fraunhofer ISE, & Fraunhofer ISI, 2021; Fraunhofer ISE, 2020; Öko-Institut e.V., 2021; Robinius, Markewitz,

Lopion, Kullmann & Heuser, 2020). Eine durch das Ökoinstitut (2021, S. 68) erstellte Metastudie erwartet für die Wasserstoffproduktion in Deutschland Werte in etwa folgende Entwicklung.

Zum Vergleich: Die gegenwärtige Stromerzeugung in Deutschland schwankt je nach Tageszeit meistens zwischen 60 GW_{el} und 80 GW_{el} (Energy-Charts, 2022). Zur Erzeugung dieser Menge Wasserstoff müsste die regenerative Stromerzeugungsleistung in Deutschland also - zusätzlich zum Bedarf für Elektromobilität, Wärmepumpen und Hochtemperaturwärme in der Industrie - sehr deutlich erhöht werden.

Darüber hinaus ist es wahrscheinlich, dass es auch ein zunehmendes Angebot von Wasserstoff und daraus hergestellten Folgeprodukten wie Ammoniak, Methanol oder Methan auf dem Weltmarkt geben wird. Aber wann und wieviel Wasserstoff importiert werden kann, ist von einer Reihe von Faktoren abhängig (in Anlehnung an Öko-Institut e.V., 2021, S. 69ff):

- die mehr oder weniger risikoreichen Investitionsbedingungen in den verschiedenen Ländern;
- die Bereitschaft, entsprechend in den Ausbau von Infrastrukturen zu investieren;
- die dann zur Verfügung stehende Produktionskapazität im Anlagenbau für Wind, PV und Elektrolyse;
- die Schaffung der Infrastrukturen für den Import;
- die notwendigen Nachhaltigkeitsstandards für grünen Wasserstoff;
- mögliche Entwicklungen (politischer) Wasserstoffstrategien der Exporteure;
- den zu erwartenden zeitlichen Hochlauf von Wasserstoff-Produktionsanlagen in Exportländern, wie auch
- die Entwicklung des kurzfristig (bis 2030) verfügbaren Exportpotenzials in EU-Nachbarländern.

Die mögliche Importmenge schätzt das Ökoinstitut (2021, S. 82) in der Zeit bis 2030 auf weniger als eine TWh/a aus Pilotprojekten. In der Zeit bis 2035 könnten die importierten Mengen zwar auf 20 bis 30 TWh/a ansteigen, aber auch dieses ist mit hohen Unsicherheiten verbunden. Nach 2035 sieht die Studie die Möglichkeit, dass primär aus dem Europäischen Wirtschaftsraum zzgl. UK der Import von zunächst 30 - 40 TWh/a möglich würde und darüber

hinaus geringe und im Zeitverlauf zunehmende Mengen aus außereuropäischen Ländern importiert werden können. Würde sich diese Menge danach bis 2050 noch einmal vervierfachen, dann könnten 2050 bis zu 150 TWh/a Wasserstoff importiert werden.

Die sich aus diesen Überlegungen ergebende Summe ist letztlich enttäuschend. Im Jahr 2030 wären aus heimischer Produktion und Importen bestenfalls 20 TWh/a Wasserstoff verfügbar, also noch nicht einmal genug, um die heute fossil aus Erdgas produzierten Bedarfe für die Düngemittelproduktion und Raffinerien zu decken. 2035 könnten es 75 TWh/a bis 85 TWh/a werden und bei weiter steigendem Import vielleicht 150 TWh in 2040 und 300 bis 400 TWh in 2050. Gemessen an den absehbar hohen Bedarfen aus vielen Branchen steht also deutlich zu wenig Wasserstoff zur Verfügung. Und die verfügbaren Mengen an Wasserstoff werden voraussichtlich auch langfristig deutlich teurer sein als z.B. die Nutzung von Strom

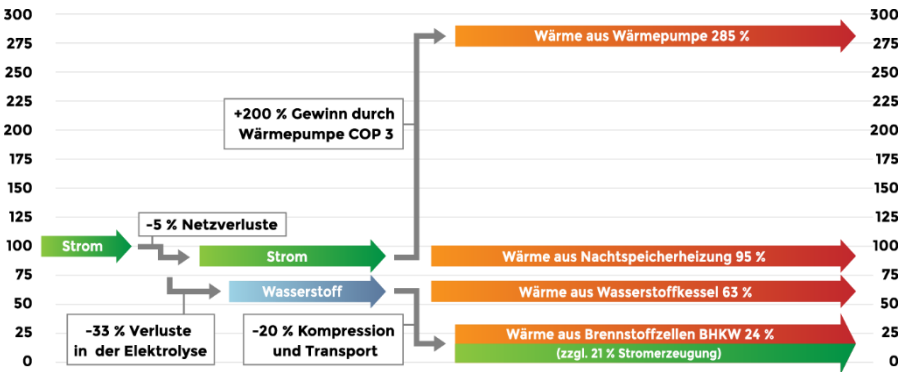
Kosten des Wasserstoffs und Effizienz der Anwendungen

Die Frage des Preises von grünem Wasserstoff ist untrennbar mit dem Strompreis verbunden, denn grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse aus Wasser unter Einsatz von Strom gewonnen. Hinzu kommen die Kosten für die Errichtung der Elektrolyseanlagen und der sonstigen Infrastrukturen wie Leitungen, Pipelines usw. Da die Herstellung einer Kilowattstunde Wasserstoff etwa 1,4 Kilowattstunden Strom erfordert, dürfte Wasserstoff hierzulande langfristig um etwa 50 % teurer sein als Strom. In anderen Ländern, in denen grüner Strom preiswerter hergestellt werden kann, können die Preise niedriger liegen. Doch dazu kommen beim Import dann noch die Transportkosten und die für den Transport nötigen Umwandlungskosten.

Für die Abschätzung der Kosten der Wasserstoffnutzung ist es zusätzlich wichtig zu wissen, mit welchen Technologien Wasserstoff konkurriert und welche Effizienz der Energieumwandlung die jeweils konkurrierenden Technologien von der Quelle des regenerativen Stroms bis zum Verbrauch haben. Abbildung 1 macht dies beispielhaft an der Wärmeversorgung deutlich. Während die Wärmeversorgung mit direktelektrischen Technologien, wie beispielhaft der Nachtspeicherheizung, ca. 95 % und mit einer Wärmepumpe so-

gar knapp das Dreifache des primär erzeugten Stroms als Wärme bereitstellen kann, geht auf dem Weg über Wasserstoff schon in der Elektrolyse und dem Transport ca. ein Drittel verloren. Die Verbrennung des Wasserstoffs kann dann nur maximal 63 % des primär erzeugten Stroms als Wärme zur Verfügung stellen.

Abbildung 26: Grobe Abschätzung der Verluste und Gewinne bei der Umwandlung von Strom in Raumwärme



Quelle: Clausen (2022) unter Nutzung von Daten von Perner, Unteutsch und Lövenich (2018, S. 12)

Die Vorstellung, dass Wasserstoff zukünftig dennoch ein preiswerter Energieträger sein wird, beruht daher auf der Annahme, dass die Kosten für Produktion und Transport deutlich sinken werden und das zukünftige Niveau von Steuern und Abgaben für Wasserstoff deutlich günstiger sein wird als für erneuerbaren Strom. Warum aber sollte es so kommen? Der Basispreis von Strom wie auch von Wasserstoff sind gleichermaßen die Kosten des grünen Stroms. Diese liegen heute in Deutschland etwas über 5 Cent/kWh bei PV und etwas über 6 Cent/kWh für Onshore-Windenergie (Bundesnetzagentur, 2022). Bei einem fairen Steuer- und Abgabesystem, welches effiziente Technologien wie den Elektroantrieb (versus Brennstoffzelle) bei Fahrzeugen oder die Wärmepumpe (versus Wasserstoff-Heizkessel) nicht benachteiligt, wird

eine in Deutschland produzierte Kilowattstunde Wasserstoff also allein aufgrund des Wirkungsgrads der Elektrolyse und Transportverluste um mindestens 50 % teurer sein als Strom.

Günstiger werden könnte die Erzeugung von Wasserstoff allerdings in Ländern mit hoher Sonneneinstrahlung oder mit vielen guten Windenergiestandorten. Aber für den Import kommen dann noch die Kosten der Verflüssigung, ggf. der Umwandlung in Ammoniak oder Methanol, bei geringer Wasserverfügbarkeit die Meerwasserentsalzung sowie die Kosten des Transports hinzu. Welche Kosten hier wirklich entstehen, lässt sich noch nicht genau berechnen. Sicher ist jedoch bereits jetzt, dass für industrielle Wasserstoffanwendungen die Verlagerung der Produktion aus Deutschland in die Wasserstoff-Exportländer und dort die direkte Nutzung von EE-Strom und EE-Wasserstoff in vielen Fällen günstiger sein wird als ein Import von Wasserstoff. Zu welchen Preisen importierter Wasserstoff oder seine Folgeprodukte dann tatsächlich angeboten werden, ist gegenwärtig noch weitgehend offen. Sie werden voraussichtlich deutlich über den heutigen Preisen für fossile Energieträger liegen. Arthur D. Little prognostiziert, dass Wasserstoff aus Saudi-Arabien mit 19 Cent/kWh (exklusive Steuern und Gewinn) sehr deutlich teurer wäre als Diesel (Bechtolsheim, 2020). Beim Import von Methanol und Ammoniak aus dem - politisch instabilen - Nordafrika kommt z. B. Fraunhofer ISE ebenfalls exklusive Steuern und Gewinn auf Kosten von ca. 19 bis 25 Cent/kWh (Hank et al., 2023). Beim Fernimport aus z.B. Australien ermittelt die Boston Consulting Group aufgrund der hohen Transportkosten bis zu 24 Cent/kWh (Burchard et al., 2023).

Zu den Preisen von einer Kilowattstunde Wasserstoff kann mit Blick auf die Zukunft daher keine konkrete Zahl genannt werden, da die Preisentwicklung in Energiemärkten sowohl von den Oligopolen der Anbieter als auch in hohem Maße von der politischen Gestaltung von Steuern und Abgaben abhängig ist.

Eine Begünstigung bei den Steuern und Abgaben auf Wasserstoff wäre im Falle von energieintensiven Industrien wie z. B. der Stahlbranche zu rechtfertigen, für die es derzeit zum Wasserstoff keine technisch darstellbare klimaverträgliche Alternative gibt.

Als Beispiel für die heutigen Preise lassen sich die Wasserstofftankstellen betrachten. Hier existiert ein Marktpreis. Dieser liegt gegenwärtig bei einem

Wasserstoffpreis von 9,5 €/kg (etwa 29 Cent/kWh, Clever Tanken, 2022). Bei diesem Preis fährt man mit einem der beiden gegenwärtig verfügbaren Wasserstoffauto, dem Toyota Mirai, bei einem Verbrauch von 1,06 kg/100 km (Spritmonitor, 2022) vergleichsweise günstig zu Kosten von ca. 10 €/100 km, was knapp doppelt so hoch ist wie die Stromkosten eines durchschnittlichen Tesla 3 Elektro mit privater Wallbox, der ca. 15 kWh/100 km verbraucht, bei einem Preis für die Kilowattstunde von 33 Cent. Allerdings beruhen diese günstigen Wasserstoffpreise noch auf der Herstellung aus billigem fossilem Erdgas.

Insgesamt ist zu erwarten, dass bei einer fairen Gestaltung des Systems der Steuern und Abgaben, welche effiziente Technologien nicht benachteiligt, die Anwendung von Wasserstoff zu deutlich höheren Energiekosten führen muss, als wir sie bisher gewohnt sind.

Die Klimawirkung der Wasserstoffwirtschaft

Wasserstoff ist ein reaktionsfreudiges Gas, kommt aber in Reinform in der Atmosphäre kaum vor. Da Wasserstoff in der Atmosphäre mit Hydroxylradikalen (OH) reagiert, die sonst mit stark klimaschädlichen Gasen wie Methan oder Ozon reagieren und diese abbauen würden, liegt eine relativ starke indirekte Treibhauswirkung von Wasserstoffemissionen vor. Diese indirekte Treibhausgaswirkung von Wasserstoff schätzt Derwent (2018) auf 4,3 kg und Warwick et al. (2022) auf 11 kg Kohlendioxid pro 1 kg Wasserstoffemissionen über einen Zeithorizont von 100 Jahren (dies ist das Global Warming Potential, GWP). Der erwärmende Einfluss von Wasserstoffemissionen auf das Klima ist somit durchaus erheblich.

Gegenwärtig steigt der Methangehalt in der Atmosphäre stark an. Einer der hierzu führenden Mechanismen ist vermutlich der langsamere Abbau von Methan aufgrund eines Mangels des Hydroxyl-Radikals $\cdot\text{OH}$ (Cheng & Redfern, 2022). Dieses Radikal ist ein sehr wichtiger Baustein der Chemie in der Atmosphäre: viele Schadstoffe werden über eine Reaktion mit $\cdot\text{OH}$ abgebaut, z.B. Methan. Wasserstoff reagiert auch mit $\cdot\text{OH}$ und baut es damit ab, so dass sich der $\cdot\text{OH}$ -Gehalt durch Wasserstoffemissionen deutlich verringern kann. Eine umfangreiche Wasserstoffwirtschaft könnte also, ähnlich wie die heutige Erdgaswirtschaft mit Methan, durch vermeidbare und unvermeidbare

Diffusion und Leckagen, die sich gerade bei dem kleinsten aller Moleküle nicht vermeiden lassen, ein Problem für das Klima darstellen.

Würde man elementaren Wasserstoff als Flugzeugtreibstoff einsetzen und in großer Höhe verbrennen, bekämen wir es mit einem Anstieg der Wasserdampfkonzentration in der Stratosphäre zu tun, da dann bei der Verbrennung von H_2 Wasserdampf freigesetzt wird (Vogel, Feck & Groß, 2011). Auch Wasser in der Stratosphäre trägt aber zum Treibhauseffekt bei.

Und durch den Übergang von fossilem Kerosin zu so genanntem Sustainable Aviation Fuel (SAF, der auf der Basis von grünem Strom und Wasserstoff hergestellt sein soll) können die gravierenden Auswirkungen des Flugverkehrs auf den Treibhauseffekt ebenfalls nur wenig reduziert werden, da der indirekte Effekt bei Kerosinverbrennung durch Flugzeuge in der Stratosphäre den direkten CO_2 -Effekt weit übersteigt. Lee et al. (2021) zeigen, dass die Klimawirkung der Verbrennung von Kerosin in großer Höhe etwa 3-mal so hoch ist wie die Klimawirkung des CO_2 -Anteils der Kerosinverbrennung. Und viele Interkontinentalflüge finden in der Stratosphäre statt, besonders, wenn Polrouten geflogen werden, denn über den Polen liegt die Untergrenze der Stratosphäre schon in ca. 8 km Höhe, also unterhalb der Reiseflughöhe.

Wenn wir fossiles Kerosin durch Sustainable Aviation Fuel (SAF) ersetzen, wird Fliegen also nicht klimaneutral, denn der CO_2 -unabhängige Anteil der Treibhausgaswirkungen bleibt erhalten. Der von Lee et al. (2021) genannte Faktor führt zu der Erkenntnis, dass eine vollständige Produktion des Kerosins auf Basis regenerativer Energien einen Flug um ca. 33 % weniger klimaschädlich machen würde. Die anderen 67 % ließen sich nur erschließen, wenn das Flugzeug nicht in große Höhen aufsteigen würde. Die niedrigere Flughöhe würde allerdings zu erhöhtem Brennstoffverbrauch führen. Die marginale Reduzierung des Treibhauseffekts wird also durch das teure SAF von den Kunden bezahlt. Die Lufthansa operiert hier mit dem Begriff Lufthansa „ CO_2 -neutral“ (Lufthansa, 2019), im Prinzip ein Umwelt-Ablasshandel.

Prioritäten für Wasserstoffnutzung sind notwendig

Aktuell wird die künftige Nutzung von Wasserstoff viel schneller organisiert als die Herstellung. Damit birgt der schnelle Einstieg in eine vielfältige und intensive Nutzung von Wasserstoff die Gefahr in sich, einen ziemlich direkten Weg zu ebnen in Versorgungsunsicherheit, Verteilungskampf, Kannibalismus

zwischen Nutzungen und hohen Preisen. Ein Effekt wäre, dass klimaschädliche fossile Brennstoffe länger als notwendig benötigt würden.

Eine weitere Gefahr besteht darin, dass Entscheidungsträger und breite Öffentlichkeit durch Mangel an Informationen oder Wunschdenken davon ausgehen, dass mit Wasserstoff als Energieträger Vieles zu gewohnten Kosten beim Alten bleiben könne, wie z.B. Autofahren mit künstlichem Benzin und die Gasheizung mit Wasserstoff im (aufwendig umgerüsteten) Gasnetz. Das könnte dazu führen, dass wir eine teure und ineffiziente Technologie einführen, bloß weil sie einfach und gewohnt erscheint. So würden wir uns auf ein teureres Energiesystem festlegen, statt direkt auf ein preiswerteres und flexibleres, weitgehend elektrifiziertes System umzustellen (Zachmann et al., 2022).

Da die Herstellung und der Transport von Wasserstoff mit hohen energetischen Verlusten von mindestens einem Drittel des als Primärenergie eingesetzten grünen Stroms verbunden ist, benötigen wir für eine „Wasserstoffwelt“ erhebliche zusätzliche Mengen an grünem Strom, also viel mehr Windkraftwerke, Photovoltaikanlagen und anderes. Aber schon heute ist nicht klar, wo diese Anlagen alle platziert werden sollen und wer sie mit welchem Material bauen soll. Selbst wenn der Wirkungsgrad der Elektrolyse sich noch um einige Prozentpunkte steigern ließe, bliebe Wasserstoff überall dort, wo es elektrische Alternativen gibt, eine ineffiziente und teure Lösung.

Ein Beispiel: Würden wir in Europa die industrielle Prozesswärme nicht unter Verwendung von 900 TWh/a Strom elektrifizieren (Madeddu et al., 2020), sondern stattdessen Wasserstoff herstellen und zur Wärmeversorgung verbrennen, so würden für dessen Produktion ca. 1.350 TWh/a grüner Strom erforderlich sein. Das sind gegenüber dem Weg einer radikalen Elektrifizierung ca. 450 TWh/a mehr und entspricht energetisch ungefähr dem heutigen Stromverbrauch von Großbritannien. Diesen zusätzlichen Energieverbrauch in Kauf zu nehmen, nur um überbrachte Verfahrens- und Verhaltensweisen beizubehalten, ist ökonomisch wie energetisch nicht sinnvoll.

Die Politik darf daher nicht unkritisch Wasserstoff-Technologien fördern. Sie muss klar analysieren, in welchen Anwendungsfeldern Wasserstoff eine gute Lösung ist und in welchen es bessere, effizientere und langfristig kostengüns-

tigere Technologien gibt. Mit dem klaren Fokus der Förderung von Elektromobilität und Wärmepumpen zeigt die Bundespolitik, dass sie dabei ist, diese wichtige Erkenntnis umzusetzen.

Quellen

- BMWi. (2020). *Nationale Wasserstoffstrategie*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Zugriff am 13.6.2020. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=14
- Bechtolsheim, M. von. (2020). Wasserstoff – Strategie erforderlich. Wo und wie sollen sich Energieversorger beim Wasserstoff engagieren?. Luxembourg. Zugriff am 7.2.2024. Verfügbar unter: <https://www.adlittle.com/de-de/HydrogenStrategy>
- Bottler, S. (2021, April 27). Der Traum vom klimaneutralen Fliegen. *Deutsche Verkehrs Zeitung*.
- Bundesnetzagentur. (2022). *Monitoringbericht 2021*. Bonn. Zugriff am 3.5.2022. Verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Monitoringberichte/start.html>
- Burchard, J., Hegnsholt, E., Holm, M., Klose, F., Ritter, D. & Schönberger, S. (2023). *Turning the European Green Hydrogen Dream into Reality: A Call to Action*. Berlin, Kopenhagen, Düsseldorf, München: Boston Consulting Group. Zugriff am 6.2.2024. Verfügbar unter: <https://media-publications.bcg.com/Turning-the-European-Green-H2-Dream-into-Reality.pdf>
- Cheng, C.-H. & Redfern, S. A. T. (2022). Impact of interannual and multidecadal trends on methane-climate feedbacks and sensitivity. *Nature Communications*, 13(1), 3592. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31345-w>
- Clausen, J. (2022). *Das Wasserstoffdilemma: Verfügbarkeit, Bedarfe und Mythen*. Berlin: Borderstep Institut. Zugriff am 27.6.2022. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2022/06/AP2-Wasserstoff-Potenziale-Bedarfe-27-6-2022.pdf>
- Clever Tanken. (2022, Januar 21). Wasserstoff-Preis. *Clever Tanken*. Zugriff am 21.1.2022. Verfügbar unter: <https://www.clever-tanken.de/>
- Dambeck, H., Ess, F., Falkenberg, H., Kemmler, A., Kirchner, A., Kreidelmeyer, S. et al. (2021). *Klimaneutrales Deutschland 2050- In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65% im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals*. Berlin: Prognos AG, Öko-Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt Energie. Zugriff am 16.7.2021. Verfügbar unter: https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB.pdf
- Derwent, R. G. (2018). *Hydrogen for Heating: Atmospheric impacts. A literature review*. London. Zugriff am 2.3.2022. Verfügbar unter: <https://www.gov.uk/government/publications/atmospheric-impacts-of-hydrogen-literature-review>

- Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (2022). *Hintergrundpapier vom 11. März 2022 zum für einen Umstieg auf eine resiliente Energieversorgung mit erneuerbaren Gasen*. Bonn. Zugriff am 26.3.2022. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/der-dvgw/aktuelles/meldungen/meldung-vom-15032022-hintergrundinformationen-gasversorgung>
- Energy-Charts. (2022). Gesamte Nettostromerzeugung in Deutschland 2021. Energie-tisch korrigierte Werte. *Energy-Charts*. Zugriff am 25.7.2022. Verfügbar unter: https://www.energy-charts.info/charts/power/chart.html?l=de&c=DE&stacking=stacked_absolute_area&year=2021&interval=year&source=total
- Fasihi, M., Bogdanov, D. & Breyer, C. (2016). Techno-Economic Assessment of Power-to-Liquids (PtL) Fuels Production and Global Trading Based on Hybrid PV-Wind Power Plants. *Energy Procedia*, 99, 243–268. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.115>
- Fraunhofer IEG, Fraunhofer ISE, & Fraunhofer ISI. (2021). *Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats*. Karlsruhe - Freiburg - Cottbus.
- Fraunhofer IMM. (2021). Fraunhofer mit Ammoniak-Brennstoffzelle für Schiffe. *Solarserver*. Zugriff am 31.8.2022. Verfügbar unter: <https://www.solarserver.de/2021/03/02/fraunhofer-mit-ammoniak-brennstoffzelle-fuer-schiffe/>
- Fraunhofer ISE. (2020). *Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem . Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen*. Freiburg. Zugriff am 16.1.2022. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html>
- Gaszen, C. & Reger, M. (2022). *Verfügbarkeit und Kostenvergleich von Wasserstoff – Merit Order für klimafreundliche Gase in 2030 und 2045*. Bonn: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. Zugriff am 26.7.2022. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g202116-1-dvgw-verfuegbarkeit-kostenvergleich-h2.pdf>
- Guidehouse, FfE, Universität Stuttgart & BBG und Partner. (2022). *Energiewende in der Industrie*. Berlin. Zugriff am 25.8.2022. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiewende-in-der-industrie.html>
- Hank, C., Holst, M., Thelen, C., Kost, C., Längle, S., Schaadt, A. et al. (2023). Site-specific, comparative analysis for suitable Power-to-X pathways and products in developing and emerging countries. Freiburg i. Br. Zugriff am 7.2.2024. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-H2Global-Study-Power-to-X-Country%20Analysis.pdf>
- Lechtenböhrer, S., Samadi, Sa., Leipprand, A. & Schneider, C. (2019). Grüner Wasserstoff, das dritte Standbein der Energiewende? *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 69(10), 10–13.
- Lee, D. S., Fahay, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q. et al. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>

- Lufthansa. (2019). Sustainable Aviation Fuel - Video. *Lufthansagroup*. Zugriff am 13.5.2022. Verfügbar unter: <https://www.lufthansagroup.com/de/themen/sustainable-aviation-fuel.html>
- Madeddu, S., Ueckerdt, F., Pehl, M., Peterseim, J., Lord, M., Kumar, K. A. et al. (2020). The CO reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (power-to-heat). *Environmental Research Letters*, 15(12), 124004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbd02>
- Öko-Institut e.V. (2021). *Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland*. Berlin. Zugriff am 29.5.2021. Verfügbar unter: <https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/05/Oeko-Institut-2021-Die-Wasserstoffstrategie-2.0-fuer-Deutschland.pdf>
- Perner, J., Unteutsch, M. & Lövenich, A. (2018). *Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe*. Köln. Zugriff am 10.1.2020. Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Syn-Kost_2050/Agora_SynCost-Studie_WEB.pdf
- Peterssen, F., Schlemminger, M., Lohr, C., Niepelt, R., Bensmann, A., Hanke-Rauschenbach, R. et al. (2022). Hydrogen supply scenarios for a climate neutral energy system in Germany. *International Journal of Hydrogen Energy*, S0360319922007108. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.098>
- Plötz, P. (2022). Hydrogen technology is unlikely to play a major role in sustainable road transport. *Nature Electronics*, 5(1), 8–10. <https://doi.org/10.1038/s41928-021-00706-6>
- Robinius, M., Markewitz, P., Lopion, P., Kullmann, F. & Heuser, P.-M. (2020). *Wege für die Energiewende. kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050*. Jülich.
- Soller, G. (2020, Dezember 8). Bombardier Talent 3: Warum der Akku die Brennstoffzelle auch auf der Schiene schlagen könnte. *Vision Mobility*. Zugriff am 29.1.2022. Verfügbar unter: <https://vision-mobility.de/news/bombardier-talent-3-warum-der-akku-die-brennstoffzelle-auch-auf-der-schiene-schlagen-koennte-73723.html>
- Spritmonitor. (2022, Januar 21). Spritmonitor Toyota Mirai. *Spritmonitor*. Zugriff am 21.1.2022. Verfügbar unter: <https://www.spritmonitor.de/de/uebersicht/49-Toyota/1565-Mirai.html?powerunit=2>
- The Boston Consulting Group & Prognos. (2018). *Klimapfade für Deutschland*. Berlin. Zugriff am 24.1.2018. Verfügbar unter: <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/>
- VDE (Hrsg.). (2019). *Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale*. Frankfurt am Main.
- Vogel, B., Feck, T. & Groß, J.-U. (2011). Impact of stratospheric water vapor enhancements caused by CH₄ and H₂O increase on polar ozone loss. *Journal of Geophysical Research*, 116(D5), D05301. <https://doi.org/10.1029/2010JD014234>
- Warwick, N., Griffiths, P., Keeble, J., Archibald, A., Pyle, J. & Shine, K. (2022). *Atmospheric implications of increased Hydrogen use*. Cambridge & Reading. Zugriff am 20.7.2022. Verfügbar unter: www.gov.uk/government/publications/atmospheric-implications-of-increased-hydrogen-use

- World Energy Council Europe. (2021). *Decarbonised hydrogen imports into the European Union: challenges and opportunities*. Berlin. Zugriff am 13.1.2022. Verfügbar unter: <https://www.weltenergierrat.de/publikationen/studien/hydrogen-imports-into-the-eu/>
- Zachmann, G., Holz, F., Kemfert, C., McWilliamas, B., Meissner, F., Roth, A. et al. (2022). *Decarbonisation of the energy system*. Brüssel. Zugriff am 19.1.2022. Verfügbar unter: <https://www.bruegel.org/2022/01/decarbonisation-of-the-energy-system/>

Die Autor:innen

Mirco Beisheim, Tschüss Kohle Hamburg

Heike Böhler, Scientists for Future Darmstadt

Dr. Jens Clausen, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit
gGmbH Hannover

Helge Ehrhardt, Scientists for Future Bochum

Dr. Christoph Gerhards, Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT

Stefan Golla, Golla Energieberatung & Co. / "The End of Oil" Oranienburg

Christopher Graf, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystem-
technik Kassel IEE

Dr.-Ing. Rana Hoffmann, Scientists for Future Kassel

Dr. Michael Huber, Scientists for Future Celle

Lea Johannsen, Scientists for Future Freiburg

Dr. Peter Klafka, Klafka & Hinz Energie-Informations-Systeme GmbH
Aachen

Anja Köhne, Scientists for Future (2019-2023)

Kerstin Kranich, BCC-Energie GmbH Leipzig

Prof. Dr.-Ing. Sven Linow, Hochschule Darmstadt, Fachbereich Maschinen-
bau und Kunststofftechnik

Dennis Lottis, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystem-
technik Kassel IEE

Dr. Marek Miara, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE Frei-
burg i.Br.

Prof. Dr. Gunther Seckmeyer, Leibniz Universität Hannover

Dr. Thomas Seifert, Scientists for Future Frankfurt am Main

Prof. Dr. Urban Weber, TH Bingen, Professur für Physik und angewandte
Materialwissenschaften

Die „Scientists for Future“

Die „Scientists for Future“ sind ein überinstitutioneller, überparteilicher und interdisziplinärer Zusammenschluss von Wissenschaftler:innen. Angesichts der Gefahren der Nachhaltigkeitskrise, eines ungebremsten Klimawandels und des fortschreitenden Artensterbens engagieren wir uns dafür, dass wissenschaftliche Erkenntnisse angemessen in die politischen Debatten einfließen und bei der Gestaltung einer nachhaltigen Zukunft Berücksichtigung finden. Unser Antrieb ist das Verantwortungsgefühl gegenüber künftigen Generationen und einer demokratischen Gesellschaft.

Scientists for Future bringen den aktuellen Stand der Wissenschaft fundiert und verständlich in die gesellschaftliche Debatte um Nachhaltige Entwicklung und Zukunftssicherung ein. Mit unseren Stellungnahmen, Positionspapieren, Analysen, Podcasts u. a. befördern wir den Dialog zwischen Akteur:innen und entwickeln tragfähige Konzepte gegen die Klimakrise.

Wir arbeiten mit viel Ehrenamt und sehr wenig Infrastrukturpersonal. Wirkames Ehrenamt braucht ein Minimum an professioneller Organisation. Damit wir weiterhin unabhängig von politischen und wirtschaftlichen Interessen handeln können, benötigen wir Ihre Spende.

Der Förderverein Scientists for Future e.V. ist gemeinnützig. Ihre Spende ist steuerlich absetzbar. Auch eine Fördermitgliedschaft ist möglich: <https://de.scientists4future.org/foerdermitgliedschaft/>

Sie können gerne über unsere Webseite spenden:
<https://de.scientists4future.org/spenden/>.

Wenn Sie direkt spenden wollen, verwenden Sie bitte diese Bankverbindung und geben Sie Ihre Postadresse für die Spendenbescheinigung an: Förderverein Scientists for Future e.V. | GLS Bank | IBAN DE89 4306 0967 1034 0391 01 | BIC GENODEM1GLS

1 Scientists for Future Policy Paper Wärmewende 01-2022

Heizen mit Holz

knapp, teuer und unerwartet klimaschädlich

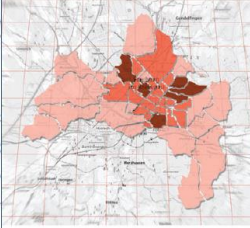


Autoren: Claus Brühmann, Ingrid Huber, Michael Lorenz, Hans-Erik Løfsten, Thomas Reinhardt, Michael

1 Scientists for Future Policy Paper Wärmewende 03-2022

Kommunale Wärmeplanung

Grundlage einer klimaverantwortlichen Stadtplanung



Autoren: Klaus Jahn, Johannes-Lutz Böhler, Stefan Brandt, Karsten Böhler, Michael Goffke, Thomas

1 Scientists for Future Policy Paper Wärmewende 05-2022

Wasserstoff in der Energiewende

unverzichtbar, aber keine Universallösung



Autoren: Claus Jahn, Ingrid Huber, Michael Lorenz, Hans-Erik Løfsten, Christoph Brühmann, Ingrid Huber, Michael Lorenz

1 Scientists for Future Policy Paper Wärmewende 04-2022

Wärmepumpen

Die klimaneutralste Wärmeversorgung im Neubau und für Bestandgebäude




Autoren: Claus Jahn, Ingrid Huber, Michael Lorenz, Hans-Erik Løfsten, Christoph Brühmann, Ingrid Huber, Michael Lorenz



1 Scientists for Future Policy Paper Wärmewende 05-2022

Wärmenetze

Die klimaneutralste Wärmeversorgung für verdichtete Stadtgebiete



Autoren: Claus Jahn, Ingrid Huber, Michael Lorenz, Hans-Erik Løfsten, Christoph Brühmann, Ingrid Huber, Michael Lorenz

1 Scientists for Future Policy Paper Wärmewende 06-2022

Kraft-Wärme-Kopplung

Von der fossilen Effizienztechnologie zu einer neuen Rolle in der Wärmewende



Autoren: Claus Jahn, Ingrid Huber, Michael Lorenz, Hans-Erik Løfsten, Christoph Brühmann, Ingrid Huber, Michael Lorenz

1 Scientists for Future Policy Paper Wärmewende 07-2022

Ein energieeffizienter Gebäudebestand

Eine kommunalpolitische Herausforderung



Autoren: Claus Jahn, Ingrid Huber, Michael Lorenz, Hans-Erik Løfsten, Christoph Brühmann, Ingrid Huber, Michael Lorenz

1 Scientists for Future Policy Paper Wärmewende 08-2022


Haben Gasnetze eine Zukunft?

Kommunale Wärmeversorger stehen vor großen Umstellungen



Autoren: Claus Jahn, Ingrid Huber, Michael Lorenz, Hans-Erik Løfsten, Christoph Brühmann, Ingrid Huber, Michael Lorenz

Original Policy Papers zur Wärmewende frei zum Download:
<https://de.scientists4future.org>



Die Wärmeversorgung wird in Zukunft nicht nur Sache der Gebäudeeigentümer:innen sein, sondern zunehmend auch zu einer kommunalen Aufgabe werden. Die Kommunen müssen die Wärmeversorgung der Zukunft planerisch vorbereiten.

Dieses Buch führt in acht zentrale Themen der Wärmewende ein und soll als aktuelle, einfach zu lesende Handreichung für alle dienen, die sich gegenwärtig privat, beruflich oder aufgrund ihrer Aufgaben in Verwaltung und Kommunalpolitik mit dem Thema beschäftigen wollen.

Mehr Informationen unter: <https://de.scientists4future.org>



Scientists for Future