DIW Wochenbericht

49 2023

Wirtschaft. Politik. Wissenschaft. Seit 1928

DIW BERLIN

685 Bericht von Philipp Herpich, Franziska Holz und Konstantin Löffler

Wärmewende in Berlin: Versorgungssicherheit nach dem Erdgas mit erneuerbaren Energien gewährleisten

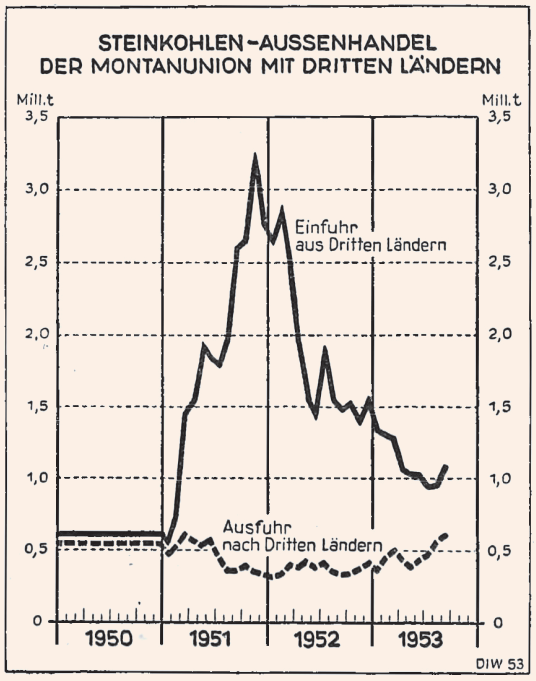
- Studie untersucht, wie Berlin eine emissionsfreie Wärmeversorgung mit geringer Wasserstoffnutzung aufbauen kann
- Wärmepumpen für Fernwärmeerzeugung nutzen Umweltwärme aus Boden, Abwasser, Flüssen und anderen Quellen
- Wärmeplanung muss Quellen für erneuerbaren Strom und Wärmepumpen systematisch erfassen und nutzen

694 Interview mit Franziska Holz

698 Kommentar von Marcel Fratzscher

Zeit, sich endlich der historischen Verantwortung zu stellen

Zur Lage der Kohlenwirtschaft auf dem gemeinsamen Markt



© DIW Berlin 1953

Die Kohlenförderung der Gemeinschaft ist bis Ende Oktober gegenüber dem Vorjahr leicht gesunken. Mit 195,7 Mill. t war die bis Ende Oktober geförderte Menge um 1,3 Mill. t, d. h. um 0,6 vH geringer als im gleichen Vorjahrszeitraum. Weiter verringert haben sich in dem Berichtszeitraum die Kohle-Koks – Einfuhren der Gemeinschaft aus dritten Ländern. Bis Ende September wurden aus diesen nur rd. 56 vH der vergleichbaren Vorjahrsmenge (17,8 Mill. t) bezogen. Insbesondere gingen die Kohlenlieferungen der Vereinigten Staaten in die Länder der Gemeinschaft auf 35 vH (4,9 Mill. t) zurück. Sie betrugen Januar bis September 1953 nur etwa 5 Mill. t gegenüber 14 Mill. t in der gleichen Vorjahrszeit. Das Bundesgebiet, das 1952 mit 45 vH den Hauptanteil dieser Kohlenimporte (11,8 Mill. t) aufnahm, hat seit Mai 1953 keine Devisen für die Einfuhr amerikanischer Kohle mehr zur Verfügung gestellt. Die Importe laufen auf Grund der bestehenden langfristigen Lieferverträge allmählich aus. Im ersten Halbjahr 1953 erreichten diese Einfuhren 1,7 Mill. t. Die Bezahlung dieser Importe erfolgt unter Verwendung der Einfuhranrechte, die mit einem geringen Agio von 0,5 vH von den Importeuren erworben werden können. Im vierten Vierteljahr 1953 ist nach Schätzungen des Bundeswirtschaftsministeriums im Monatsdurchschnitt noch mit einer Einfuhr von etwa 250 000 t amerikanischer Kohle zu rechnen. Es ist jedoch anzunehmen, daß diese Importe Anfang 1954 beendet sein werden.

Aus dem Wochenbericht Nr. 49 vom 4. Dezember 1953

IMPRESSUM

DIW BERLIN

DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.
Mohrenstraße 58, 10117 Berlin
www.diw.de
Telefon: +49 30 897 89–0 Fax: –200
90. Jahrgang 6. Dezember 2023

Herausgeber*innen
Prof. Dr. Tomaso Duso; Sabine Fiedler; Prof. Marcel Fratzscher, Ph.D.; Prof. Dr. Peter Haan; Prof. Dr. Claudia Kemfert; Prof. Dr. Alexander S. Kritikos; Prof. Dr. Alexander Kriwoluzky; Prof. Dr. Lukas Menkhoff; Prof. Karsten Neuhoff, Ph.D.; Prof. Dr. Carsten Schröder; Prof. Dr. Katharina Wrohlich

Chefredaktion
Prof. Dr. Pio Baake; Claudia Cohnen-Beck; Sebastian Kollmann; Kristina van Deuverden

Lektorat
Dr. Franziska Schütze

Redaktion
Rebecca Buhner; Dr. Hella Engerer; Ulrike Fokken; Petra Jasper; Sandra Tubik

Vertrieb
DIW Berlin Leserservice, Postfach 74, 77649 Offenburg
diw@burdadirect.de
Telefon: +49 781 639 67 20

Gestaltung
Roman Wilhelm, Stefanie Reeg, Eva Kretschmer, DIW Berlin

Umschlagmotiv
© imageBROKER / Steffen Diemer

Satz
Satz-Rechen-Zentrum Hartmann + Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin

Druck
USE gGmbH, Berlin

ISSN 0012-1304; ISSN 1860-8787 (online)
Nachdruck und sonstige Verbreitung – auch auszugsweise – nur mit Quellenangabe und unter Zusendung eines Belegexemplars an den Kundenservice des DIW Berlin zulässig (kundenservice@diw.de).

Abonnieren Sie auch unseren DIW- und/oder Wochenbericht-Newsletter unter **www.diw.de/newsletter**

DIW Wochenbericht 49 2023

AUF EINEN BLICK

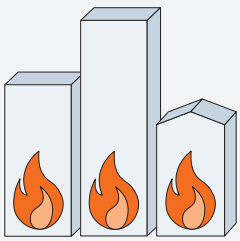
Wärmewende in Berlin: Versorgungssicherheit nach dem Erdgas mit erneuerbaren Energien gewährleisten

Von Philipp Herpich, Franziska Holz und Konstantin Löffler

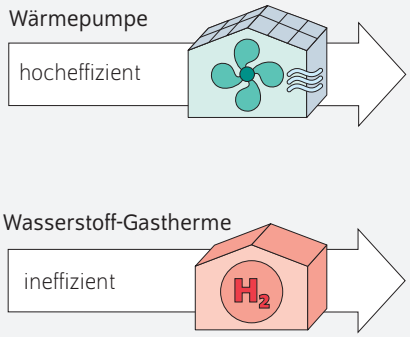
- Die Berliner Wärmeversorgung muss in den nächsten 15 Jahren von Erdgas auf erneuerbare Quellen umgestellt werden
- Studie untersucht modellbasiert, wie eine emissionsfreie Wärmeversorgung mit geringer Wasserstoffnutzung gestaltet werden kann
- Wärmepumpen sind sowohl dezentral als auch für die Fernwärmeerzeugung effiziente Technologien, da sie Umweltwärme nutzen
- Kommunale Wärmeplanung muss potenzielle Quellen für erneuerbaren Strom und für Wärmepumpen in Berlin systematisch erfassen und in großem Umfang nutzen
- Stromverteilnetz muss zügig ausgebaut werden, damit ausreichend Strom aus erneuerbaren Energien zu Wärmepumpen gelangen kann

Damit Berlin bis 2045 sein Ziel der Klimaneutralität erreicht, muss die Stadt die Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energien und Wärmepumpen ausbauen

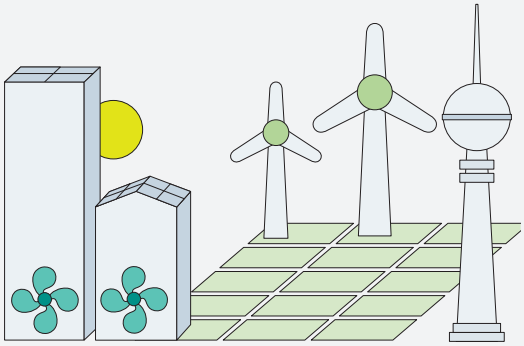
Gasthermen und Gasheizwerke müssen weg, weil Erdgas zu teuer und klimaschädlich ist.



Was für Alternativen gibt es?



Klimaziele erreichen mit großen zentralen und individuellen Wärmepumpen in Kombination mit erneuerbaren Energien.



Quelle: eigene Darstellung.

© DIW Berlin 2023

ZITAT

„Wärmepumpen erzeugen Wärme hocheffizient, sowohl dezentral in Gebäuden als auch für die Fernwärme. Dezentrales Heizen mit Wasserstoff hingegen ist äußerst ineffizient und sollte vermieden werden. Berlin muss daher jetzt den Ausbau von Strom- und Fernwärmenetzen beschleunigen, um wie geplant 2045 klimaneutral zu heizen."
— Franziska Holz —

MEDIATHEK

Audio-Interview mit Franziska Holz
www.diw.de/mediathek

Wärmewende in Berlin: Versorgungssicherheit nach dem Erdgas mit erneuerbaren Energien gewährleisten

Von Philipp Herpich, Franziska Holz und Konstantin Löffler

ABSTRACT

Das Land Berlin hat sich verpflichtet, bis 2045 Klimaneutralität zu erreichen. Die Wärmeerzeugung ist der größte Treiber der Energienachfrage und verursacht fast die Hälfte der CO_2-Emissionen in Berlin. Derzeit beruht die Wärmeversorgung überwiegend auf Erdgas, sowohl in der dezentralen Wärme- als auch in der Fernwärmeerzeugung. Berlin steht vor der Herausforderung, die Wärmeversorgung inklusive der Fernwärme zu dekarbonisieren. Bestehende Pläne sehen den Einsatz von Wasserstoff in der Wärmeerzeugung vor, jedoch ist dieser absehbar knapp und die Nutzung ineffizient. Diese Studie untersucht anhand von Modellrechnungen, wie die zukünftige klimafreundliche Wärmeversorgung in Berlin dargestellt werden kann, ohne auf große Mengen Wasserstoff angewiesen zu sein. In der Wärmeerzeugung stehen mit (Groß-)Wärmepumpen effiziente Technologien zur Verfügung, da sie verschiedene Umweltwärmequellen wie Luft, Flusswasser, Abwasser oder Industrieabwärme nutzen. In Kombination mit erneuerbarem Strom können sie emissionsfrei betrieben werden. Zusätzliche Möglichkeiten, den Wasserstoffeinsatz zu beschränken, sind der großflächige Ausbau von Photovoltaik auf Dächern, die Steigerung der Energieeffizienz bei Gebäuden und der Ausbau der Stromverteilnetze, um ausreichend Strom für neue Anwendungen in der E-Mobilität oder Wärmepumpen bereitstellen zu können.

Das Land Berlin hat sich verpflichtet, die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens einzuhalten. Im Einklang mit den bundesdeutschen Verpflichtungen bedeutet dies das Erreichen von Klimaneutralität bis 2045.[1] Neben dem Land hat sich der Berliner Gasversorger Gasag das Ziel der Klimaneutralität bis 2040 gesteckt.[2] Zudem will Vattenfall, Berlins größter Fernwärmebetreiber, bis 2030 vollständig aus der Kohle aussteigen, sowohl in der Strom- als auch in der Wärmeerzeugung.[3] Für die Fernwärme legte das Land Berlin eine Zielquote für erneuerbare Energien von 40 Prozent bis 2030 und das Erreichen der Klimaneutralität bis 2040/45 fest. Derzeit beruht die Wärmeversorgung in Berlin noch überwiegend auf fossilen Quellen, insbesondere Erdgas.

In der Energiekrise 2022 wurde das damit verbundene Versorgungs- und Preisrisiko offensichtlich, sowohl für Erdgas- als auch für Fernwärmekunden. Der DIW Wärmemonitor 2022 zeigt für Berlin eine Preissteigerung von 42 Prozent im Vergleich zum Vorjahr.[4] Die Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung sollte also auch genutzt werden, um Abhängigkeiten und Risiken wie bei der Erdgasversorgung zu verringern.

In diesem Wochenbericht werden Ergebnisse aus einem vom Climate Change Center Berlin Brandenburg geförderten Forschungsprojekt zur modellgestützten Analyse der zukünftigen Wärmeversorgung in Berlin berichtet und eingeordnet.[5] Diese Forschung findet vor dem Hintergrund der politischen und öffentlichen Debatten über das Gebäudeenergiegesetz

1 Das Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz (EWG Bln) sieht die Senkung der CO_2-Emissionen bis 2030 um mindestens 70 Prozent im Vergleich zu 1990 vor, bis 2040 um mindestens 90 Prozent und bis spätestens 2045 die Klimaneutralität (Netto-Null-Emissionen) (online verfügbar, abgerufen am 13.11. 2023. Dies gilt auch für alle anderen Online-Quellen dieses Berichts, sofern nicht anders vermerkt).

2 Gasag (2023): Die Klimaschutz-Roadmap. Meilensteine auf dem Weg ins Grüne (online verfügbar, abgerufen am 21.11.2023).

3 Vattenfall stellt circa 90 Prozent der Berliner Fernwärme bereit. Siehe Michael Ritzau, Thomas Langrock und Armin Michels (2019): Kohleausstieg und Nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030. BET Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH. Machbarkeitsstudie im Auftrag der Vattenfall Wärme Berlin AG und des Landes Berlin (online verfügbar).

4 Sophie Behr, Till Köveker und Merve Küçük (2023): Wärmemonitor 2022: Private Haushalte sparen fünf Prozent Heizenergie und CO2-Emissionen ein. DIW Wochenbericht Nr. 39, 529–539 (online verfügbar, abgerufen am 21.11.2023).

5 Projekt „Open Heat BE" (online verfügbar).

DOI: https://doi.org/10.18723/diw_wb:2023-49-1

(GEG), die kommunale Wärmeplanung[6] und den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland statt.

Derzeitige Struktur der Wärmeversorgung in Berlin

Die Wärmeversorgung für Gebäude im Land Berlin ist zweigeteilt.[7] Zum einen gibt es einen hohen Anteil an Fernwärme, an die rund 43 Prozent der Wohnungen in Berlin angeschlossen sind. Zum anderen werden dezentral in der sogenannten objektbezogenen Wärmeversorgung Raumwärme und Warmwasser direkt vor Ort erzeugt.

Aktuell ist die Wärmeversorgung mit Erdgas gesichert

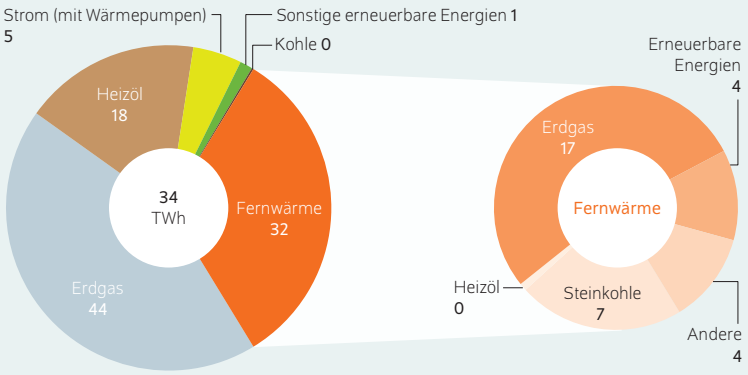
Erdgas ist derzeit der wichtigste Energieträger für die Wärmeerzeugung in Berlin mit einem Anteil von 61 Prozent. Erdgas wird direkt für 44 Prozent der Endenergienutzung im Gebäudebereich verfeuert. Indirekt wird das Erdgas außerdem in der Fernwärmeerzeugung genutzt, wo es einen Anteil von 53 Prozent hat, das heißt für weitere 17 Prozent der Endenergienutzung steht (Abbildung 1).

Keine Daten liegen über die genaue Herkunft des in Berlin verbrauchten Erdgases vor. Es kann davon ausgegangen werden, dass bis Anfang 2022 eine genauso hohe – oder aufgrund der Lage in Ostdeutschland sogar höhere – Abhängigkeit von russischem Erdgas vorlag wie in den anderen Teilen Deutschlands, das zu rund 55 Prozent Erdgas aus Russland importierte.[8] Berlin ist ins deutsche Pipelinenetz integriert und ist für seine Versorgung vollständig auf Lieferungen aus dem Pipelinenetz angewiesen, da es seit einigen Jahren nicht mehr über einen Untertagespeicher auf Landesgebiet verfügt.

Berlin muss die Nutzung des fossilen Energieträgers Erdgas in den nächsten Jahren zurückfahren, um Treibhausgasneutralität bis 2045 gemäß der selbst gesteckten Klimaziele erreichen zu können. Die Berliner Energieversorger müssen daher die kommunale Wärmeplanung konkretisieren und bis spätestens 2026 den Fahrplan für die Zukunft der Erdgaspipelineinfrastruktur sowie der aktuellen Endverbrauchsgeräte aufstellen.[9]

Abbildung 1

Energienutzung im Gebäudewärmebereich in Berlin 2020
In Prozent



Quelle: Wärmestrategie für das Land Berlin (2021)

© DIW Berlin 2023

Erdgas ist in Berlin der wichtigste Energieträger in der dezentralen und der zentralen Gebäudewärmeversorgung (Fernwärme).

Unsicherheiten in der Wärmeplanung Berlins

Die konkreten Entwicklungen hin zur klimafreundlichen Wärmeversorgung Berlins unterliegen einer Reihe von Unsicherheiten. Das liegt zum einen an den Unsicherheiten über die zukünftigen Verfügbarkeiten und Kosten klimafreundlicher Technologien, denen das Energiesystem in Deutschland und Europa unterworfen ist.[10] Zum anderen liegt das an mangelndem Wissen über die Potenziale der erneuerbaren Energien vor Ort.

Beide Faktoren führen zu Unklarheit über die zukünftige Rolle von Wasserstoff. So gibt Vattenfall in seinem Dekarbonisierungsfahrplan für die Fernwärme an, dass Wasserstoff aus erneuerbaren Energien (oft auch als grüner Wasserstoff bezeichnet[11]) ab spätestens 2040 in allen Heizkraftwerken des Unternehmens verwendet wird.[12] Wasserstoff würde dann laut Vattenfall einen Anteil von 20 bis 40 Prozent an der gesamten Wärmeerzeugung in Berlin haben. Auch die Gasag sieht in ihrem zukünftigen Geschäftsmodell eine wesentliche Rolle für Wasserstoff vor und plant die Umstellung ihres Gaspipelinenetzes auf Wasserstoff.[13]

Gleichzeitig wird die Elektrifizierung vieler Anwendungen – neben Wärmepumpen beispielsweise auch Elektrofahrzeuge – die Stromnachfrage erhöhen und den Ausbau des

6 Das Wärmeplanungsgesetz verpflichtet Kommunen mit mehr als 100 000 Einwohner*innen bis 2026 einen Wärmeplan vorzulegen. Aus diesem soll hervorgehen, wie viel Wärme die Kommune in Zukunft verbraucht und wie sie die Wärme erneuerbar bereitstellen wird.

7 Diese Studie betrachtet nicht die sogenannte Prozesswärme für industrielle Prozesse. Sie hat in Berlin aufgrund der wirtschaftlichen Struktur mit wenig erzeugendem Gewerbe nur einen geringen Anteil an der Wärmenachfrage (circa acht Prozent) siehe Elisa Dunkelberg et al. (2021): Entwicklung einer Wärmestrategie für das Land Berlin. Studie im Auftrag des Landes Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (online verfügbar).

8 Franziska Holz et al. (2022): Energieversorgung in Deutschland auch ohne Erdgas aus Russland gesichert. DIW aktuell 83 (online verfügbar, abgerufen am 21.11.2023).

9 Isabell Braunger (2023): Communal heat planning: Overcoming the path-dependency of natural gas in residential heating? Environmental Innovation and Societal Transitions 48, 100768 (online verfügbar).

10 Franziska Holz et al. (2022): Zukunft des europäischen Energiesystems: Die Zeichen stehen auf Strom. DIW Wochenbericht Nr. 6, 75–82 (online verfügbar).

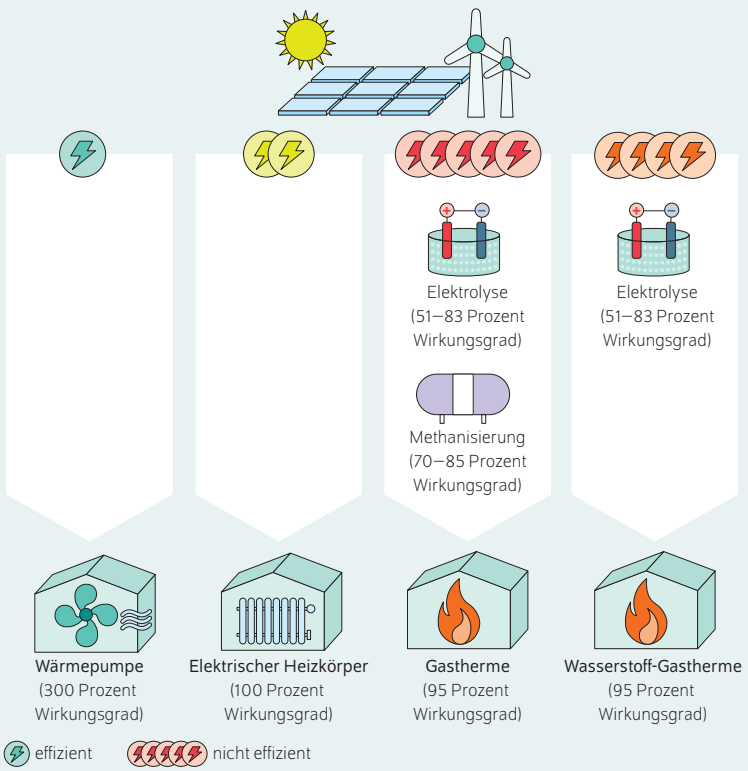
11 Für eine Erläuterung der Farbenlehre für Wasserstoff siehe Martin Kittel et al. (2023): Nationale Wasserstoffstrategie konsequent und mit klarem Fokus umsetzen. DIW Wochenbericht Nr. 41, 561–571 (online verfügbar).

12 Vattenfall (2023): Dekarbonisierungsfahrplan für die Wärmenetze der Vattenfall Wärme Berlin AG (online verfügbar).

13 Siehe Klimaschutz-Roadmap der Gasag (online verfügbar).

Abbildung 2

Flächenverbrauch und Wirkungsgrade von verschiedenen Optionen in der dezentralen Wärmeversorgung



Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Umweltbundesamt 2023 (online verfügbar).

© DIW Berlin 2023

Das Heizen mit Wasserstoff(derivaten) benötigt bis zu fünfmal mehr erneuerbare Energien als das Heizen mit einer Wärmepumpe.

Tabelle 1

Zentrale Szenarioannahmen

	Wärmequellen für Großwärmepumpen	Ausbau von Wärmespeichern	Ausbau der Stromverteilnetze	Potentiale von PV-Dachanlagen
Szenario Niedrige EE-Potenziale	↓ 500 MW	⊗ Kein Neubau	↓ 7 000 MW Obergrenze	↓ 3 800 MW
Szenario Hohe EE-Potenziale	↑ 1000 MW	✓ Unbeschränkt	↑ Unbeschränkt	↑ 7 000 MW

© DIW Berlin 2023

Stromverteilnetzes in der Stadt notwendig machen.[14] Dafür muss mehr Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt werden, was auf dem Gebiet Berlins nur begrenzt möglich ist.

Unsicherheit bezüglich der zukünftig verfügbaren Wärmepotenziale besteht für verschiedene Energie- und Wärmequellen, zum Beispiel für Geothermie und Biomasse, aber auch für Abwärme und Abfall. Die potenziellen Kapazitäten für große saisonale Wärmespeicher wie Erdbeckenspeicher sind ebenfalls noch unsicher und müssen weiter erforscht werden.

Für die modellgestützte Untersuchung der zukünftigen Wärmeversorgung bedeuten diese Unsicherheiten, dass mit Hilfe von Szenarien die Bedeutung einzelner Faktoren abgeschätzt werden muss. Diese Studie betrachtet daher zwei Szenarien: ein Szenario „Niedrige Erneuerbare-Energien-Potenziale“ und ein Szenario „Hohe Erneuerbare-Energien-Potenziale“ (Tabelle 1). Beiden Szenarien liegen die gleichen Vorgaben bei den Klimazielen zu Grunde. Sie berücksichtigen beide einen Kohleausstieg bis 2030, Klimaneutralität bis 2045 (95 Prozent Reduktion der CO_2-Emissionen und 100 Prozent Reduktion bis 2050) und einen Anstieg der CO_2-Preise. Zudem entwickelt sich in beiden Szenarien die Wärmenachfrage identisch. Der Wärmebedarf (aus Fernwärme sowie aus der dezentralen Erzeugung) ist vorgegeben. Der (zukünftige) Wärmebedarf wird auf 60 Prozent des heutigen Wärmebedarfs geschätzt. Die Annahme liegt damit innerhalb des Rahmens, den die Szenarien der Wärmestrategie für Berlin aufspannen.[15] Die in der Wärmestrategie entworfenen Szenarien gehen von einem Wärmebedarf zwischen 75 und 50 Prozent des heutigen Niveaus aus. Um auf 50 Prozent des Wärmebedarfs zu kommen, bedarf es mittelfristig einer Sanierungsrate von 3,5 Prozent pro Jahr, was angesichts der aktuell niedrigen Raten bei Gebäuden (unter einem Prozent im Jahr) schwer zu realisieren scheint. Daher wird im weiteren Verlauf eine vorsichtigere Reduktionsentwicklung der Wärme auf 60 Prozent angenommen.[16]

Es wird das Energiesystemmodell GENeSYS-MOD in einer Variante speziell für Berlin verwendet (Kasten). Berlin wird als Insel betrachtet, erhält aber die Preise und Energieimportmengen aus Modellierungen mit GENeSYS-MOD für Deutschland und Europa und ist damit konsistent mit dem umliegenden Energiesystem.[17]

Zentrale Annahme des Szenarios „Niedrige Erneuerbare-Energien-Potenzial“ ist, dass weniger Potenziale an Wärmequellen mit Wärmepumpen nutzbar sind; zur Verfügung stehen zum Beispiel geringeres Geothermie-, Abwasserwärme- und Flusswasserwärmepotenzial. Auch die Möglichkeit, neue saisonale Speicher zu errichten, wird beschränkt. Beim Ausbau der Stromverteilnetze wird lediglich das bisherige Ausbautempo von rund 50 Megawatt (MW) pro Jahr weitergeführt.

14 Siehe auch Alexander Roth et al. (2022): Wärmepumpen statt Erdgasheizungen: Umstieg durch Ausbau der Solarenergie unterstützen. DIW Wochenbericht, 22/2022 (online verfügbar).

15 Dunkelberg et al. (2021), a. a. O.

16 Annahmen wie die Preise für (importierten) Wasserstoff wurden aus dem EU Horizon 2020 Projekt open ENTRANCE übernommen, in dem mit GENeSYS-MOD mehrere 1,5 Grad Celsius- und 2°C-Szenarien für Europa modelliert wurden. Siehe Konstantin Löffler et al. (2022): Quantitative Scenarios for Low Carbon Futures of the European Energy System on Country, Region and Local Level. Open ENTRANCE Deliverable 3.2 (online verfügbar).

17 Eine ausführliche Beschreibung der Modellannahmen findet sich in Philipp Herpich et al. (2023): 100 percent renewable heat supply in Berlin by 2045 – A model-based approach. Beitrag zur IEWT Konferenz Wien (online verfügbar).

Kasten

Das Energiesystemmodell GENeSYS-MOD angewandt für Berlin

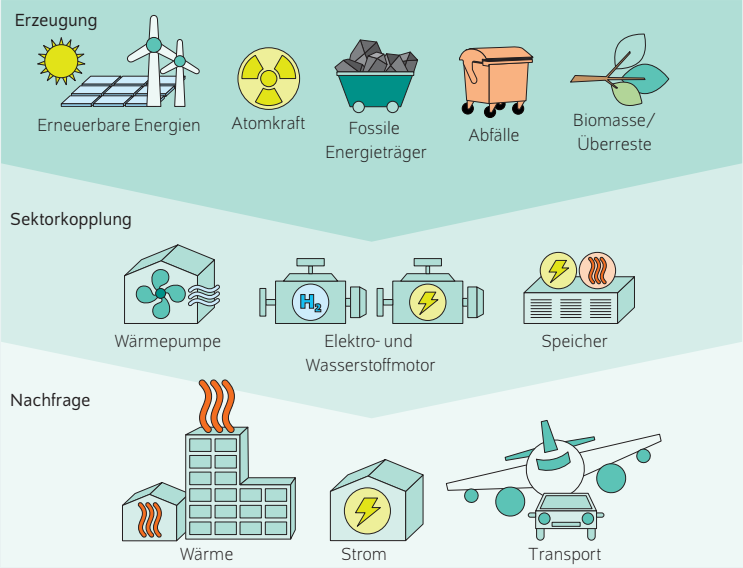
Zur Bewertung der Entwicklung der Berliner Energie- und Wärmeversorgung wurde das quelloffene Energiesystemmodell „Global Energy System Model" (GENeSYS-MOD) genutzt und weiterentwickelt.[1] GENeSYS-MOD zeichnet sich durch ein besonders hohes Niveau an Transparenz aus: Sämtliche Programmcodes und Inputdaten werden in einem nutzerfreundlichen Format zur Verfügung gestellt, um so Nachvollziehbarkeit und kritischen Diskurs der Ergebnisse zu ermöglichen. Mathematisch ist das Modell ein lineares Optimierungsprogramm, das unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Rahmenbedingungen ein kostenminimales Energiesystem ermittelt.

Hierbei kann ein beliebiger Detailgrad gewählt werden, zum Beispiel ein Unternehmen, eine Stadt, ein Bundesland, ein Kontinent oder die globale Ebene. Die diskontierten Gesamtkosten setzen sich aus Kapital- und Betriebskosten zusammen; ein Endwert der Anlagen kann ebenfalls definiert werden. Das Modell bildet das gesamte Energiesystem ab, inklusive Strom-, Verkehrs- und Wärmesektor. Außenhandel, das heißt Im- und Exporte von Energie, werden ebenfalls berücksichtigt. Das Modell ermittelt den Kapazitätsbedarf und kann – je nach Anwendung – zeitlich skaliert werden. Emissions- und Klimaziele, zum Beispiel ein CO_2-Budget oder Ausbauziele für erneuerbare Energien, können exogen vorgegeben werden.

Im Modell werden unterschiedliche Erzeugungstechnologien unterschieden, die konventionelle und erneuerbare Energien umfassen (Abbildung). Sowohl Strom- als auch Gas- und Wärmenetze sind berücksichtigt, darüber hinaus wird die Sektorkopplung zwischen Strom, Wärme, Industrie und Verkehr vollständig abgebildet. GENeSYS-MOD berücksichtigt auch Speichertechnologien, Power-to-X, Wasserstoff und andere. Die Energienachfrage in den verschiedenen Sektoren wird exogen vorgegeben.

Abbildung

Technologien und Sektoren in GENeSYS-MOD



Quelle: Eigene Darstellung

© DIW Berlin 2023

Das Modell bildet das gesamte Energiesystem hoch detailliert ab, sodass unterschiedliche Transformationspfade für ein erneuerbares Energiesystem untersucht werden können.

Für die Modellversion zur Betrachtung der Berliner Wärmeversorgung wurde das GENeSYS-MOD um diverse Technologien im Bereich der zentralen und dezentralen Fernwärmeversorgung erweitert. Unter anderem wurden verschiedene Typen von Großwärmepumpen und deren mögliche Einbindungen in das Berliner Fernwärmenetz sowie saisonale Wärmespeicher mit in die Analyse aufgenommen.

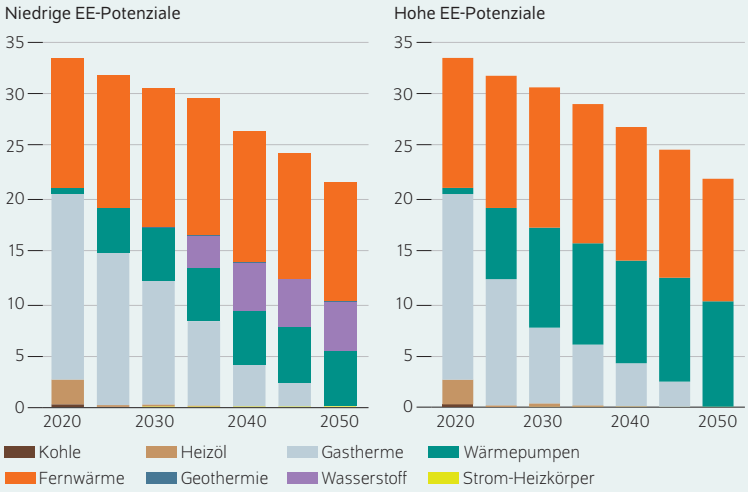
1 Die Grundstruktur des Modells GENeSYS-MOD ist beschrieben in Konstantin Löffler et al. (2017): Designing a Model for the Global Energy System—GENeSYS-MOD: An Application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS). *Energies* 10(10), 1468 (online verfuegbar) sowie in Thorsten Burandt, Konstantin Löffler und Karlo Hainsch (2018): GENeSYS-MOD v2.0 – Enhancing the Global Energy System Model: Model Improvements, Framework Changes, and European Data Set. DIW Data Documentation 94 (online verfügbar). Das Modell ist open source verfügbar (online verfübar).

Im Unterschied dazu, wird für das Szenario „Hohe Erneuerbare-Energien-Potenziale" angenommen, dass erneuerbare Wärmepotenziale in größerem Maße mit Wärmepumpen genutzt werden können. Große saisonale Wärmespeicher werden in diesem Szenario nicht beschränkt. Sie müssten auf Grund ihrer Größe wahrscheinlich außerhalb Berlins errichtet werden, beziehungsweise Flächen für die kommunale Wärmeplanung vorgehalten werden. Sie ermöglichen die Nutzung von jahreszeitlich schwankenden Wärmepotenzialen wie aus großen zentralen Solarthermieanlagen. Zudem werden im Szenario „Hohe Erneuerbare-Energien-Potenziale" keine Beschränkungen beim Ausbau des Stromverteilnetzes angenommen. Gleichzeitig werden höhere Potenziale bei Photovoltaik-Dachanlagen angesetzt, die lokal verwendeten Strom für E-Mobilität und Wärmepumpen bereitstellen.[18]

18 Photovoltaik-Dach-Potenziale basierend auf Joseph Bergner, Bernhard Siegel und Volker Quaschning (2019): Das Berliner Solarpotenzial (online verfügbar).

Abbildung 3

Entwicklung der Gebäudewärme bis 2050 in Berlin
In Terrawattstunden



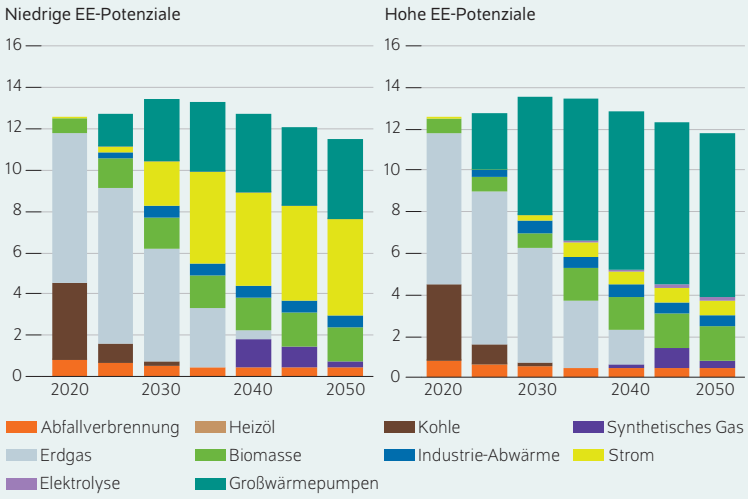
Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

© DIW Berlin 2023

Wärmepumpen besitzen die besten Wirkungsgrade in der dezentralen Gebäudewärme. Da sie Strom benötigen, müssen die Stromverteilnetze ausgebaut werden.

Abbildung 4

Fernwärmeerzeugung bis 2050 in Berlin
In Terrawattstunden



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

© DIW Berlin 2023

Großwärmepumpen werden den Großteil der Wärme bereitstellen, da sie effizienter arbeiten als Anlagen, die mit Strom oder synthetischen Gasen heizen.

Wasserstoff als letzte Option für die Berliner (Fern-)Wärmeversorgung

Wasserstoff ist vielseitig einsetzbar und wäre eine Möglichkeit für die Dekarbonisierung des Verkehrs- oder Wärmesektors. Allerdings existieren meist besser geeignete Alternativen. Heizen mit Wasserstoff ist aufgrund der Umwandlungsverluste deutlich ineffizienter als das Heizen mit einer Wärmepumpe, die außer Strom auch Umweltwärme nutzt (Abbildung 2). Daher muss der Einsatz von Wasserstoff in der Gebäudewärme kritisch bewertet werden.[19] Das knappe Angebot an erneuerbarem Wasserstoff sollte in Zukunft an den Stellen eingesetzt werden, wo es keine sinnvollen Alternativen gibt, zum Beispiel im Flug- und Schiffsverkehr oder der Stahlerzeugung.

Nur erneuerbar erzeugter Wasserstoff ist im Einklang mit den Zielen der Energiewende

Außerdem gilt: Wasserstoff ist nicht gleich Wasserstoff. Erneuerbarer Wasserstoff aus (Überschuss-) Strom aus erneuerbaren Quellen wie Wind und Solar muss von Wasserstoff aus fossilen Energieträgern wie Erdgas, Atomstrom oder Kohle (mit oder ohne Abscheidung von CO_2) unterschieden werden. Im Sinne der Energiewende kann in Zukunft kein Wasserstoff mehr aus Erdgas, Kohle oder Atomstrom gewonnen werden, da selbst mit CO_2-Abscheidung und unterirdischer Speicherung (CCS) nur 90 Prozent der Prozessemissionen vermieden werden.[20] Die Produktion von erneuerbarem Wasserstoff ist in Zukunft allerdings beschränkt, da aufgrund von fehlenden Flächen in Deutschland und Europa nicht unbegrenzt erneuerbare Energien ausgebaut werden können, um den zusätzlichen Strombedarf für die Wasserstoffproduktion zu decken.[21]

Import von Wasserstoff mit Unsicherheiten und neuen Abhängigkeiten behaftet

Da die einheimische Produktion von Wasserstoff den deutschen Bedarf nicht wird decken können, gehen Studien zur Klimaneutralität in Deutschland von größeren Mengen an importiertem Wasserstoff aus.[22] Hier bestehen Unsicherheiten, da der globale Wasserstoffmarkt nicht etabliert und der Transport mit dem Schiff aufgrund eines unvorteilhaften Volumen-Energie-Verhältnisses schwierig ist. Der Import von Wasserstoff erzeugt zudem neue Abhängigkeiten, die mit Blick auf die Erfahrungen der Gasabhängigkeit in Zukunft vermieden werden sollten.

19 Jan Rosenow (2022): Is heating homes with hydrogen all but a pipe dream? An evidence review. Joule 6 (10), 2219–223 (online verfügbar).

20 Patrick Brandl et al. (2021): Beyond 90 percent capture: Possible, but at what cost? International Journal of Greenhouse Gas Control 105, 103239 (online verfügbar).

21 Sachverständigenrat für Umweltfragen (2021): Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse (online verfügbar).

22 Ariadne Projekt (2022): Vergleich der „Big 5"-Klimaneutralitätsszenarien (online verfügbar).

Schnellerer Ausbau der Stromverteilnetze unterstützt klimaneutrale Wärmeerzeugung in Gebäuden

Für das Szenario „Niedrige Erneuerbare Energien-Potenziale“ geht diese Studie von derselben Ausbaurate der Stromverteilnetze in Berlin von 50 MW pro Jahr aus, wie sie in den vergangenen zehn Jahren beobachtet wurde. 2022 liegt die Übertragungskapazität auf Mittel-/Niederspannungsebenen des Verteilnetzes bei 5,6 Gigawatt (GW) oder 5 600 MW.[23] Bei linearer Fortschreibung des Ausbautempos liegt die Obergrenze für den Stromtransport 2050 bei circa sieben GW.[24]

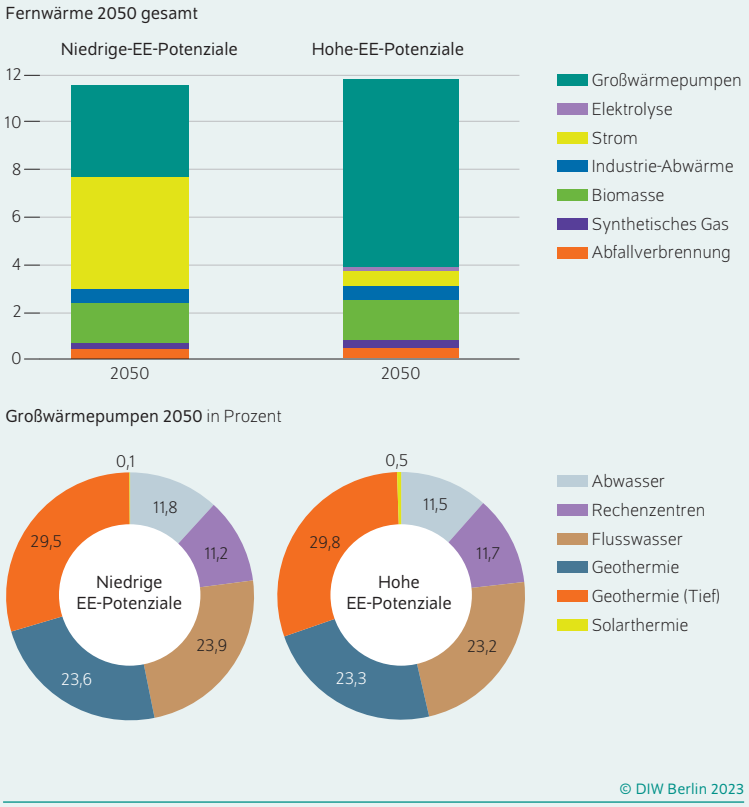
Die Verteilnetzbeschränkung wirkt sich vor allem auf die dezentrale Wärmeerzeugung aus (Abbildung 3). Während im unbeschränkten Fall (Szenario „Hohe EE-Potenziale“) die Gebäudewärmeversorgung fast ausschließlich durch Wärmepumpen und Fernwärme sichergestellt ist, müssten bei beschränktem Netzausbau erhebliche Mengen an Wasserstoff in der dezentralen Wärmeversorgung verwendet werden, um die Klimaziele einzuhalten. Das liegt daran, dass nicht ausreichend Strom transportiert werden kann, um eine große Anzahl Wärmepumpen und E-Autos zu betreiben. Da es unwahrscheinlich ist, dass erneuerbarer Wasserstoff in Zukunft in ausreichendem Maße für die dezentrale Gebäudewärme zur Verfügung steht, besteht die Gefahr, dass bei schleppendem Verteilnetzausbau fossiles Erdgas die Versorgungslücke schließt und zu weiteren CO_2-Emissionen führt. Flexible Wärmepumpen, dezentrale Stromspeicher, bi-direktionales Laden und intelligente Laststeuerung bestimmter Nachfrager kann das Stromverteilnetz zusätzlich entlasten und den Ausbau minimieren. Strompreissignale können beispielsweise helfen, den Betrieb von Wärmepumpen zu flexibilisieren und so an die Lastspitzen der Stromversorgung anzupassen.

Fernwärme bleibt wichtig und kann mit Großwärmepumpen dekarbonisiert werden

Die Fernwärmenachfrage steigt in Zukunft (Abbildung 4), da mehr Gebäude in bestehenden Fernwärmegebieten (Verdichtung) und in neuen Fernwärmegebieten (Erweiterung) angeschlossen werden. Durch die Sanierung sinkt allerdings die Nachfrage der einzelnen Gebäude, so dass insgesamt die Fernwärmenachfrage bis 2050 wieder etwa auf dem Niveau von 2022 liegen wird. In Zukunft müssen in der Fernwärme Technologien zum Einsatz kommen, die bisher noch nicht verwendet werden. Sie sind derzeit in der Entwicklung und werden teilweise auch schon in Berlin erprobt. Vor allem Großwärmepumpen werden für die Fernwärmeerzeugung wichtig, aber auch andere Technologien kommen in Frage (Tabelle 2). Wärmepumpen bieten den Vorteil, dass sie verschiedene Umweltwärmequellen wie Flusswasser, Abwasser, Abwärme aus Rechenzentren oder geothermische Quellen nutzen können. Wenn die Stromerzeugung erneuerbar ist, ist ihr Betrieb emissionsfrei.

Abbildung 5

Fernwärmeerzeugung durch Großwärmepumpen im Jahr 2050 in Berlin
In Terrawattstunden



© DIW Berlin 2023

Bei den Großwärmepumpen spielt die Geothermie (tief und oberflächennah) die größte Rolle, da sie ganzjährig hoch effizient arbeiten.

In beiden Szenarien ist der Kohleausstieg in der Fernwärme bis 2030 gemäß den Vorgaben aus dem Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz realisiert. Die Wärme wird dann überwiegend aus Großwärmepumpen bereitgestellt (Abbildung 4). In beiden Szenarien kommen alle in Berlin verfügbaren Varianten der Wärmepumpen (zum Beispiel Abwasser-/Geothermiewärmepumpen) zum Einsatz (Abbildung 5). Wärmepumpen in Kombination mit Geothermie stellen dabei den Großteil der Wärmeversorgung, da die Geothermie über das Jahr konstant hohe Vorlauftemperaturen liefert, die einen effizienten Betrieb der Wärmepumpen ermöglichen. Der Wärmebeitrag aus Gas-Kraftwärmekopplungsanlagen (KWKs, gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme) und reinen Gaskesseln geht zurück, was zu einer Reduktion des Gasverbrauchs führt. Die industrielle Abwärme spielt in Berlin über den gesamten Zeitraum nur eine untergeordnete Rolle, da auch der Anteil der Wärmenachfrage der Industrie mit etwa acht Prozent an der gesamten Wärmenachfrage vergleichsweise gering ist. Aktuell lässt Berlin eine Erhebung durchführen, um die Menge der unvermeidbaren industriellen Abwärme besser abschätzen zu können.

23 Berlin Open Data (2023): Netzstrukturdaten (online verfügbar).

24 Das ist abzüglich der Solarstromerzeugung und dezentraler Stromspeicher die Obergrenze für den Verbrauch an Strom in jeder modellierten Stunde.

Tabelle 2

Technologien der zukünftigen klimafreundlichen Fernwärmeversorgung

Technologie	Vorteile	Nachteile und Hindernisse
Großwärmepumpen		
Geothermie (oberflächennah und tief)	Ganzjährige Wärmeversorgung mit hohen Ausgangstemperaturen	– Hohe Investitionskosten – Risiko bei Bohrungen keine ausreichend gute Wärmequelle zu finden – Potenzielle Konflikte mit Grundwasserschutzzonen, daher nicht überall in Berlin einsetzbar
Flusswasser-Wärmepumpen	Vergleichsweise einfach zu installieren	– Nur in warmen Monaten verfügbar, da Spree und Kanäle im Winter zu kühl sind – unklarer Wasserhaushalt der Spree nach Ende der Braunkohleförderung in der Lausitz
Abwärme von Rechenzentren	– Hohe und konstante Abwärme – relativ einfach zu installierende Wärmepumpen – Derzeit Planung einer Vielzahl neuer Rechenzentren	Koordination mit den Betreibern der Rechenzentren notwendig
Solarthermie	– Im Sommer hohe Vorlauftemperaturen – Sehr geringe Betriebskosten	– Angewiesen auf große Flächen (außerhalb Berlins), die ans Fernwärmenetz angebunden werden müssen – Bedarf von Speicherung, um Wärme aus dem Sommer in der Heizperiode nutzen zu können
Abwasserwärme	– Konstante Temperaturen über das Jahr – Gute räumliche Verteilung in der Stadt, daher nah an den bestehenden Fernwärmenetzen	Knotenpunkte, die ausreichend große Wärmeentnahme ermöglichen, müssen noch identifiziert werden
Andere Technologien		
Power-to-Heat	Flexibel einsetzbar	Nicht so effizient wie Wärmepumpen, die ebenfalls mit Strom betrieben werden
Biomasse	– Gesicherte (regelbare) Leistung – Spitzenlastfähig	– Mögliche Nutzungskonflikte mit der Nahrungsmittelerzeugung und Holzwirtschaft – Nicht CO_2-neutral, da Maschinen und Dünger genutzt werden müssen
Abfallverbrennung	– Kontinuierliche Wärmeversorgung – Siedlungsabfall fällt ohnehin an	– Erzeugt netto Emissionen, da u. a. Kunststoff (hergestellt aus fossilem Erdöl) verbrannt wird – Zukünftiges Potenzial unklar, da Mengen von Siedlungsabfall deutlich abnehmen sollen
Industrielle Abwärme	Nutzung von unvermeidbarer Abwärme	– Identifizierung nicht vermeidbarer Abwärme notwendig – Wärmeerzeugung abhängig von den Unternehmensentscheidungen (Prozesse, Standortwechsel, Insolvenz)
CO_2-Abscheidung bei erdgasbefeuerten Heizkraftwerken (CCS)	Weiterbetrieb der fossilen Anlagen möglich	– Nicht emissionsfrei, da keine hundertprozentige Abscheidung der Emissionen möglich – Unerprobte Technologie – hohe Betriebskosten – CO_2-Speicherung in Berlin unwahrscheinlich

© DIW Berlin 2023

Die Biomassenutzung nimmt über den betrachteten Zeitraum hinweg zu. Bei der Biomasse steht allerdings noch eine Prüfung der vorhandenen nachhaltig nutzbaren Potenziale aus. Zusätzlich zu den Potenzialen innerhalb der Landesgrenzen sollte untersucht werden, wieviel Biomasse in der Umgebung Berlins, insbesondere in Brandenburg, zur Verfügung stehen könnte.

Die Wärmeerzeugung aus der Müllverbrennung geht in beiden Szenarien zurück, weil die Menge an thermisch verwertetem Siedlungsabfall sinkt. Aktuell zählt die Müllverbrennung als erneuerbare Wärmeerzeugung, da die Wärme durch die Verbrennung ohnehin entsteht. Sie ist allerdings weder erneuerbar noch emissionsfrei. Das Land Berlin beschloss 2021 eine sogenannte Zero-Waste-Strategie, die bis 2030 zu einer 20-prozentigen Reduktion der Siedlungsabfälle führen soll.[25] Dies muss in der zukünftigen Wärmeplanung berücksichtigt werden. Dass Vattenfall im Dekarbonisierungsfahrplan für das Fernwärmenetz sogar von steigenden Wärmemengen aus der Müllverbrennung ausgeht, erscheint nicht konsistent mit der Zero-Waste-Strategie.[26]

Wechselwirkungen zwischen Stromverteilnetzausbau und Fernwärmeerzeugung

Die niedrigeren Erneuerbare Energien-Wärmepotenziale führen zu einem geringeren Anteil an Wärmepumpen an der Fernwärmeerzeugung im „Niedrige Erneuerbare-Energien-Potenziale"-Szenario. Einen deutlich größeren Anteil übernimmt in diesem Szenario die direkte Wärmeerzeugung aus Strom. Diese ist ineffizienter als Wärmepumpen. Allerdings steht im Szenario „Niedrige Erneuerbare-Energien-Potenziale" eine höhere Strommenge für die Fernwärme zur Verfügung, weil die dezentralen Wärmepumpen und die E-Mobilität wegen des schleppenden Netzausbaus nicht ausreichend mit Strom versorgt werden können. Der schleppende Verteilnetzausbau wirkt sich damit nicht nur auf die dezentrale Wärmeerzeugung aus, sondern führt zu Wechselwirkungen mit der Fernwärme.

25 Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz (2022): Berliner Zero Waste Strategie 2030. Kreislaufwirtschaft und Zirkuläres Wirtschaften für mehr Klima- und Ressourcenschutz (online verfügbar).

26 Vattenfall (2023), a. a. O.

Im Szenario „Hohe Erneuerbare-Energien-Potenziale“ gibt es die wenigsten Restriktionen und die effizienteste Allokation der Energieträger. Der verfügbare Strom wird priorisiert in der dezentralen Gebäudewärme mit Wärmepumpen und der Elektromobilität verwendet. So können insgesamt mehr als 60 Prozent Wasserstoff gegenüber dem Szenario „Niedrige Erneuerbare-Energien-Potenziale“ eingespart werden. Eine Beschleunigung des Stromverteilnetzausbaus kann somit zu einer Verringerung der Abhängigkeit von Wasserstoff beitragen. Da der Einsatz von Wasserstoff in der Gebäudewärme aufgrund der Knappheit und hohen Ineffizienzen als äußerst unwahrscheinlich gilt, wird durch ein Ausbau der Stromverteilnetze in erster Linie der zukünftige Verbrauch von Erdgas gesenkt und ist somit ein wichtiger Beitrag für die Einhaltung der Klimaziele. Zusätzliche Entlastung für die Verteilnetze können in Zukunft intelligent und variabel gesteuerte Verbrauchsmengen wie flexible Wärmepumpen oder Stromspeicher liefern.

Fazit: Integrierte Infrastrukturplanung für die zügige und effektive Umsetzung der Wärmewende in Berlin notwendig

Die Energiekrise 2022 hat die Abhängigkeit Deutschlands von fossilen Energien, insbesondere Erdgas, deutlich gemacht. Erneuerbare Energien in Kombination mit Wärmepumpen können diese Abhängigkeit abbauen – auch in der Fernwärme. Aktuelle Planungen zielen allerdings darauf ab, Erdgas durch Wasserstoff zu ersetzen. Dies würde neue Abhängigkeiten schaffen, da Wasserstoff nicht in ausreichendem Maße in Deutschland erneuerbar erzeugt werden kann. Zudem ist die thermische Nutzung von Wasserstoff aus energetischer Sicht nicht sinnvoll, da es zu hohen Umwandlungsverlusten kommt.

Wärmepumpen sollten sowohl in der dezentralen als auch in der zentralen Wärmeversorgung zum Einsatz kommen. Allerdings existieren in Berlin wie andernorts noch Unsicherheiten bezüglich der Wärmepotenziale für die Fernwärme. Hier herrscht insbesondere bei der Geothermie sowie für saisonale Wärmespeicher noch Forschungsbedarf zum Potenzial beider Energiequellen und Techniken. Konflikte mit Grundwasserschutzzonen könnten das Potenzial einschränken, daher sind weitere Untersuchungen der Grundwasserspeicher unter Berlin notwendig.

Die Modellergebnisse zeigen, dass bei schleppendem Stromverteilnetzausbau neue elektrische Anwendungen wie dezentrale Wärmepumpen und Elektroautos nicht ausreichend mit Strom versorgt werden können. Dann würde die Versorgungslücke weiterhin mit fossilen Energien befüllt oder in den theoretischen Planungen mit Wasserstoff, der jedoch nicht ausreichend verfügbar sein wird. Die Stromverteilnetze müssen daher insbesondere in Gebieten, die keine Fernwärme bekommen, deutlich ausgebaut werden. Ziel sollte eine integrierte Netzplanung sein, die Fernwärme-, Strom- und Gasverteilnetze zusammen plant, damit diese sich gut ergänzen können. Zusätzlich entlastet der Photovoltaik-Ausbau auf den Dächern die Verteilnetze, weil der Strom dezentral erzeugt und verbraucht werden kann, ohne transportiert werden zu müssen.

Ermöglicht werden kann die Transformation des Wärmesektors nur, wenn das Handwerk substanzielle Unterstützung erfährt, die Fachkräfte mit den notwendigen Fähigkeiten und dem notwendigen Wissen ausstatten zu können. Nun müssen die richtigen Weichen gestellt werden, auch um bis spätestens 2026 eine Wärmeplanung für Berlin zu haben, die die Stadt auf dem Weg zur Klimaneutralität effektiv unterstützt.

Philipp Herpich ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der TU Berlin | phe@wip.tu-berlin.de

Franziska Holz ist stellvertretende Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin | fholz@diw.de

Konstantin Löffler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der TU Berlin | k.loeffler@tu-berlin.de

JEL: L97, Q42, Q48, L94

Keywords: heat supply, gas, energy system modeling, de-carbonization

INTERVIEW

„Den Ausbau der Netze für Strom, Gas und Wärme zusammen planen“

Franziska Holz, stellvertretende Abteilungsleiterin in der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin und Leiterin des Forschungsbereichs Ressourcen und Umweltmärkte

1. **Frau Holz, das Land Berlin hat sich verpflichtet, bis 2045 klimaneutral zu werden. Die größte Baustelle ist dabei die Wärmeerzeugung. Worauf beruht die aktuelle Wärmeversorgung in Berlin?** Zum einen ist in Berlin ein Großteil der Wohngebäude an die Fernwärme angeschlossen und zum anderen wird Wärme individuell in den Häusern erzeugt wie in vielen Gegenden Deutschlands. Beide hängen im Moment in sehr starkem Maße von Erdgas ab. Kohle wird zum Glück kaum noch verfeuert, aber noch immer heizen fast 20 Prozent in Berlin mit Heizöl für die individuelle Wärmeerzeugung.

2. **Welche Maßnahmen hat Berlin konkret geplant, um in Zukunft klimaneutral zu heizen?** Der Energieversorger Vattenfall hat sich verpflichtet, bis 2030 aus der Kohle auszusteigen, und das gelingt auch. Der andere große Versorger für Gas in Berlin, die Gasag, hat sich verpflichtet, bis 2045 nur noch klimaneutrale Gase zu verkaufen, also kein fossiles Erdgas mehr. Das ist jedoch noch kein kompletter Fahrplan für die Wärme.

3. **Welche Rolle spielt Wasserstoff in diesen Planungen?** Vattenfall hat einen sogenannten Dekarbonisierungsfahrplan vorgelegt und dieser sieht die Wasserstoffnutzung vor. Der Plan ist noch relativ vage in der Darstellung, aber man gewinnt den Eindruck, dass das Unternehmen einen Teil der heutigen, mit Erdgas betriebenen Heizwerke auf Wasserstoff umstellen möchte. Dafür bräuchte Vattenfall sehr große Mengen an Wasserstoff, die erst einmal erzeugt werden müssten, und das ist ausgesprochen ineffizient.

4. **Sie haben verschiedene Modellszenarien untersucht. Was für Szenarien sind das und was lässt sich daraus ableiten?** In Berlin gibt es noch eine gewisse Unsicherheit bezüglich der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien. Deswegen haben wir zum einen ein Szenario gerechnet, in dem wir von einem hohen Erneuerbare-Energien-Potenzial ausgehen, in dem von der Geothermie bis zur Abwasserabwärme ein breiter Rahmen an Technologien genutzt wird. Kontrastiert haben wir das mit einem Szenario mit einem niedrigeren Erneuerbare-Energien-Potenzial, in dem mehr Einschränkungen bestehen.

5. **Zeichnet sich daraus ein Weg ab, den das Land Berlin gehen könnte, um in Zukunft klimaneutral zu heizen?** Wir haben für beide Szenarien herausgefunden, dass weiterhin ein relativ großer Anteil der Wärmeversorgung über Fernwärme geleistet werden kann. Im Unterschied zu heute soll dabei vor allen Dingen die Wärmepumpe eine große Rolle spielen. Das gilt insbesondere im Szenario mit sehr hohem Erneuerbare-Energien-Potenzial. Wenn wir das geringere Erneuerbare-Energien-Potenzial ins Auge fassen, dann muss in der Fernwärmeerzeugung vielleicht auch ein kleinerer Anteil an Wasserstoff verbrannt werden, aber vor allen Dingen auch Strom direkt genutzt werden. Auch auf der dezentralen Wärmeerzeugungsseite würden Wärmepumpen in beiden Szenarien eine wichtige Rolle spielen. Die Verbrennung von Wasserstoff kann in der dezentralen Wärmeerzeugung keine wichtige Rolle spielen, weil Wasserstoff durch einen Umwandlungsprozess erzeugt wird, der noch einmal elektrische Energie kostet.

6. **Welche konkreten Schritte müsste Berlin auf dem Weg zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung gehen?** Berlin sollte eine integrierte Planung für Strom, aber auch für Gas und für die Entwicklung der Gasnetze sowie für die Wärme entwickeln. Ganz konkret: In den einzelnen Sektoren muss das Stromnetz ausgebaut werden. Es muss auch darüber nachgedacht werden, was mit den heutigen Erdgasnetzen passiert, denn wenn wir in Zukunft kein Erdgas nutzen, aber auch nicht auf Wasserstoff umstellen, dann muss irgendetwas mit diesen Netzen passieren.

Das Gespräch führte Erich Wittenberg.

Das vollständige Interview zum Anhören finden Sie auf **www.diw.de/interview**

DOI: https://doi.org/10.18723/diw_wb:2023-49-2

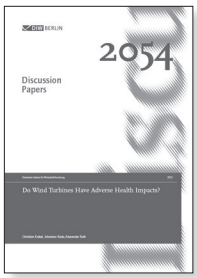
SOEP Papers Nr. 1196
2023 | Michael Fritsch, Alina Sorgner, Michael Wyrwich

Are Senior Entrepreneurs Happier than Who? The Role of Income and Health

We propose an extension of the standard occupational choice model to analyze the life satisfaction of senior entrepreneurs as compared to paid employees and particularly retirees in Germany. The analysis identifies income and health status as main factors that shape the relationship between occupational status and life satisfaction. Senior entrepreneurs enjoy higher levels of life satisfaction than retirees and senior paid employees. This higher life satisfaction is mainly due to their higher income. Physical and mental health play a crucial role in determining both an individual's occupational status and their overall life satisfaction. We find that senior self-employed report to be healthier compared to other groups of elderly individuals. However, when controlling for health, retirees exhibit an even higher level of life satisfaction compared to their self-employed counterparts. Heterogeneity analysis of various types of senior entrepreneurs and senior paid employees confirms this general pattern. In addition, we find some evidence indicating that senior entrepreneurs may compromise their leisure time, a main asset of retired individuals. Implications for research, policy, and practitioners are discussed.

www.diw.de/publikationen/soeppapers

Discussion Papers Nr. 2054
2023 | Christian Krekel, Johannes Rode, Alexander Roth

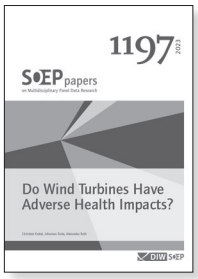


Do Wind Turbines Have Adverse Health Impacts?

While wind power is considered key in the transition towards net zero, there are concerns about adverse health impacts on nearby residents. Based on precise geographical coordinates, we link a representative longitudinal household panel to all wind turbines in Germany and exploit their staggered rollout over two decades for identification. We do not find evidence of negative effects on general, mental, or physical health in the 12-Item Short Form Survey (SF- 12), nor on self-assessed health or doctor visits. We also do not find evidence for effects on suicides, an extreme measure of negative mental health outcomes, at the county level.

www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere

SOEP Papers Nr. 1197
2023 | Christian Krekel, Johannes Rode, Alexander Roth

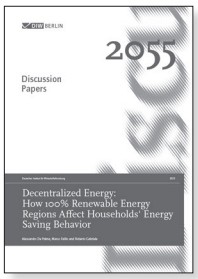


Do Wind Turbines Have Adverse Health Impacts?

While wind power is considered key in the transition towards net zero, there are concerns about adverse health impacts on nearby residents. Based on precise geographical coordinates, we link a representative longitudinal household panel to all wind turbines in Germany and exploit their staggered rollout over two decades for identification. We do not find evidence of negative effects on general, mental, or physical health in the 12-Item Short Form Survey (SF-12), nor on self-assessed health or doctor visits. We also do not find evidence for effects on suicides, an extreme measure of negative mental health outcomes, at the county level.

www.diw.de/publikationen/soeppapers

Discussion Papers Nr. 2055
2023 | Alessandro De Palma, Marco Faillo, Roberto Gabriele

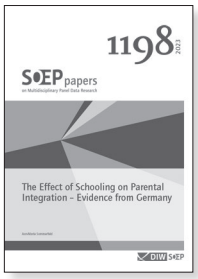


Decentralized Energy: How 100% Renewable Energy Regions Affect Households' Saving Behavior

This paper focuses on decentralized energy in Germany and how households' environmental behavior in terms of energy consumption is shaped in these contexts. It sets out to gain a more precise understanding of whether decentralized energy initiatives are a good tool to promote the adoption of renewable energies and engagement in other sustainable behaviors to mitigate global warming. This study would be one of the first to investigate the effect of living in 100% Renewable Energy Regions, i.e., regions committed to achieving the status of 100% renewable, on households' behavior using a large-scale dataset, with a quasi-experimental setting. The analysis, indeed, combines micro-level data from the German Socio-Economic Panel (SOEP) with information on the Landkreis (districts) that took part in a regional energy project aimed at supporting regions to achieve 100% neutrality of energy production: Project 100% Erneuerbare-Energie-Regionen (100ee-Region). The findings show that German households living in these districts have considerably increased their energy consumption through the years with respect to untreated households. Moreover, results report that the adoption of renewable energies mediates the effect of the treatment on energy usage, outlining a concave parabolic relationship between the mediator and the outcome. These findings, based on real-world evidence, provide powerful information that should be considered by policymakers when promoting the decentralization of energy. Moreover, this study fits into the literature on the determinants of pro-environmental behavior, showing that contextual factors are crucial drivers of it.

www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere

SOEP Papers Nr. 1198
2023 | Ann-Marie Sommerfeld

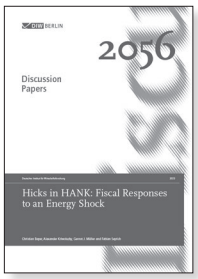


The Effect of Schooling on Parental Integration: Evidence from Germany

Exploiting the age-at-enrollment policies in 16 German states as exogenous source of variation, I examine whether the schooling of the oldest child in a migrant household affects parents' integration. My analysis links administrative records on primary school enrollment cutoff dates with micro data from the German Socioeconomic Panel (GSOEP). Using a regression discontinuity design around the school enrollment cutoff and an instrumental variable approach I show that children's schooling improves the integration of parents along several dimensions, such as labor market outcomes, financial worries, and German language skills. Labor market outcomes are most positively affected for mothers. Additional analysis of underlying mechanisms suggests that results are driven by gains in disposable time and exposure to the German language and culture.

www.diw.de/publikationen/soeppapers

Discussion Papers Nr. 2056
2023 | Christian Bayer, Alexander Kriwoluzky, Gernot J. Müller, Fabian Seyrich



Hicks in HANK: Fiscal Responses to an Energy Shock

The distributional and disruptive effects of energy supply shocks are potentially large. We study the effectiveness of alternative fiscal responses in a two-country HANK model that we calibrate to the euro area. Energy subsidies can stabilize the domestic economy, but are fiscally costly and generate adverse spillovers to the rest of the monetary union: What the subsidizing country gains, the other countries lose. Transfers based on historical energy consumption in the form of a Hicks/Slutsky compensation are less effective domestically as subsidies but do not harm economic activity abroad. In addition, transfers increase welfare at Home while subsidies reduce welfare.

www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere

MARCEL FRATZSCHER

Zeit, sich endlich der historischen Verantwortung zu stellen

Marcel Fratzscher ist Präsident des DIW Berlin.
Der Kommentar gibt die Meinung des Autors wieder.

Der Weltklimagipfel in Dubai wird nicht nur darüber entscheiden, ob wir das 1,5-Grad-Ziel erreichen können, sondern auch darüber, wie gerecht wir leben wollen. Der Vorstoß Deutschlands und der gastgebenden Vereinigten Arabischen Emirate, in den Fonds für den Ausgleich von Klimaschäden einzuzahlen, lässt hoffen, dass die richtigen Impulse von dieser Konferenz ausgehen. Unbestritten ist, dass die wohlhabenden Industrieländer eine deutlich größere Verantwortung für den Klimawandel tragen als der globale Süden – und zwar nicht nur für unser heutiges Handeln. Ein zentraler Grund für unseren großen Wohlstand ist, dass unsere Vorfahren die industrielle Revolution vorantrieben und neue Technologien entwickelten, die die Grundlagen unseres heutigen Wohlstands bilden. Dies bedeutet, dass mehr als 80 Prozent der CO_2-Emissionen in der Atmosphäre heute von unseren Vorfahren stammen.

Natürlich haben auch die Menschen im globalen Süden von den technologischen Neuerungen profitiert, beispielsweise in der Medizin oder der Digitalisierung. Häufig basieren diese auf dem Einsatz natürlicher Ressourcen, die in den Ländern des globalen Südens abgebaut und in den Industrieländern genutzt werden. Aber die Menschen in Afrika und Asien sind auch die größten Opfer des Klimawandels und der Umweltzerstörung. Diese entziehen den Menschen die Lebensgrundlage für die Landwirtschaft oder Fischerei, führen zu Wassermangel, Überschwemmungen und enormer gesundheitlicher Belastung, lösen viele Konflikte aus und zwingen immer häufiger Menschen, ihre Heimat zu verlassen.

Die Ausweitung der Verantwortung auf die historische Dimension, lässt sie noch ungleich schwerer wiegen. Umso wichtiger ist, dass der globale Norden als Hauptverantwortlicher des Klimawandels nachdrücklich die richtigen Weichen auf dem Weltklimagipfel stellt.

Zum einen müssen die Industrieländer ihren Fußabdruck für Klima und Umwelt massiv reduzieren. Es ist nicht damit getan, mit dem Finger auf China als dem gegenwärtig größten CO_2-Emittenten zu zeigen. Damit wird das Argument entkräftet, Deutschland würde gegenwärtig ja nur einen Bruchteil der globalen Emissionen verursachen. Historisch gesehen liegen wir im weltweiten Vergleich auf Platz sechs. Tatsache ist, dass Deutschland und wir Deutschen schon heute viel mehr des Klimabudgets verbraucht haben, als uns zusteht.

Als Zweites bedeutet dies eine Verpflichtung, dass die historisch größten Gewinner und Nutznießer des Ressourcenverbrauchs die größten Verlierer kompensieren. Erst jetzt auf der Weltklimakonferenz in Dubai leisten Deutschland und die Vereinigten Arabischen Emirate erste Zahlungen von 200 Millionen Dollar, damit der schon auf den Vorläufer-Konferenzen beschlossene Loss-and-Damage-Fonds starten kann. Aber immer noch fließt vor allem in den Industrieländern viel Geld an einheimische Unternehmen, um beispielsweise die gestiegenen Kosten für fossile Energieträger zu kompensieren.

Als Drittes gibt es nicht nur zwischen den Ländern Gewinner und Verlierer. Auch innerhalb von Gesellschaften profitieren in der Regel einige wenige von der Nutzung natürlicher Ressourcen. So hat die britische Zeitschrift The Economist gezeigt, dass in vielen Ländern mehr als ein Drittel des Vermögens der Milliardär*innen auf Monopole oder einen privaten Zugriff auf natürliche Ressourcen, vor allem fossile Energie, zurückzuführen ist. Dies gilt nicht nur für autokratische Länder wie Russland, sondern in einem gewissen Maße auch für westliche Demokratien. Und auch in unseren westlichen Demokratien leiden immer mehr Menschen unter dem Klimawandel und müssten die am stärksten belasteten Menschen durch die Gewinner kompensiert werden.

Noch werden die Regierungen der Industrieländer ihrer historischen Verantwortung nicht gerecht. Sie reduzieren weder ausreichend ihre Emissionen, noch zahlen sie eine angemessene Kompensation für die Länder des globalen Südens oder kompensieren die Verlierer innerhalb ihrer eigenen Gesellschaft. Es wird Zeit, sich der Verantwortung zu stellen!

Der Beitrag ist in einer längeren Fassung am 1. Dezember bei Zeit Online erschienen.

DOI: https://doi.org/10.18723/diw_wb:2023-49-3