

Kurzpapier des eaD

Wasserstoff ist ein wichtiger Baustein der Energiewende – aber leider nicht im Gebäudesektor

Klimaneutral hergestellter Wasserstoff kann ein wichtiger Baustein der Energiewende sein. Über die Möglichkeiten und Chancen, Wasserstoff auch im Gebäudesektor einzusetzen, wird aktuell auch vor dem Hintergrund der kommunalen Wärmeplanung stark diskutiert. Für die nach dem GEG zum **Einsatz von 65% erneuerbarer Energie bei der Wärmeversorgung** verpflichteten Hausbesitzer:innen ist dabei wesentlich, ob sie sich individuell um eine **Alternative zur Gas- oder Ölheizung** kümmern müssen, oder auf eine **zentrale Versorgung durch ein Wärmenetz** hoffen bzw. sogar mit einem Weiterbetrieb der Gastherme rechnen können, wenn das Gasnetz sukzessive klimaneutrales Biogas oder Wasserstoff enthält. Die Kommunen fühlen sich berechtigterweise verpflichtet, realistische Perspektiven für solche zentralen Lösungen in den **kommunalen Wärmeplänen** aufzuzeigen.

Bei der Diskussion wird jedoch oft allein einseitig auf den Austausch von Heizsystemen bei der kommunalen Wärmeplanung fokussiert und der wichtige Aspekt, dass die **energetische Gebäudesanierung ein essenzieller Baustein** für unsere zukünftige wirtschaftliche Wärmeversorgung und zum Erreichen der Klimaschutzziele ist, überdeckt. Denn **Energieeinsparung** und der **effiziente Umgang mit Energie** gemäß dem Motto „**Efficiency first!**“ müssen bei allen Bemühungen die allerersten Ansatzpunkte sein. Erneuerbare Energien und Energieeffizienz gehen nur Hand in Hand. Das zeigen alle umfassenden Szenarien für einen klimaneutralen Gebäudebestand. Durch **Kampagnen der Energie- und Klimaschutzagenturen** zur Sanierung wird über den Nutzen und die **Wirtschaftlichkeit** solcher Maßnahmen aufgeklärt, bei der **Planung** durch **Beratung** geholfen und Wege aufgezeigt, dass nicht nur die Vollsanierung, sondern auch ein **schrittweises Vorgehen** für viele machbar und lohnend ist. **Energieeffizienz** muss daher **als zentrale Säule für die Umsetzung der Wärmewende** adressiert und durch entsprechende Maßnahmen unterstützt werden. Denn in Deutschland fallen rund 85 Prozent der Wohngebäude in die Effizienzklasse C oder schlechter. Sie sind nicht auf Klimakurs und verursachen hohe Energierechnungen. **Eine ordentliche energetische Modernisierung kann den Energieverbrauch um bis zu 80 Prozent senken** (<https://energieagenturen.de/wp-content/uploads/2023/04/230413-thesen-waermewende-gebaeudeallianz-2023.pdf>).

Als eaD sind wir **für den Einsatz neuer Technologien offen**. Das darf aber im Resultat nicht dazu führen, dass unter dem Schlagwort „Technologiefreundlichkeit“ vereinzelt Wasserstoff und Green Fuels als potenzielle zukünftige Energieträger für die Wohnraumbeheizung (und die Mobilität) propagiert werden. Dadurch entsteht die **Vorstellung, dass es mit Gasheizungen und auch Ölheizungen unverändert weitergehen könne**. Damit werden viele Hauseigentümer:innen verunsichert und von der Sanierung und einem schnellen Umstieg auf erneuerbare Energien abgehalten. Die **Energiewende wird dadurch verzögert**. Sowohl Kommunen und Stadtwerke als auch die Hauseigentümer:innen laufen in die Falle von mangelnder Verfügbarkeit und hohen Kosten. Dabei wird die Unsicherheit darüber, dass diese Energieträger nicht in ausreichendem Umfang verfügbar sein könnten, zumeist verschwiegen.

Es gibt einen **Grundkonsens in der Wissenschaft**, dass **Wasserstoff für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors** aufgrund der marginalen Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff **nur eine geringe Bedeutung** haben wird. Der eaD hat in diesem Kurzpapier wesentliche vorhandene Erkenntnisse und Positionierungen ausgewertet und kommt zu folgenden **4 Kernaussagen**:

1. **Wasserstoff wird in der Wärmeversorgung nur in sehr begrenztem Umfang eine Rolle spielen können.**
2. **Eine wirtschaftliche Wärmeversorgung mit Wasserstoff ist aktuell sehr fraglich.**
3. **Erdgas ist u. a. aufgrund steigender CO₂-Kosten dauerhaft keine Alternative.**
4. **Erstellung von kommunalen Wärmeplänen muss interessensfrei erfolgen.**

Kurzdarstellung eaD: Der Bundesverband der Energie- und Klimaschutzagenturen Deutschlands (eaD) e. V. ist die gemeinsame Interessenvertretung der regionalen und kommunalen Energie- und Klimaschutzagenturen in Deutschland. Mit den Aktivitäten seiner Mitglieder unterstützt der eaD den nationalen Beitrag zu einer klimaverträglichen und energiegerechten Welt unter Wahrung der Prinzipien der Nachhaltigkeit und setzt sich nahezu im gesamten Bundesgebiet dafür ein, die Energiewende weiter voranzubringen. Die Mitgliedsagenturen des eaD sind hierbei auf vielen verschiedenen Wegen aktiv.

Zu den Punkten im Einzelnen:

1. **Wasserstoff wird in der Wärmeversorgung nur in sehr begrenztem Umfang eine Rolle spielen können.**

Die Auswertung der vorhandenen Studien (siehe Quellen im Anhang) zeigt, dass der Ausbau der regenerativen Stromerzeugeranlagen in Deutschland für die **Produktion von 100 bis 251 TWh grünem Wasserstoff im Jahr 2045** ausreicht. Dem gegenüber steht ein **prognostizierter Bedarf von 400 bis 800 TWh**. Dementsprechend gehen alle hier einbezogenen Studien und auch die Bundesregierung davon aus, dass ein **Großteil des Wasserstoffs importiert** werden muss. In der Nationalen Wasserstoffstrategie geht man davon aus, dass bereits im Jahr 2030, 50 bis 70 % des Wasserstoffs importiert wird und es in den Folgejahren zu weiteren Steigerungen kommt. Auch fehlt bisher noch eine fundierte Importstrategie für Wasserstoff.

In der Wärmeversorgung besitzt Wasserstoff laut der ausgewerteten Studien lediglich **eine Nebenrolle**. Dies wird vorwiegend dadurch begründet, dass Wasserstoffheiztechnologien im Vergleich zu anderen Lösungen wie bspw. Wärmepumpen eine **weitaus schlechtere Effizienz** aufweisen. Darüber hinaus zeigen Studien, dass sie im Vergleich zu bereits heute verfügbaren Alternativen auch **wirtschaftlich unattraktiv** sind. Insbesondere im Bereich der dezentralen Wärmeerzeugung wird für Wasserstoff deshalb eine Nischenrolle gesehen. Wenn überhaupt, dann kann die **Abwärme aus der wasserstoffbasierten Stromerzeugung** und auch aus der Wasserstoffproduktion in der zentralen Wärmeerzeugung genutzt werden und somit auch in der Dekarbonisierung von Wärmenetzen Verwendung finden. Aber auch diese Mengen sind im Vergleich aufgrund der perspektivisch kurzen Laufzeiten dieser Anlagen als gering anzusehen.

Aufgrund der hohen Unsicherheiten darüber, ob künftig ausreichend Wasserstoff in Deutschland zur Verfügung gestellt und zu einem konkurrenzfähigen Preis angeboten werden kann, sollte bei der kommunalen Wärmeplanung vorsichtig mit dem Versprechen umgegangen werden, dass künftig Wasserstoffnetze die Wärmeversorgung sicherstellen können. **Private Hausbesitzende müssen sich auf die Planungen verlassen können**, da sie ihre privaten Investitionsentscheidungen daran ausrichten und die gesetzlichen Regelungen mit dem erhöhten Anteil erneuerbarer Energien auch dann einhalten müssen, wenn ein geplantes Wasserstoffnetz nicht realisiert werden kann. Immobilienbesitzende sollten reflektieren, dass

der Einsatz von grünem Wasserstoff als Erdgasersatz keine Steigerung der Energieeffizienz mit sich bringen würde und mit höheren Betriebskosten als beim Einsatz alternativer Heiztechnologien (wie Wärmepumpen in Kombination mit Solarenergie) zu rechnen ist.

Bestätigt wird diese Einschätzung durch folgendes Zielbild, welches in der Nationalen Wasserstoffstrategie 2023 für Wasserstoffanwendungen im Jahr 2030 formuliert wurde [17, S. 19]: *»Zielbild 2030: Der Einsatzbereich von Wasserstoff und seiner Derivate wird bis 2030 nach heutigem Kenntnisstand insbesondere im Industriesektor liegen, z. B. in der Chemie- und Stahlindustrie, sowie im Verkehr zur Nutzung in der Brennstoffzelle oder als erneuerbarer Kraftstoff. Im Wärmebereich wird bis 2030 keine breite Anwendung gesehen ...«*. Auch das Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie der Bundesregierung [43] hat den gleichen Tenor: *"Keine Rolle von Wasserstoff im Gebäudesektor bis 2030, danach nachrangig. Der breite Einsatz von Wasserstoff im Wärmemarkt würde die Erreichbarkeit bestehender Einsparziele für Primärenergie aufgrund der sehr hohen Strombedarfs in weite Ferne rücken. Daher bedarf es eindeutiger Regelungen im Ordnungsrecht, welche die unzureichende primärenergetische Effizienz von Wasserstoff berücksichtigen und seinen Einsatz in Gebäuden ausschließen."*

2. Eine wirtschaftliche Wärmeversorgung mit Wasserstoff ist aktuell sehr fraglich.

Eine Studie der Boston Consulting Group erwartet ab 2030 Herstellungskosten von fünf bis acht Euro pro Kilogramm Wasserstoff. Bei 33 Kilowattstunden pro Kilogramm sind das **15 bis 24 Cent pro Kilowattstunde**. Für den Endkunden müssen noch Netzkosten, Handelsspannen und Steuern eingerechnet werden. Und selbst bei langfristig niedrigen Preisen von 2-3 Euro pro Kilogramm ist die mit der Energiemenge des Wasserstoffs erzeugte Wärme immer noch teuer als die durch Strom für eine Wärmepumpe erzeugte Wärme, da Wärmepumpen mindestens ein Viertel weniger Energie zur Herstellung der gleichen Menge Wärme benötigen. **Damit wird es auch in Altbauten sehr wahrscheinlich wirtschaftlicher sein, mit einer Wärmepumpe zu heizen.**

3. Erdgas ist u. a. aufgrund steigender CO₂-Kosten dauerhaft keine Alternative.

Erdgas ist ein fossiler Energieträger, der aktuell für die Beheizung von rund der Hälfte der bundesdeutschen Wohnungen eingesetzt wird. Um die beschlossenen Klimaschutzziele zu erreichen, ist ein schneller Ausstieg bis spätestens 2045 aus

allen fossilen Energien und damit auch aus Erdgas notwendig. Deshalb wurde die **CO₂-Bepreisung** eingeführt, die in Zukunft die Nutzung von Erdgas verteuern wird. Durch die gesetzlichen Vorgaben muss zusätzlich der **Anteil grüner Gase im Erdgasnetz** schrittweise erhöht werden. Auch dies wird die Kosten steigen lassen. Zudem ist damit zu rechnen, dass die **Kosten für den Betrieb des Erdgasverteilnetzes** und der gesamten Infrastruktur in den nächsten Jahren auf immer weniger Haushalte verteilt werden, wenn parallel immer mehr Hauseigentümer:innen auf Wärmepumpen, Wärmenetze oder andere erneuerbare Energieträger umsteigen.

Außerdem muss betont werden, dass die **volkswirtschaftlichen Kosten** aber auch die Kosten für den Einzelnen klar höher sind, wenn **parallele Infrastrukturen wie Stromnetz, Wasserstoffnetz und Wärmenetze** ausgebaut und betrieben werden müssen.

4. Erstellung von kommunalen Wärmeplänen muss interessensfrei erfolgen.

Aktuell ist zu beobachten, dass Gasverteilnetzbetreiber und Erdgasanbieter in großem Stil Wasserstoffnetze für die Zukunft auch zur Gebäudeheizung propagieren, um so ihre Kunden möglichst lange beim Erdgas zu halten. Dabei werden teilweise, mit durch den übrigen Geschäftsbetrieb **subventionierten Preisen**, in großem Stil kommunale Wärmepläne angeboten.

Um eine qualitativ **hochwertige**, nicht interessengesteuerte **kommunale Wärmeplanung** sicherzustellen, sollten daher **ausschließlich unabhängige Unternehmen, Berater oder Institute für die Erstellung kommunaler Wärmepläne** beauftragt werden, die sich ausschließlich vom Stand der Wissenschaft und von den lokalen und regionalen Rahmenbedingungen leiten lassen und **kein wirtschaftliches Interesse mit der Umsetzung von Maßnahmen**, beispielsweise von Wasserstoffgebieten oder Wärmenetzen, verbinden.

Kommunen ist zu raten, bei der Erstellung von Wärmeplanungen unabhängige Expertise heranzuziehen.

Schlussfolgerungen:

- Energieeinspar- und Effizienzmaßnahmen müssen bei allen Bemühungen die allerersten Ansatzpunkte sein und als zentrale Bausteine in der Wärmewende verankert und unterstützt werden.
- Die Energiewende darf durch das Warten auf eine mögliche Zukunftslösung nicht ausgebremst werden.
- Private Hausbesitzende müssen sich auf die Planungen verlassen können, da sie ihre privaten Investitionsentscheidungen daran ausrichten und die gesetzlichen Regelungen mit dem erhöhten Anteil erneuerbarer Energien auch dann einhalten müssen, wenn ein geplantes Wasserstoffnetz nicht realisiert werden kann.
- Bundesregierung und Landesregierungen müssen für Transparenz sorgen und in ihren Ausführungsbestimmungen sicherstellen, dass kommunale Wärmepläne nur durch unabhängige Beratungsunternehmen erstellt werden dürfen, um so eine interessengesteuerte Wärmeplanung zu verhindern.
- Kommunen ist zu raten, bei der Erstellung von Wärmeplanungen unabhängige Expertise heranzuziehen.
- Die Arbeit der Energie- und Klimaschutzagenturen in Deutschland muss daher noch deutlich verstärkt und intensiviert werden. Die politischen Entscheidungsträger werden aufgerufen, dafür die Finanzierung sicherzustellen.

Quellen:

- [1] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_12-2022_kurzgutachten_kommunale_waermeplanung.pdf
- [2] https://www.statistik.bayern.de/produkte/statistik_kommunal/index.html
- [3] S. Schmidt, S. von Roon, Q. Strobel: Abschlussbericht zum Projekt: HyPipe Bavaria – H2-Cluster Ingolstadt (2023), FfE-Nummer: Bayernets-02 https://www.bayernets.de/fileadmin/Dokumente/HyPipe_Bavaria/Abschlussbericht_HyPipe_Bavaria_H2Cluster_Ingolstadt.pdf - aufgerufen am 15.12.2023
- [4] Fraunhofer ISE Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf - aufgerufen am 17.12.2023
- [5] L. Jensen-Lampiri: Wasserstoff: Weit mehr als ein Ersatztreibstoff, 11.12.2020 <https://nachrichten.idw-online.de/2020/12/11/wasserstoff-weit-mehr-als-ein-ersatztreibstoff> - aufgerufen am 10.01.2024
- [6] M. Riemer, J. Wachsmuth, B. Pflüger, S. Oberle Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI und Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und. Herausgeber Umweltbundesamt, veröffentlicht am 30. November 2022. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/uba_welche_treibhausgasemissionen_verursacht_die_wasserstoffproduktion.pdf - aufgerufen am 10.01.2024
- [7] Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf - aufgerufen am 26.04.2022
- [8] KLIMAPFADE 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft, herausgegeben durch den Bundesverband der Deutschen Industrie, Boston Consulting Group, 10/21/2021, <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-2-0-ein-wirtschaftsprogramm-fuer-klima-und-zukunft/> - aufgerufen am 03.07.2023

- [9] Abschlussbericht dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutral, Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (dena,2021), „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität“, Stand 10/2021, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf - aufgerufen am 03.07.2023
- [10] Ariadne-Report - Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich, Kopernikus Ariadne Projekt, Herausgegeben von Kopernikus-Projekt Ariadne Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) Telegrafenberg A 31 14473 Potsdam, Oktober 2021, DOI: 10.48485/pik.2021.006, https://www.fona.de/m Medien/pdf/2021_10_Szenarienreport_Oktober2021.pdf - aufgerufen am 03.07.2023
- [11] Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3 - Kurzbericht: 3 Hauptszenarien, 05/2021, Auftraggeber Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), beteiligte Institute, Consentec GmbH, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Technische Universität Berlin, veröffentlicht Mai 2021, https://ariadneprojekt.de/media/2022/02/Ariadne_Szenarienreport_Oktober2021_corr0222.pdf - aufgerufen am 03.07.2023
- [12] Julian Brandes, Markus Haun, Daniel Wrede, Patrick Jürgens, Christoph Kost, Hans-Martin Henning, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, November 2021, Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem - Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen Update November 2021: Klimaneutralität 2045 <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update-Klimaneutralitaet-2045.pdf> - abgerufen am 09.10.2023
- [13] Ist Wasserstoff treibhausgasneutral? Umweltbundesamt, 30. November 2022, Stand des Wissens in Bezug auf diffuse Wasserstoffemissionen und ihre Treibhauswirkung. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/uba_ist_wasserstoff_treibhausgasneutral.pdf - aufgerufen am 19.02.2024
- [14] Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie – NWS2023, Herausgeber Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Stand Juli 2023, https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230726-fortschreibung-nws.pdf?__blob=publicationFile&v=1 – aufgerufen am 15.02.2024
- [21] Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa, #EUGreenDeal, 08. Juli 2020, Europäische Kommission https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/865951/EU_Hydrogen_Strategy_DE.pdf.pdf - aufgerufen am 28.02.2024
- [15] Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023), Ausfertigungsdatum 21.07.2014, Stand 04.01.2023 | Nr. 6, https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/ - aufgerufen am 09.03.2023
- [16] Gesetz zur Entwicklung und Förderung der Windenergie auf See (Windenergie-auf-See-Gesetz - WindSeeG), Ausfertigungsdatum 13.10.2016, letzte Änderung 22.03.2023 | Nr. 88, <https://www.gesetze-im-internet.de/windseeg/Wind-SeeG.pdf> - aufgerufen am 22.02.2024
- [17] Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045, Version 2023, 2. Entwurf, erstellt durch 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH, https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-07/NEP_2037_2045_V2023_2_Entwurf_Teil1_1.pdf - aufgerufen am 22.02.2024
- [18] Bundesministerium für Bildung und Forschung, FAQ: Wissenswertes zu Wasserstoff, Wieviel Energie steckt in einer Tonne Wasserstoff?, Quelle: Linde Gas, Stromspiegel © Projektträger Jülich im Auftrag des BMBF https://www.bmbf.de/bmbf/_shareddocs/kurzmeldungen/de/wissenswertes-zu-gruenem-wasserstoff.html - aufgerufen am 22.02.2024
- [19] Wietschel, M.; Zheng, L.; Arens, M.; Hebling, C.; Ranzmeyer, O.; Schaadt, A.; Hank, C.; Sternberg, A.; Herkel, S.; Kost, C.; Ragwitz, M.; Herrmann, U.; Pflüger, B. (2021): Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Karlsruhe, Freiburg, Cottbus: Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IEG (Hrsg.), file:///C:/Users/marti/Downloads/Metastudie_Wasserstoff.pdf - aufgerufen am 24.02.2024
- [20] Meyer, R.; Herkel, S.; Kost C. September 2021: Die Rolle von Wasserstoff im Gebäudesektor: Vergleich technischer Möglichkeiten und Kosten defossilisierter Optionen der Wärmeerzeugung. Studie im Rahmen der Kopernikus Ariadne Projekte – Dir Zukunft unserer Energie, herausgegeben durch das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK); <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/4f682b27-93cd-4195-adf9-a9bd4edefdd8/content> - aufgerufen am 27.02.2024
- [22] Bundesministerium für Bildung und Forschung, Welche Projekte für die internationale Wasserstoff-Kooperation fördert das BMBF?, 26.07.2023, https://www.bmbf.de/bmbf/_shareddocs/kurzmeldungen/de/woher-soll-der-gruene-wasserstoff-kommen.html - aufgerufen am 15.02.2024
- [23] Kirchm D.; Kittel M.; Schill W.; Kemdert C.: Nationale Wasserstoffstrategie konsequent und mit klarem Fokus umsetzen; DIW Wochenbericht Nr. 41/2023, https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.882337.de/23-41-1.pdf – aufgerufen am 28.02.2024
- [24] So schnell kommt der Ausbau von Wind und Solar voran Quelle: Bundesnetzagentur. Zuletzt aktualisiert: 1. März. <https://www.zeit.de/wirtschaft/energiemonitor-strompreis-gaspreis-erneuerbare-energien-ausbau> - abgerufen am 01.03.2024
- [25] Brennstoffzelle: Strom und Wärme maximal effizient. Volle Energie für das moderne Zuhause, Initiative Brennstoffzelle <https://gas.info/fileadmin/Public/PDF-Download/Brennstoffzelle-Waermeerzeugung.pdf> - aufgerufen am 01.03.2024
- [26] DEStatis, Haushalte und Familien, Haushalte und Haushaltsmitglieder, nach Haushaltsgröße und Gebietsstand im Jahr 2022 <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/Tabellen/1-1-privat-haushalte-haushaltsmitglieder.html> - aufgerufen am 01.03.2024
- [27] Regierungsbezirk Schwaben 09 7 - Eine Auswahl wichtiger statistischer Daten Statistik kommunal 2020, Bayerisches Landesamt für Statistik, Herausgegeben im Juni 2021, Bestellnummer Z50021 202000 https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/statistik_kommunal/2020/097.pdf - aufgerufen am 01.03.2024

- [28] Wasserstoff Leitprojekte Grün. Groß. Global, Die Farben des Wasserstoffs, Bundesministerium für Bildung und Forschung, <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/wissenswertes> - aufgerufen am 02.03.2024
- [29] Höchst effiziente auf Ammoniak basierte Systeme zur klimafreundlichen Energieversorgung, Forschung Kompakt Sonderausgabe Hannover Messe Preview 2023 / 15. Februar 2023, Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2023/februar-2023/hoechst-effiziente-auf-ammoniak-basierte-systeme-zur-klimafreundlichen-energieversorgung.html> - aufgerufen am 02.03.2024
- [30] Wietschel M., Weißenburger B., Wachsmuth J. Viktor Paul Müller: Was wissen wir über Importe von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten und was lässt sich daraus für eine deutsche Importstrategie ableiten?, HYPAT Impulspapier, Fraunhofer ISI, Februar 2024, https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2024/HyPAT_Impulspapier_Importstrategie_Wasserstoff.pdf - aufgerufen am 24.03.2024
- [31] IRENA (2022), Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal: Part I – Trade outlook for 2050 and way forward, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ISBN: 978-92-9260-430-1, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Global_hydrogen_trade_part_1_2022.pdf - aufgerufen am 24.03.2024
- [32] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: WASSERSTOFF Schlüssel für das Gelingen der Energiewende in allen Sektoren, 01. Juli 2021, - <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/wasserstoff-schluesel-energie-wende-sektoren-dvgw-factsheet.pdf> - aufgerufen am 05.04.2024
- [33] Gatzen C., Reger M.: Verfügbarkeit und Kostenvergleich von Wasserstoff – Merit Order für klimafreundliche Gase in 2030 und 2045, Herausgeber Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Ersteller, Frontier Economics Limited, Februar 2022 <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g202116-1-dvgw-verfuegbarkeit-kostenvergleich-h2.pdf> - aufgerufen am 06.04.2024
- [34] Wallach O.: Race to Net Zero – Carbon Neutral Goals by Country, presented by motive power, visual capitalist Updated September 18, 2023, <https://www.visualcapitalist.com/sp/race-to-net-zero-carbon-neutral-goals-by-country/> - aufgerufen am 06.04.2024
- [35] Howarth R. W., Jacobson M. Z.: How green is blue hydrogen?, Department of Ecology & Evolutionary Biology, Cornell University, Ithaca, New York, USA, Department of Civil & Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, California, USA, DOI: 10.1002/ese3.956, Received: 28 April 2021 | Revised: 16 July 2021 | Accepted: 26 July 2021, Energy Science & Engineering, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ese3.956> - aufgerufen am 07.04.2024
- [36] Pietzcker R. C., Stetter D., Manger S., Luderer G.: Using the sun to decarbonize the power sector: the economic potential of photovoltaics and concentrating solar power, Potsdam Institute for Climate Impact Research, 14412 Potsdam, Germany, DLR- German Aerospace Center, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Germany, Technical University Berlin, Germany, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261914008149> - aufgerufen am 07.04.2024
- [37] Bosch J. Staffell J., Hawkes A. D.: Temporally explicit and spatially resolved global offshore wind energy potentials, Grantham Institute, Climate Change and the Environment, London, SW7 2AZ, UK, Department of Chemical Engineering, Imperial College London, London, SW7 2AZ, UK, Centre for Environmental Policy, Imperial College London, London, SW7 1NE, UK, Received 2 July 2018, Received in revised form, 3 August 2018, Accepted 20 August 2018, Available online 23 August 2018, https://www.researchgate.net/publication/327191002_Temporally_explicit_and_spatially_resolved_global_offshore_wind_energy_potentials - aufgerufen am 07.04.2024
- [38] Bosch J. Staffell J., Hawkes A. D.: Global levelised cost of electricity from offshore wind, Grantham Institute – Climate Change and the Environment, London, UK, SW7 2AZb Department of Chemical Engineering, Imperial College, London, London, UK, SW7 2AZ, c Centre for Environmental Policy, Imperial College London, London, UK, SW7 1NE, Published in Energy, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116357>, October 2019, https://www.researchgate.net/publication/336556100_Global_levelised_cost_of_electricity_from_offshore_wind - aufgerufen am 07.04.2024
- [39] Odenweller A., George J. F., Müller V. P., Verpoort P., Gast L. Pfluger B., Ueckerdt F.: Wasserstoff und die Energiekrise: fünf Knackpunkte, Ariadne-Analyse, Herausgegeben von Kopernikus-Projekt Ariadne Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), September 2022, https://ariadneprojekt.de/media/_/2022/09/Ariadne-Analyse_Wasserstoff-Energie-krise_September2022.pdf - aufgerufen am 07.04.2024
- [40] Pfennig M., von Bonin M., Gerhardt N.: PtX-Atlas: Weltweite Potenziale für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und klimaneutralen synthetischen Kraft- und Brennstoffen, Teilbericht im Rahmen des Projektes: DeV-KopSys, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik, Veröffentlichung im Mai 2021 https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Veroeffentlichungen/FraunhoferIEE-PtX-Atlas_Hintergrundpapier_final.pdf - aufgerufen am 06.03.2024
- [41] Global PtX Atlas: Projektpartner: Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE Universität Kassel, Projektleitung: Pfennig M., Szenarien und Systemmodellierung <https://devkopsys.de/ptx-atlas/> - aufgerufen am 06.03.2024
- [42] energieatlas-bw: Solarpotenzial auf Dachflächen, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2021): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2020 – Erste Abschätzung, Stand April 2021 <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflächen/solarpotenzial-auf-dachflächen> - aufgerufen am 16.04.2024
- [43] Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045 (GSK 2045) (Publikation am 7.3.2023): <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/gebaeudestrategie-klimaneutralitaet-2045.html>