



H₂ im Wärmemarkt

Wasserstoffthermen, Wärmepumpen und Wärmenetze – welche Raumwärmebereitstellung ist für welches System und für welchen Gebäudetypen ökonomisch sinnvoll?

Autoren: Dr.-Ing. Ann-Christin Fleer, Vesna Ivanovska

Der Gebäudesektor in Deutschland steht für 35 % des Endenergieverbrauchs¹ und für 30 % der CO₂-Emissionen². Zur Erreichung eines klimaneutralen Systems spielt die Umstellung dieses Sektors in den kommenden Jahren daher eine wichtige Rolle. Aufgrund des hohen Endenergiebedarfs im Gebäudesektor sowie der heterogenen Ausgangslagen – etwa in Bezug auf Gebäudelage, energetischen Zustand oder unterschiedliche Zeitpunkte der Heizungsmodernisierung – ist es aus systemischer wie ökonomischer Perspektive erforderlich, technologieoffen zu agieren. Neben Maßnahmen zur Energieeffizienz und der fortschreitenden Elektrifizierung (u.a. durch Wärmepumpen) kann der Einsatz von Wasserstoff eine sinnvolle Option für die Wärmeversorgung darstellen, insbesondere zur Dekarbonisierung bestehender städtischer Quartiere oder nur aufwändig sanierbarer Gebäude.

In diesem Whitepaper wird daher die Rolle von Wasserstoff in einem Wärmenetz sowie bei der Versorgung eines Quartiers dargestellt und bewertet. Außerdem werden die Kosten der Raumwärmebereitstellung für unterschiedliche Gebäudetypen durch eine Wärmepumpe und eine Wasserstoffbrennwerttherme berechnet und verglichen.

Key Learnings:

- H₂-basierte Systeme sind ergänzend oder sogar vollständig ökonomisch sinnvoll für die Wärmeerzeugung in einem Wärmenetz, in Abhängigkeit von den Strompreisspannen und -schwankungen.
- Quartierslösungen können durch H₂-Blockheizkraftwerke (BHKWs) und damit einer gleichzeitigen Strom- und Wärmeproduktion doppelt profitieren und haben somit einen entscheidenden Vorteil zu Großwärmepumpen. Im Engpassfall einer lokalen, elektrischen Energieinfrastruktur gilt dies insbesondere.
- Wasserstoffverteilnetze sind die günstigste Option: Im Vergleich mit den notwendigen Neubau- und Verstärkungsmaßnahmen bei Fernwärme- und Strominfrastruktur ist der Aufbau eines H₂-Verteilnetzes unter Einbeziehung bestehender Erdgasnetze mit Abstand die günstigste Option.
- Für bestimmte Gebäudetypen, insbesondere Altbauten, stellt Wasserstoff eine ökonomisch sinnvolle Alternative dar. Für gut gedämmte oder sanierte Gebäudetypen mit niedrigem Gesamtenergiebedarf ist eine Wärmepumpe die wirtschaftlich beste Lösung.

¹ Indikator: Energieverbrauch von Gebäuden, 2025, Umwelt Bundesamt

² 13.3 Direkte Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor, 2021, Die Landesregierung NRW

1 Ausgangslage: Im Jahr 2024 stammte die Endenergie für ca. 82 % der Heizungen aus fossilen Energien

Der deutsche Wärmemarkt ist durch die Dekarbonisierungsziele und durch das Alter der Heizungsanlagen in Bewegung. Die Versorgung privater Haushalte mit Wärme basiert derzeit in Deutschland weiterhin zu ca. 82 % auf den fossilen Energieträgern Gas, Öl und Kohle und muss bis 2045 auf Klimaneutralität umgestellt werden³. Aber nicht nur der Energieträger muss umgestellt werden, auch die Wärmeerzeuger selbst: Bereits 2023 waren hier ein Drittel der installierten Heizungen älter als 20 Jahre und damit der seit 2020 gesetzlich vorgeschriebenen Austauschpflicht nach 30 Jahren.⁴

Durch den Übergang des nationalen Emissionshandels in das europäische Emissionshandelssystem ETS II entsteht zusätzlicher, wirtschaftlicher Druck auf den Wärmesektor – bis 2040, wenn zu Stand 2023 bereits knapp 62 % der Heizungen in Deutschland aufgrund des Betriebsalters ausgetauscht werden müssen, werden durch das cap&trade-Verfahren des europäischen Emissionshandels vermutlich nur noch 29 % der ab 2027 verfügbaren Zertifikate⁵ im Umlauf sein. Es ist daher nicht nur eine „altersbedingte“ Transformation des Wärmesektors, verschiedene Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele durch den Einsatz erneuerbarer Energien transformieren zusätzlich den Wärmesektor in den folgenden Jahren.

Wasserstoff spielt in der Wärmeplanung zur Erfüllung der Quoten für erneuerbare Energien trotz seines technischen Potenzials meist eine untergeordnete Rolle bei dieser Transformation und findet selten Einzug in die kommunale Wärmeplanung. Daher wird im Folgenden betrachtet, unter welchen Rahmenbedingungen Wasserstoff eine ökonomisch sinnvolle Rolle im Wärmesektor spielen kann. Hierfür wurden die Heizkosten von Wärmenetzen, Quartierslösungen sowie mehreren Gebäudetypen (un-/sanierter Mehr-/Einfamilienhäuser, Alt- und Neubau) analysiert.

2 Wasserstoff als Energieträger für Wärmenetze

Zur Versorgung von Wärmenetzen kann eine Großwärmepumpe, ein Wasserstoffblockheizkraftwerk (H₂-BHKW) oder ein H₂-Spitzenlastkessel sowie deren Kombinationen eingesetzt werden. In dieser Untersuchung wurde ein Wärmenetz mit einer Betriebstemperatur von 90 °C (auch 3. Generation genannt) als Beispiel herangezogen.

Die drei untersuchten Technologien werden in Abhängigkeit von der jährlichen Strompreisspanne und der Dauer der Strompreisschwankungen qualitativ in Abbildung 1⁶ dargestellt.

Es stellt sich als vorteilhaft heraus, die Großwärmepumpe mit einer wasserstoffbasierten Heiz-technologie zu kombinieren. Zum einen können Großwärmepumpen durch Wasserstoffspitzenlastkessel ergänzt werden, um bei temporär hohen Strompreisen die Wärmeversorgung zu ergänzen. Zum anderen kann die Energiebereitstellung bei längerfristig hohen Strompreisen durch eine Kombination von H₂-BHKW und Wärmepumpe realisiert werden. In dieser Kombination kann das H₂-BHKW entweder bei hohen Strompreisen direkt die notwendige Wärme erzeugen und den produzierten Strom einspeisen, oder der erzeugte Strom wird direkt durch eine Wärmepumpe genutzt. Beim Einsatz des BHKW-Stroms in der

³ Quelle BDEW-Studie: „Wie heizt Deutschland?“ 2023 - Neuberechnung der Studienergebnisse – siehe „Beim Heizen genutzter Energieträger“. Betrachtet man zusätzlich hier die Fernwärme so steigt der Anteil an fossilen Energieträgern für Wärme/Kälte auf 82 % (Quelle:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme>).

⁴ §72 GEG, Betriebsverbot für Heizkessel, Ölheizungen

⁵https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/09_2024_cc_ets_2_supply_and_demand.pdf

⁶ Evety, WhitePaper Wärme 2025

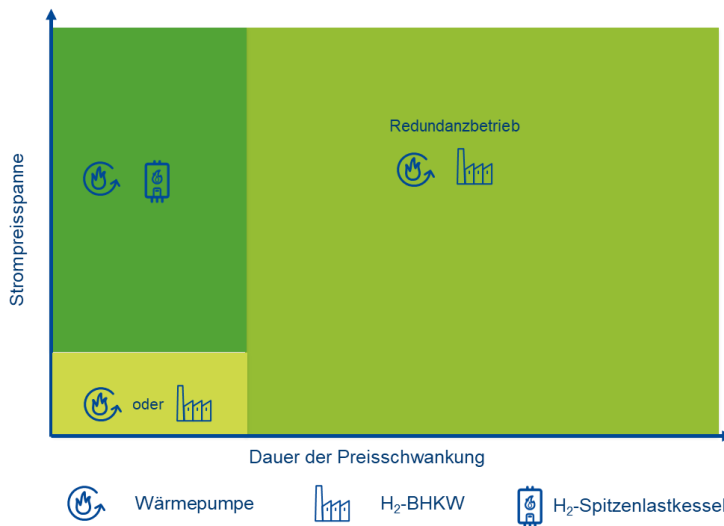


Abbildung 1: Qualitative Darstellung der wirtschaftlich effizientesten Nutzung von Großwärmepumpen und wasserstoffbasierten Heizsystemen in Wärmenetzen.

möglich. Dies basiert insbesondere darauf, dass der Strom direkt vor Ort produziert werden kann und dementsprechend nicht zusätzlich eingekauft werden muss.

Die Umstellung auf eine Wärmepumpe bedingt Stromausbaukosten – bei Nutzung von H₂ können diese Kosten vermieden werden. Dieses Beispiel verdeutlicht auch die Reduktion des Infrastrukturausbaubedarfes, da insbesondere im Fall von ländlich gelegenen öffentlichen Einrichtungen häufig ein Großteil der Energieversorgung durch einen Erdgasanschluss sichergestellt wird. Eine Erweiterung der Stromanschlusskapazitäten verursacht bei einer reinen Elektrifizierung der Wärmeversorgung hohe Kosten. Hierbei ist aber insbesondere die Ausweisung von Wasserstoffnetzgebieten in der kommunalen Wärmeplanung unerlässlich, ohne die eine solche Planung nicht stattfinden kann.

3 Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur benötigt die niedrigsten Investitionskosten pro Kilometer

Neben den reinen Heizkosten sind die Investitionskosten für die notwendige Energieinfrastruktur ein essenzieller Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Wärmewende. Auf Basis aktueller Studien sind die folgenden Kosten für die verschiedenen Energieträger zu erwarten (Abbildung 2):

Stromnetze: Eine Analyse des Instituts für Makroökonomie und Konjunkturforschung beziffert den Investitionsbedarf im Verteilnetz bis 2045 auf 323 Mrd. € für 822.700 km Leitung, was durchschnittlich 400 T€/km entspricht.⁷

Fernwärme: Für den Ausbau der Fernwärmenetze werden laut Technikatalog Wärmeplanung des BMWK die Kosten für Hauptleitungsstränge in innerstädtischen Gebieten auf ca. 1,3 Mio. €/km geschätzt.⁸

Wärmepumpe wird die Effizienz der Wärmebereitstellung durch den hohen Wirkungsgrad der Wärmepumpe gesteigert und gleichzeitig die Auslastung des Stromnetzes aufgrund der gasbasierten Energieversorgung reduziert. Insbesondere letzteres kann an Standorten mit Ausbaubedarfen in der Strominfrastruktur ein entscheidender Vorteil sein.

Quartierslösungen und öffentliche Einrichtungen können mit Wasserstoff versorgt werden

Innerhalb einer Quartierslösung oder für einen großen einzelnen gelegenen Verbraucher, welche Strom und Wärme gleichzeitig nutzen, ist ebenfalls ein wirtschaftlicher Betrieb eines H₂-BHKWs

⁷ Ausbau Stromnetze: Investitionsbedarfe, 2024, IMK Study 97

⁸ Technikatalog Wärmeplanung, 2024, KWW

Wasserstoffverteilnetze: Der flächendeckende Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur erfordert meist keinen Neubau von Leitungen, da eine Umstellung des Erdgasnetzes erfolgen kann. Eine DBI-Kurzanalyse schätzt die Gesamtkosten bis 2045 auf 47 Mrd. €, wobei in dieser Annahme 2/3 der Hausanschlüsse erhalten bleiben. 41,7 Mrd. € entfallen auf reguläre Erneuerungen, die direkt wasserstofftauglich ausgeführt werden können, nur 5,3 Mrd. € auf nicht-reguläre Anpassungen. Letztere fallen unmittelbar vor der Umstellung eines (Teil-)Netzes auf Wasserstoff an. Bezogen auf die Netzlänge von 454.595 km ergeben sich Gesamtkosten von 103.000 €/km, davon 12.000 €/km außerplanmäßig.⁹ Außer durch den studienbasierten Ansatz wurden die Kosten von Verteilnetzbetreibern in städtischen Gebieten bestätigt¹⁰.

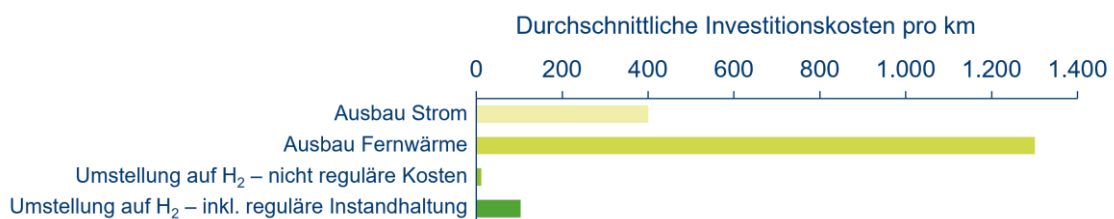


Abbildung 2: Investitionskosten für den Aufbau der Netze der Energieträger Strom, Wärme und Wasserstoff pro Leitungskilometer.

4 Welche Art der Raumwärmeversorgung ist für welchen Gebäudetypen ökonomisch ideal?

In Deutschland gibt es knapp 20 Millionen Wohngebäude¹¹. Zwei Drittel des Gebäudebestands in Deutschland sind freistehende Ein- oder Mehrfamilienhäuser¹². Eine überwiegende Mehrheit der Gebäude wurde vor dem Jahr 2000 errichtet¹². Die Bauarten, Sanierungsstände und Heizungsmodernisierungen sind vielzählig und dazu kommen die spezifischen Gebäudelagen und damit einhergehend Anschlussoptionen. Hieraus wird deutlich, dass es unterschiedliche Lösungen braucht, um die Wärmewende zu schaffen.

Zur ökonomischen Bewertung der Wärmeversorgung wurden neben einem unsanierten Einfamilienhaus (Baujahr vor 1919) ein unsaniertes Mehrfamilienhaus (Baujahr vor 1919) sowie ein Einfamilienhaus (Baujahr nach 2016) betrachtet. Für sanierte Gebäude mit einhergehendem niedrigen Gesamtenergiebedarf, stellt die Wärmepumpe immer die ökonomisch sinnvollste Wärmeversorgungsoption dar. Bei unsanierten Gebäuden ist eine differenzierte Betrachtung notwendig.

Unsanierte Einfamilienhäuser mit einem Baujahr vor 1919 machen 8 % der Wohngebäude in D aus (ca. 1,5 Mio. Häuser¹²). Das exemplarische Haus wird aktuell mit einer Erdgaszentralheizung beheizt, welche ausgetauscht werden muss. Für diesen Austausch wurde der Einbau einer Wärmepumpe, ohne Förderung, einer H₂ready-Wärmeerzeugung (im Folgenden Wasserstoffbrennwerttherme) gegenübergestellt.

Um die Wirtschaftlichkeit der Heiztechnologie zu bestimmen, wurden die jährlichen Heizkosten der beiden Heizsysteme in Abhängigkeit vom Strom- bzw. Wasserstoffpreis berechnet. Die Heizkosten sind auf der y-Achse in Abbildung 3 aufgetragen und berechnen sich aus der Annuität, den W&I-Kosten sowie dem Endabnehmerpreis pro Jahr. Auf der x-Achse sind die Endabnehmerpreise der beiden Energieträger aufgetragen. In Pink und Grün ist der Zusammenhang zwischen den berechneten Heizkosten der

⁹ H₂-ready und klimaneutral bis 2045, 2024, DBI

¹⁰ Evety, WhitePaper Wärme 2025

¹¹ dena Gebäudereport 2025

¹² Zensus 2022

Wärmepumpe und der H₂-Brennwerttherme mit dem Endabnehmerpreis des jeweiligen Energieträgers dargestellt.

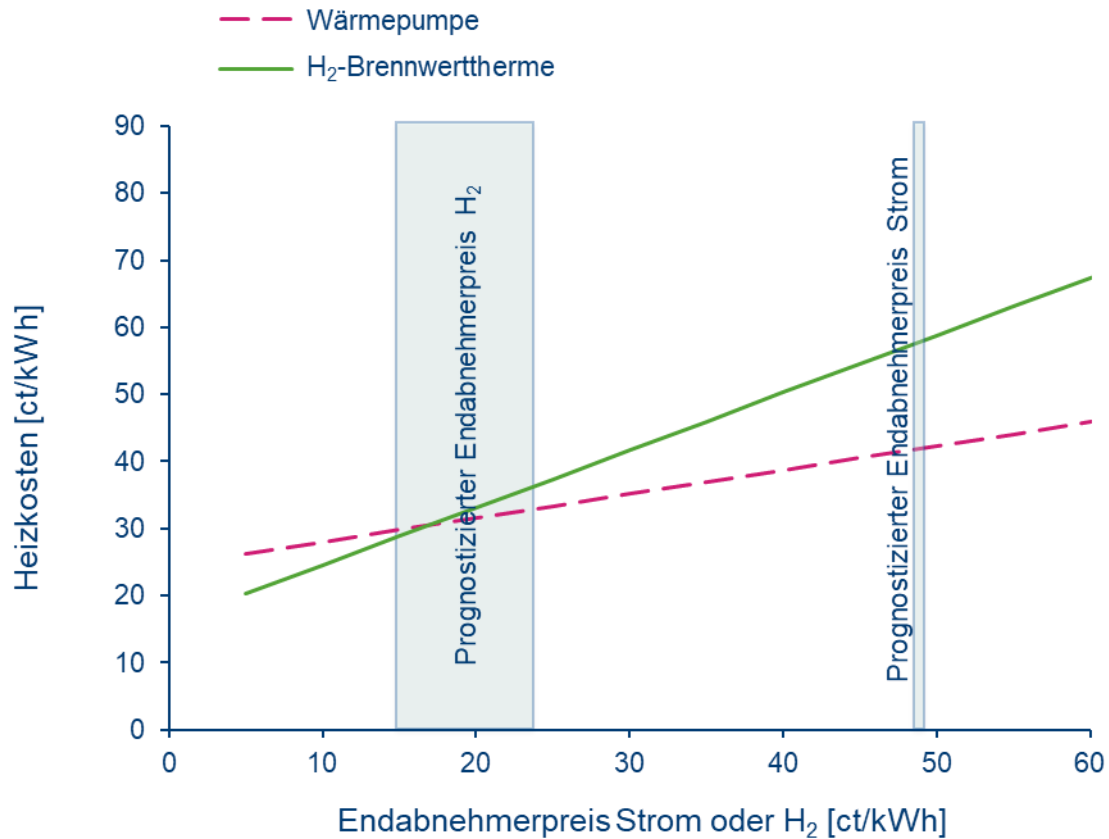


Abbildung 3: Exemplarische Betrachtung der Heizkosten eines unsanierten Einfamilienhauses (Baujahr vor 1919) in Abhängigkeit von den Endabnehmerpreisen für Strom und H₂.

Unterhalb eines gleichen Endabnehmerpreises von Strom oder H₂ von 18 ct/kWh ist die H₂-Brennwerttherme die ökonomisch günstigere Option (Linienschnittpunkt). Mit steigenden Endabnehmerpreisen wäre die Wärmepumpe günstiger. Zu den prognostizierbaren Endabnehmerpreisen existieren viele Studien. Hier wurden die Prognosen einer BDI-Studie¹³ verwendet. Für H₂ im Jahr 2030 wurden Preise von 15 ct/kWh - 24 ct/kWh ermittelt. Die prognostizierten Stromkosten im selben Jahr liegen bei 49 ct/kWh.

Gleiche Heizkosten (ca. 36 ct/kWh) würden beispielsweise anfallen, wenn der Endabnehmerpreis von H₂ bei dem für 2030 prognostizierten Maximum von 24 ct/kWh liegen würde und der Strompreis bei etwa 34 ct/kWh. Dafür müsste der Strompreis allerdings deutlich unter alle Prognosen fallen. Dies zeigt, dass für den hier gewählten unsanierten Altbau mit hohem Wärmebedarf H₂ den ökonomisch vorteilhaften Energieträger darstellt. Dies gilt jedoch nicht nur für dieses Beispielgebäude, sondern auch für weitere Gebäudetypen mit hohem Wärmebedarf und damit hohen Heizungsvorlauftemperaturen.

¹³ BCG im Auftrag des BDI: Energiewende auf Kurs bringen. Impulse für eine wettbewerbsfähigere Energiepolitik, 2025

In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass steigende Energiepreise bei Nutzung einer Wärmepumpe im Vergleich zur Wasserstoffbrennwerttherme einen geringeren Einfluss auf die Heizkosten haben.

5 Neben Wärmepumpen ist Wasserstoff die potenziell günstigste Versorgungsoption

Wasserstoff kann daher sowohl für den Gebäudeeigentümer als auch für Netzbetreiber die günstigste Möglichkeit zur privaten Wärmeversorgung sein. Als essenzieller Einflussfaktor für die Wirtschaftlichkeit der dezentralen Heizsysteme erweist sich der Endabnehmerpreis. Die Analyse zeigt, dass insbesondere für unsanierte Altbauten Wasserstoff die günstigste Option sein kann. Eine konkrete Bewertung der einzelnen Gebäude ist zwingend notwendig, um bei einem Heizungswechsel eine kostengünstige Wärmeversorgung sicherzustellen.

Eine detaillierte Betrachtung innerhalb der Netzgebiete in Abhängigkeit von Bestandsinfrastruktur und Gebäudebestand wird dringend empfohlen, um die Energiewende kosteneffizient gestalten zu können. Hierbei ist insbesondere darauf zu verweisen, dass durch die bereits flächendeckend verfügbaren Erdgasnetze die Möglichkeit besteht, kosteneffizient Wasserstoffnetze als Bestandteil einer technologieoffenen Versorgung bereitzustellen.