

Klimaneutral Wohnen – Wie die CO₂-Minderung in Wohngebäuden gelingen kann

Annegret-Claudine Agricola, Kathrin Graf und Eric Niemann s

Klimaneutralität im Wohngebäudebereich ist möglich, technisch allemal. Diese muss vor allem finanzierbar sein. Über Erfolg und Misserfolg entscheiden am Ende die Gebäudeeigentümer. Deren Perspektiven und Handlungsoptionen werden jedoch vielfach nicht ausreichend reflektiert. Mit der Studie „Klimaneutral Wohnen“, die im Auftrag der Brancheninitiative Zukunft Gas durch die nymoen strategieberatung 2021 erstellt wurde, werden Bottom-up-Entscheidungspfade aus Sicht der Gebäudeeigentümer simuliert, die einen finanzierbaren Weg zur Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 analysieren.

Der Wohngebäudebestand in Deutschland

Der Wohngebäudebestand in Deutschland umfasst gut 18 Mio. Gebäude, die im Ausgangszustand höchst heterogen sind – im Hinblick auf Gebäudealter und Bauweise, Energieeffizienz über Energieversorgung bis hin zu den Infrastrukturanbindungen. Hinzu kommt die höchst unterschiedliche Eigentümerstruktur, die sich z.B. im Mehrfamilienhausbereich grundsätzlich in private und gewerbliche Eigentümer unterteilen lässt. Mit einem Satz: Die Herausforderungen, einen passenden Instrumentenkoffer für eine so heterogene Ausgangssituation bereitzustellen, sind groß.

In einer Vielzahl der vorliegenden Studien zur Realisierung der Klimaschutzziele werden die Zielpfade im Gebäudebereich regelmäßig über die Annahme hoher Sanierungsraten bestimmt. Bisher gehen diese Annahmen allerdings stark an der Wirklichkeit im Wohngebäudebereich vorbei. So beträgt die Sanierungsrate seit Jahren ca. 1 %. Auch wenn die Förderkulisse für Klimaschutz im Gebäudesektor seit 2019 erheblich verbessert wurde und aktuell eine Steigerung der Fördermittelnachfrage zu beobachten ist, bleibt die Marktentwicklung hinter den Erwartungen zurück.

Eine Verdoppelung ist auch vor dem Hintergrund der dafür erforderlichen Handwerkerkapazitäten nur schwer denkbar. Weil die Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor jedoch sehr wichtig ist, müssen daher Alternativen mitgedacht werden, die auch bei geringeren Sanierungsraten entsprechende CO₂-Einsparungen erreichen lassen. Diese Alternativen stellen dekarbonisierte



Wohngebäudesanierung muss vor allem für die Eigentümer finanzierbar sein. Eine neue Studie nimmt das in den Fokus
Bild: Adobe Stock

Energieträger dar, die zukünftig strombasiert oder in Form gasförmiger und flüssiger Energieträger im Markt verfügbar sein werden.

Bottom-Up-Modell des Wärmemarktes als Grundlage

Die Berechnungen der Studie „Klimaneutral Wohnen“ [1] beruhen auf dem Einsatz eines mathematischen Optimierungsmodells. Im Modell wird der gesamte Wohngebäudebestand Deutschlands für das Ausgangsjahr 2019 anhand typischer Gebäudeklassifizierungen, Beheizungstechnologien und Eigentümerverhältnisse Bottom-Up in eine Vielzahl von Fallbeispielen unterteilt. In Abhängigkeit der finanziellen Möglichkeiten von Eigentümern wird jeweils ein individueller Sanierungsfahrplan mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2050 gebildet. Somit wird nicht Top-down vorgegeben, welche Investitionen

durch die jeweiligen Eigentümer zu tätigen sind, sondern gemäß des Modells entscheidet der Gebäudeeigentümer selbst, welche finanzierbaren Maßnahmen umgesetzt werden, um möglichst hohe CO₂-Einsparungen zu erreichen. Diese Entscheidung beruht auf der jeweiligen Finanzierbarkeit der Maßnahmen, da diese Herangehensweise die Lebenswirklichkeit der Gebäudeeigentümer geeignet abbildet.

Das verwendete Gebäudemodell basiert auf den Wohngebäuden des Instituts für Wohnen und Umwelt unter Berücksichtigung des Zensus 2011 sowie einer Aktualisierung der Gebäudezahlen über Baufertigstellungen bis Ende 2019, die von der nymoen strategieberatung vorgenommen wurde. Für die weitere Entwicklung des Wohnungsbestandes bis 2050 wurde basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes die Annahme getroffen, dass der Wohnungsbestand bis 2050 in

etwa konstant bleibt (zurückgehende Bevölkerung bei gleichzeitig leicht steigender Anzahl der Haushalte). Zudem wird bis 2050 eine jährliche Neubautätigkeit analog zur Entwicklung der vergangenen Jahre berücksichtigt.

Weitere statistische Schlüssel ermöglichen die Verteilung der Gebäudehäufigkeiten auf verschiedene Eigentümergruppen, Modernisierungszustände und Heizungsarten im Bestand sowie unter Berücksichtigung der jeweiligen Gegebenheiten, das Gebäude zukünftig an das Gas- oder Fernwärmenetz anzuschließen. Die Eigentümergruppen werden dabei in selbstnutzende Eigentümer im Ein- und Zweifamilienhausbereich sowie in vermietende Eigentümer in Mehrfamilienhausbereich unterschieden.

Auf Basis möglicher und sinnvoller Kombinationen der genannten Attribute ergeben sich 1.760 verschiedene Fallbeispiele bzw. Sanierungsfahrpläne, die im Rahmen der Studie untersucht werden (siehe Abb. 1). Für jedes der Fallbeispiele ist eine Auswahl an energetischen Gebäudesanierungsmaßnahmen aus den Bereichen Anlagentechnik und Gebäudehülle zur Zielerreichung zulässig. Die jeweils zulässigen Maßnahmen werden über einen automatisierten Optimierungsalgorithmus zu individuellen, finanzierbaren Sanierungsfahrplänen zusammengestellt.

Besondere Bedeutung haben in diesem Zusammenhang die Energieträger und die Entwicklung der energieträgerspezifischen Treibhausgasintensität bis zum Jahr 2050. Als gasförmiger Energieträger kommt ein Gas-

mix zum Einsatz, der im Ausgangsjahr 2019 aus Erdgas mit einem Anteil von 10 TWh/a Biomethan besteht. Die Zusammensetzung des Gasmixes verändert sich sukzessiv im Zeitverlauf. Im Jahr 2050 besteht dieser nur noch aus Biomethan mit 20 Volumenprozent Wasserstoffbeimischung. Des Weiteren ist nach 2030 dekarbonisierter Wasserstoff als zweiter gasförmiger Energieträger im Wärmemarkt verfügbar. Ferner erfolgt im Zeitverlauf sukzessiv die Umwidmung von Erdgasleitungen zu reinen Wasserstoffleitungen, welche die Versorgung mit dekarbonisiertem Wasserstoff ermöglichen.

Finanzierbarkeit des Sanierungsfahrplans beschränkt die möglichen CO₂-Einsparungen

Bei Ein- und Zweifamilienhäusern bestimmt sich der finanzielle Handlungsrahmen des Gebäudeeigentümers aus einer Kapitalflussrechnung, in der alle relevanten Kosten und Einsparungen der energetischen Sanierung berücksichtigt werden (Vollkostenansatz für Selbstnutzer). Den Eigentümern wird unterstellt, dass für die nötigen Sanierungsmaßnahmen kontinuierlich Rücklagen gebildet werden. Zusätzlich werden 50 % der durch die Sanierungsmaßnahmen erzielten Kosteneinsparungen aufgrund verringerter Aufwendungen für Energieträger für weitere Maßnahmen zurückgelegt.

Im Bereich der Mehrfamilienhäuser bestimmt sich die finanzielle Leistungsfähigkeit vor allem über die Instandhaltungs- und die Modernisierungsumlage. Um eine Überbelastung

der Mieter zu verhindern, wird weiterhin das Gebot der Warmmietenneutralität berücksichtigt, d. h. die Warmmiete im sanierten Gebäude darf im Jahr nach Umsetzung der Sanierungsmaßnahme nicht höher sein als die Warmmiete des unsanierten Gebäudes unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreis- und CO₂-Preissteigerungen.

Der Sanierungsfahrplan, der die höchstmögliche CO₂-Einsparung unter Berücksichtigung der finanziellen Restriktionen der jeweiligen Gebäudeeigentümergruppe ermöglicht, wird mithilfe eines iterativen Algorithmus ermittelt. Dieser passt in mehreren Schleifen die vorgegebene CO₂-Einsparungshöhe an und sortiert jeweils die zur Einsparungshöhe passenden und im Gebäude technisch möglichen Maßnahmenkombinationen hinsichtlich ihrer Investitionskosten. Im nächsten Schritt wird dann in einem nicht-linearen Optimierungsmodell die Finanzierbarkeit der Maßnahmenkombinationen geprüft. Abhängig davon, ob innerhalb der jeweiligen Schleife mindestens eine technisch mögliche Maßnahmenkombination gefunden wurde, die auch finanzierbar ist, wird für die nächste Schleife die vorgegebene Höhe der CO₂-Minderung angepasst (siehe Abb. 2). Sobald sich die obere und untere Grenze des vorgegebenen „Einsparungskorridors“ um nicht mehr als 0,1 Prozentpunkte unterscheiden, wird die Maßnahmenkombination mit der höchstmöglichen noch finanzierbaren Einsparung als Sanierungsfahrplan des Fallbeispiels ausgewählt.

Klimaneutralität ist möglich und finanzierbar

Die Studienergebnisse zeigen, dass unter der Voraussetzung der Finanzierbarkeit der Maßnahmen eine CO₂-Einsparung in Höhe von 98 % im Jahr 2050 gegenüber 1990 realisiert und damit Klimaneutralität im Wohngebäudebestand erreicht werden kann. Im Jahr 2050 werden nur noch 4,2 Mio. t CO₂ emittiert, die vor allem auf Vorkettenemissionen zurückzuführen sind. Die ermittelten CO₂-Einsparungen beruhen dabei auf drei wesentlichen Säulen: dem Einsatz dekarbonisierter Energieträger, dem energieeffizienten Neubau und dem Rückgang des Endenergieverbrauchs aufgrund durchgeführter Energieeffizienzmaßnahmen an Heizung und Gebäudehülle.

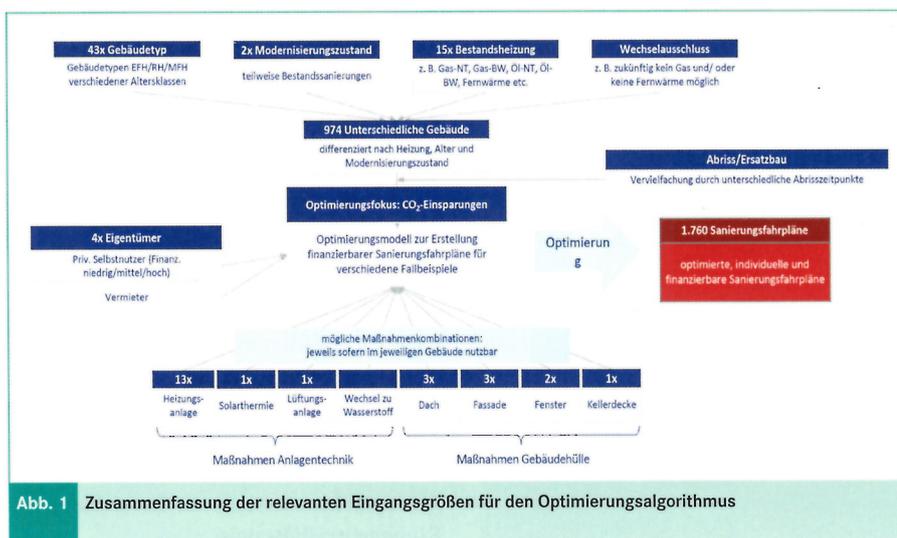
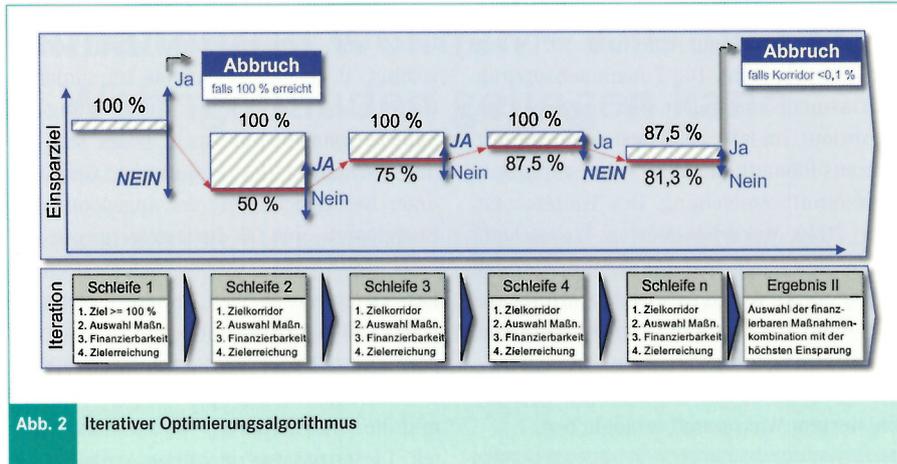


Abb. 1 Zusammenfassung der relevanten Eingangsgrößen für den Optimierungsalgorithmus



Es zeigt sich, dass der Einsatz dekarbonisierter Energieträger mit circa 56 % der CO₂-Einsparungen den größten Beitrag leistet. Ursachen hierfür sind, neben dem Kohleausstieg bei Strom- und Fernwärmeerzeugung, der zunehmende Anteil erneuerbarer Energien, die Dekarbonisierung des Energieträgers Gasmix sowie der zunehmende Einsatz von dekarbonisiertem Wasserstoff. Der energieeffiziente Neubau ist als Ersatz für weniger effiziente, ältere Gebäude für CO₂-Einsparungen in Höhe von ca. 24 % verantwortlich. Auf weitere Einzelmaßnahmen entfallen ca. 20 % der erzielten CO₂-Minderung.

Den erzielten CO₂-Einsparungen liegen Endenergieeinsparungen in Höhe von 32 % bis 2050 zu Grunde. Diese Rückgänge resultieren zu rund zwei Dritteln aus Energieeffizienzsteigerungen durch den Ersatzbau. Der Endenergieverbrauch der gasförmigen Energieträger (Gasmix und Wasserstoff) geht nur geringfügig zurück, während der

Anteil gasversorgter Wohneinheiten bis 2050 sogar leicht steigt.

Gründe hierfür sind effizientere Anwendungstechnologien sowie der sog. „content switch“: So wird der Gasmix bis 2050 durch den im Zeitverlauf sukzessiv wachsenden Biomethananteil grün, zudem besteht die Möglichkeit, auf die Nutzung von reinem, dekarbonisiertem Wasserstoff umzusteigen. Der Einsatz gasförmiger, dekarbonisierter Energieträger ermöglicht die Erreichung der Klimaneutralität in Wohngebäuden mit geringen zusätzlichen Investitionskosten und finanzierbaren Betriebskostensteigerungen. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass der Wechsel zu Wasserstoff ein für die Eigentümer sehr gut geeignetes Instrument zur Realisierung einer klimaneutralen Energieversorgung ist.

Die Zusammensetzung der gasförmigen Energieträger, Gasmix und Wasserstoffmix, über den Betrachtungszeitraum wird aus



Abb. 3 deutlich: So steigt bis 2030 vor allem der Biomethananteil im Energieträger „Gasmix“. Ab 2030 findet dann ein Wechsel auf reinen Wasserstoff statt, so dass 2050 ein Wasserstoffbedarf im Wohngebäudebereich in Höhe von 238 TWh/a nachgefragt wird. Die Entwicklung der Gasmengen wurde im Rahmen einer Sensitivitätsrechnung plausibilisiert. Dabei wurde der Wasserstoffpreis um 50 % erhöht. Die Ergebnisse zeigten sich auch unter dieser Annahme robust. So blieben CO₂-Einsparungen und auch Endenergieeinsparungen auf gleichem Niveau. Ein Unterschied zeigte sich im Aufwuchspfad von Wasserstoff: Bei höheren Preisen kommen erst 2045 relevante Mengen in den Markt. Insgesamt ist der Wasserstoffbedarf im Jahr 2050 dadurch auch etwas niedriger.

Exemplarisch dargestellt an einem Sanierungsfahrplan sehen Investitionsentscheidungen z.B. wie folgt aus: Ein durch den Optimierungsalgorithmus erstellter Sanierungsfahrplan für ein kleines Mehrfamilienhaus mit Baujahr ca. 1900 und ausgestattet mit einer Gasetagenheizung für die Wärmebereitstellung sieht für 2022 eine Investition in Fenster mit aktuellem Wärmeschutzstandard und für 2036 eine weitere Investition in eine Kellerdeckendämmung vor. Die Heizungsanlage wird 2025 erneuert und ab 2035 bezieht der Gebäudeeigentümer dekarbonisierten Wasserstoff als Energieträger. Dieser Sanierungsfahrplan führt zu knapp 99 % CO₂-Einsparung bis 2050.

Ausblick

Das Ziel Klimaneutralität und die Dringlichkeit, dies in weniger als 30 Jahren zu erreichen, erfordert eine neue Reflexion der Handlungsmöglichkeiten. Die Reduktion des Energieverbrauchs und die Steigerung der Energieeffizienz bleiben wichtige Zielsetzungen, weil sie die Abhängigkeit von künftigen Energiepreisentwicklungen maßgeblich mindern. Sie fordern aber auch einen erhöhten Kapitaleinsatz von den Gebäudeeigentümern und ziehen eine starke Nachfrage nach Fachkräften im Handwerk nach sich, die aus heutiger Sicht nur schwer bedient werden kann. Klimaneutrale Energieträger – dekarbonisierte Gase, Wasserstoff und Biomethan, sowie erneuerbarer Strom – ermöglichen in hohem Maße die Erreichung des Klimaneutralitätsziels.

Die Finanzierbarkeit aus Sicht der Gebäudeeigentümer und die Machbarkeit der Umsetzung unter Berücksichtigung der verfügbaren Fachkräfte werden maßgeblich dafür sein, ob das Ziel erreicht wird. Technologieoffenheit ist damit ein wichtiger Schlüssel für das Gelingen, wie die 1.760 ermittelten Sanierungsfahrpläne anschaulich demonstrieren. Denn es gibt nicht die eine Wärmeversorgungslösung, die zum klimaneutralen Wohngebäudebestand führt.

Wesentlich für die Zielerreichung wird sein, die heutige Förderkulisse über die nächsten Jahrzehnte konstant zu halten und den Auf-

bau einer Wasserstoffwirtschaft zu forcieren, deren erfolgreicher Hochlauf nicht zuletzt durch den Einsatz von dekarbonisiertem Wasserstoff im Wärmemarkt bestimmt werden wird.

Quellen

[1] nymoen Strategieberatung: KLIMANEUTRAL WOHNEN. Klimaschutz im Wärmemarkt: Wie können wir Klimaneutralität im Bereich der Wohngebäude erreichen? Studie im Auftrag des Zukunft Gas. E.V. Berlin, Mai 2021. <https://www.nymoen-strategieberatung.de/user/pages/03.downloads/klimaschutz-im-waermemarkt-wie-koennen-wir->

[klimaneutralitaet-im-bereich-der-wohngebäude-erreichen/NSB_Waermemarktstudie_2021.pdf](https://www.klimaneutralitaet-im-bereich-der-wohngebäude-erreichen/NSB_Waermemarktstudie_2021.pdf)

Die Studie wurde vor der Änderung des Klimaschutzgesetzes und dem Vorziehen des Klimaneutralitätsziels auf das Jahr 2045 erstellt.

*A.-C. Agricola, Zukunft Gas e.V., Berlin;
K. Graf und E. Niemann, nymoen strategie-
beratung GmbH, Berlin
Annegret-Claudine.Agricola@gas.info*



Die Leitveranstaltung der Energie- und Wasserwirtschaft

24. – 25. November 2021, Koelnmesse und online

Themenschwerpunkte live in Köln



- ➔ Wie gestalten wir die nationale Umsetzung der neuen EU-Trinkwasserrichtlinie?
- ➔ Vision und Mission der Wasserwirtschaft von morgen – Müssen wir Wasserwirtschaft insgesamt neu denken?
- ➔ Schutz der Wasserressourcen – sind unsere Anstrengungen erfolgreich?
- ➔ Aktuelle Trends in der Digitalisierung für die Wasserwirtschaft
- ➔ Substanz- und Werterhalt der Versorgungsinfrastruktur
- ➔ Klimawandel und Trockenheit – Ist die Resilienz der Wasserversorgung in Gefahr?



- ➔ Die Auswirkungen von Energie- und Klimapolitik auf die Branche
- ➔ Wasserstoffwirtschaft: Zentrale Bausteine für einen erfolgreichen Markthochlauf
 - ➔ Innovative Erzeugungstechnologien für das zukünftige Energiesystem
 - ➔ Transport und Verteilung von Wasserstoff
 - ➔ Erneuerbare Gase und effiziente Technologien im Wärmemarkt
- ➔ Effizienz und Dekarbonisierung im Strom- und Industriesektor

Jetzt informieren: www.gat-wat.de

Mit freundlicher Unterstützung von:

