Wärmeschutz und Wärmepumpe – warum beides zusammengehört

Studie im Auftrag des Verbandes für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V.

Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm (FIW)
Peter Mellwig, Dr. Martin Pehnt (ifeu)

München, Berlin, Heidelberg, 2023

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
Lochhamer Schlag 4 - 82166 Gräfelfing
Telefon +49 (0) 89 858 000
E-Mail info@fiw-muenchen.de
www.fiw-muenchen.de

ifeu gGmbH: Institut für Energie- und Umweltforschung
Wilckensstraße 3 - 69120 Heidelberg
Telefon +49 (0)6 221. 47 67 - 0
E-Mail ifeu@ifeu.de
www.ifeu.de

Inhalt

Inhalt **2**

Abbildungsverzeichnis **3**

Tabellenverzeichnis **5**

1. Zusammenfassung **6**
1.1. Synergien durch Effizienz im Gebäude 6
1.2. Synergien durch Effizienz im Energiesystem 7

2. Hintergrund und Zielsetzung **11**

3. Perspektive des einzelnen Gebäudes **13**
3.1. Effizienz von Wärmepumpen in verschiedenen Gebäude-Effizienzklassen 13
3.2. Auswirkungen des Energiepreisanstiegs im Jahr 2022 auf verschiedene Effizienzklassen 16
3.3. Restriktionen für Wärmepumpen in ungedämmten Gebäuden 19
Einfluss des Wärmeschutzes auf die Deckung der Heizlast 20
Einfluss des Wärmeschutzes auf den Wärmetransport 22
3.4. Gebäude für erneuerbare Energien vorbereiten 24
Rechtlicher Rahmen 24
Perspektive der Eigentümer 25

4. Perspektive des Energiesystems **26**
4.1. Senkung der Gleichzeitigkeit der Lasten durch Wärmedämmung 26
4.2. Resilienz und Sicherheit bei Brown-Outs 30
4.3. Absicherung der Wärmepumpen-Offensive 31
4.4. Auswirkungen auf die Klimaschutzziele 32
4.5. Auswirkungen auf den erforderlichen Ausbau erneuerbarer Energien 34

5. Wärmeschutz-Offensive **36**

Literaturverzeichnis **37**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung der Effizienzklassen im deutschen Wohngebäudebestand (Quelle LTRS 2020) 8

Abbildung 2: Wechselwirkung zwischen Netz und Gebäude: gut gedämmte Gebäude können die Spitzen der Heizlast in die „günstigeren“ Stunden verschieben 9

Abbildung 3: Zielkompatible Gebäude setzen ein Zusammenspiel von Stromnetz, effizienter Gebäudehülle und netzdienlichen Wärmepumpen voraus. 10

Abbildung 4: Das politische Ziel, formuliert im Koalitionsvertrag von 2021, wird zu einem deutlich veränderten Stromnetz führen. 11

Abbildung 5: Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur (berechnet nach VDI 4650) 14

Abbildung 6: Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur (gemessene Werte, eigene Darstellung, Quelle: Fraunhofer ISE 2020) 14

Abbildung 7: Beispielhafte Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Gebäude-Effizienzklasse 16

Abbildung 8: Energiekosten für Raumwärme und Warmwasser nach Effizienzklasse, für verschiedene Wärmeerzeuger und Gebäudegrößen 17

Abbildung 9: Heizkosten nach Effizienzklasse in 2022 und vor Ausbruch des Ukraine-Kriegs für Gasheizungen und Wärmepumpen für ein Einfamilienhaus und eine Wohnung (Annahme Wärmepumpen: Haushaltstarif) 18

Abbildung 10: Vergleich der Heizkosten von Gasheizungen und Wärmepumpen im Jahr 2022 für ein Einfamilienhaus und eine Wohnung 19

Abbildung 11: Wärmeschutzqualität der Bestandsgebäuden mit Wärmepumpe, die am Feldtest teilgenommen haben (Quelle: ISE 2020) 20

Abbildung 12: Allgemeines Schema eines Heizkreises mit Begriffserklärung 20

Abbildung 13: Beispiele für Plattenheizkörper: Wenn Typ 21 im Ist-Zustand vorhanden ist, kann er durch Typ 33 gleicher Größe ausgetauscht werden, wodurch die Heizleistung auf 220% steigt, oder durch einen Typ 33, der 50% größer ist und die Leistung auf 330% steigert. 21

Abbildung 14: Deckung der Heizlast mit verschieden überdimensionierten Heizkörpern in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur. Im roten Bereich wird die Heizlast nicht ausreichend abgedeckt. 22

Abbildung 15: Durchflussgeschwindigkeit des Heizungswassers in der Heizkörperanschlussleitung in Bezug auf die maximale Durchflussgeschwindigkeit für verschiedene Gebäude-Effizienzklassen und verschiedene Rohrdurchmesser. Im roten Bereich wird die maximale Durchflussgeschwindigkeit überschritten. 23

Abbildung 16: Gewählte Mustergebäude 27

Abbildung 17: Notwendige Heizleistung zur Aufrechterhaltung einer komfortablen Innenraumtemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für die beiden betrachteten Mustergebäude bei unterschiedlichen energetischen Sanierungszuständen. Dargestellt sind die jeweiligen stündlichen Heizlasten. 27

Abbildung 18: Verlauf der Heizleistung während einer kalten Winterwoche im Januar für die beiden Typengebäude mit unterschiedlichen Sanierungszuständen. 28

Abbildung 19: Schematischer Vergleich des Tagesverlauf der gesamten Stromleistung, die sich aus der Heizlast und des Nutzerstroms ergibt für ein unsaniertes bzw. saniertes Wohngebäude. 29

Abbildung 20: Durch einen netzdienlichen Betrieb der Wärmepumpen in Kombination mit einer korrespondierenden Gebäudehülle kann eine erhebliche Entlastung des Stromnetzes erreicht werden. 30

Abbildung 21: Entwicklung der Raumtemperatur während einer kalten Winterwoche im Januar für die beiden Typengebäude mit unterschiedlichen energetischen Standards nach einem Ausfall der Heizung. 30

Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der Effizienzklassen im deutschen Wohngebäudebestand (Quelle LTRS 2020) 31

Abbildung 23: Gebäudeeffizienz und erforderliche Wärmepumpenanzahl halten sich die Waage: je höher der Wärmeverbrauch der Gebäude ist, desto mehr Wärmepumpen werden benötigt, um das Sektorziel im Jahr 2030 zu erreichen. (eigene Darstellung auf Basis von Consentec et al. 2022) 34

Abbildung 24: Stromverbrauch im Gebäudesektor in den Langfristszenarien T45-Strom und T45-RedEff. (eigene Darstellung auf Basis von Consentec et al. 2022) 35

Abbildung 25: Ausnutzung der Potenziale für Windkraft (links) bzw. für Freiflächen-Fotovoltaik (rechts) in Europa im Szenario T45-Strom (Consentec et al. 2022) 35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispielhafte Berechnung der Jahresarbeitszahl nach VDI 4650 für verschiedene Gebäude-Effizienzklassen inklusive der maßgebenden Eingangsparameter15

Tabelle 2: Zuweisung der spezifischen Heizlast zu den Gebäude-Effizienzklassen 23

Tabelle 3: Auswirkungen schlechterer Gebäudeeffizienz auf Anzahl und Stromverbrauch von Wärmepumpen (eigene Darstellung auf Basis von Consentec et al. 2022) 33

1. Zusammenfassung

Gebäudedämmung ist eine elementare Säule für die Erreichung der Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Je entschlossener der Wärmebedarf der Gebäude gesenkt wird, desto wahrscheinlicher und einfacher wird die Umstellung auf eine erneuerbare Beheizung. Gerade in Kombination mit Wärmepumpen bieten gedämmte Gebäude wesentliche Vorteile. Wenn man diese nicht nutzt, setzt man die gesamte Zielerreichung aufs Spiel. Dieser Bericht zeigt die Wirkungsweisen von ambitionierter Gebäude-Dämmung auf mehreren Ebenen.

- Im Gebäude
  - Synergie durch doppelte Wirkung von Wärmedämmung: Senkung des Wärmebedarfs und Steigerung der Wärmepumpen-Effizienz.
  - Der Energiepreis-Schock betrifft gedämmte Gebäude kaum.
  - Je schlechter ein Gebäude gedämmt ist, desto schwieriger wird der Einbau einer Wärmepumpe.
  - Gebäude können schrittweise gedämmt werden, so dass sie im entscheidenden Moment für den Umstieg auf die Wärmepumpe vorbereitet sind.
- Im Energiesystem
  - Synergien durch die doppelte Wirkung von Wärmedämmung: Senkung der benötigten Heizleistung und Erhöhung der Speicherfähigkeit führt zu deutlicher Entlastung der Stromnetze.
  - Gedämmte Gebäude sind resilienter gegen Unvorhergesehenes.
  - Wärmeschutz-Offensive: Je ambitionierter der Wärmeverbrauch gesenkt wird, desto realistischer wird der Transformationspfad für die erneuerbare Energieversorgung.

1.1. Synergien durch Effizienz im Gebäude

Wärmepumpen können Gebäude besonders effizient beheizen. Mit dem Einsatz einer Kilowattstunde Strom können sie drei und mehr Kilowattstunden Wärme bereitstellen. Deshalb sind sie eine tragende Säule der Dekarbonisierung im Gebäudebereich. In den meisten Szenarien werden Wärmepumpen zur neuen Standardtechnologie. Wärmepumpen erreichen ihre höchste Effizienz in gut gedämmten Gebäuden. In ungedämmten Altbauten geht ihre Effizienz im Vergleich zu einem sehr guten Gebäude jedoch um mehr als ein Drittel zurück. In ungedämmten Gebäuden werden leistungsstärkere und damit teurere Wärmepumpen benötigt. Sie laufen aber in einem suboptimalen Betriebszustand und können ihr Potenzial nicht ausschöpfen. Ein verbesserter Wärmeschutz wirkt in diesen Gebäuden in zweifacher Hinsicht: sie senkt den Heizwärmebedarf des Gebäudes und ermöglicht einen effizienteren Betrieb der Wärmepumpe. Es entsteht eine Hebelwirkung bzw. ein Synergieeffekt. Eine Senkung des Heizwärmebedarfs um 18% kann dadurch eine Verminderung der Heizkosten um 37% bewirken.

Ein verbesserter Wärmeschutz trägt entscheidend dazu bei, die Auswirkungen des Energiepreisanstiegs abzumildern. Die Preise für Erdgas, Heizöl und in der Folge auch für Strom sind in Jahr 2022 durch den russischen Überfall auf die Ukraine extrem gestiegen. Für die Bewohner von ungedämmten Altbauten entstehen dadurch Mehrkosten in Höhe von mehreren tausend Euro (Beispielberechnungen für eine Wohnung: 1.574 Euro, für ein Einfamilienhaus 2.464 Euro). Sie sind 6- bis 10-mal höher als in der besten Gebäudeklasse A+ (Wohnung: 170 Euro, Einfamilienhaus 370 Euro).

Ein besserer Wärmeschutz beseitigt außerdem einige technische Probleme, die beim Einbau von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden auftreten können. Wärmepumpen arbeiten am besten bei niedrigen Vorlauftemperaturen und mit hohen Durchflussmengen. Beides ist umso schwieriger zu realisieren, je schlechter ein Gebäude gedämmt ist. Die Folge ist ein hoher Stromverbrauch der Wärmepumpe und der Heizkreispumpen. Durch einen Austausch von Heizkörpern kann die Vorlauftemperatur gesenkt werden. Das zu Grunde liegende Problem – der zu hohe Wärmebedarf des Gebäudes – wird dadurch jedoch nicht verbessert. Aus Sicht der Bauherren ist der Heizkörpertausch zunächst mit einer geringeren Investition verbunden als eine Dämm-Maßnahme. Aus Klimaschutz-Sicht sind Dämm-Maßnahmen – wenigstens mittelfristig – ohnehin unverzichtbar. Es wäre also sinnvoller, schon vor dem Einbau der Wärmepumpe gezielt die passenden Dämm-Maßnahmen vorzuziehen, damit die Wärmepumpe problemlos funktionieren kann. Den Heizkörpertausch kann man sich dann ggf. sparen und zudem eine kleinere, kostengünstigere Wärmepumpe wählen. Damit die Bauherren dadurch finanziell nicht überfordert werden, sollten sie eine gezielte Förderung für Sanierungs-Maßnahmen erhalten, die das Haus für Wärmepumpen und andere erneuerbare Energien vorbereiten (NT ready-Standard).

1.2. Synergien durch Effizienz im Energiesystem

Die vollständige Dekarbonisierung von Gebäuden erfordert die Umstellung bisheriger fossiler Beheizungssysteme auf dekarbonisierte Energiequellen, wahrscheinlich Strom. Eine solche Umstellung wird große Mengen an zusätzlicher Elektrizität, vor allem im Winter, erfordern. Da erneuerbare Energien nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen, hat die Gesamtwärmenachfrage einen hohen Einfluss darauf, in welchem Maß und mit welcher Verbreitung sie eingesetzt werden können. Viele erneuerbare Energien können nur in effizienten Gebäuden sinnvoll und wirtschaftlich eingesetzt werden. Das bedeutet, dass das Potenzial von erneuerbaren Energien im Gebäudebereich erst vollumfänglich durch Effizienz erschlossen werden kann.

Die Wärmepumpen-Offensive ist richtig und führt zu einem klimaneutralen Gebäudebestand. Bei der Umstellung auf Wärmepumpen muss allerdings das Spannungsdreieck aus Angebot an erneuerbarer Energie – Anlagentechnik – Wärmedämmung in allen Punkten ausbalanciert sein.

Abbildung 1 zeigt das Zusammenspiel zwischen einer zukunftsorientierten, effizienten Gebäudehülle und dem klimapolitisch wichtigen Ausbau der Elektrifizierung der Gebäudebeheizung. Viele erneuerbare Heizungstechnologien müssen im Zuge der Wärmewende einen ambitionierten Markthochlauf vollbringen. Nach derzeitigen Schätzungen sind vor allem ältere Gebäude (gebaut vor 1995) noch nicht auf einen effizienten Einsatz einer Wärmepumpe vorbereitet. Wenn nicht ausreichend effiziente Gebäude im Bestand sind, können die Steigerungsraten der Erneuerbaren nicht erreicht werden. Da aber Wärmeerzeuger eine deutlich kürzere Lebensdauer als die Komponenten der Gebäudehülle haben, erfolgt der turnusgemäße Erneuerungsprozess bei den Wärmeerzeugern häufig unabhängig von einer parallel stattfindenden Sanierung. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Wärmepumpenoffensive müssen ausreichend geeignete Gebäude verfügbar sein. Effizienzmaßnahmen an der Hülle haben jedoch einen Vorsprung vor den Erneuerbaren – sowohl hinsichtlich des zeitlichen Bestehens im Markt als auch der Marktdurchdringung. Aufgrund der bestehenden Kapazitäten könnten sie einen stark wachsenden Markt ohne Probleme abdecken. Volkswirtschaftlich schafft Effizienz eine höhere Robustheit und Resilienz.

Durch Einbau netzdienlicher Wärmepumpen in Kombination mit einer korrespondierenden Gebäudehülle und Energieerzeugung vor Ort (Solardachpflicht) können netzeffiziente Gebäude einen aus energiewirtschaftlicher Sicht sinnvollen Gebäudebetrieb gewährleisten. Gebäude werden vom Verbraucher in eine flexible Energiequelle und Speicher verwandelt, ohne beim Nutzer Komfort und Bequemlichkeit zu verlieren.

Das bedeutet:

- Die Gebäude müssen im ersten Schritt (vor Einbau einer Wärmepumpe) mindestens Niedertemperatur-ready sein, um die technische Funktionsfähigkeit zu gewährleisten.
- Perspektivisch müssen die Gebäude energetisch mindestens auf das Niveau der Einzelmaßnahmenförderung in der BEG modernisiert werden, weil sonst die Energiekosten „weglaufen“ und das Angebot an erneuerbarer Energie nicht für alle Gebäude reicht.
- Eine weitergehende energetische Modernisierung ist für Gebäudeeigentümer und das Stromnetz vorteilhaft, sollte aber im Ermessen der Hausbesitzer bleiben (kein Ordnungsrecht).

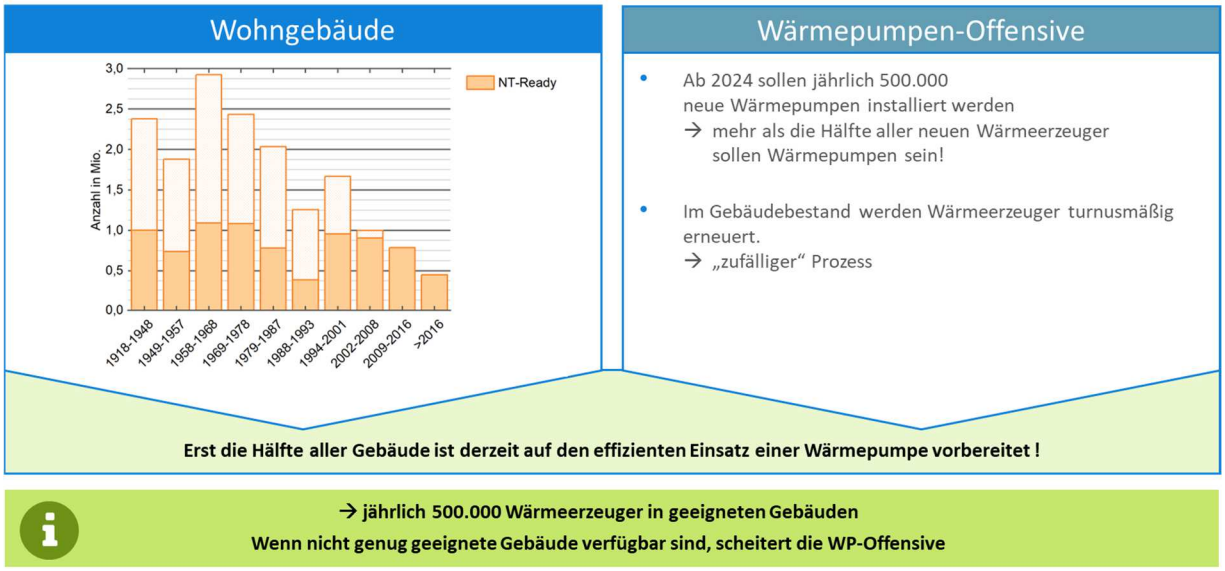


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung der Effizienzklassen im deutschen Wohngebäudebestand (Quelle LTRS 2020)

Durch den massiven Ausbau elektrischer Beheizungssysteme wird die Hauptlast des Strombedarfs in den Winter verschoben. Diese neue und veränderte Nachfrage wird Investitionen in Kapazitäten sowie in die Übertragungs- und Verteilungsinfrastruktur erfordern. Ein besserer baulicher Wärmeschutz senkt den Heizenergieverbrauch und damit die Anzahl notwendiger Windräder und PV-Anlagen signifikant.

Doch nicht nur die Menge an Strom, sondern die Frage, wann brauchen wir wieviel Strom und die Wechselwirkung zwischen Netz und Gebäude steht immer mehr im Vordergrund. Bisher wenig beachtet ist hingegen die verbundene Absenkung der notwendigen Heizlast durch effiziente Gebäude. Vor allem bei Wärmepumpen bestimmt die notwendige Heizlast die aufzuwendenden Investitionskosten. Die Heizlast hat auch einen erheblichen Einfluss auf das Stromnetz. Zu große Spitzenlasten können das lokale Stromnetz überlasten. Niedrige Heizlasten, die aufgrund eines systemdienlichen Wärmeschutzes erreichbar sind, garantieren hingegen eine Netzstabilität. Das Zusammenspiel aus Nachfrageflexibilität und Energieeffizienzpotenzial könnte die erforderlichen zusätzlichen Investitionen erheblich reduzieren.

Abbildung 2 veranschaulicht, wie Effizienz, Erzeugung, Lastverschiebung kombiniert werden können, um die Heizlast eines Gebäudes zu senken. Sie zeigt auch, wie diese koordinierten Mechanismen zur Flexibilisierung der Nachfrage beitragen. Eine wesentliche Voraussetzung ist, dass das Gebäude über eine gut gedämmte und luftdichte Hülle und ein effizientes Heiz- und Lüftungssystem zur Reduzierung des Energiebedarfs verfügt. Damit verbunden sind geringere Energiekosten und reduzierte THG-Emissionen. Zusätzliche kann so, ohne Komforteinbußen, durch Lastverschiebung die Nachfragekurve eines Gebäudes gemildert werden, d.h. der Energieverbrauch wird von Spitzenzeiten auf anderen Zeiten verlagert, um sowohl die Kosten (bei tageszeitabhängigen Stromtarifen) als auch die Netzbelastung zu senken. Lasten können auch

verschoben werden, um ein besseres Ausnutzen der volatilen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu gewährleisten. In ungedämmten Gebäude sinkt die Raumtemperatur innerhalb von 2-3 Stunden deutlich unter das Komfortkriterium, bei Gebäuden mit einem ausreichenden Wärmeschutz sind Sperrzeiten von bis zu einem halben Tag ohne weiteres überbrückbar. Das heißt, dass der Einbau netzdienlicher Wärmepumpen in Kombination mit einer korrespondierenden Gebäudehülle und Energieerzeugung vor Ort (Solardachpflicht) netzeffiziente Gebäude ermöglicht und so aus energiewirtschaftlicher Sicht sinnvoll sind.

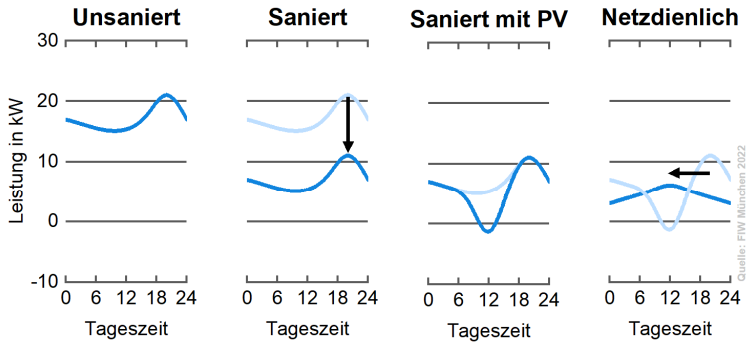


Abbildung 2: Wechselwirkung zwischen Netz und Gebäude: gut gedämmte Gebäude können die Spitzen der Heizlast in die „günstigeren“ Stunden verschieben

Im Jahr 2030 darf der Gebäudesektor nur noch 67 Mio. Tonnen Treibhausgase ausstoßen – 42% weniger als in 2021. Wie ambitioniert die Klimaschutzziele sind, wird bei Szenarioberechnungen klar. Dabei zeigt sich, dass es absehbar nur wenige Alternativen bei der Heizungstechnik geben wird – vor allem Wärmepumpen und Wärmenetze. Allerdings wird auch ein sehr ambitionierter Hochlauf dieser beiden Technologien nicht ausreichen, um die Ziele für den Gebäudesektor zu erreichen. Der Wärmeverbrauch muss ebenfalls deutlich gesenkt werden. Nur so gelingt es, möglichst viele Gebäude, die noch nicht erneuerbar heizen, mit der noch „erlaubten“ Menge fossiler Energieträger zu versorgen. Je schlechter der Wärmeschutz im Jahr 2030 ist, umso weniger Gebäude können mit dem verbleibenden Erdgas und Heizöl beheizt werden und umso mehr Wärmepumpen müssen installiert werden. Sanierungen müssen möglichst rasch auf das Wärmeschutzniveau der Einzelmaßnahmen der BEG-Förderung oder besser kommen. Dann werden knapp 6 Mio. Wärmepumpen ausreichen, wie in der Wärmepumpen-Offensive vorgesehen. Steigen die Sanierungsanforderungen nur auf das Niveau eines Effizienzhauses-70 – wie im Koalitionsvertrag angekündigt – brauchen wir schon 8 Mio. Wärmepumpen im Jahr 2030. Dazu müsste heute schon jeder neu eingebaute Wärmeerzeuger eine Wärmepumpe sein.

Dadurch dass der Zeitpunkt der höchsten elektrischen Last nicht mehr deckungsgleich mit der höchsten Stromproduktion ist, muss der Ausbau der Infrastruktur vorausschauend und parallel zur Wärmepumpen-Offensive erfolgen. Gebäude mit einem guten Wärmeschutz senken den Strombedarf und die Spitzen im Winter erheblich. Vor allem Gebäude, die heute noch nicht für den Einbau von Wärmepumpen vorbereitet sind, müssen vorausschauend entsprechend energetisch ertüchtigt werden. Wärmepumpen sollten heute vor allem in Gebäuden vorrangig eingebaut werden, die schon über einen guten Wärmeschutz verfügen. Wärmepumpen selbst sollten verpflichtend netzdienlich sein und über Regelalgorithmen verfügen, die einen aus Energiewirtschaftlicher Sicht sinnvollen Betrieb gewährleisten (Abbildung 4).

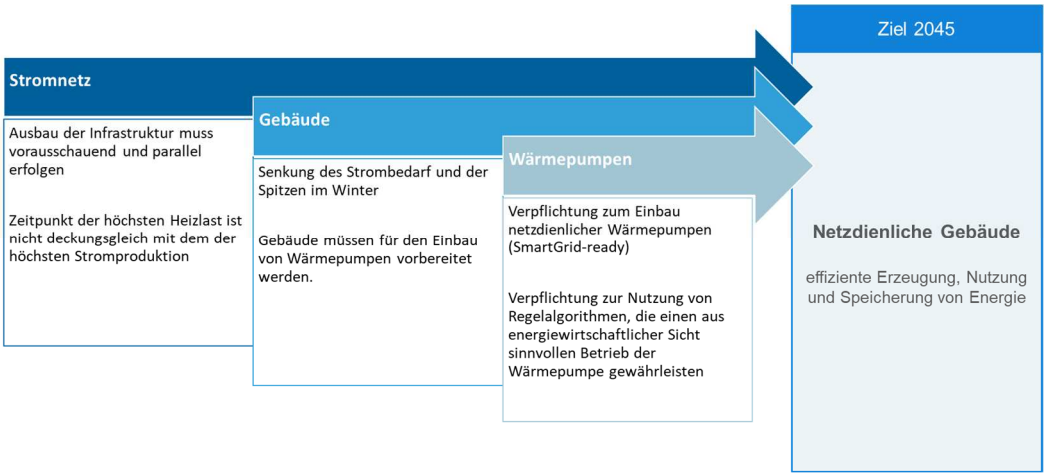


Abbildung 3: Zielkompatible Gebäude setzen ein Zusammenspiel von Stromnetz, effizienter Gebäudehülle und netzdienlichen Wärmepumpen voraus.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Energiewende und damit das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestands nur erreichbar ist, wenn vor allem die elektrisch beheizten Gebäude eine effiziente Erzeugung, Nutzung und Speicherung erneuerbarer Energien gewährleisten. Dazu bedarf es eines abgestimmten Systems aus einem leistungsfähigen Stromnetz, effizienten Gebäuden und netzdienlichen Wärmepumpen. Energieeffizienz und Nachfrageflexibilität bieten sowohl direkte als auch indirekte Vorteile für den Gebäudesektor. Die Energieeffizienz von Gebäuden führt zu höherem Nutzerkomfort bei gleichzeitig geringerem Energieverbrauch. Energieeffizienzstrategien, die auf die Gebäudehülle abzielen, bietet auch erhebliche Reserven zur Stabilisierung der elektrischen Netze und zur Bedienung negativer Residuallasten. Die Nachfrageflexibilität gut gedämmter Gebäude ermöglicht es die Spitzen der Heizlast in die „günstigeren“ Stunden verschieben und ein netzdienliches das Absinken (oder Anheben) der Raumtemperatur und damit der thermischen Behaglichkeit verläuft bei hoch gedämmten Gebäuden deutlich langsamer. Auch im Falle einer Netzüberlastung sind gut gedämmte Gebäude weniger schadensanfällig als ungedämmte oder schlecht gedämmte.

2. Hintergrund und Zielsetzung

Die notwendigen Instrumente der Bundesregierung zum Erreichen des Ziels einer klimaneutralen Gesellschaft im Jahre 2045 sind klar und eindeutig im Koalitionsvertrag aus dem Jahr 2021 formuliert. Neben der notwendigen Installation von 5 - 6 Wärmepumpen bis zum Jahr 2030 sollen 15 Millionen vollelektrisierte Personenfahrzeuge sowie 1 Million öffentliche Ladepunkte in diesem Zeitraum hinzukommen. Durch Elektroautos und Elektrifizierung der Gebäude wird der Strombedarf deutlich steigen. Die zunehmende Abhängigkeit von Strom wird neue Anforderungen an das Stromsystem stellen. Viele Verbraucher erzeugen oder speichern außerdem ihren Strom vor Ort, so dass Stromflüsse im Stromnetz immer häufiger in beide Richtungen gehen. Das wird voraussichtlich sehr schnell zu einer bedeutenden, bisher kaum beachteten zusätzlichen elektrischen Lastendiskussion führen.

Elektrische Beheizungssysteme werden die Hauptlast des Strombedarfs in den Winter schieben. Das bedeutet für das Stromnetz nicht nur mehr Windräder und PV-Anlagen, sondern ein völlig anderes System. Die Frage, wann wir den Strom brauchen, und die Wechselwirkung zwischen Netz und Gebäude stehen immer mehr im Vordergrund.

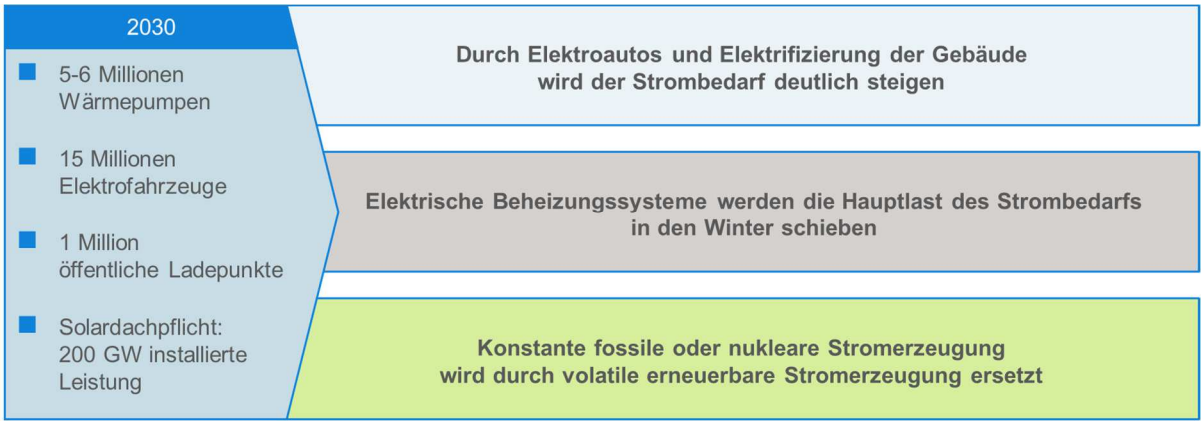


Abbildung 4: Das politische Ziel, formuliert im Koalitionsvertrag von 2021, wird zu einem deutlich veränderten Stromnetz führen.

Gebäude haben das Potenzial, die Integration erneuerbarer Energieressourcen erheblich zu unterstützen, indem sie die Schwankungen der Wind- und Solarstromerzeugung durch Flexibilität auf der Nachfrageseite ausgleichen.

Es ist unstrittig, dass für dieses ambitionierte Ziel sowohl Verbrauchsreduktionen durch baulichen Wärmeschutz als auch erneuerbare Energien in großem Maßstab erforderlich sind. Über das möglichst kostenoptimale Verhältnis von Effizienz und erneuerbaren Energien gab es bisher jedoch noch keinen Konsens. So wurde auch die Meinung vertreten, man könne einen Mangel an Energieeffizienz mit erneuerbaren Energien und synthetischen Gasen (Power-to-Gas) ausgleichen. In extremerer Ausprägung war die Rede von „Dämmwahn“, „Volksverdämmung“ und vom Volk der „Dichter und Dämmer“.

Dass die Energieeffizienz der Gebäudehülle volkswirtschaftliche Vorteile hat, wurde ausführlich von ifeu gemeinsam mit dem Fraunhofer IEE und Consentec in einer Studie für die Agora Energiewende untersucht (ifeu et al. 2018). Durch eine Kopplung von vier Modellen wurden die volkswirtschaftlichen Vorteile einer

Kombination aus hoher Effizienz und erneuerbaren Energien herausgearbeitet: die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten sind günstiger, wenn man effiziente Gebäudestandards mit erneuerbaren Energien koppelt, Infrastruktur-Aufwendungen sind geringer, Importrisiken und Preisvolatilität werden reduziert und die nationale Wertschöpfung erhöht.

Vergessen wird häufig, dass der thermische Energiebedarf von Gebäuden erhebliche Reserven zur Stabilisierung der elektrischen Netze und zur Bedienung negativer Residuallasten bietet. Die Energieversorgung von Gebäuden sollte daher diese Potenziale möglichst weitgehend erschließen.

Im Rahmen dieser Studie soll gezeigt werden, dass Wärmepumpen und die Energieeinsparung durch einen besseren Wärmeschutz, aber auch anderer Effizienzmaßnahmen (Wärmerückgewinnung; Erhöhung der Luftdichtheit usw.) gemeinsam Effizienzsteigerungen bewirken, die eine einzelne Technologie allein nicht erreichen könnte. Diese Synergie zwischen Wärmepumpen und Wärmedämmung ist für die Wärmewende in Deutschland von entscheidender Bedeutung. Ohne sie sind die hochambitionierten und unverzichtbaren Klimaschutzziele nicht zu erreichen. Um die Wichtigkeit dieser Synergie zu verdeutlichen, wird das Zusammenspiel von Wärmedämmung und Wärmepumpen sowohl auf der Ebene der Einzelgebäude als auch des Energiesystems analysiert.

Als Konsequenz aus dieser Rolle der Wärmedämmung als eine der Hauptsäulen der Wärmewende werden die Eckpunkte für eine Wärmeschutz-Offensive dargestellt, die die Erreichung der Klimaschutzziele im Gebäudesektor absichern soll.

3. Perspektive des einzelnen Gebäudes

Wärmepumpen sind die Wärmeerzeuger der Zukunft. Alle aktuellen Szenarien gehen von einer stark wachsenden Anzahl von Wärmepumpen in deutschen Gebäuden aus (Consentec et al. 2022, Prognos et al. 2021, BCG 2021, dena 2021a). Wärmepumpen werden die neue Standardtechnologie – nicht nur im Neubau, sondern auch in Bestandsgebäuden. Dabei stellt sich stets die Frage, wie gut Wärmepumpen und Altbauten harmonieren – insbesondere ungedämmte Altbauten. Können Wärmepumpen in jedes Gebäude eingebaut werden oder gibt es Grenzen, die ihre Verwendung unmöglich oder für die Betreiber unattraktiv machen? Dieses Kapitel beleuchtet die technischen Grenzen für den Wärmepumpeneinsatz und zeigt gleichzeitig Lösungen zu ihrer Überwindung auf.

3.1. Effizienz von Wärmepumpen in verschiedenen Gebäude-Effizienzklassen

Wärmepumpen machen Umgebungswärme aus der Luft, dem Erdreich oder anderen Quellen für die Beheizung von Räumen nutzbar. Sie setzen elektrischen Strom ein, um die Umgebungswärme von einem niedrigen Temperaturniveau auf ein höheres zu „pumpen“. Typischerweise können Wärmepumpen mit dem Einsatz einer Kilowattstunde Strom 2,5 bis 4,5 Kilowattstunden Wärme bereitstellen. Das Verhältnis der erzeugten Wärmemenge eines ganzen Jahres zur eingesetzten Energie bezeichnet man als Jahresarbeitszahl ($SCOP_{WPA}$). Je höher sie ist, desto effizienter und wirtschaftlicher läuft die Wärmepumpe. Die Jahresarbeitszahl kann gemessen werden, wenn die Wärmepumpe einen eigenen Stromzähler hat und einen Wärmemengenzähler. Sie kann auch im Voraus mit einiger Genauigkeit berechnet werden mit den Berechnungsverfahren der VDI 4650. Dabei werden neben den technischen Daten der Wärmepumpe auch die Gegebenheiten des Gebäudes berücksichtigt, z. B., ob eine Fußbodenheizung vorhanden ist oder Heizkörper.

Ein wesentlicher Einfluss auf die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen ist die Vorlauftemperatur – also die Temperatur, die die Wärmepumpe dem Haus zur Verfügung stellt. Sie kann nicht frei gewählt werden, sondern ergibt sich aus

- den Wärmeverlusten des Gebäudes
- und der Leistungsfähigkeit der Heizkörper oder der Fußbodenheizung.

Je niedriger die Vorlauftemperatur ist, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 5 dargestellt mit berechneten Werten und in Abbildung 6 mit gemessenen Werten aus einem Feldtest des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme (ISE). Die Abbildungen zeigen ebenfalls, dass Wärmepumpen, die Luft als Wärmequelle nutzen, grundsätzlich eine geringere Jahresarbeitszahl haben als solche, die das Erdreich nutzen. Beide Abbildungen zeigen denselben Trend: bei höheren Vorlauftemperaturen fällt die Effizienz deutlich ab, was zu höheren Kosten und Treibhausgasemissionen führt.

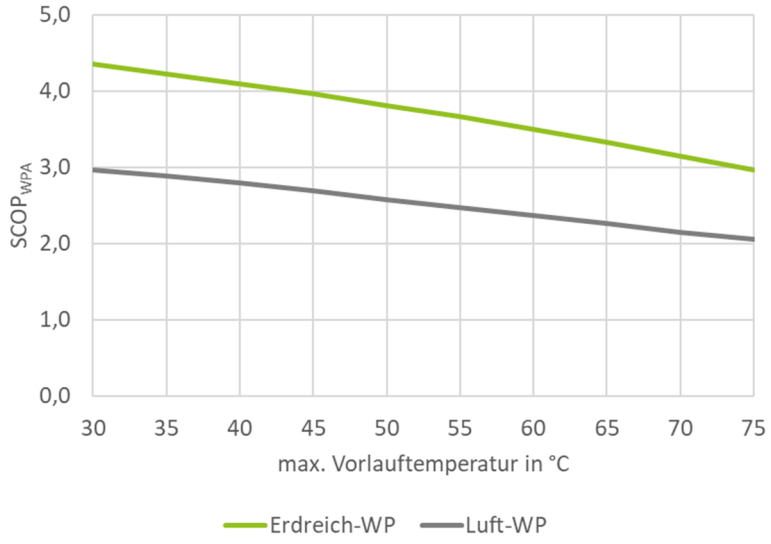


Abbildung 5: Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur (berechnet nach VDI 4650)

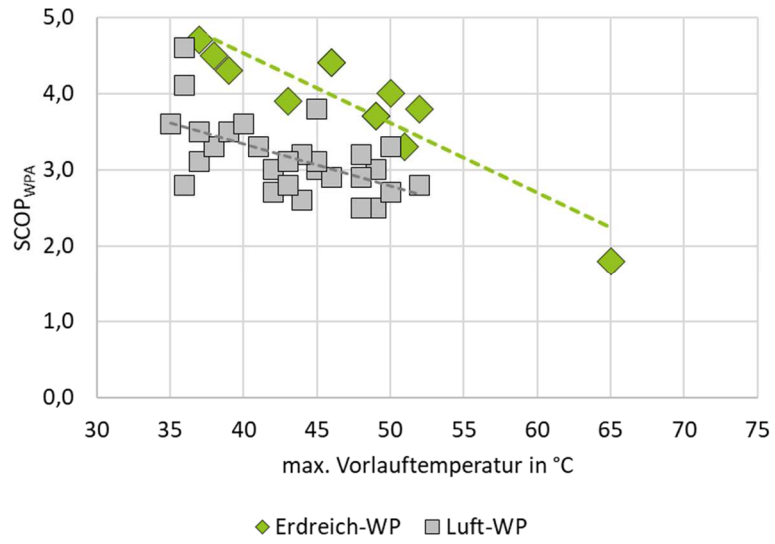


Abbildung 6: Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur (gemessene Werte, eigene Darstellung, Quelle: Fraunhofer ISE 2020)

Die folgende Berechnung zeigt, wie die Jahresarbeitszahl von der Effizienzklasse der Gebäude beeinflusst wird. Die Berechnung kann nur exemplarisch durchgeführt werden, da die Ergebnisse im konkreten Gebäude von der jeweiligen Ausstattung abhängen. So ist die konkrete Vorlauftemperatur für jedes Einzelgebäude raumweise zu berechnen und kann entsprechend variieren. Überdies kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob die rechnerisch erforderlichen Vorlauftemperaturen tatsächlich an der Heizungsregelung eingestellt wurden. Bisher galt die Maxime, dass die Vorlauftemperatur nicht zu gering sein durfte. Für Wärmepumpen darf sie nun auch nicht mehr zu hoch sein. Auch der gewählte Wärmepumpentyp hat einen hohen Einfluss auf das Ergebnis. Trotz der unterstellten Vereinfachungen gibt die folgende Berechnung einen Rahmen für den Einfluss der Effizienzklasse auf die Jahresarbeitszahl. Tabelle 1 zeigt alle Parameter für die Berechnung nach VDI 4650. Die Parameter werden im Folgenden zeilenweise erklärt.

Es wurde eine Luft-Wärmepumpe unterstellt, da diese aktuell rund 87% Marktanteil haben (bwp 2023). Die Leistungszahlen der Wärmepumpe (COP) wurden für die verschiedenen Gebäude-Effizienzklassen nicht variiert, damit sie die Ergebnisse nicht überlagern. Verschiedene Wärmepumpentypen weisen zwar unterschiedliche Leistungszahlen auf, es gibt jedoch keinen signifikanten Zusammenhang mit der Nennwärmeleistung bzw. Effizienzklasse des Gebäudes.

Die maximale Vorlauftemperatur wurde vereinfachend in Schritten von 5 K pro Effizienzklasse angehoben. Es gibt diesen direkten Zusammenhang nicht, aber die gewählten Temperaturen können als durchaus typisch für die jeweilige Effizienzklasse angesehen werden.

Die Heizgrenztemperatur ist die mittlere Außentemperatur eines Tages, bei deren Unterschreitung das Gebäude beheizt wird. Sie wird durch den Wärmeschutz eines Gebäudes beeinflusst. Für Altbauten liegt sie typischerweise bei 15°C. je besser der Dämmstandard eines Gebäudes, desto geringer wird die Heizgrenztemperatur.

Die Normaußentemperatur hängt von der Region ab, in der ein Gebäude steht. Sie die tiefste Außentemperatur, die in 20 Jahren zehn Mal an zwei aufeinanderfolgenden Tagen aufgetreten ist. Sie ist für die Regionen in Deutschland in der DIN 12831 definiert.

Die Korrekturfaktoren für unterschiedliche Betriebsbedingungen werden in Abhängigkeit von den Vorlauf-, Heizgrenz- und Normaußentemperaturen aus Tabelle 15 der VDI 4650 abgelesen.

Die Temperaturdifferenz am Verflüssiger auf dem Prüfstand ist ein Vorgabewert aus DIN EN 14511. Die Temperaturdifferenz am Verflüssiger im konkreten Projekt beschreibt die Temperaturspreizung, auf die eine Wärmepumpe in einem konkreten Gebäude eingestellt wird. Je schlechter der Wärmeschutz eines Gebäudes, desto größer muss diese Temperaturdifferenz sein. Mit diesen beiden Temperaturdifferenz-Werten wird ein Korrekturfaktor aus Tabelle 1 der VDI 4650 abgelesen.

Effizienzklasse	**A+**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**
Leistungszahl der Wärmepumpe bei A-7/W35 ε_N	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
Leistungszahl der Wärmepumpe bei A2/W35 ε_N	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
Leistungszahl der Wärmepumpe bei A10/W35 ε_N	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54
maximale Vorlauftemperatur $T_{Vorl,max}$ [°C]	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Heizgrenztemperatur [°C]	10	10	12	12	15	15	15	15	15
Normaußentemperatur ϑ_e [°C]	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
Korrekturfaktor bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen, Heizung $F_{\vartheta 1}$	0,135	0,145	0,136	0,148	0,135	0,143	0,157	0,173	0,190
Korrekturfaktor bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen, Heizung $F_{\vartheta 2}$	0,682	0,721	0,709	0,755	0,720	0,767	0,821	0,879	0,942
Korrekturfaktor bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen, Heizung $F_{\vartheta 3}$	0,162	0,170	0,241	0,253	0,349	0,381	0,402	0,426	0,450
Temperaturdifferenz am Verflüssiger bei der Prüfstandsmessung $\Delta\vartheta_M$ [K]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Temperaturdifferenz am Verflüssiger im konkreten Projekt $\Delta\vartheta_B$ [K]	5	5	6	7	8	9	10	10	10
Korrekturfaktor für abweichende Temperaturdifferenzen am Verflüssiger $F_{\Delta\vartheta}$	1,000	1,000	1,010	1,020	1,031	1,041	1,051	1,051	1,051
Jahresarbeitszahl Heizbetrieb $SCOP_H$	3,55	3,35	3,29	3,12	3,09	2,91	2,75	2,56	2,39
Jahresarbeitszahl Brauchwassererwärmung $SCOP_W$	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
monovalenter Betrieb	x	x	x						
bivalenter Betrieb, monoenergetisch parallel				x	x	x	x	x	x
Leistungsanteil ξ der Wärmepumpe bei Normaußentemperatur	100%	100%	85%	70%	55%	45%	40%	35%	30%
Deckungsanteil α	1	1	1	0,99	0,975	0,95	0,93	0,9	0,87
Anteil des Heizwärmebedarfs	50%	70%	80%	85%	88%	90%	91%	93%	93%
Anteil des Warmwasser-Wärmebedarfs	50%	30%	20%	15%	12%	10%	9%	7%	7%
Gesamt-Jahresarbeitszahl $SCOP_{WPA}$	**3,21**	**3,21**	**3,21**	**3,02**	**2,92**	**2,66**	**2,46**	**2,23**	**2,04**

Tabelle 1: Beispielhafte Berechnung der Jahresarbeitszahl nach VDI 4650 für verschiedene Gebäude-Effizienzklassen inklusive der maßgebenden Eingangsparameter

Die Jahresarbeitszahlen für den Heizbetrieb und die Warmwasserbereitung werden mit den angegebenen Parametern und Korrekturfaktoren berechnet. Der Wert für die Warmwasserbereitung ist unabhängig von der Effizienzklasse und daher in allen Klassen konstant.

Für die Effizienzklassen A+, A und B wird unterstellt, dass die Gebäude nur durch die Wärmepumpen beheizt werden können. Ab Klasse C wird bei kalter Witterung zusätzlich ein Heizstab einspringen. Der Leistungsanteil der Wärmepumpe bei Normaußentemperatur gibt an, wie viel die Wärmepumpe an besonders kalten Tagen zur Wärmeerzeugung beiträgt. Der verbleibende Rest wird mit einem Heizstab bereitgestellt. Aus diesen Angaben wird der Deckungsanteil der Wärmepumpe nach VDI 4650 berechnet.

Die Jahresarbeitszahlen für Heizung und Warmwasser werden entsprechend ihrer jeweiligen Anteile gewichtet und zur Gesamt-Jahresarbeitszahl verrechnet. Da der Warmwasserbedarf unabhängig von der Effizienzklasse des Gebäudes konstant ist, hat er in gut gedämmten Gebäuden einen hohen Anteil am Gesamtwärmebedarf. Die Gesamt-Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ist für alle Effizienzklassen in der letzten Zeile dargestellt.

Die Ergebnisse aus Tabelle 1 sind in Abbildung 7 grafisch dargestellt. Der starke Abfall der Jahresarbeitszahl in den schlechteren Effizienzklassen wird deutlich. Die Effizienz der Wärmepumpe ist in der schlechtesten Gebäudeklasse H um 36% geringer als in Klasse A+. Dies wirkt sich linear auf die Treibhausgasemissionen und die Heizkosten aus, die dann entsprechend höher sind.

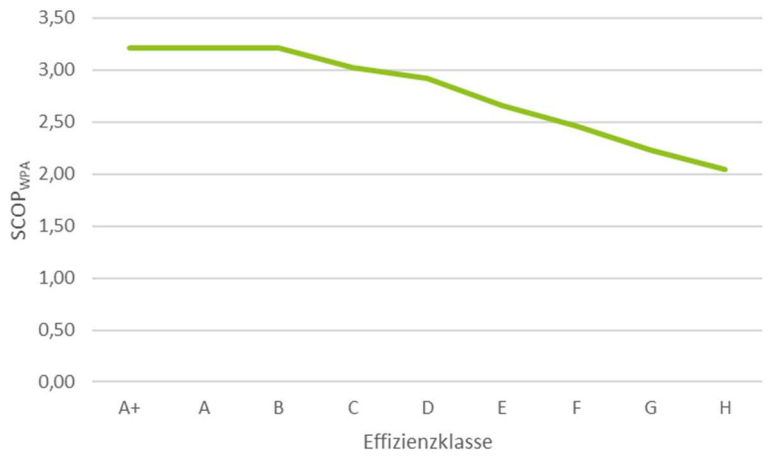


Abbildung 7: Beispielhafte Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Gebäude-Effizienzklasse

Wärmepumpen können ihre hohe Effizienz nur in gut gedämmten Gebäuden erzielen. Je schlechter der Wärmeschutz eines Gebäudes ist, desto ineffizienter läuft eine Wärmepumpe, solange die Wärmeübergabe-Flächen nicht verändert werden.

3.2. Auswirkungen des Energiepreisanstiegs im Jahr 2022 auf verschiedene Effizienzklassen

Die Preise für Energie sind seit dem russischen Überfall auf die Ukraine im Februar 2022 stark angestiegen. Bürgerinnen und Bürger machen sich große Sorgen um die Versorgungssicherheit und die Bezahlbarkeit ihrer Heizkosten. Die Bundesregierung hat sie daher mit zwei Entlastungspaketen, zwei Energieversorgungssicherungsverordnungen (EnSikuMaV und EnSimiMaV) und der Gaspreisbremse unterstützt.
In der öffentlichen Debatte wurde der Einfluss des Wärmeschutzes auf die Mehrkosten jedoch kaum wahrgenommen. Die folgenden Berechnungen zeigen, wie stark sich die Effizienzklasse eines Gebäudes auf die Mehrbelastung durch die Preisexplosion auswirkt.

Abbildung 8 zeigt die monatlichen Energiekosten für ein Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 160 m² und eine Wohnung mit 75 m² in einem Mehrfamilienhaus. Dargestellt sind jeweils die Kosten bei Beheizung mit einem Brennwert-Kessel mit Erdgas und einer Luft-Wärmepumpe. Bei der Berechnung wurde berücksichtigt, dass die Bewohner von ineffizienten Gebäuden sich sparsamer verhalten als Bewohner von effizienten Gebäuden. Dazu wurde der Energiebedarf der Effizienzklassen in einen typischen Energieverbrauch umgerechnet, der bei diesem energetischen Standard zu erwarten ist. Grundlage für die Umrechnung ist eine empirische Auswertung von Energiebedarfs- und Verbrauchsausweisen des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU 2015). Der Jahresverbrauch wurde mit Hilfe von monatlichen Heizgradtagen auf die einzelnen Monate verteilt und mit den aktuellen Energiepreisen der jeweiligen Monate multipliziert (Verivox 2022a und b). Der Monat Dezember wurde dabei ausgespart, weil noch keine Preisdaten vorlagen.

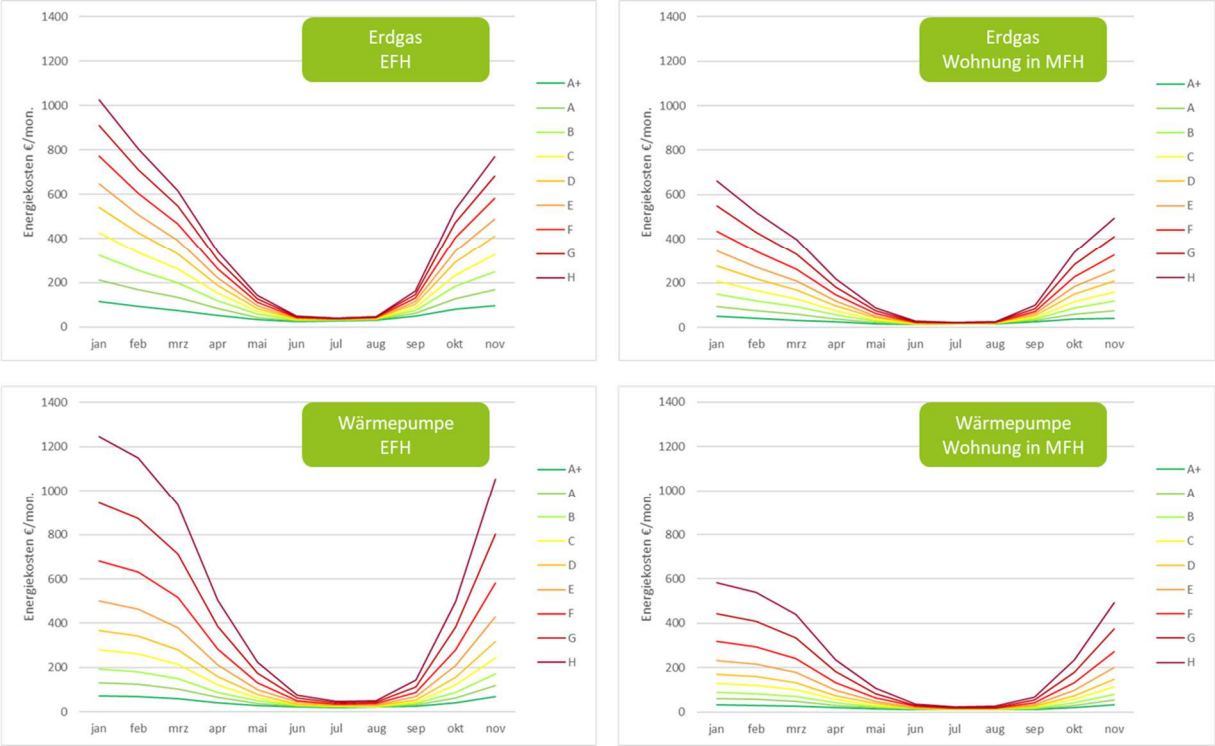


Abbildung 8: Energiekosten für Raumwärme und Warmwasser nach Effizienzklasse, für verschiedene Wärmeerzeuger und Gebäudegrößen

Die dargestellten Kosten entsprechen nicht den Heizkostenabschlägen, wie sie von den Bewohnern zu zahlen sind, sondern zeigen, in welchem Monat welche Kosten tatsächlich entstehen. Es ist deutlich zu erkennen, dass in den Wintermonaten hohe Heizkosten anfallen, während im Sommer nur die Warmwasserbereitung zu bezahlen ist. Die Farben stellen die verschiedenen Gebäude-Effizienzklassen nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) dar. Hier zeigen sich große Bandbreiten während der Heizperiode. Wie zu erwarten, betragen die Heizkosten in den schlechteren Effizienzklassen ein Vielfaches derer in den guten Klassen. Der Unterschied zwischen dem Einfamilienhaus (linke Grafiken in Abbildung 8) und der Wohnung im Mehrfamilienhaus (rechte Grafiken) geht in erster Linie auf die größere Wohnfläche im Einfamilienhaus zurück. Beim Vergleich der Gasheizung (obere Grafiken in Abbildung 8) mit der Wärmepumpe (untere Grafiken) fällt die größere Bandbreite zwischen den Effizienzklassen auf. Bei genauerem Hinsehen ist zu erkennen, dass die Wärmepumpe in den guten Effizienzklassen geringere Heizkosten verursacht als die Gasheizung, bei den schlechteren Effizienzklassen aber teurer ist.

Dieser Effekt wird besser sichtbar, wenn man die Monatskosten zu Jahreskosten aufsummiert. Abbildung 9 zeigt, die jährlichen Heizkosten in 2022 (ohne Dezember) im Vergleich zum Mittel der Jahre 2013 bis 2021. Die elastische Preisreaktion der Verbraucher auf die extrem gestiegenen Preise wurde dabei nicht berück-

sichtigt. Für Gasverbraucher lagen zum Zeitpunkt der Berechnung nur vage Auswertungen vor, für Wärmepumpen gar keine. Die so berechneten Mehrkosten gegenüber den acht vorausgegangenen Jahren (ebenfalls ohne Dezember) beträgt

- Gasheizung
  - Einfamilienhaus
    - Klasse A+ 370 Euro
    - Klasse H 2.464 Euro
  - Wohnung in Mehrfamilienhaus
    - Klasse A+ 170 Euro
    - Klasse H 1.574 Euro
- Wärmepumpe
  - Einfamilienhaus
    - Klasse A+ 83 Euro
    - Klasse H 849 Euro
  - Wohnung in Mehrfamilienhaus
    - Klasse A+ 41 Euro
    - Klasse H 401 Euro

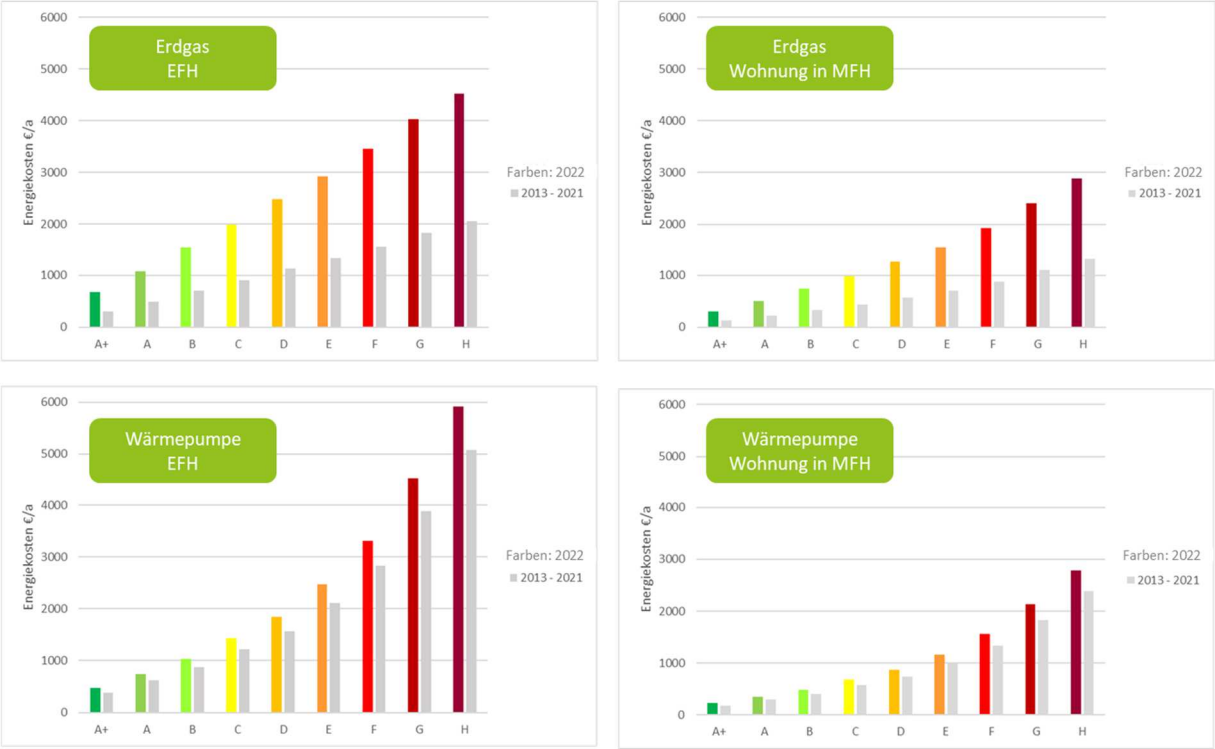


Abbildung 9: Heizkosten nach Effizienzklasse in 2022 und vor Ausbruch des Ukraine-Kriegs für Gasheizungen und Wärmepumpen für ein Einfamilienhaus und eine Wohnung (Annahme Wärmepumpen: Haushaltstarif)

Durch diesen Vergleich wird deutlich, dass die Mehrkosten durch den Krieg in der Ukraine die Bewohner von ineffizienten Gebäuden wesentlich stärker treffen als Bewohner von gut gedämmten Gebäuden. Die Mehrkosten sind in den schlechten Gebäuden 6- bis 10-mal höher.

Die Unterschiede zwischen Gasheizungen und Wärmepumpen gehen zum einen auf die unterschiedlichen Preispfade in 2022 bei Erdgas und Strom zurück, zum anderen auf die verschiedenen Ausgangssituationen

in den vorangegangenen Jahren. So sind die Kosten für die Wärmepumpen bei den gewählten Rahmenbedingungen etwas höher als bei der Gasheizung (es wurde mit dem Haushaltstarif gerechnet und nicht mit einem Wärmepumpentarif).

In Abbildung 10 sind die Heizkosten der Gasheizungen und Wärmepumpen aus dem Jahr 2022 gegenübergestellt. Es ist besonders auffällig, dass die Heizkosten der Wärmepumpe im Einfamilienhaus bei den besseren Effizienzklassen niedriger sind als bei der Gasheizung, bei den schlechteren Effizienzklassen aber stark ansteigen und die Gasheizungen überholen. Dieser Effekt wird durch die geringeren Jahresarbeitszahlen bei den schlechteren Gebäuden verursacht (siehe Abbildung 7). Er führt dazu, dass der ohnehin höhere Verbrauch der ungedämmten Gebäude zusätzlich durch eine geringe Effizienz der Wärmepumpe gehebelt wird. Auch wenn Wärmepumpen bislang in der Regel nicht in Gebäuden der Klassen G und H installiert werden, muss dieser Effekt trotzdem auch in Zukunft beachtet werden, wenn jährlich 500.000 Wärmepumpen installiert werden sollen (BMWK 2022a) (siehe dazu auch Kapitel 4.3). Positiv formuliert führt der Synergieeffekt von Wärmeschutz und Wärmepumpe dazu, dass durch eine Senkung des Heizwärmebedarfs um 18% (zum Beispiel von Klasse G auf F) die Heizkosten um 37% senkt.

Abbildung 10: Vergleich der Heizkosten von Gasheizungen und Wärmepumpen im Jahr 2022 für ein Einfamilienhaus und eine Wohnung

Die Preissteigerungen durch den Krieg in der Ukraine betreffen die Bewohner von ungedämmten Gebäuden 6- bis 10-mal härter als Bewohner von effizienten Gebäuden.

3.3. Restriktionen für Wärmepumpen in ungedämmten Gebäuden

Der Mythos, dass Wärmepumpen nur in Neubauten und in Kombination mit einer Fußbodenheizung installiert werden können ist überwunden. In 2020 wurden rund 50.000 Wärmepumpen in Bestandsgebäuden eingebaut (dena 2021b). In einem Feldtest des Fraunhofer Instituts ISE wurden ausschließlich Wärmepumpen in Bestandsgebäuden untersucht. 13 von 41 Anlagen wurden dabei zu 100% mit Heizkörpern betrieben. Weitere 12 Anlagen wurden zu 50% oder mehr mit Heizkörpern betrieben (ISE 2020). Die Gebäude waren überwiegend teilsaniert. Abbildung 11 zeigt die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile und einen Gebäudekennwert, der etwa dem hüllflächenspezifischen Transmissionswärmetransferkoeffizienten (Ht´) im Energieausweis entspricht. Der Heizwärmebedarf der Gebäude weist eine hohe Bandbreite zwischen 40 und 130 kWh/m²a auf. Die meisten Gebäude sind etwa auf dem Wärmeschutzniveau der 3 Wärmeschutzverordnung von 1995. In dem Feldtest ist jedoch kein ungedämmter Altbau aus der Zeit vor 1978 dabei.

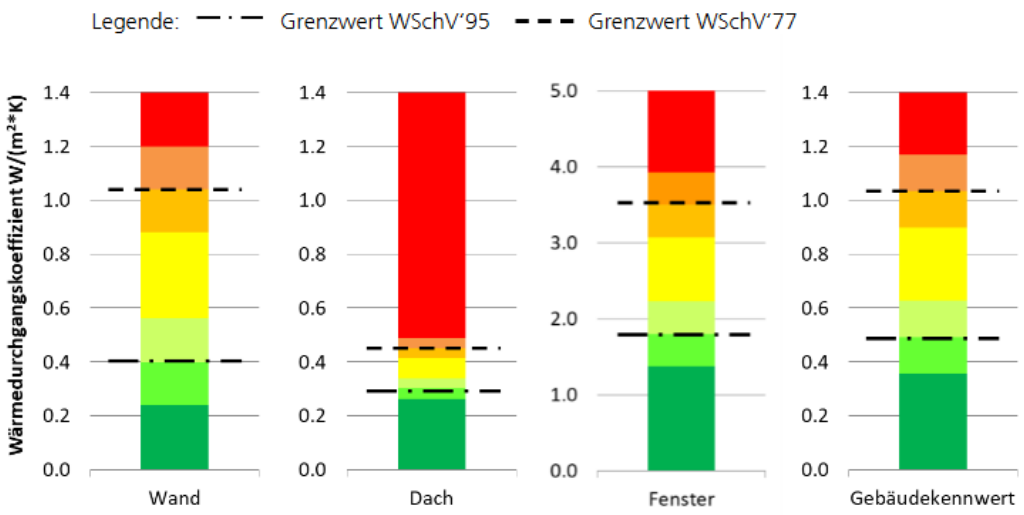


Abbildung 11: Wärmeschutzqualität der Bestandsgebäuden mit Wärmepumpe, die am Feldtest teilgenommen haben (Quelle: ISE 2020)

Ziel dieses Kapitels ist zu zeigen, ob technische Hindernisse für den Einbau von Wärmepumpen in ungedämmten Altbauten bestehen. Es werden zwei mögliche Restriktionen untersucht, die sich aus dem großen Einfluss der Vorlauftemperatur auf die Effizienz von Wärmepumpe ergeben könnten:

- Können die Heizkörper die gegebene Heizlast abdecken?
- Können die Rohrleitungen die erforderliche Wärmemenge transportieren?

Zur besseren Orientierung zeigt Abbildung 12 die grundlegenden Elemente eines Heizkreises.

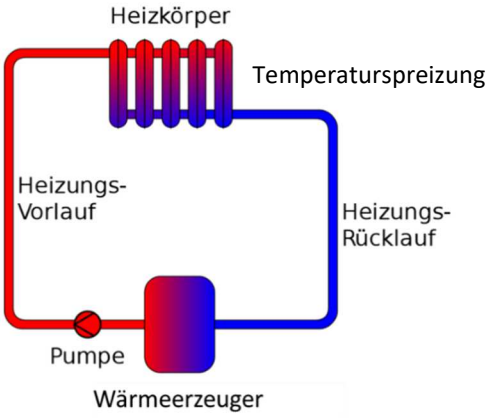


Abbildung 12: Allgemeines Schema eines Heizkreises mit Begriffserklärung

Einfluss des Wärmeschutzes auf die Deckung der Heizlast

Die erste potenzielle Restriktion ergibt sich, weil die Wärmeabgabe von Heizkörpern sinkt, wenn die Vorlauftemperatur gesenkt wird. Wird die Vorlauftemperatur in einem Heizkreis gesenkt, damit die Wärmepumpe mit einer guten Effizienz arbeitet – z.B. von 70 auf 55°C –, so kann es sein, dass einzelne Räume nicht mehr ausreichend warm werden. In diesen Räumen sind nun die Wärmeverluste durch Wände, Fenster oder Lüftung größer als die Leistung des Heizkörpers. Diese kritischen Räume können durch eine Berechnung identifiziert werden. In der Regel ist es möglich, die vorhandenen Heizkörper durch größere mit höherer Leistung zu ersetzen. Dies können Heizkörper einer anderen Bauart sein (z.B. Plattenheizkörper Typ 33 statt Typ 21), Gebläsekonvektoren oder

Heizkörper mit größeren Abmessungen, sofern die räumliche Situation dies zulässt. Die Frage ist, ob es eine Grenze beim Austausch von Heizkörpern gibt, durch die der Einbau einer Wärmepumpe verhindert wird. Dazu wird die Heizleistung von drei Heizkörpern in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur aufgezeichnet:

- Ein Heizkörper, dessen Leistung bei 70°C Vorlauftemperatur die Heizlast des Raumes um 120% übersteigt (z.B. Typ 21 in Abbildung 13),
- ein Heizkörper, dessen Leistung bei 70°C Vorlauftemperatur die Heizlast des Raumes um 220% übersteigt (z.B. Typ 33 mit denselben Außenmaßen in Abbildung 13),
- ein Heizkörper, dessen Leistung bei 70°C Vorlauftemperatur die Heizlast des Raumes um 330% übersteigt (z.B. Typ 33 mit 50% größeren Abmessungen in Abbildung 13).

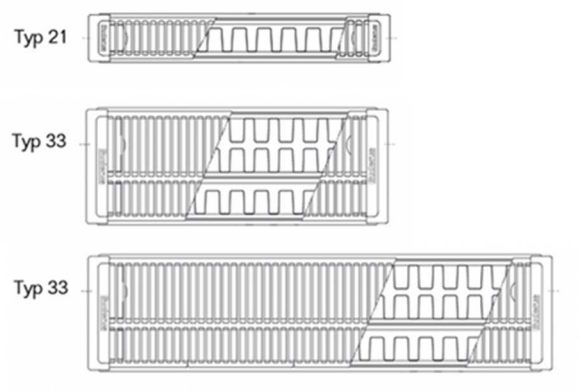


Abbildung 13: Beispiele für Plattenheizkörper: Wenn Typ 21 im Ist-Zustand vorhanden ist, kann er durch Typ 33 gleicher Größe ausgetauscht werden, wodurch die Heizleistung auf 220% steigt, oder durch einen Typ 33, der 50% größer ist und die Leistung auf 330% steigert.

Abbildung 14 zeigt, dass der vorhandene Heizkörper mit 120% Leistung (bei 70°C Vorlauf) bei einer Absenkung der Vorlauftemperatur auf 60°C die Heizlast des Raumes nicht mehr abdeckt (roter Bereich). Wird er gegen einen Heizkörper mit 220% Leistung ausgetauscht, kann die Vorlauftemperatur bis 50°C gesenkt werden. Bei Austausch gegen einen Heizkörper mit 330% Leistung, wird der Raum auch bei einer Vorlauftemperatur von 43°C noch ausreichend warm. Diese Vorlauftemperaturen sind für den Betrieb einer Wärmepumpe gut geeignet.

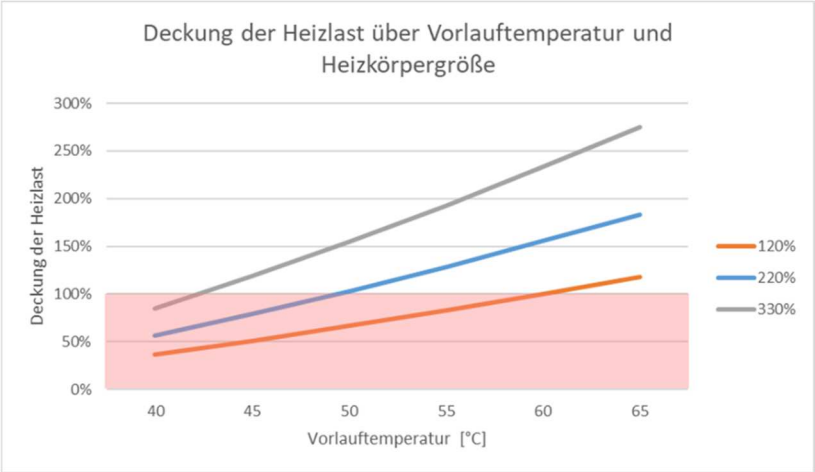


Abbildung 14: Deckung der Heizlast mit verschieden überdimensionierten Heizkörpern in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur. Im roten Bereich wird die Heizlast nicht ausreichend abgedeckt.

Es ist jedoch fraglich, ob ein solcher Austausch gerade in ungedämmten Altbauten immer möglich ist. Häufig sind in solchen Gebäuden bereits große Heizkörper installiert, um die hohe Heizlast zu decken. Ein Austausch ist dann aus Platzgründen u.U. nicht möglich. Wenn dagegen kleine Heizkörper verbaut wurden, ist meist eine höhere Vorlauftemperatur erforderlich (75 bis 90°C). Um die Räume mit Vorlauftemperaturen unter 55°C ausreichend zu beheizen, sind auch in diesem Fall sehr große Heizkörper erforderlich, die u.U. räumlich nicht passen.
Die technische Restriktion durch unzureichende Wärmeabgabe kann nicht abschließend quantifiziert werden, da sie stark von den baulichen und räumlichen Gegebenheiten im einzelnen Gebäude abhängt. Die Größe der Heizkörper relativ zur Heizlast der Räume variiert sogar innerhalb von Wohneinheiten sehr stark, so dass einzelne, kritische Räume mit großen Heizkörpern nachgerüstet werden müssen und andere Räume gut mit dem vorhandenen Heizkörper beheizt werden können. Auch ist es möglich, an besonders kalten Tagen mit weiteren Wärmeerzeugern (z. B. Handtuchheizkörper oder Infrarotstrahler in Badezimmer, (partikelarme) Kaminöfen o.a.) die erforderliche Heizlast bereitzustellen. Es kann jedoch festgehalten werden, dass die Problemlage umso schwieriger ist, je höher der Wärmebedarf eines Gebäudes ist.

Einfluss des Wärmeschutzes auf den Wärmetransport

Eine weitere Restriktion kann sich daraus ergeben, dass die Rohrleitungen in Bestandsgebäuden für den Betrieb von Wärmepumpen nicht ausreichend dimensioniert sind. Die Heizkreise in Bestandsgebäuden sind in der Regel für Heizkessel ausgelegt, die eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 50°C haben – also eine Temperaturspreizung (Differenz) von 20 K. Wärmepumpen laufen dagegen mit Temperaturspreizungen zwischen 5 und 10 K. Das bedeutet, dass sie bei der gleichen Durchflussgeschwindigkeit des Heizungswassers nur die halbe Leistung transportieren können. Aus diesem Zusammenhang kann berechnet werden, welche Durchflussgeschwindigkeit nötig ist, um die gewünschte Leistung zu transportieren. Die benötigte Leistung hängt wiederum vom Wärmeschutzniveau des Gebäudes ab. Zusätzlich wird die Durchflussgeschwindigkeit durch den Rohrdurchmesser beeinflusst. Da die Berechnungen sich hier stets auf einzelne Räume beziehen, wird der Durchmesser der Heizkörperanschlussleitung eines einzelnen Heizkörpers betrachtet. Die Durchflussgeschwindigkeit des Heizungswassers in diesen Leitungen soll 0,5 ms^{-1} als Richtwert nicht überschreiten. Oberhalb dieser Grenze steigt der Druckverlust stark an und es treten vermehrt Fließgeräusche auf.

Abbildung 15 zeigt die Durchflussgeschwindigkeit des Heizungswassers in der Heizkörperanschlussleitung relativ zur maximalen Durchflussgeschwindigkeit von 0,5 ms^{-1} für verschiedene Rohrdurchmesser und verschiedene Gebäude-Effizienzklassen. Der rote Bereich kennzeichnet eine Überschreitung der maximalen Durchflussgeschwindigkeit. Die zugrundeliegende Spreizung beträgt 10 K. Dies ist der empfohlene Maximalwert für Wärmepumpe, die mit Heizkörpern betrieben werden (bwp 2019). Bei einer geringeren Sprei-

zung verschieben sich die Kurven zunehmend in den roten Bereich. Der Bezug zu den Gebäude-Effizienzklassen auf der Abszisse wurde über eine Zuweisung der spezifischen Heizlast hergestellt. Dieser Bezug kann nicht eindeutig mathematisch hergestellt werden, sondern orientiert sich an typischen Richtwerten. Er ist in Tabelle 2 gezeigt.

Effizienzklasse	spez. Heizlast [W/m²]
B	60
C	70
D	80
E	90
F	100
G	120
H	130

Tabelle 2: Zuweisung der spezifischen Heizlast zu den Gebäude-Effizienzklassen

Bei üblichen (Außen-)Durchmessern der Heizkörperanschlussleitung von 12 bis 15 mm kommt es zu Überschreitungen der maximalen Durchflussgeschwindigkeit. Dies muss kein Ausschlusskriterium für den Einbau einer Wärmepumpe sein, da die zugrundeliegende Leistung auf die Normaußentemperatur bezogen ist, die per Definition nur selten herrscht. Es ist aber klar zu erkennen, dass dieses Problem bei den besseren Gebäude-Effizienzklassen deutlich weniger virulent ist.

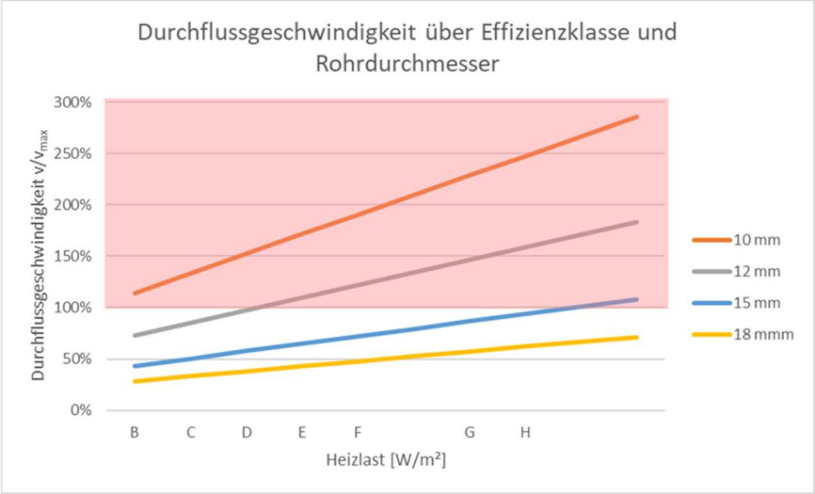


Abbildung 15: Durchflussgeschwindigkeit des Heizungswassers in der Heizkörperanschlussleitung in Bezug auf die maximale Durchflussgeschwindigkeit für verschiedene Gebäude-Effizienzklassen und verschiedene Rohrdurchmesser. Im roten Bereich wird die maximale Durchflussgeschwindigkeit überschritten.

Für beide untersuchten Restriktionen – Abdeckung der Heizlast und Transport der erforderlichen Wärmemenge - können keine harten mathematischen Grenzen hergeleitet werden. Dennoch zeigen beide Untersuchungen, dass technische Aufgabenstellungen beim Einbau von Wärmepumpen in ineffizienten Bestandsgebäuden zu beachten sind und dass beide Problemlagen schwieriger werden, je schlechter ein Gebäude gedämmt ist.

Es können keine harten mathematischen Grenzen für die untersuchten Restriktionen (erforderliche Heizlast und erforderlicher Volumenstrom) hergeleitet werden.

Die Deckung der Heizlast mit geringeren Vorlauftemperaturen ist umso schwieriger, je schlechter ein Gebäude gedämmt ist.

In schlecht gedämmten Gebäuden ist vermehrt mit Überschreitungen der maximalen Durchflussgeschwindigkeit in den Rohrleitungen zu rechnen.

Beide Probleme sind in gut gedämmten Gebäuden kaum zu erwarten.

3.4. Gebäude für erneuerbare Energien vorbereiten

Effiziente Wärmepumpen sind wichtig, um die Treibhausgasemission im Gebäudebereich zu vermindern und Bewohner vor explodierenden Heizkosten zu schützen. Um die Effizienz von Wärmepumpen zu erhöhen, gibt es zwei Handlungsfelder:

- Steigerung der Leistungsfähigkeit der Heizkreise
  durch Austausch von Heizkörpern / Einbau einer Fußbodenheizung oder ähnlicher Flächenheizungen,
- Verminderung der Wärmeverluste
  durch Dämmung, Abdichtung, Lüftung mit Wärmerückgewinnung

Rechtlicher Rahmen

Wie groß der Einfluss dieser beiden Handlungsfelder jeweils ist, wurde in ifeu (2021b) untersucht. Wie stark der jeweilige Einfluss von Dämm- oder Heizungsmaßnahmen ist, hängt stark vom Ausgangszustand und der Kubatur der Gebäude ab. Eine individuelle Planung ist daher unerlässlich, wenn eine Wärmepumpe in ein eher ineffizientes Bestandsgebäude eingebaut werden soll. Der Umstieg auf eine Wärmepumpe sollte in eine Gesamtstrategie für das Gebäude eingebettet sein, wie sie der individuelle Sanierungsfahrplan (iSFP) bietet. Dadurch kann die richtige Mischung aus Wärmeschutz- und Anlagenmaßnahmen langfristig geplant und umgesetzt werden. Geschieht das nicht, besteht die Gefahr, dass der alte Wärmeerzeuger sein Nutzungsende erreicht, ohne dass das Gebäude vorbereitet wurde. Der Umstieg auf die Wärmepumpe wird dann erschwert, er wird teurer, da eine größere Wärmepumpe nötig wird, oder er wird gar unmöglich. In ifeu (2021b) wurde das NT-ready-Konzept eingeführt, mit dem die rechtzeitige Vorbereitung auf erneuerbare Energien vereinfacht wird.

Der Handlungsdruck für ineffiziente Bestandsgebäude verschärft sich künftig weiter. Im Koalitionsvertrag (2021) wurde das Ziel vorgegeben, dass ab 2025 jeder neu installierte Wärmeerzeuger zu mindestens 65% erneuerbare Energien nutzen soll. Dieses Ziel wurde im zweiten Entlastungspaket auf 2024 vorgezogen (BMWK 2022b). Ineffiziente Gebäude, die nicht rechtzeitig für eine Beheizung mit erneuerbaren Energien vorbereitet werden, müssen zur Erfüllung dieser Verpflichtung voraussichtlich auf teurere Technologien ausweichen, wie z. B. Hybrid-Heizungen. Holzheizungen werden absehbar nicht die Lösung für weite Teile des deutschen Gebäudebestands sein, weil Holz in Zukunft immer weniger als Brennstoff zur Verfügung stehen wird (Consentec et al. 2022). Auch wenn das aktuell noch kein Problem ist, muss es bei einer Nutzungsdauer der Heizkessel von rund 20 Jahren heute schon bedacht werden.

Die Heizungsprüfung und Heizungsoptimierung, die das Bundeswirtschaftsministerium für Gasheizungen eingeführt hat (BMWK 2022c), geht in eine ähnliche Richtung wie das NT-ready-Konzept. Hier ist die Absenkung der Vorlauftemperaturen ausdrücklich als Ziel formuliert. Ziel ist vor allem die Einsparung von Erdgas vor dem Hintergrund des Ukraine-Kriegs. Eine solche Heizungsprüfung und Heizungsoptimierung für Eigentümer von fossil-betriebenen Heizkesseln könnte mit Nachschärfungen, aber auch als Vorbereitung auf die 65%-Anforderung genutzt werden. So müssten Dämm-Maßnahmen als Mittel zum Erreichen dieses Ziels systematisch erwogen werden.

Perspektive der Eigentümer

Aus Sicht der Gebäudeeigentümer hat die Frage, ob sie sich eher mit Dämm-Maßnahmen oder Heizkörpertausch auf eine Wärmepumpe vorbereiten sollen, mehrere Aspekte.

- Die Investitionskosten für eine Wärmepumpe sind deutlich höher als für fossile Heizkessel – zumal bei dem aktuellen Ungleichgewicht von Angebot und Nachfrage. Für viele Eigentümer erscheint es finanziell nicht möglich, gleichzeitig in eine bessere Dämmung zu investieren. Ein Austausch einer begrenzten Anzahl von Heizkörpern ist dagegen deutlich günstiger.

- Immerhin könnte eine kleinere Wärmepumpe installiert werden, wenn zuvor gedämmt wurde, und dadurch ein Teil der Kosten gespart werden.

- Bei längerfristiger Betrachtung muss praktisch jedes Gebäude früher oder später unter Beachtung der Besonderheiten der Fassade gedämmt werden, um die Klimaziele einhalten zu können. Wird erst nach Einbau der Wärmepumpe gedämmt, ist die Wärmepumpe zu leistungsstark. Das führt in der Regel zu Einbußen bei der Effizienz und zu höheren Betriebskosten.

- Bei der längerfristigen Betrachtung wird auch klar, dass größere Heizkörper nicht mehr erforderlich sind, wenn das Gebäude später gedämmt wird. Sie sind dann stranded assets.

Zurzeit werden die langfristigen Benefits der Gebäudedämmung durch die kurzfristige finanzielle Überforderung der Gebäudeeigentümer verhindert. Fördermittel sollten gezielte Problemlöser dafür sein. Ein wichtiger Schritt ist mit der Zusatzförderung für die worst performing buildings in der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) getan worden, weil sie die Mittel zu den besonders ineffizienten Gebäuden lenkt. Hilfreich wäre aber eine Erweiterung der Förderung auf Einzelmaßnahmen, die im Rahmen eines individuellen Sanierungsfahrplans durchgeführt werden und speziell für den EE-Umstieg vorbereiten.

Ineffiziente Gebäude müssen rechtzeitig für den Umstieg auf erneuerbare Energien vorbereitet werden. Eine gute Gebäudedämmung trägt maßgeblich dazu bei.

Eine Dämmung trägt langfristig zu einem klimaneutralen Gebäude bei, größere Heizkörper sind langfristig stranded assets.

4. Perspektive des Energiesystems

Die vollständige Dekarbonisierung von Gebäuden erfordert die Umstellung bisheriger fossiler Beheizungssysteme auf dekarbonisierte Energiequellen, wahrscheinlich Strom. Eine solche Umstellung wird große Mengen an zusätzlicher Elektrizität, vor allem im Winter, erfordern. Da erneuerbare Energien nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen, hat die Gesamtwärmenachfrage einen hohen Einfluss darauf, in welchem Maß und mit welcher Verbreitung sie eingesetzt werden können. Im Folgenden wird gezeigt, wie das Zusammenspiel zwischen einer zukunftsorientierten, effizienten Gebäudehülle und dem klimapolitisch wichtigen Ausbau der Elektrifizierung der Gebäudebeheizung zu einer erheblichen Entlastung des Stromnetzes führen kann.

4.1. Senkung der Gleichzeitigkeit der Lasten durch Wärmedämmung

Dass eine Sanierung durch einen besseren baulichen Wärmeschutz den Heizenergieverbrauch signifikant reduzieren kann, steht außer Frage. Wenig beachtet ist hingegen die damit verbundene Absenkung der notwendigen Heizlast. Vor allem bei Wärmepumpen bestimmt die notwendige Heizlast die aufzuwendenden Investitionskosten. Die Heizlast hat auch einen erheblichen Einfluss auf das Stromnetz. Zu große Spitzenlasten können das lokale Stromnetz überlasten. Niedrige Heizlasten, die aufgrund eines systemdienlichen Wärmeschutzes erreichbar sind, garantieren hingegen eine Netzstabilität.

Zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Wärmepumpe und notwendiger Heizleistung werden instationäre thermische Berechnungen anhand zweier Typengebäude (Abbildung 16) mit Hilfe der Software WUFI Plus durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein freistehendes Einfamilienhaus im mittleren Qualitätssegment mit einer Wohneinheit. Die durchschnittliche Wohnungsgröße beträgt ca. 146 m². Das Mehrfamilienhaus in geschlossener Bebauung verfügt über Balkone. Die 6 Wohneinheiten (Zweispänner) grenzen, klassisch auf der Gebäudeachse liegend angeordnet, an ein beheiztes Treppenhaus an. Im Modell wird von einer beheizten Wohnfläche von ca. 335 m² ausgegangen. Beide Wohngebäude stammen aus den 1980er Jahren und erfüllen somit die damals geltenden Wärmeschutzverordnungen. In diesem Zustand ist die Annahme, dass die damals eingebauten Fenster bisher noch nicht ausgetauscht wurden. Auch alle anderen Außenbauteile sind noch im Originalzustand. Zum direkten Vergleich erfolgt eine systemische Sanierung auf das EH 70 Niveau.

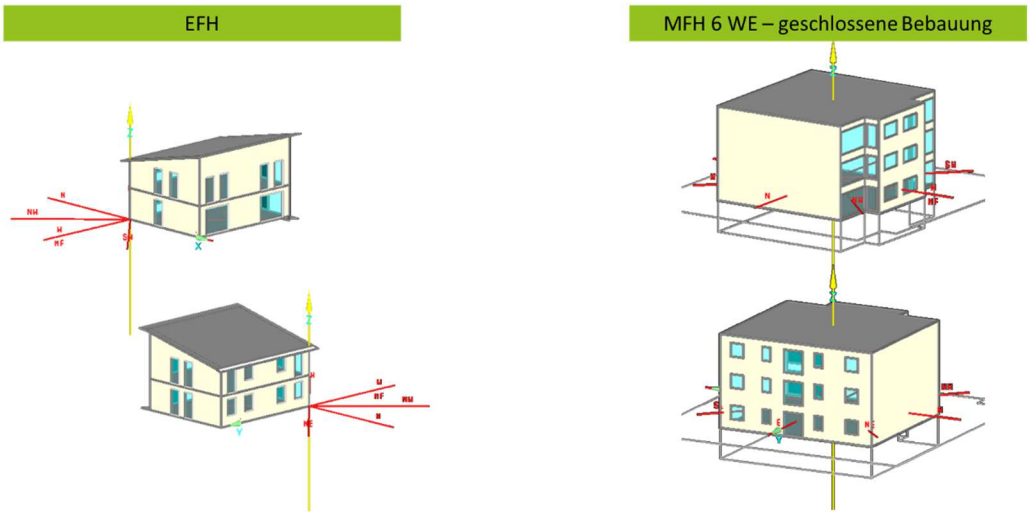


Abbildung 16: Gewählte Mustergebäude

Verglichen wird die notwendige stündlichen Heizleistung zur Aufrechterhaltung einer Innenraumtemperatur von mindestens 20°C in Abhängigkeit der Außentemperatur. Dieser direkte Vergleich ist in Abbildung 17 zu sehen. Zukunftsorientierte, gedämmte Gebäude reduzieren die Spitzenlast im Winter um den Faktor 2 – 3 und vermindern neben dem Energieverbrauch für Wärme auch die benötigten Netzkapazitäten deutlich.

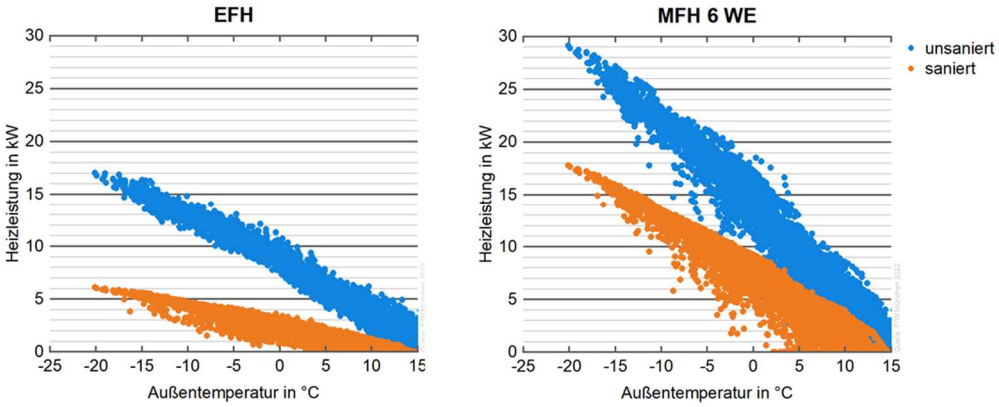


Abbildung 17: Notwendige Heizleistung zur Aufrechterhaltung einer komfortablen Innenraumtemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für die beiden betrachteten Mustergebäude bei unterschiedlichen energetischen Sanierungszuständen. Dargestellt sind die jeweiligen stündlichen Heizlasten.

Neben der reinen absoluten Auslegungs-Heizleistung ist auch der tägliche Verlauf von Bedeutung. Dazu sind in Abbildung 18 die errechneten stündlichen Heizleistungen für die beiden Typengebäude im sanierten beziehungsweise unsanierten Zustand während einer sehr kalten Winterwoche im Januar aufgezeigt. Zu erkennen ist, dass die tägliche Heizleistung starken Fluktuationen unterliegt. In der Regel sinkt die Heizleistung während des Tages und steigt in den Abendstunden schnell und stark an.

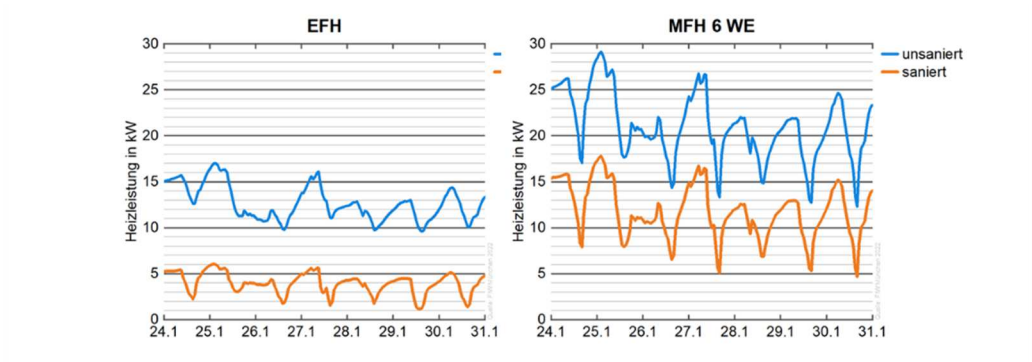


Abbildung 18: Verlauf der Heizleistung während einer kalten Winterwoche im Januar für die beiden Typengebäude mit unterschiedlichen Sanierungszuständen.

Weil die Elektromobilität boomt und zudem Häuser immer öfter mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen geheizt werden, steigt der Strombedarf – und das oft zeitgleich in vielen Haushalten. So kommt es insbesondere abends zu sogenannten "signifikanten Lasten", für die die Stromnetze im Niederspannungsnetz jedoch nicht ausgelegt sind. Eine typische Wärmepumpe für ein nicht ausreichend gedämmtes Einfamilienhaus verfügt über eine Anschlussleistung von bis zu 20 kW. Das klingt erst mal nicht nach sehr viel. Das Problem wird erst deutlich, wenn man bedenkt, dass eine Wärmepumpe über mehrere Stunden oder sogar über den ganzen Tag kontinuierlich beansprucht wird. Noch dazu wird bei einer vollständigen Elektrifizierung der Wohngebäudebeheizung gleichzeitig in vielen Haushalten eine solche elektrische Last benötigt. Hinzu kommt der, vor allem in den Abendstunden, deutlich zunehmende Bedarf nach Haushaltsstrom und die schnell wachsende Anzahl an Elektrofahrzeugen. Abbildung 19 verdeutlicht diesen Aspekt für ein saniertes und unsaniertes Gebäude schematisch. Neben der Reduzierung der entsprechenden elektrischen Last können gut gedämmte Gebäude auch über einen längeren Zeitraum ohne merkliche Komforteinbußen einen systemdienlichen Betrieb, d.h. ein Abschalten der Wärmepumpe bei Überlastung des Systems ermöglichen. Durch einen zukunftsorientierten Wärmeschutz reduziert sich so die Spitzenlast im Winter um den Faktor 2 – 3 und führt durch Nutzung von Wärmespeicherung zu einer erheblichen Entlastung des Stromnetzes. Noch wichtiger wird der Effekt einer Lastenreduzierung durch einen guten Wärmeschutz, wenn man im „Quartier“ denkt. “

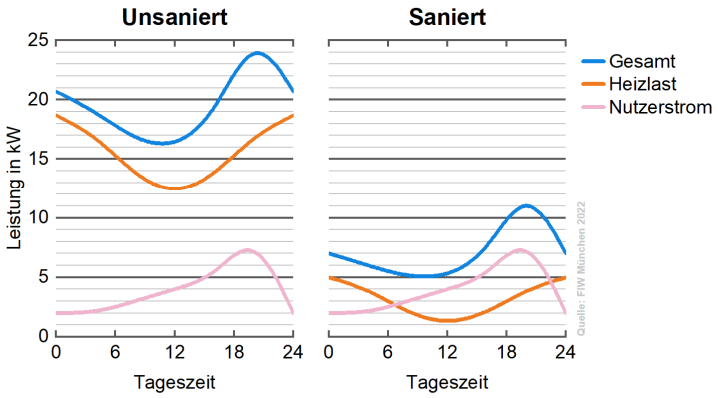


Abbildung 19: Schematischer Vergleich des Tagesverlauf der gesamten Stromleistung, die sich aus der Heizlast und des Nutzerstroms ergibt für ein unsaniertes bzw. saniertes Wohngebäude.

Zukunftsorientierte gedämmte Gebäude reduzieren die Spitzenlast im Winter um den Faktor 2 – 3. Diese Spitze bestimmt die benötigte Netzkapazität!

Abbildung 20 zeigt dieses schematisch für ein Quartier bestehend aus 9 Gebäuden. Würde man in jedes dieser neun Gebäude im unsanierten Zustand eine Wärmepumpe einbauen, würde das bedeuten, dass die einzelne maximale elektrische Last bei jeweils 15 kW liegt, und in der Summe wären das dann insgesamt 135 kW. Das gleiche Quartier, bei dem im Vorfeld die thermische Hüllfläche nach dem heutigen Stand der Technik saniert wurde, reduziert die individuelle Last entsprechend auf 5 kW beziehungsweise im gesamten Quartier auf 45 kW. Durch ein flexibles und reaktives Lastenmanagement wäre durch ein „smartes Microgrid“ bei gut gedämmten Gebäuden die individuelle Last nochmals reduzierbar. In dem hier aufgezeigten schematischen Beispiel wird deutlich, wie bei entsprechendem Wärmeschutz durch eine Verpflichtung zum Einbau netzdienlicher Wärmepumpen (SmartGrid-ready) und einer verpflichtenden Nutzung von Regelalgorithmen ein aus energiewirtschaftlicher Sicht sinnvoller Betrieb der Wärmepumpe gewährleistet wäre und zu einer erheblichen Entlastung des Stromnetzes führt.

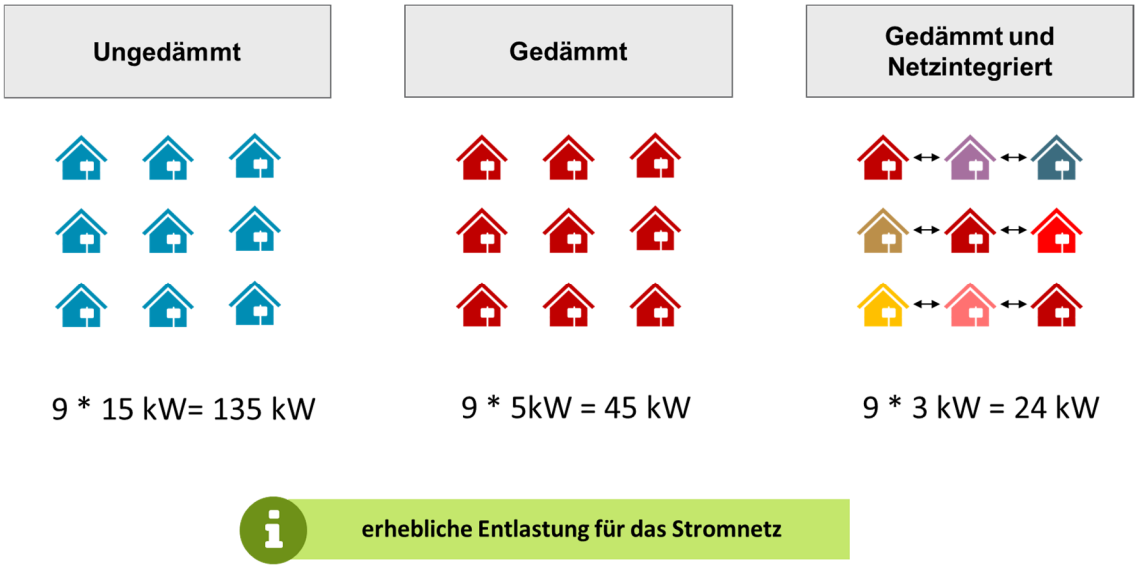


Abbildung 20: Durch einen netzdienlichen Betrieb der Wärmepumpen in Kombination mit einer korrespondierenden Gebäudehülle kann eine erhebliche Entlastung des Stromnetzes erreicht werden.

4.2. Resilienz und Sicherheit bei Brown-Outs

Aktuell wird die Frage eines möglichen durch Überlastung des Systems bedingten Stromausfalls diskutiert. Damit verbunden würde auch das Heizungen nicht mehr funktionieren. Im Folgenden soll kurz der Effekt auf die Raumtemperatur während der oben angesprochenen kalten Winterwoche für die beiden Typengebäude mit unterschiedlichen energetischen Standards untersucht werden (Abbildung 21). Sowohl im ungedämmten Einfamilienhaus als auch im Mehrfamilienhaus sinkt die Raumtemperatur innerhalb eines halben Tages auf unter 10° Celsius. Nach 3 - 4 Tagen fällt die Raumtemperatur noch weiter auf um die 0° Celsius ab. Das könnte neben der starken Komforteinschränkung auch erhebliche Einflüsse auf die Frostsicherheit der Wasserleitungen bedeuten. Im energetisch ertüchtigen Gebäude hingegen fällt aufgrund der deutlich reduzierten Transmissionswärmeverluste die Raumtemperatur sehr langsam und bleibt sogar nach fast 3 - 4 Tage über einer Temperatur von 10°C. Selbst nach einer Woche werden keine kritischen Temperaturen erreicht.

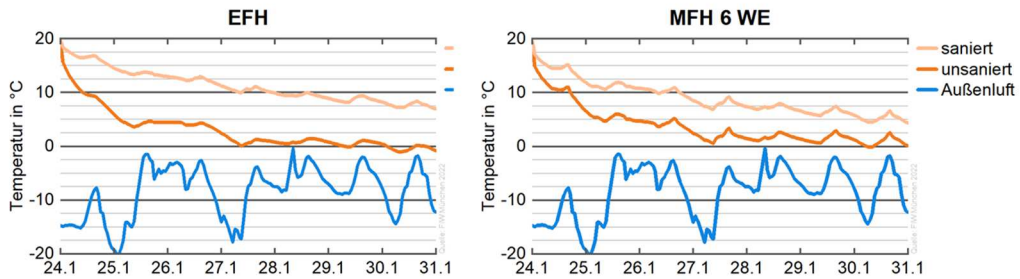


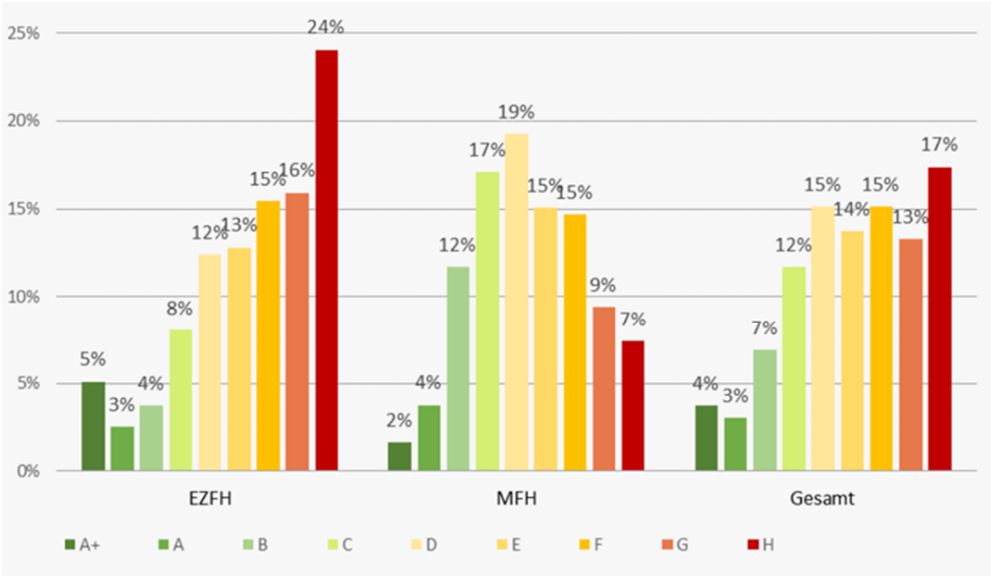
Abbildung 21: Entwicklung der Raumtemperatur während einer kalten Winterwoche im Januar für die beiden Typengebäude mit unterschiedlichen energetischen Standards nach einem Ausfall der Heizung.

Die hier exemplarisch durchgeführten Berechnungen zeigen, dass gut gedämmte Gebäude bei Ausfall der Energieversorgung weniger schadensanfällig sind als ungedämmte oder schlecht gedämmte Gebäude. Dabei erfolgt das Absinken der Raumtemperatur und damit der thermischen Behaglichkeit bei gut gedämmten Gebäuden deutlich langsamer. Auch eine Notversorgung ist leichter zu bewerkstelligen.

4.3. Absicherung der Wärmepumpen-Offensive

Die Wärmepumpen-Offensive des Bundeswirtschaftsministeriums sieht vor, dass ab 2024 jährlich 500.000 neue Wärmepumpen installiert werden und dass im Jahr 2030 rund 6 Mio. Wärmepumpen im Heizungsbestand sind. Von den angestrebten 500.000 neuen Wärmepumpen können voraussichtlich höchstens 100.000 in Neubauten installiert werden, da deren Anzahl begrenzt ist. Das bedeutet, dass mindestens 400.000 Wärmepumpen jährlich in Bestandsgebäuden eingebaut werden müssen. Etwa jeder zweite neu eingebaute Wärmeerzeuger in Bestandsgebäuden müsste demnach eine Wärmepumpe sein. Wie in Kapitel 3.3 erläutert, wird die Installation von Wärmepumpen desto schwieriger, je schlechter ein Gebäude gedämmt ist. Es müssen also jährlich 400.000 möglichst effiziente Gebäude bereitstehen, in die die Wärmepumpen eingebaut werden können. Schaut man auf die Verteilung der Effizienzklassen in deutschen Gebäuden (Abbildung 22), wird deutlich, dass 30% der Gebäude in den schlechtesten Effizienzklassen G und H sind. 44% sind in mittleren Klassen D bis F und nur 26% in den besseren Klassen A+ bis C. Innerhalb der Klassen A+ bis C sind rund 64% Neubauten, die nach 2002 errichtet wurden und deren Wärmeerzeuger gerade erst in den ersten Austauschzyklus kommen. Wenn man einen 20-jährigen Nutzungszyklus unterstellt, sind jährlich nur etwa 100.000 Heizungserneuerungen in den Klassen A+ bis C zu erwarten – allerdings mit leicht steigender Tendenz in den kommenden Jahren. Dennoch bleiben mindestens 200.000 Wärmepumpen übrig, die jährlich in teil- oder unsanierten Gebäuden installiert werden müssen, um die Wärmepumpen-Offensive zu realisieren. Der Pool dieser Gebäude ist zwar groß, allerdings bestehen weitere Restriktionen, die den Einbau einer Wärmepumpe verhindern, wie z. B. vorhandene Gasetagenheizungen oder Schallprobleme.

Nicht zuletzt müssen die Eigentümer der geeigneten Gebäude sich auch für eine Wärmepumpe entscheiden. Damit diese Entscheidung im Sinne der Wärmepumpen getroffen wird, sind positive Erfahrungen anderer Nutzer wichtig. Wärmepumpen müssen mit niedrigen Kosten und problemlosem Betrieb konnotiert werden. Dazu ist es entscheidend, die Synergien zwischen Wärmepumpen und Wärmeschutz im einzelnen Bauvorhaben auszunutzen.



Quelle: dena/ifeu/prognos et al. 2019

Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der Effizienzklassen im deutschen Wohngebäudebestand (Quelle LTRS 2020)

Wenn nicht in jedem Jahr genügend geeignete Gebäude für den Einbau einer Wärmepumpe zur Verfügung stehen, wird die Wärmepumpen-Offensive dadurch ausgebremst. Zur Absicherung der Wärmepumpen-Offensive sollten Gebäude der Effizienzklassen D bis H gezielt für den Umstieg auf Wärmepumpen vorbereitet

werden. Eine verbesserte Effizienz ist dabei nur ein Element von vielen. Sie ist aber besonders wirkmächtig, da sie die grundsätzliche Eignung eines Gebäudes für einen effizienten Wärmepumpenbetrieb herstellt.

Die Wärmepumpen-Offensive benötigt zu ihrem Gelingen jährlich mindestens 500.000 Gebäude,

- **in denen der Wärmeerzeuger zum Austausch ansteht,**
- **die Bauherren sich für eine Wärmepumpe entscheiden**
- **und die technisch für eine Wärmepumpe geeignet sind. Dies wird in erster Linie durch guten baulichen Wärmeschutz gesichert.**

4.4. Auswirkungen auf die Klimaschutzziele

Die Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors müssen laut Klimaschutzgesetz bis 2030 auf 67 Millionen Tonnen gesenkt werden. Das entspricht einer Reduktion um 44 Prozent gegenüber 2020. Um dieses Ziel zu erreichen, soll eine Mischung aus erneuerbaren Energien und verbesserter Gebäudeeffizienz eingesetzt werden. Wie diese beiden Handlungsfelder gegeneinander ausbalanciert werden, ist Gegenstand aller aktuellen Szenarioberechnungen. In den Langfristszenarien des Bundeswirtschaftsministeriums wurden zwei Szenarien gegenübergestellt, um den Einfluss der Gebäudeeffizienz besser zu verstehen (Consentec et al. 2022). Beide Szenarien setzen einen starken Fokus auf Wärmepumpen. Im Szenario T45-Strom (Kürzel für „Treibhausgasneutralität 2045 mit hohem Anteil an erneuerbarem Strom“) werden sehr ambitionierte Dämmstandards unterstellt. Sanierungen orientieren sich am Effizienzhaus-55-Niveau. Dies entspricht etwa dem aktuellen Anforderungsniveau an Einzelmaßnahmen in der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). Gleichzeitig steigt die Sanierungsrate und der Anteil von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Außerdem gehen 30% der Sanierungen über das gesetzliche Anforderungsniveau hinaus und orientieren sich am Effizienzhaus-40-Niveau. Durch diese Maßnahmen geht der Nutzwärmeverbrauch bis 2030 um 13% gegenüber 2020 zurück und beträgt 474 TWh. Diesem Szenario wird das Szenario T45-RedEff (Kürzel für „Treibhausgasneutralität 2045 mit reduzierter Effizienz“) gegenübergestellt. Hier orientieren sich die Sanierungsanforderungen am Niveau eines Effizienzhauses 70, wie es im Koalitionsvertrag (2021) vorgesehen ist. Die Sanierungsrate und die Anteile von Übererfüllungen der Anforderungen und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung bleiben hinter dem Szenario T45-Strom zurück. Der Nutzwärmeverbrauch sinkt bis 2030 um 9% auf 505 TWh.

Es stehen nur wenige Technologie-Optionen für die Wärmeversorgung zur Verfügung:

- In beiden Szenarien ist bereits ein äußerst ambitionierter Ausbau von Wärmenetzen unterstellt. Er wird zwischen den Szenarien nicht variiert, weil er nicht weiter gesteigert werden kann.
- Erneuerbare Brennstoffe, wie synthetischer Wasserstoff oder synthetisches Methan (PtG), stehen dem Gebäudesektor in diesen Szenarien nicht zur Verfügung. Ihr Einfluss wurde ebenfalls in den Langfristszenarien untersucht, jedoch in zwei anderen Szenarien (T45-PtG/PtL und T45-H_2). Sie können zur Zielerreichung in 2030 beitragen und den Zusammenhang zwischen Gebäudeeffizienz und Wärmepumpen-Anzahl abmildern, jedoch muss der Hochlauf dieser Technologien dazu weit ehrgeiziger sein als bisher vorgesehen (BMWi 2020). Insgesamt ist der Einfluss erneuerbarer Gase auf die Erreichung des 2030-Ziels jedoch sehr begrenzt.
- Wärmepumpen sind – trotz aller bekannten Hindernisse – die flexibelste Option. Sie können Heizkessel ersetzen, wenn deren Nutzungsdauer abgelaufen ist. Dabei sind sie relativ unabhängig von Vorbedingungen beim Infrastrukturausbau und können räumlich und zeitlich flexibel dort eingebaut werden, wo fossile Kessel turnusmäßig auszutauschen sind.

Um das Sektorziel im Jahr 2030 einzuhalten, müssen in T45-Strom 5,7 Mio. Wärmepumpen installiert werden. Darunter sind 0,34 Mio. Hybrid-Wärmepumpen. Sie werden in Gebäuden eingesetzt, die zum Zeitpunkt des Einbaus noch nicht ausreichend für den alleinigen (monovalenten) Betrieb einer Wärmepumpe vorbereitet sind (siehe Kapitel 3.4). An besonders kalten Tagen springt dann ein Gasheizkessel zur Unterstützung der Wärmepumpe an. Nachteil dieser Hybrid-Wärmepumpen ist – neben den höheren Investitionskosten -, dass der Brennstoff Gas voraussichtlich nicht bis zum Ende ihrer Nutzungsdauer verfügbar sein wird. Durch die ambitionierte Dämmung der Gebäude wird ein monovalenter Betrieb der Wärmepumpen sukzessive möglich und der Gaskessel wird überflüssig. Um bis 2030 eine Anzahl von 5,7 Mio. Wärmepumpen zu erreichen, muss ab 2024 mindestens jeder zweite neu installierte Wärmeerzeuger eine Wärmepumpe sein. Dieser grundlegende Umbau des Heizungsmarktes ist bereits in der Wärmepumpen-Offensive des Bundeswirtschaftsministeriums vorgesehen (BMWK 2022a). In den sehr gut gedämmten Gebäuden in diesem Szenario setzen die Wärmepumpen den Strom besonders effizient in Wärme um (siehe Kapitel 3.1).

	T45-Strom	**T45-RedEff**
Neubauanforderung	Effizienzhaus 40	Effizienzhaus 40
Sanierungsanforderung	Effizienzhaus 55	Effizienzhaus 70
Sanierungsrate	1,95%	1,49%
Anzahl Wärmepumpen 2030	5,7 Mio.	8,0 Mio.
davon Hybrid-Wärmepumpen 2030	0,34 Mio.	0,63 Mio.
Stromverbrauch Wärmepumpen 2030	34,7 TWh	63,9 TWh
Stromverbrauch Gebäude gesamt 2030	71,3 TWh	93,9 TWh
Installierte Leistung Wärmepumpen 2030	26,7 GW	31,1 GW
mittlere Arbeitszahl der Wärmepumpen 2030	3,0	2,8

Tabelle 3: Auswirkungen schlechterer Gebäudeeffizienz auf Anzahl und Stromverbrauch von Wärmepumpen (eigene Darstellung auf Basis von Consentec et al. 2022)

Im Szenario T45-RedEff müssen bis 2030 8,0 Mio. Wärmepumpen installiert werden, 0,63 Mio. davon als Hybrid-Wärmepumpen. Ein solcher Hochlauf wird nicht als realisierbar eingeschätzt und dient hier nur zur Verdeutlichung der Auswirkungen von zu wenig Dämmung. Diese extrem hohe Anzahl ist erforderlich, weil der Verbrauch in den fossil-beheizten Gebäuden langsamer sinkt als im T45-Strom-Szenario. Dies ist eine direkte Folge der geringeren Gebäudeeffizienz. Anders ausgedrückt: die in 2030 noch zulässige Menge an Heizöl und Erdgas reicht nur für eine kleinere Anzahl von Gebäuden aus, um das Sektorziel nicht zu überschreiten. Tabelle 3 zeigt die wesentlichen Merkmale der Szenarien und ihre Auswirkungen auf die erforderliche Anzahl der Wärmepumpen, ihre installierte elektrische Leistung, ihren Stromverbrauch und ihre Effizienz (Arbeitszahl).

Abbildung 23 verbildlicht den Zusammenhang von Gebäudeeffizienz und erforderlicher Wärmepumpen-Anzahl für das Jahr 2030. Als dritter Fall wird dargestellt, wie viele Wärmepumpen erforderlich wären, wenn ab 2023 keine weiteren Dämm-Maßnahmen mehr ausgeführt würden. In diesem Fall müsste ihre Zahl bis 2030 auf 9,2 Mio. steigen. Diese Anzahl könnte nicht einmal erreicht werden, wenn bis dahin alle neuen Wärmeerzeuger im Markt Wärmepumpen wären.

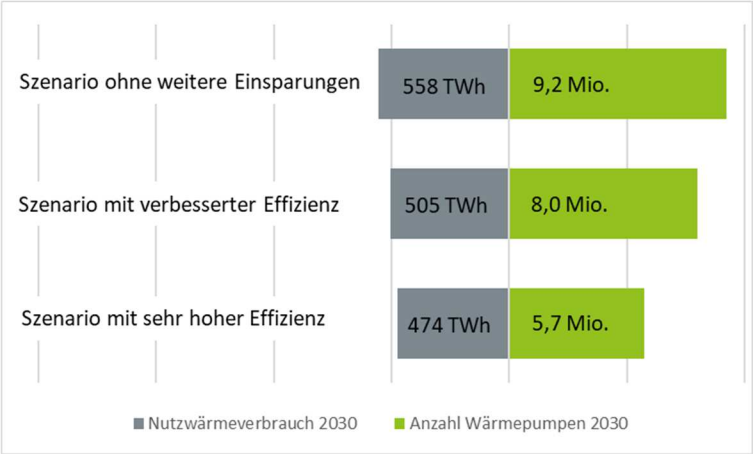


Abbildung 23: Gebäudeeffizienz und erforderliche Wärmepumpenanzahl halten sich die Waage: je höher der Wärmeverbrauch der Gebäude ist, desto mehr Wärmepumpen werden benötigt, um das Sektorziel im Jahr 2030 zu erreichen.
(eigene Darstellung auf Basis von Consentec et al. 2022)

Je höher der Wärmeverbrauch der Gebäude ist, desto mehr Wärmepumpen werden benötigt, um das Sektorziel in 2030 zu erreichen

4.5. Auswirkungen auf den erforderlichen Ausbau erneuerbarer Energien

Dieses Kapitel bezieht sich ebenfalls auf Ergebnisse der Langfristszenarien des Bundeswirtschaftsministeriums wie bereits in Kapitel 4.4 beschrieben (Consentec et al. 2022). Dort wurden zwei Szenarien berechnet, die beide einen sehr hohen Anteil von Wärmepumpen vorsehen. Sie unterscheiden sich dadurch, dass einmal ein sehr hoher baulicher Wärmeschutz angenommen wird (T45-Strom) und einmal ein geringerer Wärmeschutz, der allerdings immer noch über dem heutigen Niveau liegt (T45-RedEff). Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, wirkt sich die bessere Wärmedämmung in Kombination mit Wärmepumpen doppelt aus: sie senkt den Wärmebedarf und erhöht gleichzeitig die Effizienz der Wärmepumpe. Dieser Effekt kann im Vergleich der beiden Szenarien dargestellt werden, da beide im Jahr 2045 eine ähnliche Anzahl von Wärmepumpen aufweisen (18,3 Mio. in T45-Strom, 18,8 Mio. in T45-RedEff). Abbildung 24 zeigt den Stromverbrauch für Raumwärme, Trinkwassererwärmung, Lüftung und Hilfsenergie für die beiden Szenarien. Er steigt in beiden Szenarien stark an gegenüber dem Ausgangswert in 2020 in Höhe von 45 TWh. In 2045 beträgt er 124 TWh in T45-Strom und 169 TWh in T45-RedEff – also 37% mehr.

Gelegentlich wird argumentiert, dass der Strom im Jahr 2045 ohnehin erneuerbar sei und daher keine Treibhausgasemissionen von ihm ausgingen. Tatsächlich entsteht durch den hohen Strombedarf – auch in anderen Sektoren – eine andere Knappheit: die Flächen, auf denen die erneuerbaren Energien produziert werden, müssen bis an die Obergrenze ausgenutzt werden. Die folgenden Abbildungen zeigen die Potenzialausnutzung für Windkraft und Freiflächen-Fotovoltaik im Szenario T45-Strom. Das heißt, es müssen bereits in diesem Szenario nahezu alle geeigneten Flächen maximal genutzt werden, um den benötigten erneuerbaren Strom zu erzeugen. Ein derart ambitionierter Ausbaupfad ist mit Risiken und Unwägbarkeiten verbunden. Im Sinne einer Absicherung der Zielerreichung sollte Strom weiterhin so effizient wie möglich eingesetzt werden – auch wenn er erneuerbar ist.

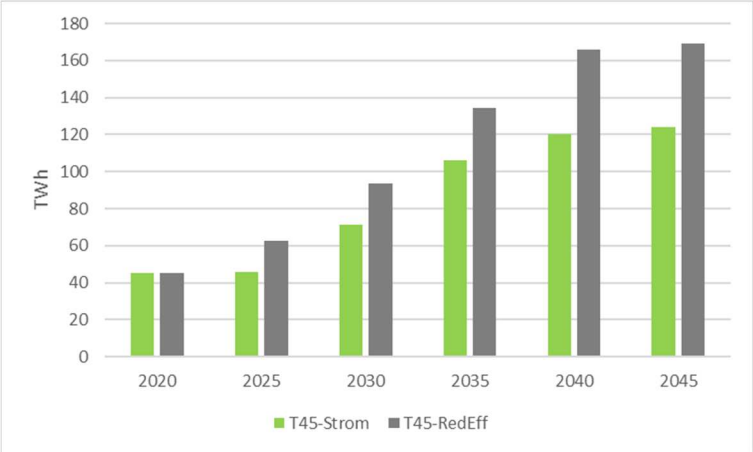


Abbildung 24: Stromverbrauch im Gebäudesektor in den Langfristszenarien T45-Strom und T45-RedEff. (eigene Darstellung auf Basis von Consentec et al. 2022)

Windkraft **Freiflächen-Fotovoltaik**

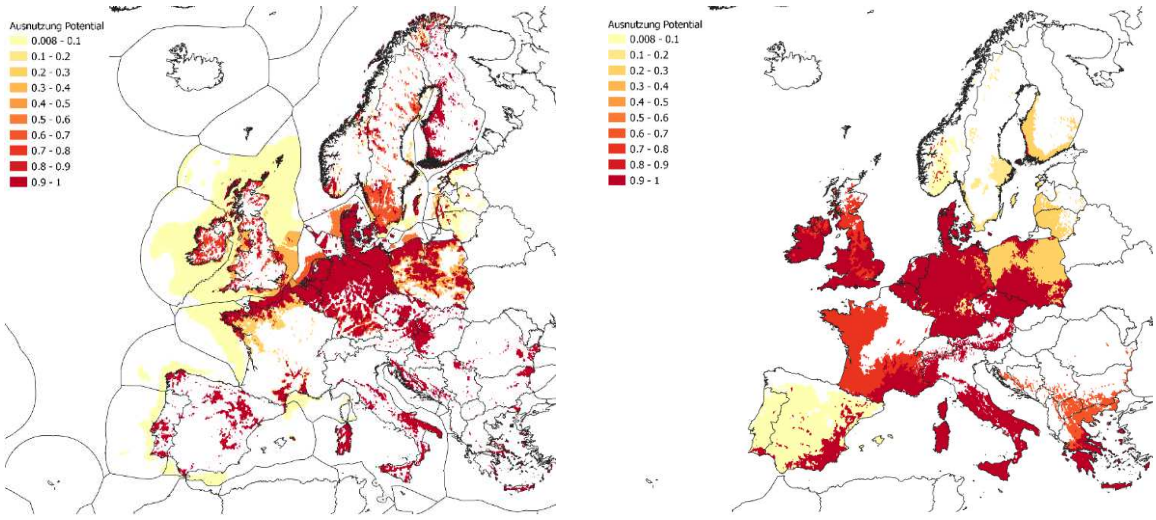


Abbildung 25: Ausnutzung der Potenziale für Windkraft (links) bzw. für Freiflächen-Fotovoltaik (rechts) in Europa im Szenario T45-Strom (Consentec et al. 2022)

Erneuerbarer Strom wird auch in Zukunft ein wertvolles und knappes Gut bleiben. Er muss so effizient wie möglich eingesetzt werden.

5. Wärmeschutz-Offensive

Ein guter Wärmeschutz u.a. durch Gebäudedämmung ist unverzichtbar für die Erreichung der Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Je entschlossener der Wärmebedarf gesenkt wird, desto wahrscheinlicher und einfacher wird die Dekarbonisierung. Gerade in Kombination mit Wärmepumpen bieten gedämmte Gebäude die wesentlichen Vorteile, ohne die die gesamte Zielerreichung aufs Spiel gesetzt wird. Dieser Bericht zeigt die Vorteile von ambitionierten Gebäude-Dämmungen auf mehreren Ebenen.

- Im Gebäude
  - Synergie durch doppelte Wirkung von Wärmedämmung: Senkung des Wärmebedarfs und Steigerung der Wärmepumpen-Effizienz.
  - Der Energiepreis-Schock betrifft gedämmte Gebäude kaum.
  - Je schlechter ein Gebäude gedämmt ist, desto schwieriger wird der Einbau einer Wärmepumpe.
  - Gebäude können schrittweise gedämmt werden, so dass sie im entscheidenden Moment für den Umstieg auf die Wärmepumpe vorbereitet sind.
- Im Energiesystem
  - Synergien durch die doppelte Wirkung von Wärmedämmung: Senkung der benötigten Heizleistung und Erhöhung der Speicherfähigkeit führt zu deutlicher Entlastung der Stromnetze.
  - Gedämmte Gebäude sind resilienter gegen Unvorhergesehenes.
  - Wärmeschutz-Offensive: Je ambitionierter der Wärmeverbrauch gesenkt wird, desto realistischer wird der Transformationspfad für die erneuerbare Energieversorgung.

Aus diesen Vorteilen wird der Stellenwert deutlich, den die Gebäudedämmung für die Wärmewende hat. Als grundlegendes Element der Gebäudestrategie wird daher eine Wärmeschutz-Offensive vorgeschlagen. Sie wäre hilfreich, um die Ziele eindeutig zu formulieren und die Bedeutung von Dämm-Maßnahmen zu kommunizieren. Folgende Eckpunkte sollten in einer Wärmeschutz-Offensive enthalten sein.

- **Zielformulierung (Beispiel): „Der Endenergieverbrauch für Raumwärme soll bis 2030 um xy% sinken, bis 2045 um xx% gegenüber 2008."**
- **Herunterbrechen der Ziele (Beispiel): „Dafür ist eine Verdreifachung der jährlich gedämmten Fassadenfläche ab 2024 erforderlich."**
- **Transformationspfad vorzeichnen (Beispiel): „Priorisierung von Gebäuden, die vorrangig gedämmt werden sollen." Dabei können die folgenden Themen einbezogen werden:**
  - **Worst-performing buildings,**
  - **Gebäude, in denen der Heizkessel älter als 15 Jahre ist,**
  - **Gebäude, die mit geringem Aufwand zu dämmen sind.**
- **Instrumente und Förderung passend zum Transformationspfad gestalten**
- **Bedarf an und Mobilisierung von Fachkräften**
  - **Aus- und Weiterbildung, Umschulungen**
  - **Lehrinhalte**
- **Marktpotenziale und Strategien zur Deckung der Nachfrage**
- **Standardisierungsvorschläge in Gesetzgebung und Normierung**
- **Bereitstellen eines Kompendiums mit guter Baupraxis**
- **Kommunikation mit den beteiligten gesellschaftlichen Gruppen**

Diese Auflistung soll zunächst nur einen groben Rahmen aufzeigen und Beispiele für die Inhalte der Wärmeschutz-Offensive geben. Jeder einzelne Punkt bedarf einer vertieften Prüfung und Bearbeitung, die jedoch im Rahmen dieser Studie nicht geleistet werden können.

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende (2021): Stromerzeugung und Stromverbrauch, „Agorameter“, https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/22.01.2021/23.02.2021/

Bosten Consulting Group (BCG, 2021): Klimapfade 2.0, ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft, im Auftrag des BDI

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021): Klimapakt Deutschland

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), 2016, Klimaschutzplan 2050, Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2020, Die Nationale Wasserstoffstrategie

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK, 2022a): Gemeinsame Absichtserklärung, Mehr Tempo bei der Transformation der Wärmeversorgung: Wir brauchen schneller mehr Wärmepumpen

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK, 2022b): Ergebnis des Koalitionsausschusses vom 23. März 2022, Maßnahmenpaket des Bundes zum Umgang mit den hohen Energiekosten

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK, 2022c): Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen (Mittelfristenergieversorgungssicherungsmaßnahmenverordnung – EnSimiMaV)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK, 2022d): Eckpunktepapier zur Diskussion der Beschleunigung des Wärmepumpenhochlaufs - Vorhaben und Maßnahmen zum 2. Wärmepumpen-Gipfel

Bundesverband Wärmepumpe (BWP, 2023): Wärmepumpenabsatz 2022: Wachstum von 53 Prozent gegenüber dem Vorjahr, https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/waermepumpenabsatz-2022-wachstum-von-53-prozent-gegenueber-dem-vorjahr/#content, Abruf 01.12.2022

Bundesverband Wärmepumpe (BWP, 2019): Leitfaden Hydraulik, https://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bcpageflip/BWP_LF_HYD_2019_DRUCK_final.pdf, Abruf 01.12.2022

Consentec, Fraunhofer ISI, ifeu, TU Berlin (2022): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz

Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (dena, 2021a): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena, 2021b): dena Gebäudereport 2022

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, EWI Merit-Order Tool (2020): Weniger Kohle, mehr Gas im Einsatz, https://www.ewi.uni-koeln.de/de/aktuelles/ewi-merit-order-tool-2020-weniger-kohle-mehr-gas-im-einsatz/ , Abruf 14.03.2021, 14:13

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (2020): Wärmepumpen in Bestandsgebäuden, Ergebnisse aus dem Forschungs-Projekt „WP-smart im Bestand“

EU RICHTLINIE 2018/844 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz (EPBD), 2018

ifeu, Fraunhofer IEE und Consentec (2018): Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. Studie im Auftrag von Agora Energiewende

ifeu (2021)a: Gebäude mit der schlechtesten Leistung (Worst performing Buildings) - Klimaschutzpotenzial der unsanierten Gebäude in Deutschland

ifeu (2021)b: Energieeffizienz als Türöffner für erneuerbare Energien im Gebäudebereich, Studie im Auftrag des Verbandes für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V.

Institut Wohnen und Umwelt (IWU, 2015): Deutsche Wohngebäudetypologie Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden – zweite erweiterte Auflage

Koalitionsvertrag 2021— 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90 / die Grünen und den Freien Demokraten (FDP)

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann, Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende

Verivox (2022): Strompreisentwicklung 2012 – 2022, https://www.verivox.de/strom/strompreisentwicklung/, abgerufen am 01.12.2022

Verivox (2022): Die Gaspreisentwicklung für bundesdeutsche Haushalte, https://www.verivox.de/gas/gaspreise/, abgerufen am 01.12.2022