

Anhang zur Vorbereitung der Dekarbonisierung der der Wärmeerzeugung in städtischen Immobilien ab dem Jahr 2026

Vorwort

In diesem Anhang werden die technischen Hintergründe zum Bericht VO/0758/25 vorgestellt. Zunächst erfolgt eine Beschreibung der Ausgangssituation. Es wird dargestellt, welche Klimaziele für die Stadt Wuppertal und insbesondere das GMW gelten. Es wird überprüft, welches Zwischenziel im Jahre 2024 bereits erreicht ist.

Anschließend erfolgt eine Analyse des Bestandes der Wärmeerzeuger. Es wird auf die Altersstruktur des Bestandes eingegangen und eine Klassifizierung nach Leistungsgröße vorgenommen. Hieraus lassen sich bereits Schlüsse ziehen, auf welche Gruppen sich ein Programm zur Dekarbonisierung konzentrieren sollte. Die vorhandenen Kessel sollten jedoch nicht 1:1 durch neue Anlagen ersetzt werden, da die installierten in den überwiegenden Fällen überdimensioniert sind.

Die Prognose der zukünftig benötigten Leistung jeder Kesselanlage ist ein eher technischer Abschnitt, in dem die Methodik vorgestellt wird, wie aus der installierten Leistung die tatsächlich benötigte bestimmt werden kann. Für eine Einzelanlage ist dies problemlos möglich, die Herausforderung liegt eher in einem effizienten Vorgehen für den gesamten Bestand.

Die tatsächliche benötigte Leistung entspricht aber nicht der Leistung des zukünftig erneuerbaren Wärmeerzeugers. Es ist wirtschaftlich vorteilhaft bei größeren Anlagen bivalente Systeme aus einem erneuerbaren Wärmeerzeuger in der Grundlast und einem Erdgaskessel für die Spitzenlast zu errichten, da sich bereits mit 34% Anteil an der Leistung ein überproportional hoher Anteil von 80% am Gesamtwärmebedarf erzielen lässt. Der zugehörige technische Abschnitt stellt vor, wie dieser Zusammenhang ermittelt wurde.

Der Abschnitt zum zukünftigen Bestand erneuerbarer Wärmeerzeuger beschreibt in welche Leistungsklassen sich die zukünftigen, erneuerbaren Wärmeerzeuger gliedern und erlaubt Schlüsse, auf welche Größen sich ein Programm zur Dekarbonisierung konzentrieren sollte, um mit wenig Aufwand eine hohe Treibhausgaseinsparung zu erzielen. Es wird vorgeschlagen, an welcher Stelle externe Unterstützung sinnvoll ist.

Aus all diesen Überlegungen ergibt sich, wie ein zeitlicher Ablauf des Programms aussehen kann. Im letzten Abschnitt wird prognostiziert, wie sich der Energiemix und die Treibhausgasemissionen des Bestandes zukünftig entwickeln werden.

1) Ausgangssituation Klimaziele und THG-Emissionen des Gebäudebestandes.....	2
2) Analyse des Bestandes der Wärmeerzeuger.....	4
3) Prognose der zukünftig benötigten Leistung für jede Kesselanlage	5
4) Bestimmung der zukünftig benötigten Leistung der Erneuerbaren Wärmeerzeuger	6
5) Zukünftiger Bestand erneuerbarer Wärmeerzeuger.....	8
6) Prognose des Energiemix und der Treibhausgasemissionen in 2030, 2040 und 2045	9
Ansprechpartner	12

1) Ausgangssituation Klimaziele und THG-Emissionen des Gebäudebestandes

In Wuppertal gibt es formal keinen Ratsbeschluss, der die Verwaltung rechtlich verbindlich auf Klimaneutralität bis 2035 verpflichtet. Es gibt aber eine politische Zielsetzung zur Klimaneutralität 2035, beschlossen im Rahmen des Antrags „Klimaschutz und Klimafolgenanpassung – jetzt! Klimaneutral bis 2035!“ (Drucksache VO/1242/21/Neuf., beschlossen am 16.11.2021). Auf dieser Grundlage wurde die Ingenieurgesellschaft GERTEC mit der Erstellung eines Stufenplans zur Klimaneutralität 2035 beauftragt („09_2022_11_21_Stadt_Wuppertal_Stufenplan_Klimaneutralitaet_2035“). Der Entwurf wurde verwaltungsintern (Kernteam) und im Klimabeirat (Steuerungsgruppe) beraten und lag auch den Ratsfraktionen zur Vorstellung vor. Dieser wurde von den beteiligten Ausschüssen und letztlich dem Rat ohne Beschluss entgegengenommen. Zudem wurde am 31.03.2022 durch den Hauptausschuss eine Resolution zur Ausrufung des Klimanotstands verabschiedet (VO/0359/22-Neuf.), was den politischen Handlungsdruck zusätzlich unterstreicht. Eine rechtlich bindende Zielvorgabe ergibt sich daraus allerdings nicht.

Es gibt daher auch für das Gebäudemanagement keine verbindlichen Klimaziele. Der Rahmen wird für dieses lediglich durch Gesetze wie das Gebäudeenergiegesetz GEG vorgegeben. Die Definition eines Klimaziels ist aber Voraussetzung für die Entwicklung einer Strategie zur klimaneutralen Transformation des Gebäudebestandes und auch ein darauf anschließendes Monitoring. Das GMW hat in einer internen Entscheidungsvorlage festgelegt sich am Klimaschutzgesetz (KSG) zu orientieren. Im novellierten KSG wurden die Sektorziele für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstiges abgeschafft. Es verbleibt lediglich das Gesamtziel einer Klimaneutralität bis 2045 mit den Zwischenzielen einer Treibhausgasreduktion verglichen mit 1990 von -65% bis 2030 und -88% bis 2040.

Ob das Klimaschutzgesetz unter der aktuellen Bundesregierung inhaltlich angepasst oder neu ausgerichtet wird, ist derzeit offen – konkrete politische Zielsetzungen oder Novellierungen wurden von der neuen Bundesregierung bislang nicht beschlossen (Stand: Juni 2025). Zu dem grundsätzlichen Ziel der Klimaneutralität in 2045 hat sich die aktuelle Bundesregierung im Koalitionsvertrag bekannt. Damit ist weiterhin das geltende KSG mit seinen Zielwerten und Fristen verbindlich.

Energieverbräuche des Gebäudebestandes des GMW sind erst ab 2000 sauber dokumentiert. Es wird angenommen, dass in 1990 der Energieverbrauch über alle Energieträger um 5% höher war als in 2000. Daraus ergibt sich für 1990 der in Tabelle 1 dargestellte Energiemix.

Tabelle 1 Energiemix des Gebäudebestandes des GMW in den Jahren 1990 und 2024 in MWh

Energieträger	1990	2024
Fernwärme	60.015	35.647
Erdgas	88.110	54.626
Heizöl	13.009	3231
Flüssiggas	577	421
Holz	0,	1307
Strom	33.967	29.752
Summe - GWh	195,7	125,0

Gegenüber 1990 gibt es für das Jahr 2024 drei wesentliche Veränderungen. Durch fortschreitende Energieeffizienz des Gebäudebestandes ist der Endenergieverbrauch über alle Energieträger um 37%

gesunken. Zudem wird die Fernwärme nicht aus Kohle (290 g CO₂/kWh) sondern aus primärenergetisch günstig bewertetem Müll (30 g CO₂/kWh) erzeugt. Zudem haben sich die CO₂-Äquivalente des deutschen Strommix durch den Zubau erneuerbarer Energien in Form von Photovoltaik und Wind von 764 g/kWh in 1990 auf 363 g/kWh in 2024 mehr als halbiert. Die Summe dieser Effekte führt dazu, dass Stand 2024 eine Reduktion von 62% gegenüber 1990 bereits erreicht ist. Das Zwischenziel einer Reduktion von 65% in 2030 würde durch eine jährliche Einsparung von 1% jeweils für Strom und Wärme bereits erreicht werden. In 2040 würde durch eine fortschreitende Energieeffizienz allein aber nur eine Reduktion von 77% erreicht werden. Es ist somit zum Erreichen des Ziels entweder eine höhere Sanierungsquote notwendig oder der Energiemix muss verstärkt Erneuerbare Energien enthalten. Letzteres ist einfacher, da kurzfristig ein Großteil der Wärmeerzeuger (47 % Anteil an der insgesamt installierten Leistung) und bis 2045 bei einer technischen Lebensdauer von 20 Jahren perspektivisch alle Wärmeerzeuger ohnehin getauscht werden müssen. Für einen Kesseltausch trifft das Gebäudeenergiegesetz GEG in der aktuellen Fassung die Vorgabe, dass 65% des Gesamtwärmebedarfs durch Erneuerbare Energien gedeckt werden müssen. Eine Modellierung der THG-Emissionen des Energiemix des GMW weist bei Einhaltung des GEG aber nur eine Reduktion von 83% in 2040 aus. Das GMW hat daher in der o.g. Entscheidungsvorlage festgelegt im Rahmen seiner Sanierungen einen Anteil von 80% Erneuerbare Energien am Wärmeverbrauch anzustreben. Dadurch wird das Klimaziel in 2040 erfüllt.

Die Entscheidungsvorlage ging davon aus, dass für einen Anteil von 80% Erneuerbare Energien am Wärmeverbrauch in der Regel 50% der Heizlast installiert werden müssen. Die fehlenden 50% werden durch Erdgas-Spitzenlastkessel abgedeckt. In kleinen Objekten mit einer Heizlast < ca. 50 kW ist der Betrieb von mehreren Wärmeerzeugern nicht sinnvoll. Hier wird wie in Objekten, deren Gebäudehüllen bereits energetisch dem Stand der Technik entsprechen, ein Einsatz von 100% Erneuerbare Energien angestrebt. Das Team Projektentwicklung und Nachhaltigkeit wurde damit beauftragt eine Strategie zur Reduktion der THG-Emissionen zu entwickeln. Diese konzentriert sich zunächst auf die Dekarbonisierung der Wärmeerzeuger, die Ergebnisse der Bestandsanalyse und Vorschläge für das weitere Vorgehen sind in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

Die Diskussion um die Einstufung von Holzpellets als erneuerbarer Energieträger ist dem GMW bewusst. Die Verbrennung von Holz setzt den im Holz gebundenen Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid frei. Nur wenn im Sinne einer nachhaltigen Waldwirtschaft eine entsprechende Holzmenge zeitnah nachwächst, ist die Kohlenstoffbilanz im Wald ausgeglichen. Das Umweltbundesamt UBA rät daher von der energetischen Holznutzung aus Klimaschutzgründen ab, insbesondere dann, wenn brennstofffreie erneuerbare Alternativen zur Raumwärmebereitstellung, wie z.B. Wärmepumpen zur Verfügung stehen. Das GMW hat aber bei der Wahl der Erneuerbaren Energieträger in der Entscheidungsvorlage für sich eine Technologieoffenheit festgelegt, was dem GEG in der aktuellen Fassung entspricht. Wärmepumpen und Holzpellets werden anhand der technischen Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit ausgewählt, Fernwärme anhand der Verfügbarkeit am Standort wobei die Ergebnisse der Kommunalen Wärmeplanung berücksichtigt werden.

2) Analyse des Bestandes der Wärmeerzeuger

Für diese Betrachtung wurde die Kesselliste des Betriebsmanagements des GMW zum Stand 12.11.2024 ausgewertet. In dieser Liste sind 722 Kessel aufgeführt, 90 Kessel sind nicht im Eigentum des GMW (überwiegend Stadtbetrieb 209: 60, APH: 9). Diese Kessel wurden nicht weiter betrachtet. In einem nächsten Schritt wurden die bei größeren Objekten üblichen Doppelkesselanlagen (z. B. 2 x 200 kW) zu einer Kesselanlage (400 kW) zusammengefasst. Im Eigentum des GMW befinden sich 577 Kesselanlagen, die in Tabelle 2 nach Leistungen gruppiert sind.

Tabelle 2 Kesselanlagen im Eigentum des GMW gegliedert nach Leistungsklassen sowie deren absolute Anzahl und Leistung und Anteile an Gesamtzahl und Leistung

Leistung	Anzahl	Leistung - MW	Anteil Anzahl - %	Anteil Leistung - %
>500 kW	25	22,3	4,3	32,9
>250 kW	40	14,3	6,9	21,2
>100 kW	112	17,8	19,4	26,3
>50 kW	75	5,5	13,0	8,1
<50 kW	325	7,8	56,3	11,5
Summe	577	67,7		

Es ist auffällig, dass die 25 größten Anlagen einen Anteil von ca. einem Drittel an der Gesamtleistung haben. Ca. 50% der Gesamtleistung entfällt auf den Leistungsbereich von 100 – 500 kW mit insgesamt 152 Anlagen. Kessel mit einer Leistung < 50 kW stellen zwar zahlenmäßig mehr als die Hälfte des Bestandes dar, haben aber zusammen nur einen Anteil von 11,5% an der Gesamtleistung. Dieser Sachverhalt ist förderlich für eine Transformation des Bestandes zu Erneuerbaren Energien. Es ist möglich durch den Austausch weniger bzw. einer überschaubaren Anzahl von Anlagen eine überproportional große Treibhausgaseinsparung zu erzielen.

Des Weiteren wurde das Alter des Kesselbestandes untersucht. Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Anzahl der Kessel und der Leistung über die Baujahre 1970 bis 2024. Die Baujahre 1995 bis 2000 haben dabei einen Anteil von 39 % an der Gesamtleistung. Diese Kessel haben das Ende ihrer Lebensdauer gemäß VDI 2067 bereits erreicht, was nicht bedeutet, dass diese Kessel unmittelbar ausfallen werden. Vielmehr gibt VDI 2067 einen Anhaltspunkt für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Trotzdem besteht ein kurzfristiger Handlungsbedarf und diese Kessel sollten in den nächsten fünf Jahren gezielt ersetzt werden um einem plötzlichen Ausfall zuvor zu kommen. Insgesamt sind 329 Kesselanlagen aus dem Baujahr 2004 oder älter und damit älter als 20 Jahre.

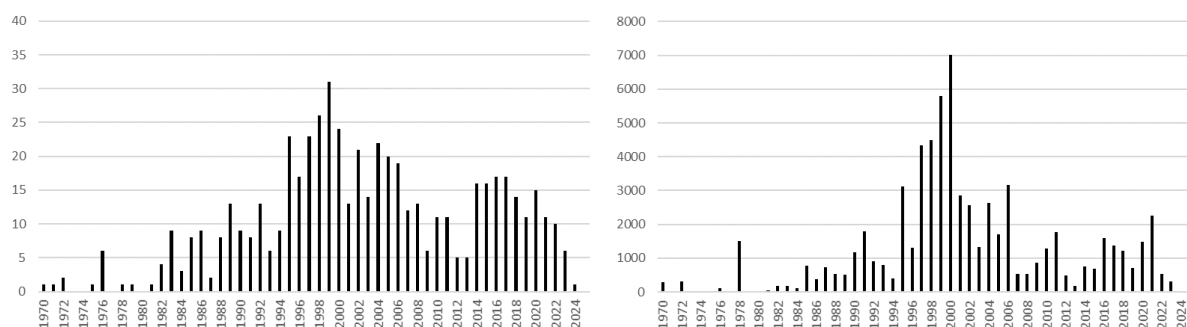


Abbildung 1 Anzahl (links) und Gesamtleistung (rechts) des Kesselbestandes für die Baujahre 1970 bis 2024

3) Prognose der zukünftig benötigten Leistung für jede Kesselanlage

Um eine Strategie für die Dekarbonisierung der Wärmeerzeuger entwickeln zu können, muss der zukünftige Bestand der Wärmeerzeuger prognostiziert werden. Dieser stellt die Grundlage dar, um z. B. ableiten zu können, welche Leistung jährlich errichtet werden muss, welche Kosten dabei entstehen und wie sich der Austausch wirtschaftlich optimal darstellen lässt.

Es ist somit notwendig für jede Kesselanlage des Bestandes eine Prognose der zukünftig benötigten Leistung zu treffen. Im Einzelfall ist dies über eine statistische Heizlastermittlung durch eine Auswertung der Verbrauchsdaten möglich (Verfahren gemäß Jagnow-Wolff) Bei dieser Methode werden die gemessenen monatlichen Energieverbräuche (verfügbar über die Energiemanagementsoftware Interwatt) über der Außentemperatur des Monats aufgetragen und zur Norm-Außentemperatur von -9 °C extrapoliert. Monatliche Verbräuche über einer Heizgrenztemperatur von 15 °C bleiben unberücksichtigt, da sie den Fußpunkt der Regressionsgeraden verzerren. Die Anwendung des Verfahrens ist am Beispiel des Berufskollegs Kohlstraße in Abbildung 2 skizziert.

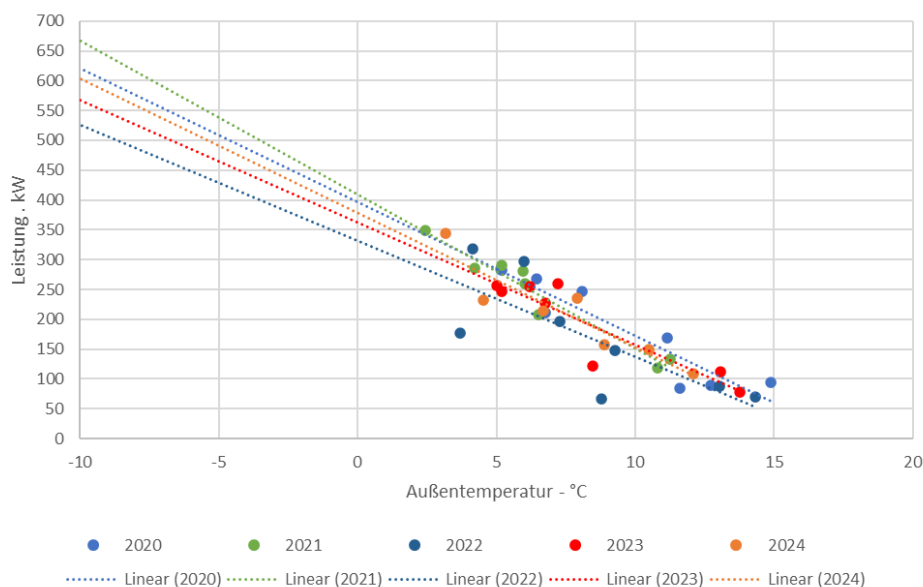


Abbildung 2 Darstellung des Verfahrens der statistischen Heizlastermittlung aus Verbrauchsdaten nach Jagnow-Wolff am Beispiel des Berufskollegs Kohlstraße

In diesem Beispiel ergibt sich eine in der Praxis benötigte Kesselleistung von 650 kW. Aktuell installiert sind 2594 kW. Die tatsächlich benötigte Leistung beträgt also nur 25 % der installierten Leistung. Ein üblicher Faustwert aus vorherigen Sanierungen ist 40%. Für eine Gesamtbetrachtung des Bestandes ist dieser Erfahrungswert aber zu ungenau. Die Durchführung des Verfahrens nach Jagnow-Wolff ist aber für den gesamten Kesselbestand zu aufwändig und mangels nicht vorhandener oder unklarer Verbrauchsdaten insbesondere bei den kleineren Kesselanlagen auch methodisch nicht durchführbar. Es wurden daher nur die 65 Anlagen mit einer installierten Leistung $> 250\text{ kW}$ mit diesem Verfahren ausgewertet, für die Anlagengrößen $> 100\text{ kW}$ und $> 50\text{ kW}$ wurde stichprobenhaft für unterschiedliche Gebäudetypen überprüft ob sich diese ähnlich verhalten wie die Anlagen $> 250\text{ kW}$.

Bei dieser Betrachtung wurde festgestellt, dass sich die tatsächlich benötigte Leistung aus der installierten Leistung besser aus der Division des Wärmebedarfs durch die Vollbenutzungsstunden prognostizieren lässt als aus dem o.g. pauschalen Faktor. Abbildung 3 zeigt, dass das Verhältnis aus tatsächlich zu installierter Leistung stärker streut als die Zahl der Vollbenutzungsstunden. Die Zahl der Vollbenutzungsstunden wurde für jeden Gebäudetyp anhand der Minimierung der sum of squares der Abweichung zwischen errechnetem und anhand Jagnow-Wolff ermitteltem Wert bestimmt.

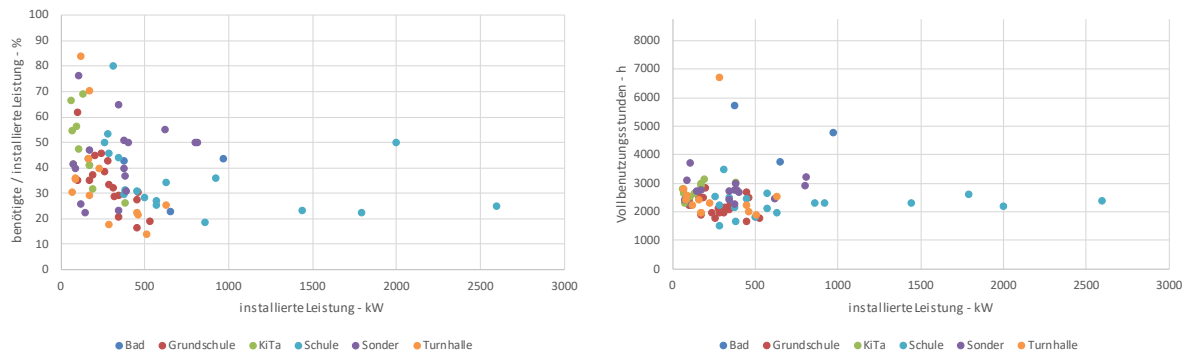


Abbildung 3 Verhältnis benötigter Leistung zu installierter Leistung und Vollbenutzungsstunden aufgetragen über der installierten Leistung für alle Kesselanlagen, für die das Verfahren nach Jagnow-Wolff durchgeführt wurde

Als Kompromiss zwischen Genauigkeit und Aufwand der Betrachtung wurde die tatsächlich benötigte Leistung in den jeweiligen Größenklassen wie folgt durchgeführt:

- > 500 kW, > 250 kW: direkte, graphische Ermittlung der tatsächlich benötigten Leistung aus den Verbrauchsdaten gemäß Jagnow-Wolff
- > 100 kW: stichprobenhaft direkte, graphische Ermittlung der tatsächlich benötigten Leistung aus den Verbrauchsdaten gemäß Jagnow-Wolff, ansonsten Berechnung aus mittlerem Wärmebedarf der Jahre 2020-2024 und der zuvor ermittelten typischen Anzahl von Vollbenutzungsstunden
- > 50 kW: stichprobenhaft direkte, graphische Ermittlung der tatsächlich benötigten Leistung aus den Verbrauchsdaten gemäß Jagnow-Wolff, ansonsten Berechnung über für den Gebäudetyp typischen Faktor zwischen tatsächlich benötigter und installierter Leistung. Dies spart die Ermittlung des mittleren Wärmebedarfs der Jahre 2020-2024.
- < 50 kW: zunächst keine Betrachtung auf Grund der Vielzahl der Anlage und unsicherer Datenlage

4) Bestimmung der zukünftig benötigten Leistung der Erneuerbaren Wärmeerzeuger

Die anhand der Methodik des vorherigen Abschnittes ermittelte zukünftige benötigte Leistung je Kesselanlage entspricht nicht der Leistung des Erneuerbaren Wärmeerzeugers. Ziel ist es nur einen Anteil von 80% des jährlichen Wärmebedarfs erneuerbar zu decken. Als Faustwert wurde in der GMW-internen Entscheidungsvorlage ein Anteil von 50% an der insgesamt benötigten Leistung angenommen. Dieser Anteil wurde anhand der nachfolgenden Methodik überprüft.

Da es sich um eine Betrachtung für den Zeitraum bis 2045 handelt, ist es sinnvoll den fortschreitenden Klimawandel und die daraus resultierenden geringeren Wärmebedarfe zu berücksichtigen. Dies ist

über Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes möglich. Diese sind sowohl als aktuell gültiger Datensatz TRY-Gegenwart als auch für den Zeitraum 2031-2060 in einem 1 km x 1 km Raster in einem Online-Portal abrufbar. Für die Standorte Nocken und Neue Friedrichstraße wurde geprüft ob die theoretischen Testreferenzjahre grundsätzlich geeignet sind das Verhalten eines realen Objektes abzubilden. Für beide Objekte ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen dem Wärmebedarf laut Testreferenzjahr und den tatsächlichen der Jahre 2020 bis 2024.

Es wurden drei repräsentative Standorte (Oberbarmen, Dönberg und Haarhausen) ausgewählt, die sich sowohl hinsichtlich umliegender Bebauung als auch der Höhe über NN unterscheiden. Tabelle 3 zeigt wie sich die Wärmebedarfe und der Deckungsgrad eines erneuerbaren Wärmeerzeugers mit einem Anteil von 40% an einer Gesamtleistung von 100 kW verändern.

Tabelle 3 Anteil des erneuerbaren Wärmeerzeugers (40 kW) und des Spitzenlastkessels (60 kW) für jeweils das aktuelle Testreferenzjahr und das Testreferenzjahr 2045 an den Standorten Dönberg (DB), Oberbarmen (OB) und Haarhausen (HH)

	DB 2045	DB akt.	OB 2045	OB akt.	HH 2045	HH akt.
EE-Wärme - MWh	173,2	184,1	156,0	167,9	166,0	175,2
Erdgas – MWh	28,6	38,9	20,2	31,5	24,4	37,1
Summe - MWh	201,8	223,0	176,2	199,4	190,4	212,2
Anteil EE-Wärme - %	85,8	82,6	88,5	84,2	87,2	82,5

Die Tabelle zeigt klar den Standorteinfluss auf den Energieverbrauch. Der Wärmebedarf am kältesten Standort auf dem Dönberg ist für das aktuelle Testreferenzjahr um 12% höher als in Oberbarmen. Dies ist für diese Betrachtung aber unerheblich, da der Wärmebedarf des jeweiligen Standortes bereits in der Ermittlung der tatsächlichen benötigten Leistung berücksichtigt wurde. Entscheidend ist vielmehr, dass die Abweichung im Anteil der erneuerbar erzeugten Wärme zwischen den drei Standorten gering ist. Dies ist sowohl für die aktuellen Testreferenzjahre als auch die zukünftigen der Fall. Für die weitere Betrachtung wird der mittlere Standort Haarhausen verwendet. In Abbildung 4 ist die Entwicklung des Deckungsgrades (Anteil erneuerbarer Wärme am Gesamtwärmebedarf) über dem Anteil des erneuerbaren Wärmeerzeugers an der Gesamtleistung dargestellt.

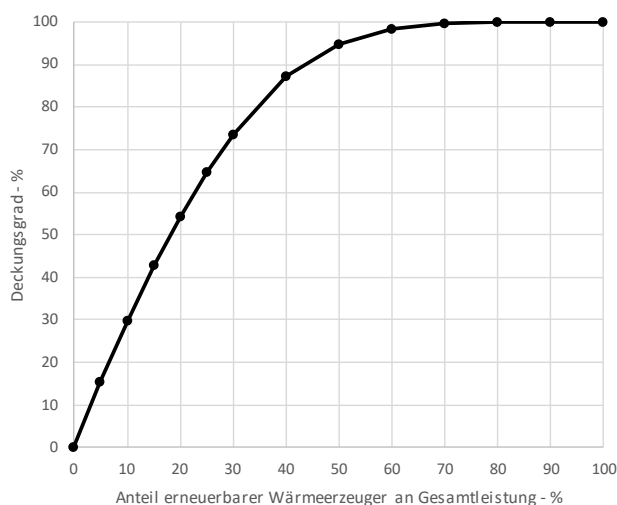


Abbildung 4 Deckungsgrad des erneuerbaren Wärmeerzeugers für verschieden Anteile an der Gesamtleistung

Der Deckungsgrad steigt mit zunehmendem Anteil erneuerbarer Leistung stark an. Bei 25% Anteil an der Leistung wird der nach GEG geforderte Deckungsgrad von 65% erreicht, bei 34% der vom GMW angesetzte Deckungsgrad von 80% und bei 43% ein Deckungsgrad von 90%. Dies verdeutlicht, warum in nicht energetisch sanierten Objekten der alleinige Einsatz von erneuerbaren Wärmeerzeugern, insbesondere bei Wärmepumpen, sinnvoll ist. Erneuerbare Wärmeerzeuger sind pro kW spezifisch teurer als ein Erdgaskessel, bei Wärmepumpen skalieren die Kosten zudem mit der Baugröße nur wenig. Bei begrenzten finanziellen Mitteln ist es wirtschaftlich sinnvoller statt einem erneuerbaren Wärmeerzeuger mit 100 kW drei Wärmeerzeuger mit je 33 kW zu errichten, da die erneuerbar erzeugte Wärmemenge $3 \times 80 \% / 100 \% = 2,4$ fach höher ist als bei der Einzelanlage. Wenn das Gebäude zudem nach dem Einbau des erneuerbaren Wärmeerzeugers energetisch saniert wird, würde der Deckungsgrad durch den insgesamt geringeren Wärmeverbrauch weiter ansteigen. Wenn bereits zu 100% erneuerbare Energien installiert sind, ist der (teure) erneuerbare Wärmeerzeuger überdimensioniert. Nur in Gebäuden, die energetisch dem Stand der Technik entsprechen ist die alleinige Installation eines erneuerbaren Wärmeerzeugers sinnvoll.

Der zum Erreichen des Klimaziels notwendige Deckungsgrad von 80% muss auch eher als Orientierung und nicht als starres Kriterium verstanden werden. Wärmeerzeuger sind immer nur in bestimmten Baugrößen verfügbar, ein genaues Erreichen von 80% wird nur in Ausnahmefällen möglich sein. Vielmehr muss immer als Mindestkriterium ein Deckungsgrad von 65% gemäß GEG erfüllt werden. Wenn 90% Deckungsgrad ohne erhöhten technischen Aufwand erreicht werden können, sollten diese auch installiert werden um in der Gesamtbilanz Objekte zu kompensieren, in den auf Grund der örtlichen Rahmenbedingungen nur eine Einhaltung des GEG möglich ist.

5) Zukünftiger Bestand erneuerbarer Wärmeerzeuger

Die Analyse des Bestandes der Wärmeerzeuger aus Abschnitt 2 zeigte, dass sich ein Programm zur Dekarbonisierung auf die Anlagen > 100 kW konzentrieren muss, da diese zwar nur 30% der gesamten Anlagen ausmachen, auf diese aber über 80% der gesamten installierten Leistung entfällt. Kessel, die nicht in Betrieb sind, sich in Objekten befinden, die saniert werden oder für die keine Energieverbräuche aus Interwatt ermittelt werden konnten (wenige Ausnahmen), wurden von der Betrachtung in diesem Abschnitt ausgeschlossen. Es verbleiben 149 Kesselanlagen mit einer installierten Leistung von 46,3 MW = 70% der Gesamtleistung des Bestandes des GMW und einem Anteil von 74% am gesamten Verbrauch an Erdgas und Heizöl. Von diesen Kesselanlagen sind 103 mit einer Gesamtleistung von 32,0 MW = 48% der Gesamtleistung des Bestandes des GMW aus dem Baujahr 2004 oder älter. Die benötigte Leistung der erneuerbaren Wärmeerzeuger für einen Deckungsgrad von 80% gliedert sich für diese 103 Kesselanlagen auf die Leistungsklassen in Tabelle 4.

Tabelle 4 zeigt, dass diese 103 Kessel mit einer installierten erneuerbaren Leistung von nur 4 MW insgesamt 17,2 MWh erneuerbare Wärme bereitstellen. Dies entspricht 35% des Verbrauches an Erdgas und Heizöl in 2024. Es fällt auf, dass es nur 13 erneuerbare Anlagen > 50 kW gibt, der Großteil mit insgesamt 79 Anlagen liegt in einem Leistungsbereich von 20 bis 50 kW. Es ist sinnvoll diese Anlagen nicht erst reaktiv bei drohendem Ausfall zu ersetzen, sondern gezielt die Synergieeffekte einer gemeinsamen Betrachtung zu nutzen. Eine externe Unterstützung bei der Umsetzung z. B. über eine Bündelung zu Lösen oder ein Contracting ist denkbar. Ein Austausch dieser 103 Anlagen bis 2030 ist ambitioniert, erscheint aber bei Inanspruchnahme externer Unterstützung realistisch.

Tabelle 4 Anzahl der Anlagen, Gesamtleistung und erneuerbar erzeugte Wärme für verschiedenen Leistungsgrößen von erneuerbaren Wärmeerzeugern, die 80% des Wärmebedarfs einer Kesselanlage abdecken für die 103 Standorte mit einer installierten Kesselleistung > 100 kW und Kesselanlagen, die älter als 20 Jahre sind

Leistungsgröße	Anzahl	Leistung - kW	EE-Wärme – MWh/a
>200 kW	1	221	1,1
>150 kW	1	187	0,9
>100 kW	3	386	2,1
>50 kW	8	475	2,4
>35 kW	25	1066	3,8
>20 kW	54	1517	6,2
>0 kW	11	145	0,8
Summe	103	3997	17,2

Diesen größeren Anlagen stehen 75 Anlagen mit einer installierten Leistung zwischen 50 und 100 kW sowie 325 Anlagen mit einer installierten Leistung < 50 kW gegenüber. 100 kW installierte Leistung entsprechen ca. 36 kW tatsächlich benötigter Leistung. Es ergibt daher in dieser Klasse keinen Sinn bivalente Anlagen aus erneuerbarem Wärmeerzeuger und Spitzenlastkessel zu errichten. Der wirtschaftliche Vorteil durch den Spitzenlastkessel ist absolut gesehen gering und die Nachteile durch eine komplexere und damit fehleranfälligeren Hydraulik, erhöhten Platzbedarf, doppelte Wartung, etc. überwiegen. Es kann daher angenommen werden, dass diese Kesselanlagen zu 100% durch erneuerbare Wärmeerzeuger ersetzt werden. Dies sind 2,2 MW für den Bereich 50 bis 100 kW installierter Leistung und weitere 2,8 MW für alle Kleinanlagen < 50 kW. Die zu installierende erneuerbare Leistung der Kleinanlagen entspricht somit zwei Drittel der erneuerbaren Leistung der Großanlagen älter als 2004 obwohl die erzeugte Wärme deutlich geringer ist. Für eine wirtschaftliche Betrachtung sind die Kleinanlagen somit durchaus relevant. Ein gezielter Austausch der Kleinanlagen erscheint aber durch die vermehrt schlechte Datenlage, sowohl hinsichtlich Objekt- als auch Verbrauchsdaten und die damit notwendige Vielzahl von Begehungen nicht sinnvoll. Bei Einbindung Externer besteht ein schlechtes Verhältnis zwischen Planungsaufwand zu Anlagenkosten. Es ist daher sinnvoller diese Anlagen bei einem drohenden Ausfall durch die Werkstatt oder eine direkte Beauftragung des ausführenden Gewerks ohne die Einbindung von Fachingenieuren auszutauschen. Sollte eine Neufassung des GEG großzügige Übergangsregelungen für fossile Anlagen definieren, ist es in dieser Leistungsklasse aus Sicht des Klimaschutzes vertretbar diese in Anspruch zu nehmen, da eine dieser Anlagen im Mittel nur 0,04% des Wärmebedarfs aller Objekte ausmacht.

6) Prognose des Energiemix und der Treibhausgasemissionen in 2030, 2040 und 2045

Aus den vorherigen Überlegungen ergibt sich der Energiemix des GMW in den für die Klimaziele relevanten Jahren 2030, 2040 und 2045 aus einem abschnittswisen Zubau von erneuerbaren Wärmeerzeugern. Dieser erstreckt sich zeitlich wie folgt über die verschiedenen Leistungsklassen:

- Kesselanlagen mit einer installierten Leistung > 100 kW & älter als 2004: Zubau von 4,0 MW EE bis 2030
- Kesselanlagen mit einer installierten Leistung > 100 kW, aktuell in Sanierung: Zubau von ca. 0,5 MW EE bis 2030

- Kesselanlagen mit einer installierten Leistung > 100 kW & jünger als 2004: fortlaufender Zubau von 2,4 MW EE bis 2045, Austausch nach 25 Jahren
- Kesselanlagen mit einer installierten Leistung zwischen 50 und 100 kW: fortlaufender Zubau von 2,2 MW EE bis 2045 bei drohendem Ausfall, bilanzieller Austausch nach 25 Jahren
- Kesselanlagen mit einer installierten Leistung < 50 kW: fortlaufender Zubau von 2,8 MW EE bis 2045 bei drohendem Ausfall, bilanzieller Austausch nach 25 Jahren

Für die Berechnung der THG-Emissionen sind CO₂-Äquivalente der einzelnen Energieträger notwendig. Die für den Wärmesektor verwendeten sind in Tabelle 5 angegeben. Für Strom wurde das Szenario „Kohleausstieg und 65% EE 2030“ der Agora Energiewende bis 2030 angesetzt. Dies führt zu 309 g/kWh in 2030, für 2045 wird eine annähernde Klimaneutralität mit 15 g/kWh angenommen. Zwischen den Bezugsjahren wird eine lineare Entwicklung unterstellt.

Tabelle 5 Emissionsfaktoren der Energieträger zur Wärmeerzeugung

Energieträger	CO ₂ -Äquivalente g/kWh	Quelle
Fernwärme	1990: 296, ab 2024: 30	Wuppertal Institut
Erdgas	250	GEMIS
Heizöl	326	GEMIS
Flüssiggas	250	GEMIS
Holz	30	GEMIS
Strom WP	variabel	Agora Energiewende

Es wird angenommen, dass 80% der installierten, erneuerbaren Wärmeerzeuger Wärmepumpen sind und 20% Pelletkessel. Für die Anteile der jeweiligen Energieträger Strom und Holz ist die Verteilung relevant. Für die Treibhausgasemissionen gilt dies weniger, da sich unter Berücksichtigung der Jahresarbeitszahl von 3 einer Luft-Wasser-Wärmepumpe in 2040 bei einem zunehmend erneuerbarem Strommix eine mit 38 g/kWh vergleichbare THG-Emissionen ergibt.

In Tabelle 6 sind die Verbräuche nach Energieträger sowie die resultierenden THG-Emissionen für die Jahre 1990, 2024, 2030, 2040 und 2045 zusammengestellt. Die Energieverbräuche der jeweiligen Energieträger sind für den Bereich Wärme zusätzlich als Säulendiagramm in Abbildung 5 graphisch dargestellt.

Tabelle 6 Verbräuche nach Energieträger sowie die resultierenden THG-Emissionen für die Jahre 1990, 2024, 2030, 2040 und 2045

Energieträger	1990	2024	2030	2040	2045
Fernwärme – MWh	60.016	35.647	35.647	35.647	35.647
Erdgas– MWh	88.110	54.627	25.510	18.242	12.560
Heizöl– MWh	13.010	3.231	2.379	595	595
Flüssiggas– MWh	577	421	48	0	0
Holz– MWh	0	1.307	7.494	9.039	10.246
Strom WP– MWh		nahe 0	6.600	8.247	9.535
Strom– MWh	33.967	29.752	29.752	29.752	29.752
Summe Endenergie - MWh	195.680	124.985	107.430	101.522	98.335
Summe CO ₂ -Äq t	70.129	26.724	19.692	10.389	5.300
Red. vgl. mit 1990 - %		61,9	71,9	85,2	92,4
Zielwert nach KSG %			65	88	100

Es fällt auf, dass die signifikante Reduktion des Erdgasverbrauchs bis 2030 erfolgt. Dies liegt an dem im Abschnitt 5 skizzierten Programm zur Dekarbonisierung für Anlagen mit einer installierten Leistung > 100 kW und dem bilanziellen Austausch aller 194 Kleinanlagen, die ebenfalls älter sind als 25 Jahre. Hier ist eine Verschiebung denkbar, da die Kessel nicht unmittelbar nach 25 Jahren ausfallen. Spätestens in 2040 sind diese jedoch ausgetauscht. Die nahezu Halbierung der THG-Emissionen zwischen 2030 und 2040 liegt überwiegend in den spezifischen CO₂-Äquivalenten des Strommix begründet. Diese verringern sich in allen Trendszenarien von 309 g/kWh in 2030 auf nur noch 113 g/kWh in 2040. Auf den Strommix hat das GMW aber abseits eines PV-Ausbaus nur wenig Einfluss, es bleibt spannend ob die prognostizierte und bisher von allen Bundesregierungen angestrebte Entwicklung im Strommix tatsächlich eintritt.

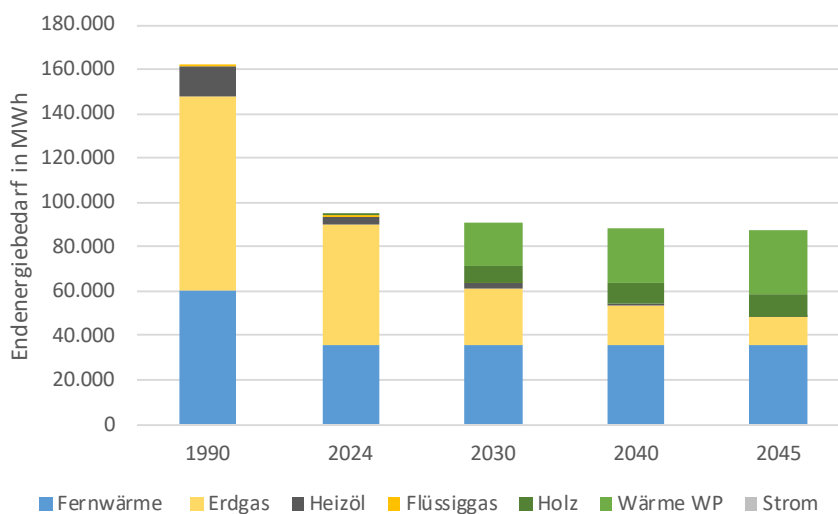


Abbildung 5 Endenergiebedarfe der Wärmeträger zur Wärmeversorgung des Gebäudebestandes. Für die Wärmepumpen ist eine Wärmerzeugung mit einer JAZ von 3 berücksichtigt.

Mit einem nach GEG geforderten Anteil von 65% am Gesamtwärmebedarf bei einem Kesseltausch stellt sich in 2040 eine THG-Reduktion gegenüber 1990 von 83,7% ein, die auf den ersten Blick nur geringfügig von der mit 80% Anteil erreichten von 85,2% abweicht. Das Referenzjahr 1990 verzerrt an dieser Stelle. Tatsächlich beträgt der Erdgasverbrauch in 2045 mit nur 65% Deckungsgrad bei einem Kesselaustausch 18.105 MWh. Dies sind nahezu 50% mehr Erdgas als für 80% Deckungsgrad, die noch substituiert werden müssen, obwohl in 2045 eigentlich bereits Klimaneutralität erreicht sein soll.

Es ist festzustellen, dass in Tabelle 6 für 2040 lediglich eine THG-Reduktion gegenüber 1990 von 85,2% und nicht die gemäß Klimaschutzgesetz angestrebte Reduktion von 88% erreicht wird. In Tabelle 6 ist aber auch nur der Kesselaustausch berücksichtigt. Weitere Effekte für eine positivere Bilanz wie ein PV-Ausbau, Wasserstoffanteile oder Power to Gas in Erdgasnetzen, die Anschaffung von bilanziellem Ökostrom oder anderen Zertifikaten wurden nicht quantifiziert.

Entscheidend ist aber, dass in der obigen Untersuchung energetische Sanierungen nicht berücksichtigt sind. Es kann aber eine fortschreitende Energieeffizienz von ca. 1% jährlich für Strom und Wärme unterstellt werden. Eine rechnerische Berücksichtigung verkompliziert das Szenario aber ungemein, da jeder Energiestrom für das jeweilige Jahr diskontiert werden muss. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird daher darauf verzichtet. Das Klimaziel von 88% wird aber bei zusätzlicher Berücksichtigung einer jährlichen Energieeinsparung aber erreicht. Ob in 2040 aber eine Reduktion von 85 oder 88% erreicht

wird, ist ohnehin unerheblich. Wichtig ist vielmehr, dass der erste Schritt zur Klimaneutralität durch die Umsetzung des Programms zur Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung in städtischen Immobilien innerhalb der nächsten fünf Jahren erreicht wird.

Ansprechpartner

Dr. Martin Wehling
Abteilungsleitung GMW.1 Projektentwicklung und Nachhaltigkeit
Telefon +49 202 563 2765
E-Mail martin.wehling@gmw.wuppertal.de

Corona Vogtländer
Teamleitung GMW.13 Nachhaltigkeit und Kreislaufmanagement
Telefon +49 202 563 6837
E-Mail corona.vogtlaender@gmw.wuppertal.de

Dr. Stefan Willenbrink
Sachbearbeiter
Telefon +49 202 563 5228
E-Mail stefan.willenbrink@gmw.wuppertal.de