

Anwendungsbeispiele von Großwärmepumpen und deren Herausforderungen in der Planung

Franziska Bockelmann¹ und Joris Zimmermann¹, Mathias Schlosser²

(1) Steinbeis Innovationszentrum (siz) energieplus; (2) energydesign braunschweig gmbh

Keywords: Großwärmepumpen, Energiekonzepte, Planung und Auslegung, Beispiele

Zusammenfassung

In der Wärmeversorgung werden zunehmend Großwärmepumpen eingesetzt. Die Herausforderung bei der Erstellung eines Heizkonzepts für den Einsatz von Großwärmepumpen liegt in der Balance zwischen Kosteneffizienz und CO₂-Emissionen. Bestimmte Kriterien wie die Innovation von Versorgungskonzepten und -technologien, die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes und die Akzeptanz sowie die Wirtschaftlichkeit müssen im Vorfeld berücksichtigt werden. Wärmepumpensysteme und -konzepte dieser Größenordnung erfordern eine entsprechende Auslegung und Vorplanung.

Großwärmepumpen haben vielfältige Einsatzmöglichkeiten. In diesem Beitrag werden Beispiele der Wärmepumpenintegration vorgestellt, aus Quartieren, Gebäudeblöcken und der Nutzung von Abwärme für die Quartiersversorgung. Diese Projekte zeigen, dass ein wesentlicher Beitrag zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung geleistet werden kann. Es kann gezeigt werden, dass es theoretisch möglich ist, den Wärmebedarf durch den Einsatz von Wärmepumpen bis zu 100 % zu decken. Darüber hinaus können enorme ökologische Potenziale aufgezeigt werden. Im Vergleich zu Gaskesseln können CO₂-Reduktionen von 50 – 90 % erzielt werden.

1. Einleitung

Durchschnittlich emittiert jeder Mensch in Deutschland pro Jahr rund 7,75 tCO₂ (energiebezogen – Strom und Wärme, 2019) [1]. Ein Ausstoß pro Person von weniger als 1 tCO₂ pro Jahr wäre klimaverträglich [2]. Dies zeigt, dass ein nachhaltiger Konsum große Anstrengungen und eine Reduzierung um rund 90 % gegenüber dem aktuellen Niveau verlangt. Ein wesentlicher Beitrag zur Klimaneutralität kann durch die Reduzierung der Emissionen im Gebäudesektor geleistet werden. Hier bietet die Heizung großes Potenzial. Der Energieverbrauch muss langfristig gesenkt werden, beispielsweise durch eine Wärmedämmung der Gebäudehülle. Gleichzeitig muss es zu einer Kopplung des Wärme- und Stromsektors kommen, da Strom leichter durch erneuerbare Energien ersetzt werden kann. Diese Kopplung kann durch den Einsatz von Wärmepumpen erreicht werden.

Die positiven Effekte von Wärmepumpen können noch verstärkt werden, wenn sie in Fernwärmenetze integriert werden. Daraus können moderne Versorgungskonzepte entstehen, bei denen intelligent steuerbare Großwärmepumpen für einen energieeffizienten Betrieb integriert werden. Diese Systeme stehen jedoch vor vielen Herausforderungen. Geeignete Wärmequellen für die Energieversorgung müssen im erforderlichen Umfang dimensioniert und ausgebaut werden. Für einen belastbaren und kosteneffizienten Betrieb müssen Wärmepumpen ggf. bivalent in Kombination mit anderen Wärmequellen des Wärmenetzes eingesetzt werden. Die unterschiedlichen Temperaturniveaus, die für neue und bestehende Gebäude, die an das Netz angeschlossen werden, erforderlich sind, müssen berücksichtigt werden.

Solche Versorgungskonzepte sollten ganzheitlich gemeinsam mit der Stromversorgung /-bereitstellung entwickelt werden. Durch die Integration von Wärmepumpen ergibt sich ein hoher Elektrifizierungsgrad, der durch erneuerbaren Strom abgedeckt werden soll. Darüber hinaus muss das Energiekonzept eine Quartiersversorgung mit einem möglichst hohen Anteil erneuerbarer Energien zu wirtschaftlich vertretbaren Investitions- und Betriebskosten ermöglichen. Um die Kosten des Projekts

ganzheitlich zu betrachten, müssen auch Grundstückserwerb, Netzanschlusskosten und allgemeine Erschließungskosten berücksichtigt werden.

Die Übertragbarkeit des Energiekonzepts auf andere Projekte hängt stark von der vorhandenen Infrastruktur und den spezifischen Anforderungen des Wohngebiets ab, wodurch sich häufig individuelle Lösungen ergeben.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für die Planung und Auswahl eines Energieversorgungssystems für Quartiere bestimmte Kriterien erfüllt sein müssen:

- Innovation (Einsatz innovativer Technologien und Versorgungskonzepte)
- Erneuerbarkeit (einschließlich Reduzierung der CO₂-Emissionen)
- Resilienz (gegen innere und äußere Störungen)
- Potenzial für die Versorgung des Stromnetzes
- Übertragbarkeit (des Systementwurfs auf andere Kreise/Städte)
- Akzeptanz (in der lokalen Bevölkerung)
- wirtschaftliche Effizienz

Es sind die Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für die Integration von Großwärmepumpen in Versorgungskonzepte gegeben. Neben dem eigentlichen Konzept stehen auch die technischen Komponenten zur Verfügung. Neben dem bereits bestehenden Einsatz in der metallverarbeitenden Industrie und der Lebensmittelindustrie wird im Anwendungsbereich „Nahwärmeversorgung“ ein großes Potenzial für Großwärmepumpen gesehen. Für eine CO₂-neutrale Wärmeversorgung ist der Umstieg auf Großwärmepumpen unabdingbar. Der Grund dafür, dass Großwärmepumpen bislang nur sporadisch installiert werden, ist das bisher hohe Preisverhältnis von Strom zu Gas. Deshalb wurde bisher auf die Wärmeversorgung über Gas zurückgegriffen.

Trotz der geringen Anzahl installierter Einheiten liegt der Technology Readiness Level (TLR) von Großwärmepumpen bei 6 – 8, bei großen Industriewärmepumpen sogar bei 9.

Großwärmepumpen werden immer noch größtenteils als Einzellösungen gefertigt und sind daher in der Anschaffung nicht so günstig wie Serienprodukte. Einzelne Hersteller bieten ihre Anlagen in einer Art Baukastensystem an und können so einen Wärmeleistungsbereich von 350 – 3.100 kW abdecken. Großwärmepumpen können Temperaturniveaus bis 130 °C versorgen und COPs von 4 bis 7 erreichen. [3]

2. Planung von Energiekonzepten mit Großwärmepumpen

Bei der Planung geht es um die intelligente Vernetzung von Strom, Wärme und Mobilität im Alltag und die sinnvolle Integration erneuerbarer Energien in bestehende Versorgungsnetze. Ein Aspekt dabei ist die Nutzung vorhandener Wärmequellen vor Ort, beispielsweise die Nutzung von Abwärme aus der Industrie zur Wärmeversorgung der Nachbarschaft.

Während kleinere Wärmepumpen mit niedrigeren Vorlauftemperaturen und geringen Heizleistungen sowohl in Wohn- als auch Nichtwohngebäuden seit vielen Jahren etabliert sind, stellt ein Versorgungskonzept mit Großwärmepumpe höhere Anforderungen. Für diese Betriebsbedingungen geeignete Wärmepumpen sind noch keine Standardprodukte, sondern werden auf den konkreten Anwendungsfall ausgelegt. Häufig eingesetzte Luft-Wasser-Wärmepumpen müssen beispielsweise in der Lage sein, die Temperatur der Umgebungsluft für eine Quartiersversorgung auf mindestens 80°C zu erhöhen (Temperaturniveau für das Netz bei Versorgung bestehender Gebäude und dezentraler Nacherwärmung) und müssen je nach Größe des Wärmenetzes und vorgesehenem Einspeiseanteil der Wärmepumpe ggf. eine thermische Leistung von mehreren Megawatt erbringen. Viele Hersteller

von Großwärmepumpen haben sich mittlerweile auf hohe Leistungen und Temperaturen bis 90°C spezialisiert und können Modelle mit guten COPs anbieten.

2.1 Planungskriterien

Die Planung und Ausarbeitung der Versorgungssysteme umfassen folgende Punkte

1. Bedarfsermittlung und Lastprofile

Zur Dimensionierung der Temperatur des Versorgungsnetzes, z. B. in Quartieren, in denen die Gebäude unterschiedlich alt und in der Regel mehrere Jahrzehnte alt sind, ist aufgrund der damit verbundenen Wärmeverluste eine Erhöhung der Vorlauftemperatur erforderlich.

Um die Dimensionierung der Komponenten ganzheitlich zu betrachten, müssen mehrere mögliche Ausbau- und Anschlussstufen des Versorgungsnetzes sowie der Nutzer berücksichtigt werden. Daher müssen Varianten mit Netzausbau im unsanierten Zustand der Häuser und mit reduzierter Heizleistung im sanierten Zustand in Betracht gezogen werden.

2. Einfachheit und Multifunktionalität

Die größte Herausforderung bei der Versorgung bestehender Quartiere besteht darin, Wärme auf einem Temperaturniveau bereitzustellen, bei dem die Bewohner heute entscheiden können, ob sie ihre alte Öl- oder Gasheizung durch eine Nahwärmelösung ersetzen möchten, ohne sofort in Dämmmaßnahmen für ihre Gebäude investieren zu müssen. Das Konzept soll sowohl heute als auch in mehreren Jahren funktionieren, langfristig sollte der Fokus jedoch auf der Reduzierung der Nachfrage liegen.

Im Hinblick auf die Reduzierung der Komplexität sollte das Versorgungskonzept möglichst einfach sein und gleichzeitig das notwendige Maß an Vielfalt und Redundanz wahren.

Um die Konzepte umzusetzen, müssen die einzelnen Systeme, von der Heizungsanlage bis zum Zentralspeicher, systemdienlich zusammenarbeiten. Hierzu werden die Netze für Wärme, Strom und z. B. Gas als bivalenter Wärmeerzeuger intelligent mit den einzelnen Systemen verbunden, um die gegenseitigen Flexibilitätspotenziale optimal zu nutzen.

3. Platzbedarf und Eignung für eine Energiezentrale

Bei der Bestimmung eines geeigneten Standorts für die Energiezentrale – Gebäude oder Raum, in dem alle Komponenten zur Wärme- und Stromerzeugung untergebracht sind – ist eine Grundvoraussetzung. Der Standort der Energiezentrale sollte sich in der Nähe der wichtigsten Anschlussnutzer befinden und verkehrstechnisch erreichbar sein. Um Installationskosten und Verteilungsverluste gering zu halten, sollten auch die Wege zwischen Wärmespeicher, Energiezentrale und Wärmenetz möglichst kurz gehalten werden.

Darüber hinaus muss der Standort des Energiezentrums mit den städtebaulichen Plänen vereinbar sein. Nutzungskonflikte müssen vermieden werden. Zu Wohngebäuden ist ein Mindestabstand einzuhalten. Die notwendigen Umwidmungen im Flächennutzungsplan zur Errichtung der Heizzentrale müssen vorab geprüft und geklärt werden.

Der resultierende Flächenbedarf der Energiezentrale wird durch die Größe der zu errichtenden Anlagen, die Abmessungen (Aufstellflächen), den Flächenbedarf der Inspektionsflächen und der Einhaltung des Abstandes zu Bäumen (Baumwipfeln), Nachbargebäuden, bestimmter Grundstücke etc. Im Außenbereich muss zusätzlicher Platz für die Verkehrsinfrastruktur bzw. die Aufstellung der Luft-Wasser-Wärmepumpen (inkl. Abstandseinhaltung) vorgesehen werden. Die Fläche der Energiezentrale wird häufig maßgeblich durch die Luft-Wasser-Wärmepumpen bestimmt.

Bei der Ermittlung des Flächenbedarfs sollte auch berücksichtigt werden, dass die Wärmezentrale für zukünftige Ausbauszenarien des Netzes und des Wärmebedarfs erweitert werden kann. Daher sollte die Möglichkeit bestehen, die Energiezentrale um weitere Komponenten zu ergänzen.

4. Zeitfenster

Ein wichtiges Kriterium ist heutzutage die schnelle Realisierbarkeit von Projekten.

Ist die erforderliche Fläche Eigentum der Stadt/Gemeinde oder kann alternativ schnell gesichert werden, ist dies für den Projektfortschritt von Vorteil.

Ein entscheidender Schritt im Projekt ist die Erstellung und Änderung von Entwicklungsplänen; hierfür sollte ein Zeitraum von ca. 12 Monaten eingeplant werden. Ist im Bebauungsplan bereits eine Fläche für die Energiegewinnung vorgesehen, erhöht dies die Wahrscheinlichkeit einer fristgerechten Umsetzung deutlich.

Wenn eine energetische Sanierung der Gebäude in Betracht gezogen werden soll, muss ein längerer Zeitraum von mehreren Jahren oder sogar Jahrzehnten betrachtet und geplant werden.

5. Lärmschutz

Der Wärmeerzeuger, alle Versorgungskomponenten und insbesondere Luft-Wasser-Wärmepumpen können einen Geräuschpegel erzeugen, der die Grenzwerte innerhalb von Wohngebieten überschreitet. Daher müssen Lärmschutzwände in das Installationskonzept integriert werden. Um die notwendigen Maßnahmen wie Abschirmwand/Lärmschutzwand oder zusätzlichen Schutz (Abdeckung gedämpft 1,5 m Tiefe) planen zu können, ist eine Bewertung der Lärmemissionen (Schallrechner) erforderlich.

Eine Wärmeversorgungsanlage oder die Implementierung einer Großwärmepumpe in eine Versorgungsstruktur erfordert nicht nur ein passendes Konzept, sondern auch eine gute Kommunikation zwischen verschiedenen Beteiligten, um eine praktische Umsetzung zu erreichen. Zusätzlich zu den oben genannten Punkten sollten die entsprechenden Aufgaben auch Folgendes umfassen:

- Ansprache der wichtigsten potenziellen Kunden,
- Aufklärung der Anwohner über das Projekt.

Die Akzeptanz hat einen großen Einfluss auf die Erreichung der Projektziele, lässt sich jedoch hinsichtlich des Standorts der Energiezentrale nur schwer beurteilen. Ein Akzeptanzphänomen wird oft als „nicht in meinem Garten“ beschrieben, also die allgemeine Befürwortung eines Projekts im Gegensatz zu direkter und persönlicher Einflussnahme. Liegt das Projekt in einer bestehenden Nachbarschaft, wird es zudem dadurch erschwert, dass fast jedes Gebäude einen anderen Eigentümer hat, der von dem Projekt überzeugt werden muss und Einfluss nehmen kann.

3. Projektbeispiele mit Großwärmepumpen

Im Folgenden werden Projekte vorgestellt, in denen eine Großwärmepumpe integriert werden soll oder wurde. Alle vorgestellten Projekte befinden sich noch im Planungsstadium, weshalb hier nur erste Planungsergebnisse und Berechnungen dargestellt werden können.

3.1 Projekt 1 - Quartier in Heide

Das erste Beispiel zeigt die Integration von Wärmepumpen in ein mittelgroßes Wärmesystem, das derzeit für die Stadt Heide in Norddeutschland geplant ist. Die geplante Luft/Wasser-Wärmepumpe soll eine Vorlauftemperatur von mindestens 80°C erzeugen und eine thermische Leistung von 1 bis 2 MW_{th} (Ausbau) erbringen. Ziel des Projekts ist die Konzeption und Umsetzung eines multimodalen und nachhaltigen Energieversorgungssystems für die bestehenden und zukünftigen Gebäude im Stadtteil. (Abb. 1)

Der ausgewählte Stadtteil mit einer Fläche von 20 ha wird von ca. 500 Menschen bewohnt und weist eine vielfältige Bebauungsstruktur auf. Es gibt 108 Einfamilien- und 47 Mehrfamilienhäuser sowie 27

Nichtwohngebäude, die überwiegend Gewerbebetriebe sind. Die meisten Gebäude werden mit Erdgas, teilweise mit Öl und Strom beheizt. Der jährliche Energiebedarf der bestehenden Gebäude im Quartier beträgt ca. 1.683 MWh Strom, 4.932 MWh Erdgas und 2.216 MWh Öl, was insgesamt rund 3.410 t/a CO₂-Emissionen entspricht.

In der ehrgeizigsten Planungsstufe des Wärmenetzes werden 125 Gebäude angeschlossen. Darin sind 40 Neubauten enthalten, die in naher Zukunft geplant sind, was zu einer Anschlussquote von 56% führt. Unter Berücksichtigung des zusätzlichen Wärmebedarfs der Neubauten beträgt der Gesamtwärmebedarf aus dem Wärmenetz 6.560 MWh/a.

Um diese Wärme bereitzustellen und alle Planungskriterien des Projekts zu erfüllen, besteht das Energieversorgungssystem (Abb. 2) aus verschiedenen Komponenten:

- Photovoltaikanlage verteilt auf den Dächern der Gebäude im Stadtteil
- eigenes Stromnetz zur Sammlung des PV-Stroms in der Energiezentrale (aus regulatorischen Gründen erforderlich)
- Batterie
- Hochtemperatur-Luft/Wasser-Wärmepumpe (bis zu 90°C)
- Elektrolyse (klein, für Forschungszwecke)
- Blockheizkraftwerk (KWK), das Erdgas und Wasserstoff nutzen kann
- Gaskessel als Reserveheizung
- Wärmespeicher (Wassertank)
- Wärmenetz

Eine Luft/Wasser-Wärmepumpe ist der primäre Wärmeerzeuger, der entweder von der Photovoltaik, dem Blockheizkraftwerks (BHKW) oder dem öffentlichen Stromnetz gespeist wird. Letzteres ist eine wichtige Option für weitere CO₂-Reduktionen, wenn Strom aus dem Netz mit der Zeit weniger CO₂-intensiv wird. Strom kann auch zur Herstellung von Wasserstoff in einem Elektrolyseur genutzt werden, der zu Forschungs- und Demonstrationszwecken installiert wird. Der Einsatz von Wasserstoff kann im BHKW in Kombination mit Erdgas erprobt, potenziell für die Wasserstoffmobilität genutzt oder in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden. Die Abwärme des Elektrolyseurs kann zum Heizen genutzt werden, allerdings nur, wenn die Temperatur weiter erhöht wird. Zu diesem Zweck kann die Abwärme zur Quelle für die Wärmepumpe werden. Allerdings ist die verfügbare Wärmeleistung des Elektrolyseurs im Vergleich zum Bedarf der Wärmepumpe sehr gering. Daher bleibt die Umgebungsluft die Hauptquelle für die Wärmepumpe und das System ist nicht auf die Elektrolyse angewiesen, was das Konzept einfacher übertragbar macht. Das BHKW dient als sekundärer Wärmeerzeuger. Ein Gaskessel wird als Reserveheizung eingesetzt. Die erzeugte Wärme kann in einem großen Wasserwärmespeicher von ca. 500 m³ gespeichert werden, der die Wärme für mehrere Tage speichern kann. Für den Transport der Wärme zu den Gebäuden wird ein Wärmenetz eingesetzt.

Technisch gesehen ist die Wärmepumpe die anspruchsvollste Komponente. Während kleinere Wärmepumpen mit niedrigeren Vorlauftemperaturen in modernen Gebäuden bereits seit vielen Jahren etabliert sind, stellt das vorgestellte Konzept höhere Anforderungen. Die gelieferten Gebäude stammen aus unterschiedlichen Epochen und sind meist mehrere Jahrzehnte alt. Durch die Bereitstellung der Wärme über ein Heiznetz mit den damit verbundenen Wärmeverlusten wird die erforderliche Vorlauftemperatur zusätzlich erhöht. Durch die Wärmespeicherung kommt ein zusätzlicher Bedarf hinzu. Die verfügbare Wärmeenergie wird durch die nutzbare Temperaturdifferenz definiert. Um eine

möglichst hohe Wärmemenge in einer gegebenen Wassermenge zu speichern, muss eine relativ hohe Temperatur von bis zu 90 °C erreicht werden. In den Zeiten, in denen erwartet wird, dass der Speicher allein den gesamten Bedarf des Netzes decken kann, kann er dies nur tun, solange seine Austrittstemperatur die Solltemperatur des Netzes übersteigt. Die durch die hohe Vorlauf­temperatur bedingten geringeren Leistungszahlen können in Kauf genommen werden, wenn die Wärmepumpe mit lokaler Photovoltaik betrieben wird.

Die Luft/Wasser-Wärmepumpe muss die Temperatur der Wärmequelle (Umgebungs­luft) auf 80 – 90 °C anheben und dabei je nach Endgröße eine thermische Ausgangsleistung von 1 bis 2 MW_{th} erbringen. Für diese Betriebsbedingungen geeignete Wärmepumpen sind noch keine Standard­produkte, sondern für den jeweiligen Anwendungsfall konzipiert. Aufgrund des großen Temperatur­unterschieds zwischen Quelle und Last verwenden Hersteller einen zweistufigen Prozess mit entweder Schrauben- oder Kolbenkompressoren. Die gebräuchlichsten Kältemittel sind R717 (Ammoniak) und R1234yf.

Die zur Bereitstellung einer ausreichenden Wärmequellenleistung erforderlichen Luftwärmetauscher benötigen eine große Aufstellfläche und erzeugen einen Lärmpegel oberhalb der Grenzwerte für Wohngebiete (60 dB(A) am Tag und 45 dB(A) in der Nacht). Daher müssen Lärmschutzwände in das Installationskonzept integriert werden.

Als Alternative wurde eine erdgekoppelte Wärmepumpe in Betracht gezogen, die höhere Leistungs­zahlen und geringere Lärmemissionen verspricht. Allerdings ergaben Erkundungsbohrungen, dass die für Bohrlöcher zur Verfügung stehende Fläche in der Nähe nur einen Bruchteil des erforderlichen jährlichen Energiebedarfs decken konnte, während die Investitionskosten drastisch anstiegen.

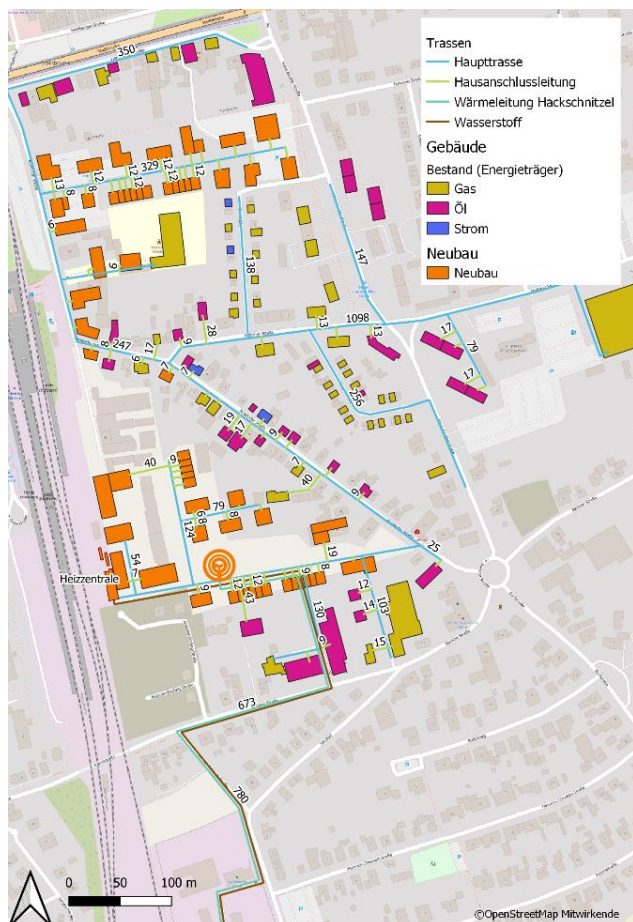


Abb. 1: Lageplan Projekt 1

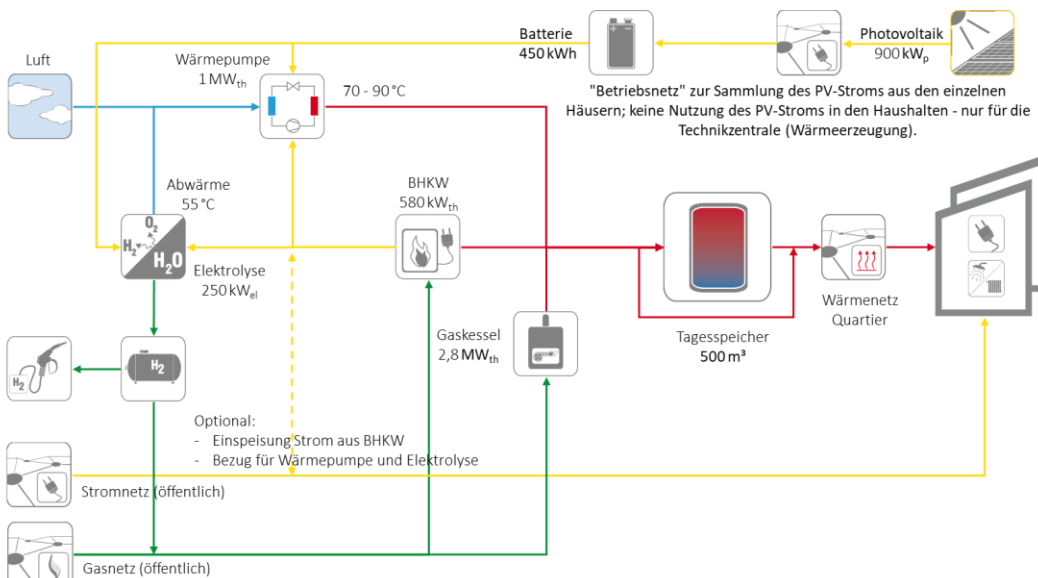


Abb. 2: Energieversorgungs-konzept

3.2 Projekt 2 – Quartiersversorgung über vier Heizzentralen

Projekt 2 zeigt die Umsetzung in vier einzelnen Kleinwärmenetzen. Die geplanten Luft/Wasser-Wärmepumpen sollen eine Vorlauftemperatur von mindestens 80 bis 90 °C erzeugen und insgesamt eine thermische Leistung von 7 MW bereit stellen (abhängig von der Endgröße des bivalenten Erzeugers). Ziel des Projekts ist die Umrüstung von vier bestehenden Heizzentralen als erster Schritt, um sämtliche Gebäude und Anlagen des Auftraggebers fit für die Zukunft zu machen. Angestrebt wird die Klimaneutralität der Immobilien.

Um alle Grundstücke des Eigentümers hinsichtlich der Bau- und Sanierungsmaßnahmen sowie der Wärme- und Stromversorgung nachhaltig zu gestalten, müssen zunächst die dargestellten Areale (Abb. 3) und die Entwicklungspotenziale in Richtung Klimaneutralität bewertet werden.

Für den untersuchten Standort wird von 90 Gebäuden mit etwa 550 Wohneinheiten und einer beheizten Nutzfläche von etwa 50.000 m² ausgegangen. Die Gebäude beherbergen unterschiedliche Nutzungen wie Wohnen/betreutes Wohnen oder Pflegeeinrichtungen, Werkstatt/Lager, Verwaltung und soziale Einrichtungen.

Bei dem Projekt handelt es sich um den Umbau von vier bestehenden Heizzentralen, die derzeit über Gaskessel und Blockheizkraftwerke betrieben werden. Die zu entwickelnden Versorgungskonzepte sollten einen hohen Anteil erneuerbarer Energien aufweisen. Ziel ist es, einen Anteil von 65 – 95 % der Wärmebereitstellung pro Heizzentrale über Luft-Wasser-Wärmepumpen umzusetzen (Abb. 4). Derzeit geht es darum, die Erweiterbarkeit des jeweiligen Heizsystems und die Kombination mit Wärmespeichern und Photovoltaik zur Nutzung des selbst produzierten Stroms zu prüfen. Eine Herausforderung bei der Konzeptentwicklung und Dimensionierung stellen die unterschiedlichen Baualterklassen und unterschiedlichen Energiezustände der Gebäude sowie die inhomogene Struktur an den Standorten dar. Darüber hinaus sind Entwicklungsszenarien im Hinblick auf zukünftige Erweiterungen und Flächenbedarfe sowie Anforderungen an raum- und nutzungsspezifische Bedürfnisse zu erarbeiten und zu definieren.

Die einzelnen Heizzentralen müssen eine Wärmeleistung von 485 kW bis 5.145 kW abdecken und auf einem Temperaturniveau von 80/60°C oder 90/70°C arbeiten.

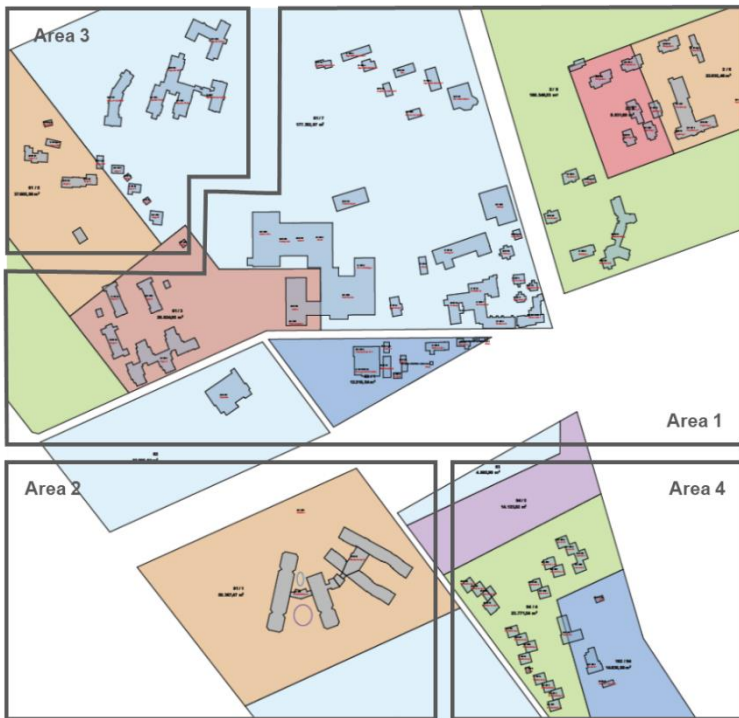


Abb. 3: Lageplan Projekt 3. [energydesign braunschweig GmbH]

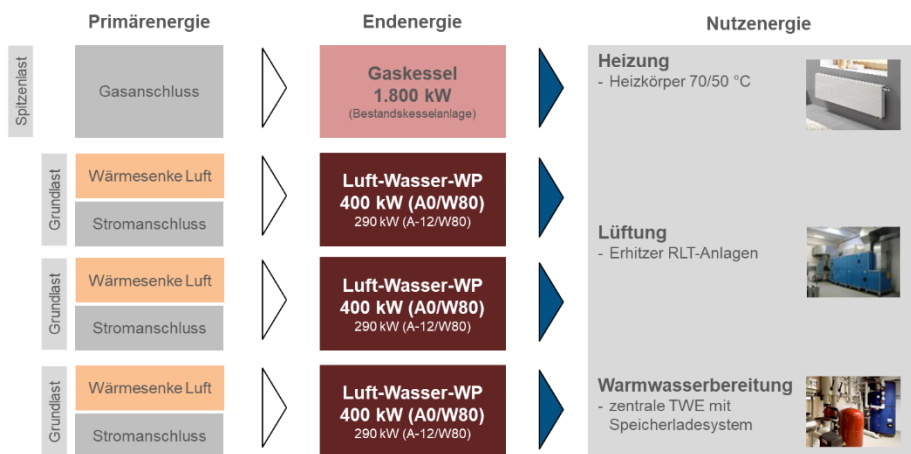


Abb. 4: Konzeptvorschlag für eine Heizzentrale [energydesign braunschweig GmbH]

Die ökologische Bewertung bezieht sich auf die Emissionen, die bei der Wärmeerzeugung über das derzeitige Versorgungskonzept mit Gaskessel im Vergleich zur Wärmepumpenlösung entstehen. In der Bilanz sind auch die Erträge der hinzugefügten PV-Anlagen und der Stromverbrauch enthalten. (siehe (1))

$$\begin{aligned}
 CO_2 \text{Emissionen} &= CO_2 \text{Emissionsfaktor} \times \text{Endenergie (Energiequelle)} \\
 &- CO_2 \text{Emissionsfaktor} \times \text{Stromproduktion PV - Anlage} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Am Beispiel der neuen Energiekonzepte für die Heizzentralen im Bereich 1 und Bereich 3 ergibt sich ein jährliches CO₂-Einsparpotenzial von 53 bzw. 78 % im Vergleich zum aktuellen Versorgungskonzept mit Gaskessel. Dies würde eine CO₂-Reduktion von etwa 515 bis 1.210 tCO₂ pro Jahr bedeuten.

V1: Heizzentrale Bereich 1 – Gaskessel

V2: Heizzentrale Bereich 1 – Luft-Wasser-Wärmepumpe

V3: Heizzentrale Bereich 3 – Gaskessel

V4: Heizzentrale Bereich 3 – Luft-Wasser-Wärmepumpe

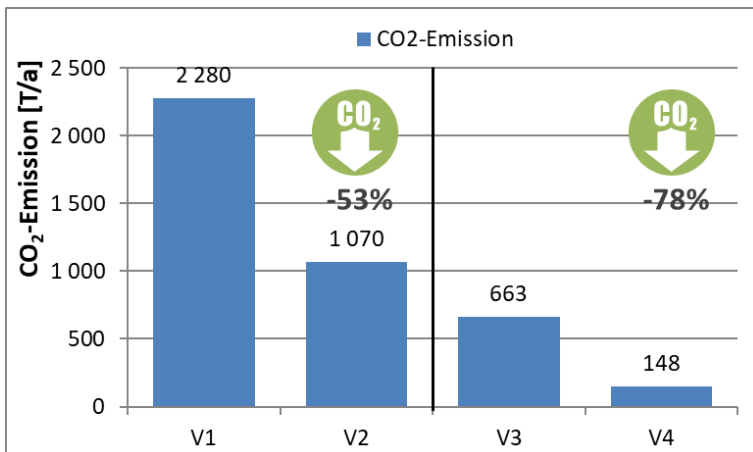


Abb. 5. CO₂-Ausstoß der verschiedenen Varianten der Heizzentrale Bereich 1 + Bereich 3 (CO₂-Emissionsfaktoren: Erdgas 270 g/kWh, Strommix 400 g/kWh, Verdrängungsstrom -700 g/kWh) [energydesign braunschweig GmbH]

3.3 Projekt 3 - Rechenzentrum als Wärmequelle

Projekt 3 zeigt die Umsetzung einer Großwärmepumpe mit Abwärme eines Rechenzentrums als Quelle. Die geplante Wasser/Wasser-Wärmepumpe muss eine Vorlauftemperatur von 80 bis 90°C erzeugen und eine thermische Leistung von 10 MW erbringen. Ziel des Projekts ist es, die Abwärme des betrachteten Rechenzentrums, die bislang konventionell über Kühlventilatoren an die Umwelt abgegeben wird, als Quelle für ein neues Wärmenetz zu nutzen.

Das Rechenzentrum liegt zwischen zwei ländlichen Dörfern mit jeweils ca. 2.000 bis 2.500 Einwohnern, die derzeit überwiegend über Einzelheizungen und fossilen Brennstoffen versorgt werden. Zur Versorgung der Gebäude über Nahwärmenetze ist eine Abwärmenutzung möglich. Weitere Standorte, die ebenfalls als Wärmeverbraucher in Frage kommen, können einbezogen werden. (Abb. 6) In Verbindung mit der Nutzung von Abwärme kann eine klimaneutrale Versorgung der umliegenden Dörfer (Gebäudebestand) hergestellt werden. Die Abwärme des Rechenzentrums steht ganzjährig auf einem Temperaturniveau von 20 – 36°C zur Verfügung. (Abb. 7)

Derzeit kann von einer Abwärmeleistung des Rechenzentrums (Quelle) von 7 – 8 MW ausgegangen werden (Vollausbau des Rechenzentrums). Bei einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen von 3,3 können theoretisch 87.600 MWh/a Wärme ins Netz eingespeist werden. Dies würde sogar den Wärmebedarf der Gesamtausbaustufe zur Versorgung der Dörfer übersteigen (Abb. 6).

Auch wenn das Rechenzentrum theoretisch die Gesamtenergie für die Quartiere decken könnte, wird davon ausgegangen, dass die Wärme gespeichert werden muss – Notwendigkeit eines großen Wärmespeichers – und dass zusätzliche Wärmeerzeuger integriert werden müssen. Als zusätzliche Wärmeerzeuger und Wärmenetzeinspeisung werden in der Studie folgende Varianten berücksichtigt:

- Variante A: Wärmepumpe + Elektrodenkessel (als Nachheizung)
- Variante B: Wärmepumpe + Elektrodenkessel + BHKW

- Variante C: Wärmepumpe + Elektrodenkessel + BHKW + Wärmepumpe für Speicher (um dem Speicher ab einem bestimmten Temperaturniveau Wärme zu entziehen)
- Variante D: Wärmepumpe + Hochspannungs-Elektrodenkessel [4]+ BHKW + Wärmepumpe zur Speicherung + Windkraftanlagen
- Variante E: Wärmepumpe + Elektrodenkessel + Windkraftanlagen
- Variante F: Wärmepumpe + Elektrodenkessel + BHKW (Strohkraftwerk) + Windkraftanlagen

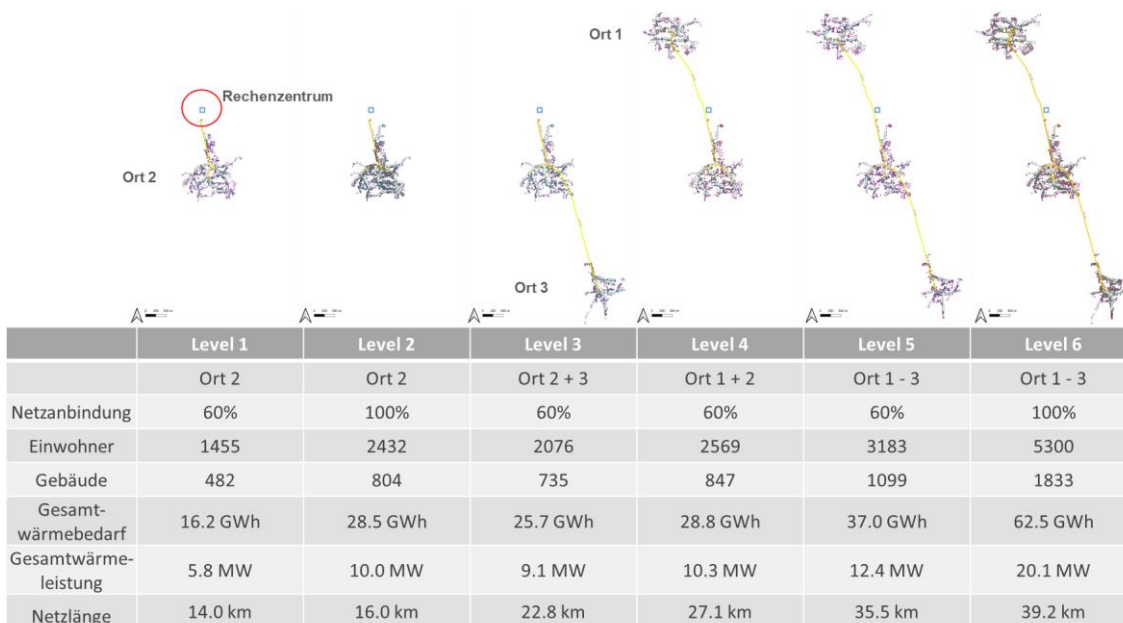


Abb. 6: Lageplan und Ausbauszenarien für das Wärmeversorgungsnetz

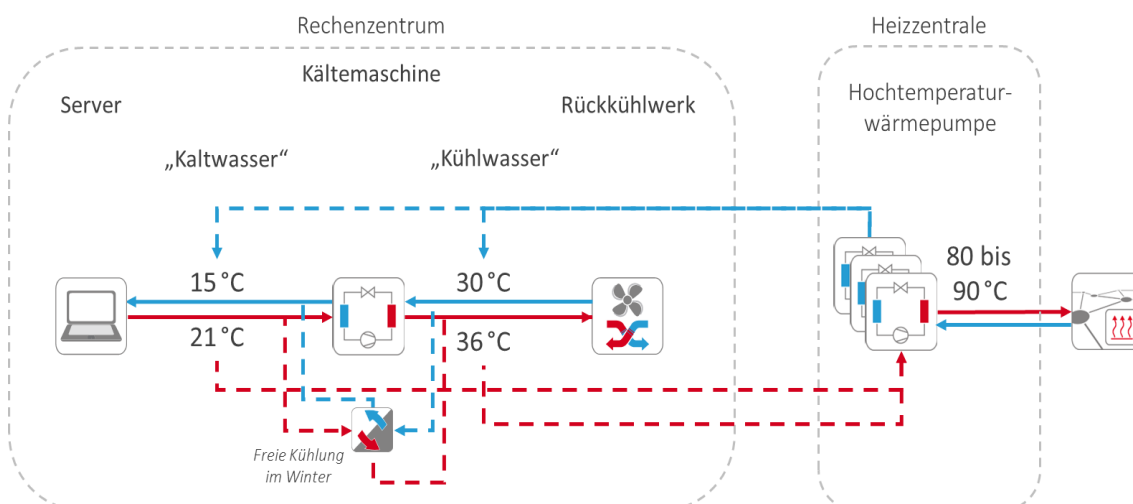


Abb. 7: Versorgungskonzept des Wärmenetzes mit Einbindung des Rechenzentrums als Wärmequelle

Die ökologische Bewertung bezieht sich auf die Emissionen (siehe (1)), die bei der Wärmeerzeugung über das derzeitige Versorgungskonzept mit dezentralen Gaskesseln (Abb. 9, Referenz) im Vergleich zur Quartiersversorgung mit Wärmepumpen (Abb. 9) emittiert werden. In der Bilanz sind auch die Erträge der Windkraftanlagen enthalten.

Die Konzeptvarianten wurden am Beispiel von Level 3 erarbeitet. Die Ergebnisse zeigen ein enormes ökologisches Einsparpotenzial. Es besteht ein jährliches CO₂-Einsparpotenzial von ca. 45 – 97 % (je nach Windenergie) im Vergleich zum aktuellen Versorgungskonzept. Dies würde eine CO₂-Reduktion von rund 3.185 bis 7.122 tCO₂ pro Jahr bedeuten.

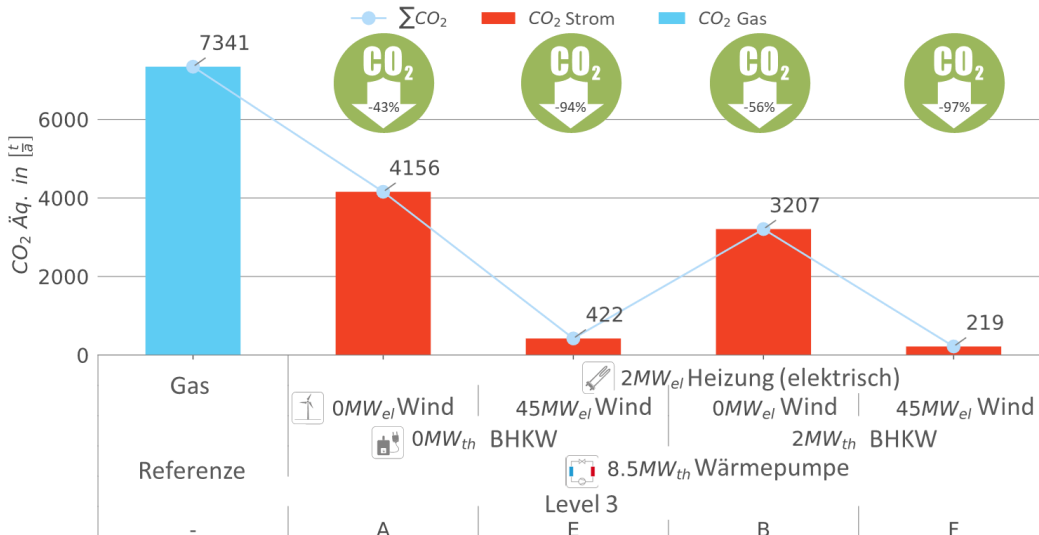


Abb. 8: CO₂-Emissionen der verschiedenen Varianten zur Wärmeerzeugung (CO₂-Emissionsfaktoren: Erdgas 250 g/kWh, Strommix 401 g/kWh)

Zusammenfassung

Bis 2045 soll Deutschland treibhausgasneutral werden. Um dies zu erreichen, wurde das 65-Prozent-Ziel für erneuerbare Energien bei der Wärmeerzeugung eingeführt. Dieses Ziel kann jedoch nur erreicht werden, wenn die Wärmeversorgung energetisch umgestaltet wird und auf fossile Brennstoffe verzichten kann. Großwärmepumpen werden daher eine wichtige Rolle bei der mittel- und langfristigen Transformation der Wärmeversorgung spielen.

In neu errichteten Wohngebäuden (Ein- und Mehrfamilienhäuser) und Nichtwohngebäuden (Bürogebäude) ist die Wärmepumpe bereits zum Standardwärmeerzeuger geworden. Anders sieht es jedoch im Gewerbebereich, im Bestand und auf Quartiersebene aus. Hier gilt die Wärmepumpe noch zu selten als ideale Technologie. Die genannten Beispiele zeigen, dass dies auf Quartiers- und Gewerbeebene künftig kein Problem mehr sein dürfte und dass insbesondere Kommunen, Projektentwickler, Stadtwerke und andere Energieversorger die Chance sehen, den Klimaschutz beim Bau oder der Modernisierung von Quartieren massiv voranzutreiben und Bausteine - und ganz nebenbei, nachhaltige Geschäftsmodelle mit langfristigen Kundenbeziehungen zu etablieren. Durch den vielfältigen Einsatz von Großwärmepumpen lässt sich mittlerweile für jedes große Objekt/Projekt eine individuelle Lösung finden.

Um jedoch das Potenzial dieser Energieversorgungsvariante bestmöglich ausschöpfen zu können, sind die Gestaltung und Dimensionierung sowie die Integration in das Gesamtversorgungskonzept relevant. Derzeit handelt es sich bei der Großwärmepumpe leider noch um eine Sonderkonstruktion, die je nach Anwendungsfall geplant werden muss.

Zur Planung und Dimensionierung von Versorgungskonzepten mit Großwärmepumpen gehört im Vorfeld eine Bestandsaufnahme zur Darstellung der Grundlagen und Ziele des Konzepts. Im ersten Schritt müssen die Bedarfs- und Lastprofile ermittelt werden. Sofern es sich bei dem Projekt um Bestandsanlagen/Bestandsgebäude handelt, sind künftige Sanierungen und Veränderungen an den Gebäuden zu berücksichtigen. Aber auch notwendige Änderungen am bestehenden Konzept, wie etwa

die Anpassung der Vorlauftemperaturen, müssen berücksichtigt werden. Bestehende Anlagen erfordern bei der Neuplanung eine erhöhte Aufmerksamkeit, damit alle Einzelsysteme, von der Heizungsanlage bis zum Zentralspeicher, aufeinander abgestimmt sind und künftig zusammenarbeiten.

Andere Faktoren sollten nicht vernachlässigt werden. Beispielsweise muss der neue Standort der Energiezentrale bei Bedarf oder allgemein der Platzbedarf des neuen Versorgungssystems geprüft und definiert werden. Bestehende Technikräume könnten zu klein werden, wenn zusätzliche Komponenten wie Speicher oder die Wärmepumpe selbst installiert werden müssen.

Im gesamten Planungsprozess muss auf eine frühzeitige Abstimmung und Klärung von Zielen und Zielwerten sowie auf die Kommunikation mit allen Beteiligten und deren Einbindung in die Abwicklung und Konzeptentwicklung geachtet werden.

Bei den dargestellten Projekten geht es vor allem um den Ersatz und Austausch von Gaskesseln sowie die Implementierung von Großwärmepumpen in die bestehende Versorgung. Die Versorgungskonzepte verändern sich zunehmend von einer dezentralen hin zu einer zentralen Versorgung. Alle Konzepte haben das Ziel, möglichst viel CO₂ einzusparen, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Es ist deutlich zu erkennen, dass allein durch den Austausch der alten Wärmeerzeuger (fossile Brennstoffe, Gas) gegen eine Wärmepumpe (regenerative Energiequelle) die CO₂-Emissionen um mehr als 50 % reduziert werden können. Darüber hinaus soll ein hoher Anteil der Wärmeversorgung durch die Wärmepumpe abgedeckt und damit erneuerbar sein. Als Deckungsanteil können je nach Konzept >50 % bis zu 100 % (Gesamtaustausch) erreicht werden.

Quellenangaben

- [1] Statista-Forschungsabteilung. Energiebedingte CO₂-Emissionen pro Kopf weltweit nach ausgewählten Ländern im Jahr 2019. 2022; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167877/umfrage/co-emissionen-nach-laendern-je-einwohner/>.
- [2] Umweltbundesamt. Wie hoch sind die Treibhausgasemissionen pro Person in Deutschland durchschnittlich?. 2021; <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-hoch-sind-die-treibhausgasemissionen-pro-person>.
- [3] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (10/2021). Innovative Energietechnologien – Analyse ausgewählter innovativer Technologien zur Energieerzeugung, -umwandlung und -speicherung. Kurzgutachten zur dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).
- [4] www.parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-volt-electrode-boiler

Hamburger Straße 277, 38114 Braunschweig
franziska.bockelmann@siz-energieplus.de