

5. Analyse der Übertragbarkeit auf weitere Gebäude

Die im Rahmen dieser Studie entwickelten Konzepte auf Basis definierter Test-Cases bilden eine Grundlage für die Übertragbarkeit auf andere vergleichbare Gebäude. Im Zuge der Analyse wurden relevante Teilaspekte identifiziert, die bei der Planung und Umsetzung von Dekarbonisierungsmaßnahmen mit multivalenten Wärmequellen im Gebäudebereich berücksichtigt werden müssen. Aufbauend auf den identifizierten Teilaspekten wurden Entscheidungsbäume zur Erleichterung bei der Vorgehensweise bei der System- bzw. Wärmequellenauswahl ausgearbeitet. Ergänzend wird in diesem Kapitel auf die Bedeutung und Möglichkeiten thermischer Sanierungsmaßnahmen sowie auf die verschiedenen Kriterien zur Auswahl der Wärmequellen eingegangen. Die in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnisse sollen es so den Leser*innen ermöglichen, das in ihrer Liegenschaft vorhandene Potenzial zur Sanierung bzw. Heizungsumstellung zu erkennen sowie konkrete Fragen zur optimierten Systemauslegung zu stellen.

5.1. Teilaspekte der Übertragbarkeit

Im Allgemeinen lassen sich 9 Teilaspekte der Übertragbarkeit aus der Analyse der Test-Cases identifizieren:

1. Thermische Eigenschaften des Gebäudes: Schlechter gedämmte Gebäude haben einen höheren Wärmebedarf, sind schwerer mit lokal verfügbaren erneuerbaren Wärmequellen zu versorgen und benötigen höhere Vorlauftemperaturen.
2. Wärme- und Kälteabgabesysteme im Gebäude: Je weniger vorhandene Abgabefläche, desto höher muss die Vorlauftemperatur gewählt werden, was die Effizienz der wärmepumpenbasierten Wärmeerzeugung verschlechtert bzw. den Einsatz von Wärmepumpen kosten- und effizienztechnisch unmöglich macht.
3. Zentrale / dezentrale Heizungswärme- / Warmwasser- / Kälteerzeugung: Für den Einsatz lokaler erneuerbarer Wärmequellen bzw. -senken ist eine Zentralisierung zumindest des Heiz- bzw. Kühlsystems unabdingbar. Für die Warmwassererzeugung stehen neben der zentralen Versorgung auch verschiedene dezentrale Lösungen zur Verfügung.
4. Platzbedarf für Erdkollektoren / Erdwärmesonden / Entnahme- und Schluckbrunnen / Luft-Wärmepumpenaußengerät / Solarthermieanlage: Liegenschaften mit geringerem Platzangebot sind deutlich schwieriger aus lokalen erneuerbaren Wärmequellen zu versorgen und erfordern mit größerer Wahrscheinlichkeit eine multivalente anstatt einer monovalenten Systemlösung (z. B. in Kombination mit Luft-Wärmepumpen). Eine platzsparende Möglichkeit stellt die Nutzung von lokal verfügbarer Abwärme (etwa aus dem öffentlichen Kanalnetz, dem im eigenen Gebäude anfallenden Grauwasser, aus

- Lüftungsanlagen oder lokal verfügbarer gewerblicher Abwärme) dar, die lediglich einen zentralen Anschlusspunkt, einen Wärmeübertrager und ggf. eine Wärmepumpe erfordert.
5. Platz für Technikräume und Verteilnetz: Technikräume und Verteilleitungen sind zur Zentralisierung des Heizsystems notwendig und finden häufig in Kellern und Dachböden bzw. bestehenden oder neu angebauten Schächten Platz.
 6. Erschließbarkeit der Wärmequellen (Platz für Bohrgeräte): Ist der Antransport der notwendigen Maschinen zur Wärmequellenerschließung (Brunnen-/Sondenbohrung) aufgrund zu enger / niedriger Durchfahrten erschwert, kann eine Verhebung mittels Krans in Betracht gezogen werden.
 7. Lage in Schutzzonen: Befindet sich ein Gebäude in einer Schutzzone, sind in Abstimmung mit der zuständigen Behörde besondere Vorkehrungen zur optischen Integration von Anlagenteilen zu treffen (etwa bei Außengeräten von Luft-Wärmepumpen). Dies stellt insbesondere einen Kostenfaktor dar (etwa für Einhausungen, speziell gefärbte Fabrikate).
 8. Beschaffenheit des Untergrundes (archäologische Bestände, unterirdische Infrastruktur): Steht ein Grundstück aufgrund vorhandener archäologischer Bestände unter Denkmalschutz, ist in jedem Fall eine Genehmigung des Bundesdenkmalamtes für die Durchführung von Erdbewegungs- / Bohrungsarbeiten einzuholen. Auch bei Vorliegen von archäologisch relevanten, nicht unter Schutz gestellten Flächen ist das Bundesdenkmalamt im Vorhinein vom Vorhaben zu informieren, um notwendige Maßnahmen und ggf. nötige Bewilligungspflichten abzuklären. Archäologische Bestände können die verfügbare Fläche zur Erschließung des geothermischen Potenzials reduzieren. Auf Liegenschaften mit besonders dichter Leitungsinfrastruktur (speziell im öffentlichen Raum) reduziert sich die verfügbare Fläche ebenfalls.
 9. Verglaste Flächen und passive Kühlmöglichkeiten: Je höher der Anteil transparenter Flächen in der Gebäudehülle, desto größer ist der zu erwartende Kältebedarf. Maßnahmen zur Reduktion dieses Bedarfs umfassen etwa Verschattungsvorrichtungen oder Lüftungsstrategien. Besonders in denkmalgeschützten Gebäuden ist die optische Integration außenliegender Verschattungsvorrichtungen zu bedenken. Je höher der Kältebedarf des Gebäudes, desto größer muss auch die Wärmesenkenleistung sein.

Zur strukturierten Darstellung dieser Aspekte und ihrer Wechselwirkungen werden in weiterer Folge Entscheidungsbäume als visuelle Werkzeuge herangezogen. Sie dienen dazu, die oben genannten Teilaspekte systematisch miteinander zu verknüpfen und Planungsentscheidungen zu unterstützen.

5.2. Multi- oder monovalente Wärmeversorgung

Der erste Entscheidungsbaum mit dem Titel „Multi- oder monovalente Wärmeversorgung“ ermöglicht eine grundlegende Bewertung, ob eine multivalente Wärmeversorgung (mehrere Wärmequellen) erforderlich ist oder ob eine monovalente Auslegung (einzelne Wärmequelle) des Wärmesystems ausreicht. In der gebäudetechnischen Praxis wird häufig eine monovalente Wärmeversorgung bevorzugt. Diese Präferenz ergibt sich aus mehreren Gründen:

- Reduktion der Systemkomplexität durch eine geringere Anzahl unterschiedlicher Fabrikate und Hersteller
- Verringerung potenzieller Fehlerquellen sowie der allgemeinen Störanfälligkeit
- Gewährleistung einheitlicher Systemarchitekturen
- Erleichterte Strukturierung und Parametrierung der Regelung, z. B. hinsichtlich der Definition von Umschaltpunkten
- Verbesserte Gerätekommunikation bei herstellerhomogenen Systemen, was bei multivalenten Anlagen nicht durchgängig gewährleistet ist

Für das Konzept der multivalenten Wärmeversorgung sprechen insbesondere die Aspekte der Redundanz sowie das Potenzial zur Dekarbonisierung von Gebäuden durch die Integration mehrerer Wärmequellen. Dadurch kann eine höhere Versorgungssicherheit sowie ein geringerer CO₂-Ausstoß erreicht werden. Darüber hinaus bieten multivalente Systeme eine einfachere Systemtrennung im Sommer für gleichzeitigen Warmwasser- und Kühlbetrieb. Bei Kombinationen aus Erdwärmesonden mit anderen Wärmequellen besteht weiters eine höhere Flexibilität bei der Regeneration der Sonden bzw. ermöglicht die Kombination mit einer weiteren Wärmequelle eine Entlastung des Erdsondenfelds (z. B. durch Realisierung der Warmwassererzeugung aus Luft-Wärmepumpen in der Übergangszeit bzw. im Sommer). Damit stellt die multivalente Wärmeversorgung eine zukunftsorientierte Alternative zu teils fossilen bivalenten Systemen dar, bei denen Wärmepumpen lediglich durch konventionelle Kesselsysteme (z. B. Gaskessel) ergänzt werden. Die in der vorliegenden Studie involvierten Projektpartner*innen sind an mehreren Projekten beteiligt, in denen multivalente Systemlösungen zum Einsatz kommen. Im Forschungsprojekt *Sani6Oies* (vgl. FFG, S. A. A) etwa mussten aufgrund zu geringer Platzverfügbarkeit für Erdwärmesonden ergänzend Luft-Wärmepumpen eingeplant werden. Die Luft-Wärmepumpen können nun zusätzlich im Sommer zur aktiven Regeneration des Sondenfelds herangezogen werden, um ausreichend Wärme für die langfristige Erhaltung der Leistungsfähigkeit des Sondenfelds rückzuspeichern. Auch in der *Deutschordenstraße* (*Wiener Wohnen*, vgl. MA20, 2025) kommt eine Kombination aus Erdwärmesonden und Luft-Wärmepumpen zum Einsatz. Im Forschungsprojekt *ZQ3Demo* wurde die Leistung aus dem verfügbaren Potenzial für Erdwärmesonden mittels einer Grundwasser-Wärmepumpe ergänzt (FFG-Nr.: FO999886997, Konsortialleitung: UIV Urban Innovation Vienna GmbH, vgl. FFG, S. A. B). Die Sondierungsstudie *Decarb Alt Erlaa* (FFG-Nr.: 913485, Konsortialleitung: IBR & I Institute of Building Research & Innovation ZT GmbH, vgl. FFG, S. A. C) ergab eine Systemkonfiguration aus Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung zur Warmwasserbereitung sowie Erdwärmesonden zur Heizungswärmebereitung mit Luft-Wärmeübertragern zur zusätzlichen Sondenregeneration.

Abbildung 73 zeigt nun den Entscheidungsbaum für den Einsatz von multi- oder monovalenter Wärmeversorgung. Der Entscheidungsbaum ist wie folgt anzuwenden:

- Der Entscheidungsbaum beginnt mit dem Startpunkt ***Dekarbonisierung Gebäude***.

Danach durchläuft der Prozess klassische Planungsschritte:

- Als erstes erfolgt die **Erhebung der thermischen Qualität der Gebäudehülle**. Dieser Schritt zielt darauf ab, den Zustand der Gebäudehülle zu analysieren und dessen Qualität über Kennzahlen zu quantifizieren.
- Anschließend folgt die **Ausarbeitung von Sanierungsmaßnahmen zur Senkung des Wärmebedarfs bzw. der Vorlauftemperatur** im Heizsystem. Hier werden potenzielle Sanierungsmaßnahmen entwickelt, um den Wärmebedarf des Gebäudes und die Vorlauftemperatur zu senken.
- Es wird eine **Heizlastrechnung** durchgeführt bzw. der **Energieausweis** des Gebäudes mit den möglichen Sanierungsmaßnahmen erstellt, um die Effizienzkennzahlen und den Wärmebedarf des sanierten Gebäudes zu ermitteln. Dieser Schritt liefert jenen Energiebedarf, der jedenfalls durch die Wärmequellen zu decken ist.
- Im nächsten Schritt werden die am Standort verfügbaren **Wärmequellen** systematisch identifiziert und hinsichtlich ihres thermischen Leistungsvermögens sowie des nutzbaren Energiepotenzials bewertet.
- Die erhobenen Wärmequellen werden dann nach deren Effizienz, dem thermischen Leistungsvermögen und hinsichtlich des nutzbaren Energiepotenzials gereiht („**Reihung nach Effizienz und Potenzial**“).

Nach diesem Schritt wird der erste Entscheidungszweig erreicht, bei dem die Frage gestellt wird, ob der Wärmebedarf des Gebäudes mit einer Quelle effizient gedeckt werden kann.

- Wenn die Antwort Ja lautet, führt der Baum zu einer **monovalenten Wärmeversorgung**. Das bedeutet, eine einzige Wärmequelle reicht aus, um den Wärmebedarf effizient zu decken.
- Wenn die Antwort Nein lautet, geht der Prozess zur nächsten Entscheidungsebene über.

Kann das Gebäude mit den getroffenen Sanierungsmaßnahmen nicht effizient mit einer Wärmequelle gedeckt werden, besteht die Möglichkeit, die Erhebung des Wärmebedarfs unter angepassten Randbedingungen durchzuführen („**Optimierte Heizlastrechnung – thermische Gebäudesimulation**“). Relevante Aspekte, die bei dieser Art der Auslegung zu berücksichtigen sind, werden anschließend genauer erläutert.

Nach Durchführung einer optimierten Heizlastrechnung mittels dynamischer Gebäudesimulation kann die Frage, ob der Wärmebedarf des Gebäudes unter angepassten Randbedingungen mit einer Quelle effizient gedeckt werden kann, wiederholt werden.

- Bei Antwort Ja, kann unter diesen optimierten Bedingungen eine **monovalente Wärmeversorgung** – also mit einer Wärmequelle – erfolgen. Allerdings sind die im Anschluss angeführten Aspekte zu berücksichtigen.
- Bei Antwort Nein, führt der Entscheidungszweig zu einer **multivalenten Wärmeversorgung**. Dies impliziert, dass selbst nach einer optimierten Heizlastberechnung mehrere Wärmequellen notwendig sind, um den Bedarf effizient zu decken.

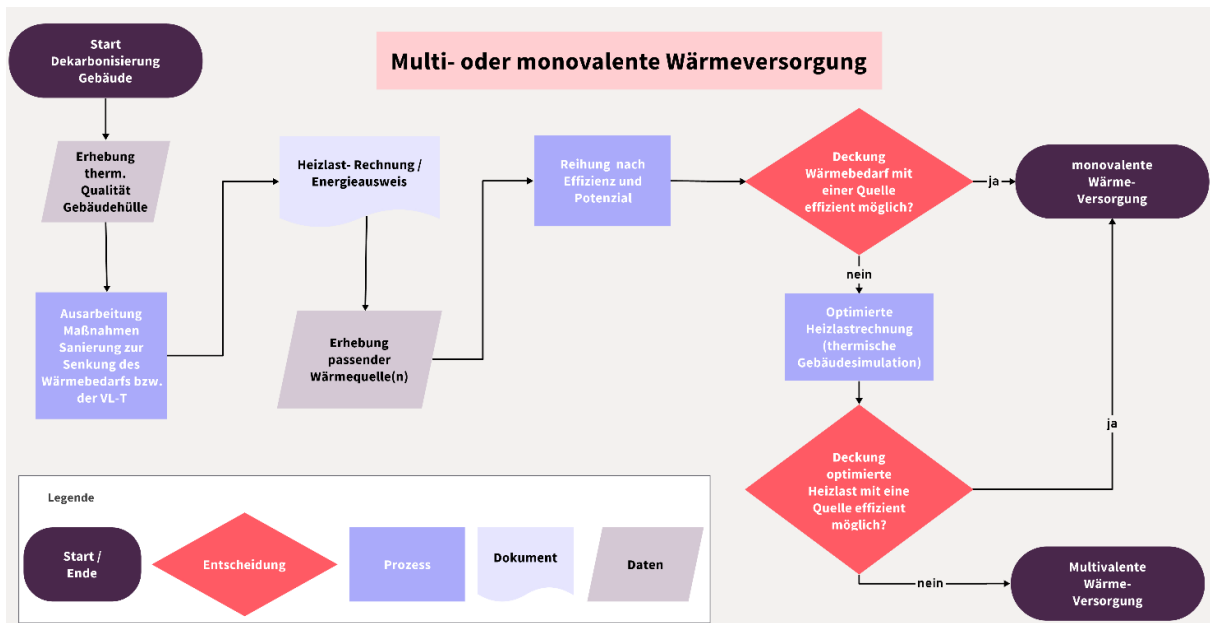


Abbildung 73: Entscheidungsbaum für die Fragestellung, ob ein Gebäude multi- oder monovalent wärmeversorgt werden kann (eigene Darstellung).

OPTIMIERTE HEIZLASTBERECHNUNG MITTELS DYNAMISCHER GEBÄUDESIMULATION

Die thermische Gebäudesimulation stellt einen methodischen Ansatz dar, um Gebäude als virtuelle Modelle – im Sinne eines Digitalen Zwillings – abzubilden. Damit lassen sich energetische und raumklimatische Auswirkungen baulicher und anlagentechnischer Maßnahmen (z. B. Sanierungen oder Änderungen im Heizsystem) quantitativ analysieren. Bereits in der Planungsphase können somit relevante techno-ökonomische und ökologische Kennzahlen abgeleitet und fundierte Entscheidungen getroffen werden.

Im Gegensatz zur klassischen statischen Heizlastberechnung ermöglicht die thermische Gebäudesimulation eine dynamische Analyse, bei der zeitabhängige Einflussgrößen wie Wetterdaten, Regelstrategien oder Eigenschaften der Gebäudehülle berücksichtigt werden. Dies erlaubt eine realitätsnähere Bewertung des thermischen Verhaltens und der Heizleistungsanforderungen unter wechselnden Randbedingungen.

Trotz des hohen Erkenntnisgewinns erfordert die Anwendung entsprechender Simulationssoftware – wie etwa TRNSYS oder IDA ICE – umfangreiche Kenntnisse in der Modellierung und Parametrierung gebäudetechnischer Systeme. Der Aufbau eines validen Simulationsmodells ist deutlich komplexer als bei herkömmlichen Tools zur Heizlastberechnung. Es ist daher ratsam, bereits in der frühen Planungsphase zu klären, ob das zuständige Fach- oder Planungsbüro über entsprechende Kompetenzen in der thermischen Gebäudesimulation verfügt.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Methode liegt in der Möglichkeit, die Heizlast nicht nur für einen normativ definierten Betriebspunkt zu ermitteln, sondern über einen Zeitraum hinweg unter realen Klimabedingungen zu analysieren. So kann die Auslegung des Wärmeerzeugungssystems auf Basis der tatsächlich am Standort aufgetretenen Außentemperaturen der vergangenen Jahre erfolgen. Dies führt zu einer bedarfsgerechteren Dimensionierung und reduziert das Risiko einer Überdimensionierung, wie sie häufig bei normbasierten Auslegungen (z. B. für eine Norm-

Außentemperatur von etwa -12 °C laut ÖNORM B 8110-5 für Wien) auftritt – obwohl solche tiefen Temperaturen in der Realität nur selten erreicht werden. Eine überdimensionierte Auslegung kann insbesondere bei Wärmepumpensystemen zu ineffizientem Teillastbetrieb und damit zu energetischen Verlusten führen. Daneben sind die Investitionskosten für größere Maschinen auch teurer als für kleinere.

HINWEIS ZUR AUSLEGUNG ABWEICHEND VON DER STATISCHEN HEIZLASTBERECHNUNG LAUT ÖNORM B 8110-5

Im vorliegenden Bericht etwa wurde für die Test-Cases in Abweichung zur Norm die Annahme getroffen, dass die an benachbarte Gebäude angrenzenden Mauern keine Wärmeverluste haben (da diese ebenfalls bewohnt sind und daher davon ausgegangen werden kann, dass diese ähnlich temperiert sind). Weiters können Heizungsanlagen auch auf höhere Außentemperaturen als der Norm-Außentemperatur ausgelegt werden. Bei derartigen Annahmen zur Auslegung außerhalb der geltenden Normvorgaben sollte beachtet werden, dass in seltenen Fällen mit sehr tiefen Außentemperaturen eine Unterdeckung der Heizlast auftreten kann. Dieses Risiko lässt sich durch die Integration eines Backup-Systems – etwa eines elektrischen Heizstabs im Pufferspeicher – technisch absichern, um im Bedarfsfall zusätzliche Wärme bereitzustellen.

Zudem ermöglicht die Simulation eine gezielte Analyse besonders empfindlicher Zonen innerhalb des Gebäudes (z. B. Nordorientierung, geringe Wärmeabgabeflächen, hohe Transmissionsverluste). Unterschreiten diese über längere Zeiträume kritische Komfortgrenzwerte, sind entsprechende Anpassungen in der Systemauslegung oder Raumversorgung erforderlich.

5.3. Thermische Qualität der Gebäudehülle und Abgabesysteme

Ein zentraler Einflussfaktor für die Auswahl und Auslegung eines geeigneten Wärmeerzeugungssystems ist der spezifische Wärmebedarf des Gebäudes. Mit steigendem Wärmebedarf erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass mehrere Wärmequellen erforderlich werden, um eine vollständige Deckung sicherzustellen. Aus diesem Grund stellt die thermische Qualität der Gebäudehülle einen wesentlichen Parameter in der Systemplanung dar.

Zur Bewertung der thermischen Gebäudequalität ist zunächst eine detaillierte Analyse der Hüllflächen durchzuführen. Eng damit verknüpft ist das notwendige Temperaturniveau des Heizsystems, welches maßgeblich die Effizienz wärmepumpenbasierter Systeme beeinflusst. Ein niedrigeres Vorlauftemperaturniveau erhöht die Systemeffizienz erheblich.

Daher ist es grundsätzlich empfehlenswert, in einem ersten Projektschritt energetische Sanierungsmaßnahmen umzusetzen, die sowohl den Heizwärmebedarf als auch das erforderliche Vorlauftemperaturniveau des Heizsystems senken. Ziel ist es, eine Versorgung mit Niedertemperaturwärme (typischerweise ≤ 55 °C) zu ermöglichen.

Zu den vorrangig zu prüfenden Maßnahmen zählen insbesondere:

- Dämmung der Gebäudeaußenwände oder von Teilflächen (z. B. Parapete, Fensterstürze, Brandschutzwände),
- Austausch veralteter Fenster gegen moderne, wärmedämmende Verglasung,
- Wärmedämmung der obersten Geschoßdecke,
- Dämmung der Kellerdecke,
- Erneuerung bzw. Optimierung der Fenster- und Tüрдichtungen.

Bereits einzelne dieser Maßnahmen können den Heizwärmebedarf signifikant reduzieren und somit die Voraussetzung für einen wirtschaftlichen und effizienten Wärmepumpenbetrieb schaffen.

Ergänzend zu gebäudehüllenseitigen Verbesserungen kann eine Anpassung des Wärmeabgabesystems zur weiteren Senkung des erforderlichen Vorlauftemperaturniveaus beitragen. Mögliche Maßnahmen zur Reduktion der Vorlauftemperatur sind:

- Austausch konventioneller Heizkörper durch gebläseunterstützte Niedertemperaturradiatoren („Wärmepumpenheizkörper“) – bei Gebäuden ohne aktive Entwärmung im Sommer stellt diese Maßnahme eine zentrale Voraussetzung dar,
- Ergänzung durch Flächenheizsysteme (z. B. Fußboden- oder Wandheizung),
- thermische Aktivierung von Fassadenelementen (vorausgesetzt, es handelt sich nicht um stark gegliederte Fassaden).

Sollten diese Anpassungen nicht realisierbar sein und das notwendige Vorlauftemperaturniveau über 55 °C liegen, ist von der Nutzung eines wärmepumpenbasierten Systems abzuraten. In solchen Fällen sind alternative Wärmeversorgungslösungen wie Fernwärme oder Biomasseheizsysteme zu prüfen. Ist hingegen eine Niedertemperaturversorgung technisch möglich, folgt im nächsten Planungsschritt die standortbezogene Potenzialanalyse verfügbarer Wärmequellen.

5.4. Standortanalyse zur Ermittlung verfügbarer Wärmequellen für die Gebäudewärmeversorgung

Zur Identifikation und Bewertung potenziell nutzbarer Wärmequellen im Rahmen einer nachhaltigen Wärmeversorgung von Gebäuden wird eine systematische Standortanalyse durchgeführt. Allgemein lassen sich folgende regenerative oder anthropogene Wärmequellen berücksichtigen:

- Abwasserwärme (z. B. Grauwassernutzung, kommunale oder industrielle Abwässer über Kanalnetze)
- Abluftwärme (z. B. aus Lüftungsanlagen oder Abwärme industrieller und gewerblicher Prozesse)
- Grundwasserwärme
- Geothermische Wärme (z. B. mittels Erdwärmesonden oder Kollektoren)
- Umgebungsluft
- Sonnenenergie

Zunächst werden relevante raumbezogene Informationen zu den potenziellen Wärmequellen zusammengetragen. Hierzu zählen insbesondere digitale Geoinformationssysteme (GIS) und Katasterdaten, die in vielen Fällen öffentlich und frei zugänglich sind. Aufbauend auf der Datenerhebung erfolgt eine quantitative Bewertung des theoretisch und technisch nutzbaren Wärmepotenzials der identifizierten Quellen. Diese Potenzialanalyse bildet die Grundlage für eine weiterführende energetische Planung.

Als Datenquelle können unter anderem folgende Kataster herangezogen werden:

Tabelle 37: Datenquellen für raumbezogene Informationen zu den potenziellen Wärmequellen.

Kataster / Datenquelle	Enthaltene Informationen	Link
Wien Umweltgut	Umfangreiche Datenbank für relevante Informationen betreffend Erdwärmepotenzial, Abwärme, Grundwasser, Solarpotenzial	https://www.wien.gv.at/umweltschutz/umweltgut/
Geothermie-Atlas	Flächendeckende geologische und hydrogeologische Informationen sowie grundstücksbezogene Potenzialabfrage	https://geothermieatlas.geosphere.at/
Flächenwidmung s- und Bebauungsplan	Grundstücksgrenzen, Bebauungsdichte und Bauweise, Nutzungskategorien von Gebäuden	https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/flaechenwidmung/auskunftssystem.html
Digitaler zentraler Leitungskataster	Informationen über die eingelegte Infrastruktur im öffentlichen Straßenraum (kostenfreie Auskunft via Antrag bei MA28)	https://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/pdf/zlk-auskunft-antrag.pdf
Wärmeatlas Österreich	Visualisierung des Wärmebedarfs von Gebäuden und Potenzial für Fernwärme und dezentrale Wärmelösungen für ganz Österreich	https://waermeplanung.at/waermeatlas/
Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)	Informationen zur Solarstrahlung, der Performance von PV-Anlagen und meteorologischen Daten	https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photo-voltaic-geographical-information-system-pvgis_en

Zur systematischen Identifikation und Auswahl geeigneter Wärmequellen für die multivalente Wärmeversorgung von Gebäuden wird ein Entscheidungsbaum entwickelt. Dieser stellt den Auswahlprozess in einer übersichtlichen, grafischen Form dar und bündelt die wesentlichen Entscheidungsfragen, die sich Planerinnen und Planer im Rahmen der Wärmequellenwahl stellen müssen. Dabei werden potenzielle Wärmequellen hinsichtlich ihres energetischen Potenzials sowie ihrer voraussichtlichen Effizienz bewertet und auf dieser Grundlage geeignete Einzel- oder Kombinationslösungen abgeleitet. Der gesamte Entscheidungsbaum befindet sich aus Platzgründen im Anhang in Kapitel 0, weshalb im Folgenden dessen Struktur und Lesart nur anhand von Ausschnitten erläutert werden.

Der Entscheidungsbaum beginnt mit der übergeordneten Fragestellung nach der Auswahl einer geeigneten Wärmequelle zur Deckung des Heizwärme- und Warmwasserbedarfs eines Gebäudes. Darauf aufbauend erfolgt eine sequenzielle Prüfung möglicher Wärmequellen, wobei die Reihenfolge der Betrachtung auf Basis der zu erwartenden Quellentemperatur erfolgt. Diese hat einen entscheidenden Einfluss auf die Effizienz des Wärmepumpenbetriebs. Abschließend kann auch die Solarthermie als ergänzende Wärmequelle – insbesondere für die Warmwasserbereitung – herangezogen werden, um so die Energiekosten zu senken. Es sei angemerkt, dass eine ganzjährige Warmwasserversorgung aus Solarthermie allein im urbanen Bereich aufgrund des geringen Flächenangebots schwer realisierbar ist. Für jede Wärmequelle wird zunächst das verfügbare Potenzial auf Basis öffentlich zugänglicher Katasterdaten und zusätzlicher Informationen abgeschätzt. Dieser Prüfschritt wird im Entscheidungsbaum als „**Check Potenzial**“ bezeichnet.

Beispielhaft gestaltet sich die Entscheidungslogik am Knotenpunkt „**Check Potenzial Abwasser**“ wie folgt:

- Zunächst wird das theoretische Potenzial der Wärmequelle Abwasser auf Grundlage von Katasterdaten, verfügbaren Temperaturprofilen und bekannten Volumenströmen abgeschätzt.

Im Anschluss werden spezifische technische und infrastrukturelle Voraussetzungen geprüft, die für eine mögliche Nutzung erfüllt sein müssen. Für Abwasser sind dies beispielsweise (vgl. Abbildung 74):

1. Ist ein Anschlusspunkt an das öffentliche Kanalnetz mit ausreichendem Durchfluss in vertretbarer Reichweite vorhanden?
 2. Ist ein Anschlusspunkt für die zentrale Abwassernutzung im Gebäude vorhanden, sodass eine Grauwassernutzung möglich ist?
- Wird mindestens eine dieser Voraussetzungen erfüllt, kann der **Einsatz von Abwasserwärmerückgewinnung** grundsätzlich in Betracht gezogen werden.
 - Daraufhin wird geprüft, ob das erschlossene Potenzial ausreichend ist, um die erforderliche Heizleistung für das betrachtete Gebäude zu decken („**Ausreichend Leistung vorhanden?**“). Dabei ist zu beachten, dass die Potenziale aller bis dahin geprüften Wärmequellen kumulativ betrachtet werden.
 - Sofern das identifizierte Potenzial als technisch und wirtschaftlich erschließbar eingeschätzt wird, erfolgt eine Bewertung und Priorisierung der Wärmequellenoptionen. Die Kriterien für diese Priorisierung werden nachfolgend erläutert.
 - Falls das Potenzial einer geprüften Wärmequelle nicht ausreicht oder bestimmte Bedingungen nicht erfüllt sind, führt der Entscheidungsbaum zur nächsten verfügbaren Wärmequelle („**Prüfung weitere Wärmequelle**“). Im konkreten Beispiel folgt auf die Abwasseranalyse die Potenzialprüfung für die Wärmequelle Abluft sowie weiteren Wärmequellen, bis ein Zielknoten erreicht wird.
 - Am Ende des Prozesses steht die Bewertung und Priorisierung sinnvoller Kombinationen der Potenziale. Sollten keine geeigneten Wärmequellen gefunden worden sein oder die Potenziale nicht ausreichen, wird nach einer "**Alternative Wärmeversorgung**" gesucht.

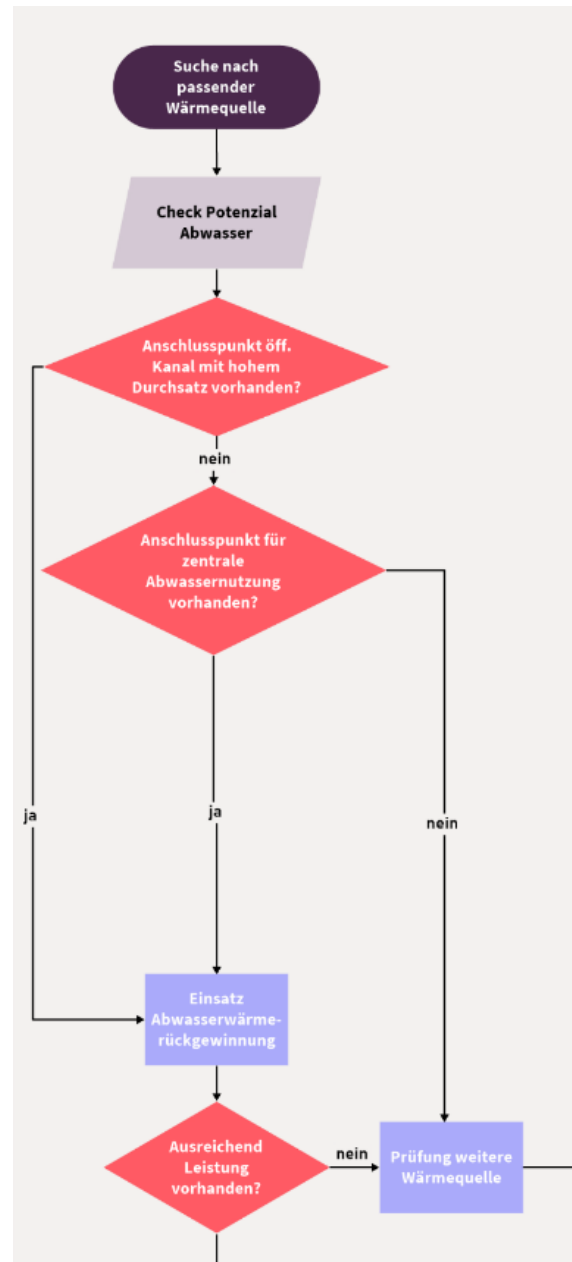


Abbildung 74: Entscheidungszweig für die Wärmequelle Abwasser (eigene Darstellung).

Folgende Teilaspekte bzw. Fragen ergeben sich bei der Potenzialerhebung der unterschiedlichen Wärmequellen:

Abluftwärme (vgl. Abbildung 75 links):

1. Ist ein zentrales Lüftungssystem vorhanden, aus dem die Wärme der Abluft ohne großen technischen und baulichen Aufwand möglich ist?
2. Ist eine Zentralisierung der Abluft möglich?
3. Ist eine dezentrale Nutzung der Abluft auf Wohnungsebene ohne großen technischen und baulichen Aufwand sinnvoll möglich?

Grundwasserwärme (vgl. Abbildung 75 rechts):

1. Sind Freiflächen für die Errichtung von Förder- und Schluckbrunnen vorhanden?
2. Gibt es keine Einschränkung bestehender Nutzungsrechte von anderen Objekten bzw. Grundstücken?
3. Liegt ein archäologischer Bestand am Grundstück vor und wenn ja, ist eine Bohrbewilligung vorhanden?
4. Gibt es ausreichend Platz für die Einbringung der Bohrgeräte?

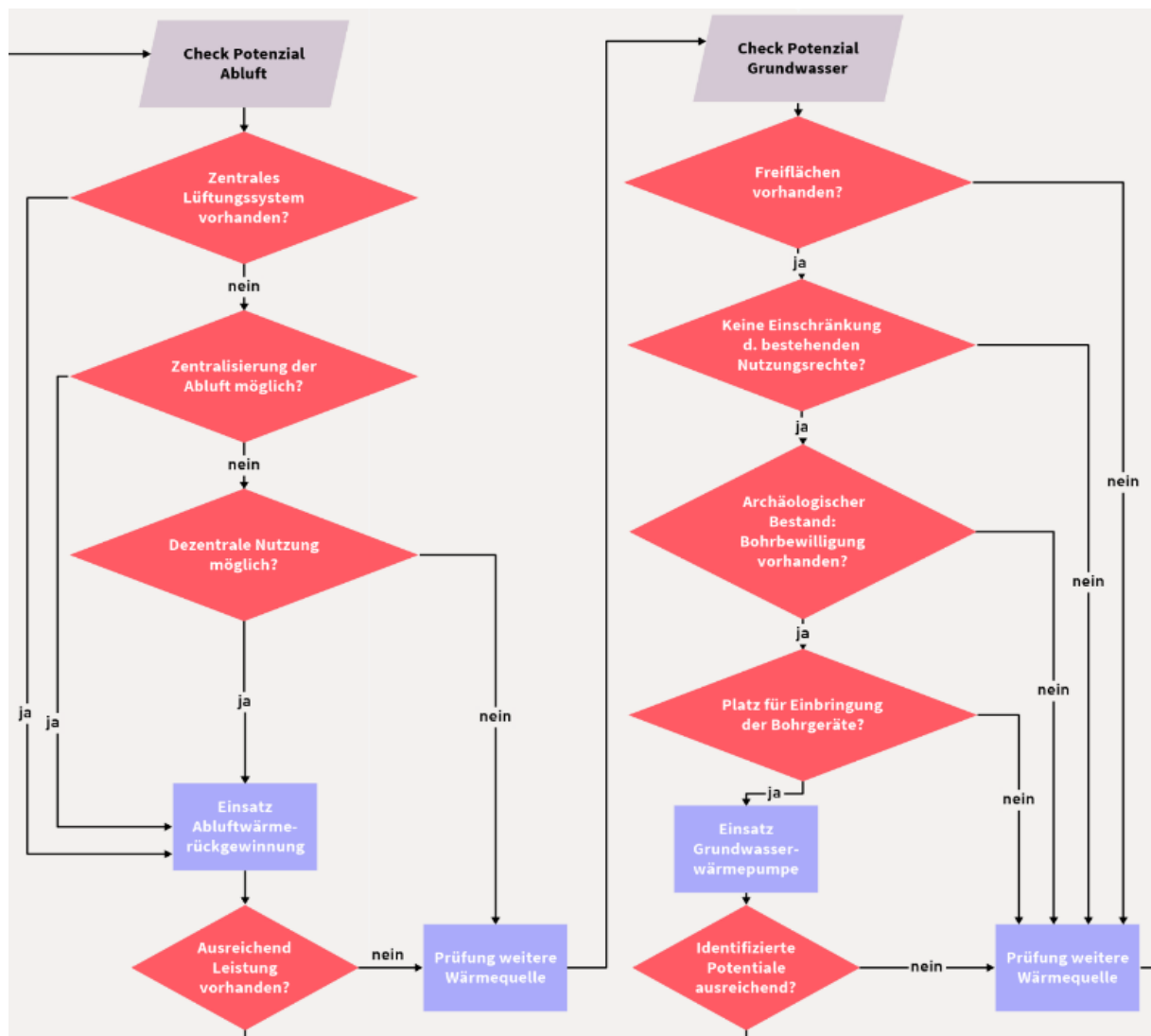


Abbildung 75: Entscheidungsweig für die Wärmequellen Abluft und Grundwasser (eigene Darstellung).

Erdsonden (vgl. Abbildung 76 links):

1. Sind ausreichend Freiflächen am Eigengrund vorhanden?
2. Sind Freiflächen am öffentlichen Gut (z. B. Straße, Gehsteig, Park- oder Grünanlagen) vorhanden?
3. Liegt ein archäologischer Bestand am Grundstück vor und wenn ja, ist eine Bohrbewilligung vorhanden?
4. Gibt es ausreichend Platz für die Einbringung der Bohrgeräte?

Luftwärme-Pumpe (vgl. Abbildung 76 rechts):

1. Ist ein Aufstellungsplatz für das Außengerät vorhanden?
2. Liegt das Gebäude in einer Schutzzone?
3. Kann die Einhaltung des erlaubten Schallmaßes gewährleistet werden?
4. Gibt es die Möglichkeit der Aufstellung über Dach?
5. Gibt es die Möglichkeit schalldämpfender Maßnahmen?

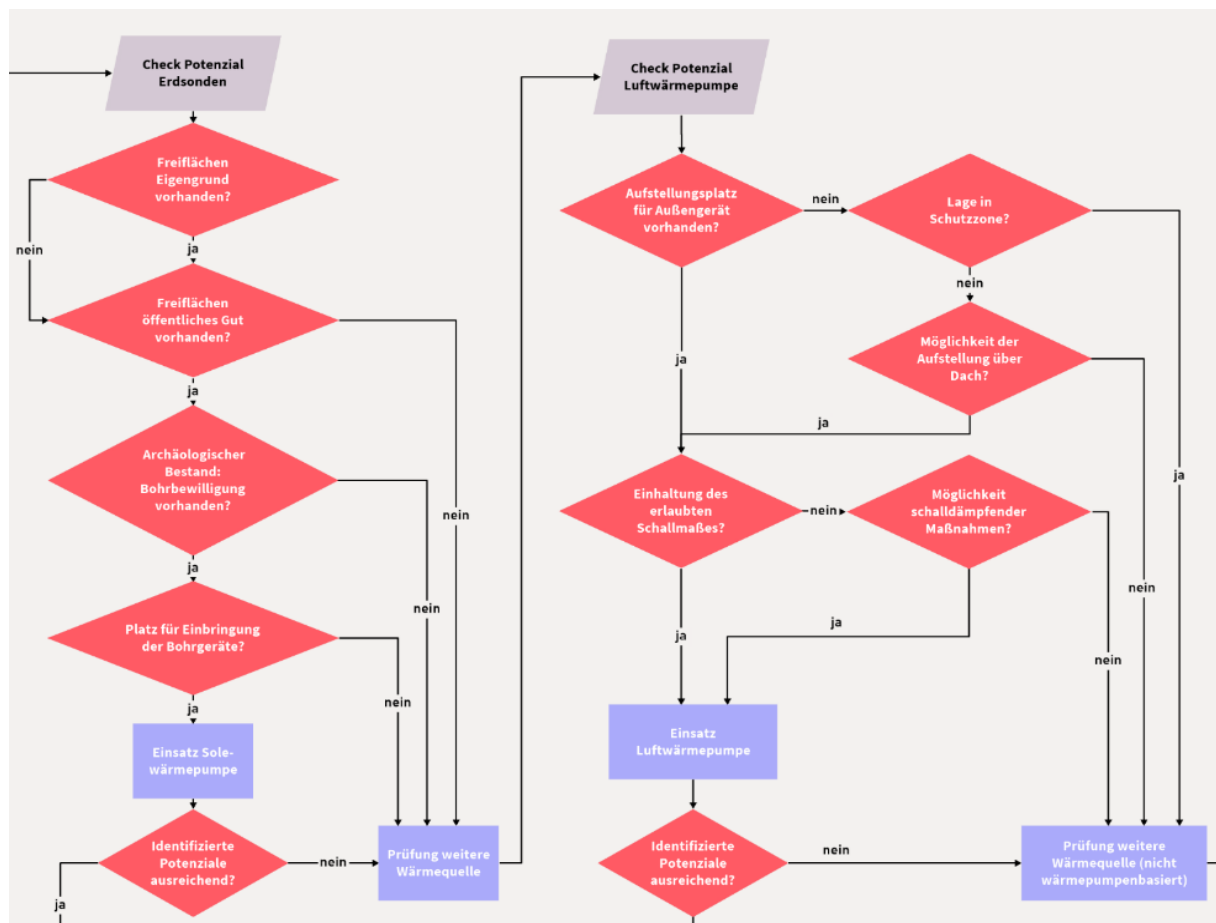


Abbildung 76: Entscheidungszweig für die Wärmequellen Erdsonden und Luftwärme-Pumpe (eigene Darstellung).

Solarthermie (vgl. Abbildung 77):

1. Ist ausreichend freie Dachfläche in entsprechender Ausrichtung (Ost, Süd oder West) vorhanden?
2. Ist die Tragkraft des Daches ausreichend oder nachrüstbar?

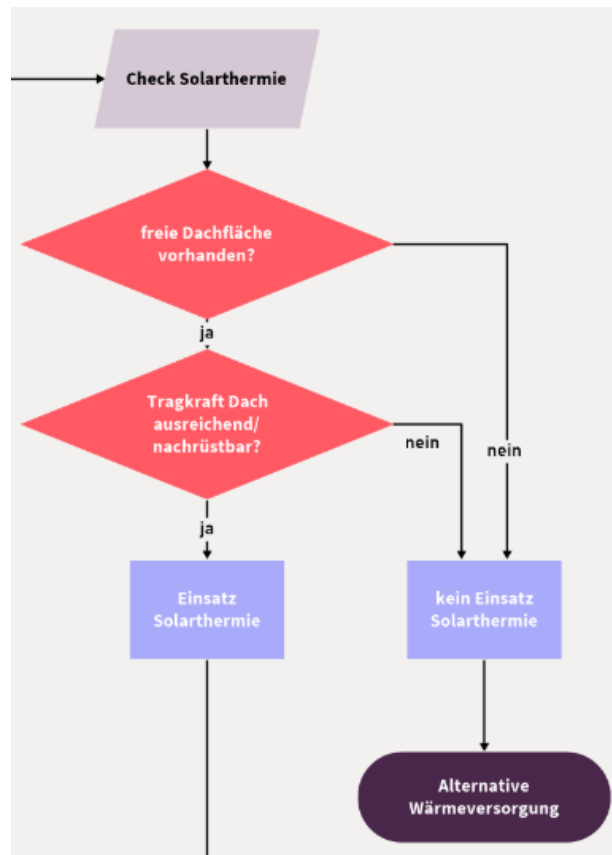


Abbildung 77: Entscheidungszweig für die Wärmequelle Solarthermie (eigene Darstellung).

Zusammenfassend ist der Entscheidungsbaum ein systematisches Werkzeug, das basierend auf einer Reihe von technischen, rechtlichen und räumlichen Kriterien dabei hilft, die Machbarkeit und Eignung verschiedener Wärmequellen für ein Gebäude zu überprüfen.

Prioritär wird eine Reihung auf Basis der Quelltemperaturen vorgeschlagen, da dieser maßgebliche Einfluss auf die Effizienz der Wärmebereitung hat. Darüber hinaus lassen sich weitere Kriterien ableiten:

Tabelle 38: Kriterien für die Reihung der Wärmequellen.

Kriterium	Beschreibung
Temperaturniveau & Effizienz	Je höher die Quelltemperatur, desto höher die Effizienz: Hoch: Grauwasser, Abluft Mittel: Grundwasser, Erdwärmesonden Niedrig: Umgebungsluft (stark schwankend - am kältesten, wenn der Wärmebedarf am höchsten ist)
Zeitliche Verfügbarkeit & Konstanz	Ganzjährig verfügbare Wärme oder nur saisonal: Hoch: Grundwasser, Geothermie, Abwasser – Grundlastabdeckung Mittel: Abluft (abhängig von Betriebszeiten der Lüftungsanlage) Niedrig/Intermittierend: Solarthermie (Tag/Nacht, Sommer/Winter), Umgebungsluft (Temperatur schwankt stark, am kältesten, wenn der Wärmebedarf am höchsten ist) - Spitzenlastdeckung oder als Zusatzquelle für Warmwasser
Erschließungskosten	Kosten für die Erschließung der Wärmequelle: Hoch: Geothermie, zentrale Abwasserwärmenutzung Mittel: Grundwasser, Solarthermie Niedrig: Luft-Wärmepumpen
Platzbedarf und räumliche Koppelung	Wie viel Fläche benötigt wird: Hoch: Erdwärmenutzung durch Flachkollektoren Mittel: Erdwärmesonden, Solarthermie Niedrig: Luft-Wärmepumpen, Grauwassernutzung im Gebäude
Genehmigungsaufwand	Erforderliche Genehmigungen: Hoch: Geothermie, Grundwasser und öffentliches Abwasser (wasserrechtliche/bergrechtliche Genehmigungen) Niedrig: Solarthermie, Luft-Wärmepumpe, gebäudeinterne Abluft-/Abwassernutzung.

Die Kombinierbarkeit der verschiedenen Wärmequellen kann dabei als Kombinationsmatrix dargestellt werden, siehe Tabelle 39. Diese zeigt die Eignung verschiedener Wärmequellenkombinationen unter der Prämisse der Sinnhaftigkeit und Nutzung von Synergieeffekten. Die Bewertung wurde unter der Annahme, dass lediglich gebäudeeigene Abwärmequellen (Abluft, Abwasser) genutzt werden und dass das Gebäude ein reines Wohngebäude ist, in dem keine gewerblichen Abwärmequellen vorhanden sind.

Tabelle 39: Bewertung der Eignung verschiedener Wärmequellenkombinationen.

	Abwasser	Abluft	Grundwasser	Geothermie	Umgebungsluft	Solarthermie
Abwasser	-	✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓
Abluft	✓	-	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓
Grundwasser	✓✓✓	✓✓✓	-	✓	✓✓✓	✓✓
Geothermie	✓✓✓	✓✓✓	✓	-	✓✓✓	✓✓
Umgebungs- luft	✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	-	✓
Solarthermie	✓	✓	✓✓	✓✓	✓	-

Wie ersichtlich, ist **Abwasser** gut mit allen anderen Wärmequellen kombinierbar, allerdings wird gebäudeeigenes Abwasser nicht für gesamten Wärmebedarf ausreichen und deshalb wäre die Kombination mit Solarthermie weniger sinnvoll. Auch die Kombination aus Abwasser und Abluft als reines Wärmerückgewinnungssystem wird den Bedarf nicht voll decken, weshalb diese Kombination auch als weniger sinnvoll bewertet wird, solange nur gebäudeeigenes Abwasser und gebäudeeigene Abluft vorhanden sind. Die Kombination aus Abwasser mit Grundwasser bzw. Geothermie verspricht eine Systemeffizienz als eine Kombination mit Umgebungsluft.

Abluft in Kombination mit Grundwasser und Geothermie ist als sehr effizient zu bewerten. Zudem kann Abluft im Sommer zu Regeneration der Sonden genutzt werden. Die Kombination mit Umgebungsluft möglich, aber nicht die effizienteste Lösung, da die Abluft-Wärmerückgewinnung wahrscheinlich für die Warmwasserbereitung und die Umgebungsluft für Heizungswärmebereitung genutzt wird; in diesem Fall würde dann nur die Warmwassererzeugung ganzjährig effizient arbeiten.

Grundwasser ist sehr gut mit allen Wärmequellen kombinierbar, weil dieses auch als monovalentes System sehr effizient ist und die Ergänzung anderer Wärmequellen ohne Effizienzeinbußen gut möglich ist. Die Kombination mit Solarthermie würde auch wieder nur im Sommer einen Effizienzgewinn bieten und die Grundwasser-Wärmepumpe müsste als monovalentes System im Winter ausreichend Leistung zur Verfügung stellen können.

Geothermie in Kombination mit Abluft, Abwasser bzw. Umgebungsluft eignet sich besonders gut, weil alle Quellen ganzjährig relativ stabile Temperaturen haben und vor allem Abluft und Umgebungsluft im Sommer einen höheren Wärmeanfall haben, der regeneriert werden kann. Solarthermie ist gut kombinierbar und bietet auch die Möglichkeit als Wärmequelle zur

Regeneration, kann allerdings in der Regel nicht maßgeblich im Winter zur Wärmebereitung beitragen. Die Kombination aus Geothermie und Grundwasser bringt nicht unbedingt einen Effizienzgewinn und zieht u. U. thermische Wechselwirkungen im Untergrund nach sich; dürften bei fachgerechter Planung diese aber vermeidbar sein.

Umgebungsluft ist besonders gut mit Grundwasser und Geothermie zu kombinieren, weil die Warmwassererzeugung im Sommer effizient mit der Umgebungsluft gemacht werden kann. Eine Kombination mit Abluft und Abwasser ist gut möglich, allerdings reichen beide Quellen nicht zur ganzjährigen Wärmebedarfsdeckung aus und es ist immer ein Beitrag aus der Umgebungsluft nötig. Die Kombination mit Solarthermie läuft im Winter ineffizient, weil das System hier de facto als monovalentes Luft-Wärmepumpensystem arbeitet.

Solarthermie eignet sich gut als Ergänzung für Grundwasser und Geothermie, kann allerdings nur im Sommer und in der Übergangszeit ergänzen und nicht im Winter. Die Grundwasser- bzw. Sole-Wärmepumpe müsste also im Winter als monovalentes System fungieren, der Effizienzgewinn besteht also nur im Sommer. Im Sommer eignet sich Solarthermie besonders gut zur Regeneration von Geothermie. Im Vergleich hat sie aber weniger Vorteile in Kombination mit der im Winter ineffizienten Umgebungsluft, weil sie die Effizienzeinbußen der Umgebungsluft im Winter nicht abfangen kann, bzw. in Kombination mit gebäudeeigenem Abwasser und gebäudeeigener Abluft, weil damit die nötigen Leistungen wahrscheinlich nicht zur Verfügung gestellt werden können.

Es zeigt sich also, dass prinzipiell jede Kombination möglich ist, allerdings starke Einschränkungen hinsichtlich der zu erwartenden Leistungen bestehen (insbesondere Solarthermie, aber auch gebäudeeigene Abwärmequellen), deren (saisonale) Defizite durch weitere Wärmequellen ausgeglichen werden müssen. Nach erfolgter Auswahl geeigneter Wärmequellen und ggf. der Entscheidung für eine Wärmequellenkombination richtet sich der planerische Fokus sodann auf die gebäudeinterne Wärmeverteilung sowie die Warmwasserbereitung. Im folgenden Kapitel werden hierfür verschiedene technische Lösungsansätze im Kontext unterschiedlicher haustechnischer Systemkonfigurationen vorgestellt.