

Urban pv+geotherm

Innovative Konzepte zur Versorgung großvolumiger
städtischer Gebäude/Quartiere mit PV und Geothermie

DI Franz Zach

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

00/2015

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Urban pv+geotherm

Innovative Konzepte zur Versorgung großvolumiger städtischer
Gebäude/Quartiere mit PV und Geothermie

DI Franz Zach

Österreichische Energieagentur

Wien, Februar 2016

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des bmvit publiziert und elektronisch über die Plattform www.HAUSderZukunft.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	9
Abstract.....	11
1 Einleitung.....	13
1.1 Aufgabenstellung.....	13
1.2 Stand der Technik.....	14
1.3 Verwendete Methoden.....	16
2 Neue Energiekonzepte	19
3 Stadtentwicklungsgebiet Nordwestbahnhof	19
4 Bestimmung des Energiebedarfs und des Temperaturniveaus für Heizung, Kühlung und Warmwasser.....	21
4.1 Heizung	21
4.2 Kühlung	22
4.3 Warmwasser.....	23
5 Speicherkonzepte.....	24
6 Verteilkonzept.....	26
7 Heizzentralen	27
8 Energiequellen	31
8.1 Abwasserenergie.....	31
8.2 Abwärme	38
8.3 Solarenergie	39
8.3.1 Abschätzung des Flächenpotentials	40
8.3.2 Marktrecherche Hybridkollektoren	41
8.3.3 Kosten von Hybridkollektoren	42
8.3.4 Dimensionierung und Simulation	42
8.3.5 Erdsonden und Wärmepumpen.....	45
8.3.6 Simulationsergebnisse	46
8.3.7 Einfluss des Standorts.....	49
8.4 Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	50
8.5 Geothermie.....	51
8.5.1 Darstellung möglicher Nutzungssysteme.....	51
8.5.2 Ausgewählte Nutzungsvarianten für das gegenständliche Projekt.....	51
8.5.3 Überblick über die Geologie und Hydrogeologie am Projektstandort	51

8.5.4	Petrografisch-thermische Gesteinsparameter.....	52
8.5.5	Hydrogeologische Daten	53
8.5.6	Simulationsrechnungen zur Ermittlung des möglichen geothermischen Nutzungspotenzials	54
8.5.7	Randbedingungen der Simulationsrechnung	54
8.5.8	Ergebnisse der Simulationsrechnungen	60
8.5.9	Computerunterstützte Modellierung der Auswirkungen der geothermischen Nutzung auf das umgebende Erdreich	65
8.5.10	Zusammenfassung der Ergebnisse	72
8.6	Grundwasser	73
9	Darstellung der Varianten	73
9.1	Überblick nach Energiequelle/Systemkomponente	73
9.2	Überblick nach Varianten	74
10	Kosten	77
11	Schlussfolgerungen	79
12	Ausblick und Empfehlungen	80
13	Verzeichnisse	81
13.1	Abbildungsverzeichnis	81
13.2	Tabellenverzeichnis	82
13.3	Literaturverzeichnis.....	83
14	Anhang.....	84

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Die Umsetzung eines Energiekonzepts mit Photovoltaik, Geothermie, Wärmepumpe und Großspeicher ist vor allem im dicht bebauten städtischen Gebiet eine Herausforderung, weil das Platzangebot und damit auch die Ressourcen vielfach begrenzt sind. Auch abseits von Platzproblemen sind Energiekonzepte mit unterschiedlichen Energieträgern unter Einbeziehung von Großspeichern und Wärmepumpen für Gebäudeheizung und -kühlung in der Planung und Ausführung mit vielen technischen Herausforderungen verbunden.

Bisherige Forschungsergebnisse zeigen, dass durch fehlerhafte Planung und Ausführung die Arbeitszahlen bzw. Nutzungsgrade der Wärmepumpe von geothermischen Anlagen viel niedriger liegen als theoretisch zu erwarten wäre. Will man zusätzlich Strom zu einem möglichst hohen Prozentsatz aus PV generieren bzw. Überschuss-Strom aus dem Netz nutzen, so ergibt sich ein zusätzlicher Optimierungsparameter, womit die Komplexität nochmals steigt.

Inhalte und Zielsetzungen

Ziel des Projekts ist die Erarbeitung von Konzepten für die energie- und kostenoptimierte Kombination aus Geothermie (mit Wärmepumpe) und Photovoltaik sowie anderen vor Ort verfügbaren erneuerbaren Energieträgern für die Beheizung und (je nach Nutzungszweck) Kühlung eines Stadtentwicklungsgebiets im dicht bebauten städtischen Bereich. Die Optimierung geschieht unter besonderer Berücksichtigung von innovativen Speichertechnologien und der Gebäudetechnik.

In Wien gibt es derzeit 17 Stadtentwicklungsgebiete. Ein Anschluss an das zentrale Fernwärmenetz ist nicht überall möglich, und derzeit werden erneuerbare Energien im Gegensatz zu reiner Erdgasversorgung als politisch prioritär angesehen. Von besonderem Interesse - insbesondere aus mittel- bis längerfristiger Perspektive - ist die Entwicklung von Konzepten für die (Wärme- und Kälte-)Versorgung von Stadtteilen mit 100 Prozent erneuerbarer "Vor-Ort-Energie" (ohne Fernwärme- oder Erdgasanschluss in diesen Gebieten). Die Analysen und Optimierungen werden anhand des Stadtentwicklungsgebiets Nordwestbahnhof im 20. Wiener Gemeindebezirk durchgeführt, für das der Bebauungsplan (BGF für Wohnungen und Arbeitsstätten, Bauklassen etc.) im Wesentlichen feststeht, aber noch kein Energiekonzept ausgearbeitet wurde. Auch die Gegebenheiten in Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck wurden in reduziertem Umfang mittels eigener Simulationen analysiert.

Methodische Vorgehensweise

Zunächst erfolgte eine Analyse der geothermischen und solaren Nutzungsmöglichkeiten sowie Potenzialuntersuchungen anderer vor Ort verfügbarer erneuerbarer Energieträger. Nach Bildung diesbezüglicher Szenarien wurden Simulationen und Optimierungen mittels PHPP, POLYSUN, Earth Energy Designer und FeFlow sowie MS Excel durchgeführt. Die Ergebnisse der technischen Machbarkeit, der Systemauslegung sowie der ökonomischen

und ökologischen Vergleichsrechnungen wurden in einem Beirat diskutiert und am Ende publiziert, um diese Erfahrungen möglichst vielen zur Verfügung zu stellen, die mit der Thematik der Energieversorgung bzw. Energieraumplanung urbaner Gebiete befasst sind.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Aufgrund der Recherchen zu Projektbeginn stellte sich das Konzept des Anergienetzes, also eines Niedertemperatur-Verteilnetzes, in das verschiedene Wärmequellen sowie Wärmesenken angeschlossen sind, mit Erdsondenspeichern als besonders vorteilhaft heraus. Es zeigte sich, dass die vor Ort verfügbaren erneuerbaren Energieträger in ausreichendem Maße vorhanden sind, um 100% des Energiebedarfs zu decken. Als Energieträger wurden Solarenergie (thermisch und elektrisch nutzbar), Abwasserenergie, Außenluft und Abwärme aus Kühlanwendungen (die wiederum auch aus dem Anergienetz versorgbar sind) als relevant identifiziert. Die Erdsondenspeicher dienen nicht als Quelle, sondern als Lastausgleich – als Brückenelement zwischen Wärmeangebot und -nachfrage. Die Mehrkosten gegenüber einer Gasversorgung sind, insbesondere vor dem Hintergrund, dass es sich um ein erstes derartiges Projekt in Österreich handelt, moderat.

Mit dem Projekt wurde – sowohl aufgrund der im Ausland gesammelten Erfahrungen als auch aufgrund eigener Berechnungen – klar dokumentiert, dass die Realisierung solcher Konzepte technisch machbar, ökologisch vorteilhaft und relativ konkurrenzfähig ist.

Ausblick

Die Energieversorgung neuer Stadtteile mit vor Ort verfügbaren erneuerbaren Energieträgern wird in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Erstellung von Energiekonzepten spielen. Niedertemperatursysteme wie Fußboden- und Wandheizungen sind damit untrennbar verbunden. Förderungen für solche innovativen, nachhaltigen Technologien sind aber bei den momentanen Energiepreisen nötig, um die Realisierung auszulösen. Dabei wäre es wünschenswert, wenn in Zukunft möglichst alle Wärmequellen, die in einer Stadt verfügbar sind (Abwärme, Solarenergie, Abwasserenergie aus dem Kanal, Außenluft etc.) einer Förderung zugänglich wären.

Abstract

Starting point/Motivation

The practical application of an energy concept involving photovoltaics, geothermal energy, heat pumps and mass storage in densely populated neighborhoods is a big challenge due to space restrictions. Implementing geothermal applications for the heating and cooling of buildings and working with various heat resources is difficult enough even without space problems.

Previous experiences have shown that ineffective planning and execution cause much lower coefficients of performance/rates of utilization of heat pumps in geothermal systems than would normally be expected. Additionally generating electricity from photovoltaic power at the highest possible percentage or using surplus energy from the grid, both procedures lead to a further optimization parameter which increases the complexity.

Contents and Objectives

The project aims to develop concepts for an energy and cost optimized combination of geothermal energy (heat pumps), photovoltaics and other locally available renewable energy sources for heating (and where required cooling) in urban, densely-built development areas. Special weight is given to storage technologies and building services engineering.

There are 17 development areas in Vienna at the moment and some of them cannot be connected directly to district heating. Renewable energies are politically preferred compared to natural gas currently.

Of particular interest, especially in a mid- and long- term view, are new concepts for the heating and cooling supply of city areas out of 100% on-site renewable energy (without involving district heating or natural gas).

The analysis and optimizations were carried out based on the city development area in the 20th district of Vienna. The master plan for apartments, offices, construction classes, etc. for this area is basically made, but the energy concept had not been prepared by then.

Methods

To start with a rough analysis of the particular geothermal and solar conditions and other locally available renewable energy sources were worked out. After setting up various scenarios, an optimization via PHPP, POLYSUN, Earth Energy Designer, FeFlow and MS Excel followed. The conditions in Graz, Linz, Salzburg and Innsbruck were also analyzed via balanced simulations.

An advisory committee discussed the outcome concerning technical feasibility, system design and economical and ecological comparative calculations. The results have been published to make the utilization of renewables in urban areas more accessible for as many builders and planners as possible.

Results

The research results at the project start indicated that heat sources and heat sinks connected to a low-temperature distribution network, and earth probe storage systems would be advantageous. It turned out that there were a sufficient amount of renewable energy sources locally available to cover 100% of the energy demand. Solar energy (for thermal and electric usage), energy from waste water, external air and waste heat of cooling systems were identified as the relevant energy sources.

The earth probe storage systems would not be used as energy sources but as load balancing bridge elements between heat supply and demand.

The additional costs compared to a gas supply are moderate and compensable by a realistic funding approach.

The project shows clearly that the realization of such concepts is not just ecologically advantageous but technically and economically feasible.

Prospects/Suggestions for future research

Locally available renewable energy sources will be a big part by designing power supply concepts for new city districts in the future. Low temperature systems such as underfloor or wall heating will be inextricably linked to the process.

Considering the current energy prices funding for innovative and sustainable technologies will be necessary to get things moving. Financing and funding opportunities for the usage of all in cities available heat sources (waste heat, solar energy, channel waste water energy, external air, etc.) would be particularly desirable.

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Wien ist ein stark wachsender Ballungsraum und auch die anderen österreichischen Großstädte wachsen schnell. Somit ist in den nächsten Jahren im urbanen Raum hoher Bedarf an neuen Wohngebäuden aber auch an Nichtwohngebäuden gegeben. In Wien, wo der Schwerpunkt der Forschung in diesem Projekt liegt, gibt es derzeit eine Vielzahl von Stadtentwicklungsprojekten (derzeit 17, Tendenz steigend). Die Stadt Wien hat sich darüber hinaus zum Ziel gesetzt, dass bis 2020 50 % der Haushalte mit Fernwärme versorgt werden. Dies ist beim derzeitigen Stand von 36 % und der stark wachsenden Bevölkerung in Verbindung mit dem Trend zu Single-Haushalten ein herausforderndes Ziel. Andere österreichische Großstädte stehen aufgrund steigender Bevölkerungszahlen vor sehr ähnlichen Herausforderungen.

Um dies erreichen zu können, ist nicht nur ein Ausbau der Netzinfrastruktur nötig, sondern es müssen auch jeweils geeignete Energiequellen erschlossen werden. Um die Emissionen im Stadtgebiet nicht zu erhöhen und die erneuerbaren Energiequellen verstärkt zu nutzen, bieten sich vor allem Geothermie und Photovoltaik an. Jedoch soll im Rahmen dieses Projekts auch die Frage der Einbindung von Solarthermie untersucht werden. Hier sind die PVT-Kollektoren (kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung) eine besonders interessante Alternative. Andere vor Ort verfügbare Energieträger wie z.B. Abwärme aus Kühlprozessen und die Nutzung des Abwassers oder der Außenluft als Wärmequelle für Wärmepumpen sind weitere Alternativen mit hohem Potenzial im städtischen Bereich.

Die Herausforderung besteht nun darin, die verschiedenen Technologien im Zusammenspiel mit Wärmepumpe, Speicher und Gebäudeleittechnik so zu planen und auszulegen, dass optimale Effizienz unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der Nutzer/innen gegeben ist. Die bisher realisierten Projekte sind immer noch als Leuchtturmprojekte und Einzelercheinungen zu sehen. Diese Lösungen haben sich (noch) nicht zum Standard entwickelt, auch wenn die ersten Realisierungen bereits einige Jahre zurück liegen, und es steckt noch großes Optimierungspotenzial in dieser Technologiekombination.

Weiters liegen zu wenige Erkenntnisse vor, wie der Überschussstrom aus der Photovoltaik oder dem Stromnetz mittels Wärmepumpentechnologie optimal, d.h. mit möglichst hohem Eigenerzeugungsanteil aus PV und damit geringer Netzbelastung in Form von Wärme oder Kälteenergie abgespeichert werden kann, um diese Energie bei Bedarf wieder zur Heizung, bzw. Kühlung des Gebäudes einzusetzen. Es ist auch nicht geklärt, ob durch die Hochtemperatur-Wärmepumpe (Vorlauftemperatur bis 98 °C) verbesserte Energiespeicherung möglich ist (wesentlicher Aspekt: höhere Energiedichte vs. höhere Verluste). Bei größeren Objekten bzw. Stadtteilen ist es auch fraglich, ob es vorteilhafter ist, die Energie mit einem relativ kalten Netz zu verteilen und dezentral mehrere Wärmepumpen zu projektieren, um auf das benötigte Temperaturniveau zu kommen, oder eine zentrale WP-Anlage vorzusehen

und die Wärme zwischen den Objekten bereits mit dem Nutztemperaturniveau zu verteilen. Auch müssen Zusatzanforderungen ermittelt werden bezüglich optimierter Regelkonzepte und Anlagenaufbau (bauseits errichtet oder fertig im Container). Es geht also darum, das Zusammenspiel der verschiedenen Systeme – Photovoltaik/Überschussstrom – Wärmepumpe – Energiespeicher Tiefensonde/ Erdreich – Fundamentpfähle/Erdreich – Fundamentplatte/Erdreich und auch Energieverteilung sowie optimierte Regelung und Steuerung so aufeinander abzustimmen, dass minimale (nicht erneuerbare) Primärenergie verbraucht wird und die Nachfrage nach Heiz- und Kühlenergie optimal und kostenminimiert erfüllt werden. Auch die Optimierung der Systeme bei gleichzeitigem Heiz- und Kühlbedarf des Objekts ist noch zu wenig erforscht, und ist daher im Rahmen der Arbeiten näher zu untersuchen.

1.2 Stand der Technik

Großmaßstäbliche Energiekonzepte, welche Geothermie und Photovoltaik in Form von Großwärmepumpen und Langzeitspeichern für Großanlagen kombinieren (der Fall einer Erdwärmepumpe und eines PV-Kollektors z.B. für ein Einfamilienhaus ist nicht vergleichbar) existieren erst in geringer Anzahl:

Der Power Tower der Energie AG in Linz – das erste Bürohochhaus Europas im Passivhausstandard – kombiniert Geothermie und Solarenergie (Quelle: http://www.energieag.at/-eag_at/resources/257501226587649392_811255985595110817_h9oKKVrG.pdf).

Für den Deutschen Bundestag wurde ein ähnliches Energiekonzept entworfen (<http://www.bundestag.de/kulturundgeschichte/architektur/energie/>). Dieses basiert auf der Entnahme und Speicherung von geothermischer Energie aus bzw. in unterschiedlichen Gesteinshorizonten. Es wird jedoch darauf verwiesen, dass aus diesen Beispielen keine Verallgemeinerung der Erkenntnisse möglich ist, weil das Verhältnis Strom zu Wärme sowie die geologischen Gegebenheiten meist sehr spezifisch für den jeweiligen Standort bzw. die Nutzung sind.

Projekte wie „Wärme- und Kältespeicherung im Gründungsbereich energieeffizienter Bürogebäude“¹ der TU Braunschweig oder „Thermisches Monitoring an Nichtwohngebäuden mit Einsatz von oberflächennaher Geothermie und Validierung von Wärmeeintrag und -entzug in den Untergrund“² der Leibniz Universität Hannover zeigen klar, dass durch Fehler in der Planung und Ausführung die Arbeitszahlen bzw. Nutzungsgrade (der Wärmepumpe) bei geothermischen Anlagen viel niedriger liegen als sie theoretisch erwartet werden. Die Ursachen dafür sind vielfältig und die Erfahrung mit derart komplexen Energiekonzepten ist noch gering.

Die Herausforderung steigt jedoch nochmals, wenn es sich um ein ganzes Stadtentwicklungsgebiet mit typischerweise gemischter Nutzung – Schwerpunkt Wohnbau, aber auch Geschäfte, Restaurants, Büros, Hotels und möglicherweise Industriebetriebe können sich

¹ <https://www.tu-braunschweig.de/igs/forschung/wkspiea>

² <http://www.bohneingenieure.de/wp-content/uploads/Gesamtbericht-Teil-1.pdf>

darin befinden – handelt. Andererseits bietet die Nutzungsmischung auch Chancen, da die Zahl der Volllaststunden bei verschiedenen Lastprofilen normalerweise steigt und die Abdeckung von Wärme- und Kältebedarf in einem System die Notwendigkeit der Erschließung von Wärme- und Kältequellen verringert. Die geothermische Nutzung mittels Flachkollektoren ist aufgrund des geringen Flächenangebotes nicht möglich, sodass als Alternative nur Tiefsonden möglich sind.

In einem Projekt der TU Graz und Geoteam wurde das geothermische Potenzial im Raum Wien mit 200 MW beziffert. Bei ganzjähriger Verfügbarkeit entspricht dies etwa 1.750 GWh/a, dies sind über 20 % des Energiebedarfs für Raumheizung in Wohngebäuden in Wien.

Auch die Speicherung wird für größere Projekte ein immer lohnenderes Thema: je größer das Speichervolumen, umso geringer die spezifischen Verluste.

Hinsichtlich Speichertechnologien existieren verschiedene Konzepte, die für derartige Vorhaben in Frage kommen:

- Bauteilaktivierung/Fundamentpfähle und -platten: Hier wird die thermische Energie mittels wasserführender Rohrsysteme in den Baukörper selbst eingebracht (siehe Abbildung 1).
- Einbringung in das Erdreich: Hier wird eine spezifische Schicht im Untergrund als Speicher verwendet, die aufgrund ihrer thermischen Eigenschaften eine Wärmespeicherung ermöglicht. Dies ist zum Beispiel bei abgeschlossenen wassergefüllten Sandlinsen möglich.



Abbildung 1: Bauteilaktivierung am Beispiel einer PE-Verlegung in einer Betondecke in einem Nichtwohngebäude; Quelle: www.ikz.de

Als problematisch wird oft die Überhitzung und Unterkühlung des Erdreichs gesehen (z.B. TU Braunschweig).

Zusammenfassend kann daher festgehalten werden, dass Geothermie und Photovoltaik für sich allein und für kleinere Einheiten natürlich Stand der Technik sind, dass aber bei der Kombination beider Möglichkeiten und hier speziell bei der Planung, Auslegung und Optimierung für Großanlagen noch viel Entwicklungspotenzial besteht.

Auf dem Gebiet der Solarenergienutzung ist in den letzten Jahren ein Trend weg von Solarthermie hin zu Photovoltaik zu beobachten, was aufgrund des Preisverfalls von PV-Modulen in letzter Zeit und nicht gleich schnell reagierender Fördermechanismen eine erwartbare Entwicklung war bzw. ist. Die Förderungen für Photovoltaik sind aber bereits gesunken, sodass der zukünftige Trend abzuwarten sein wird. Ob weitere Preisrückgänge bei PV-Modulen eintreten, wird sich erst zeigen.

Als technische Neuerung im Bereich der Solarenergienutzung sind die photovoltaisch-thermischen Kollektoren (PVT-Kollektoren) zu nennen, die gleichzeitig und in einem Modul vereint Strom und Wärme erzeugen und nutzbar machen. Ein Nachteil einer reinen PV-Anlage, nämlich der mit höherer Temperatur sinkende Wirkungsgrad, wird so durch die erhöhte Wärmeabfuhr reduziert und gleichzeitig kann diese Wärme genutzt werden. Besonders geeignet ist diese Technik daher dann, wenn im Sommer viel Wärme benötigt wird. Im Zusammenspiel mit einer Erdreich- oder auch einer Grundwasser-Wärmepumpe kann die Wärme im Sommer dazu genutzt werden, um die Bodentemperatur schneller zu regenerieren, wenn dem Erdreich in der kalten Jahreszeit zuvor (zu) viel Wärme entzogen wurde. Daher bieten sich PVT-Kollektoren für die Untersuchungen in diesem Projekt besonders an.

Gleichzeitig muss aber auch festgehalten werden, dass es sich hier um eine Neuheit auf dem Markt handelt und die Preise ohne separate Förderungen in der Anschaffung noch nicht konkurrenzfähig sind. Jedoch ist – wenn man die Preisentwicklung der PV-Module aber auch der Solarthermiekollektoren heranzieht, ein Preisrückgang in den nächsten Jahren zu erwarten.

1.3 Verwendete Methoden

Am Beginn des Projekts stand eine intensive Befassung mit dem Stand der Technik, die sich aus einer Literaturrecherche und Befragung von Expert/innen im In- und Ausland (im Interesse des effizienten Fördermitteleinsatzes auch telefonisch sowie im Rahmen einer Study Tour zusammensetzte).

In einem nächsten Schritt wurden gemeinsam mit Expert/innen aus verschiedenen Fachbereichen die **Konzeptvarianten** definiert. Dazu waren folgende Teilschritte erforderlich:

- Die Auswahl eines Standorts erfolgte in Absprache mit der Stadt Wien, wo die Informationen über Raumplanung, Baulandwidmung, Einreichungen und Genehmi-

gungen von Bauprojekten zusammenlaufen. Besonders interessant waren hier die von der Stadt Wien definierten Stadtentwicklungsgebiete.

Da für Wien in den nächsten Jahren und Jahrzehnten ein sehr hohes Bevölkerungswachstum vorhergesagt wird und im letzten Jahrzehnt die Prognosen weit übertroffen wurden, wird der Wohnbau in Wien auch in Zukunft eine hohe Relevanz haben. Ein Standort mit hohem Anteil an Wohnbauflächen wurde daher angestrebt. Das zu untersuchende Stadtentwicklungsgebiet sollte aber nach Möglichkeit gemischte Nutzung aufweisen, d.h. es können auch Büros, Hotels, Schulen, Einzelhandel und in geringem Ausmaß evtl. industrielle Gebäude enthalten sein. Je nach Nutzungszweck sollte nicht nur Wärme-, sondern auch Kältenutzung eine Rolle spielen.

- Die Möglichkeiten, Vorgaben und Kosten bei der Planung und Auslegung der Geothermie-, Speicher- und Wärmepumpenkomponenten können durch die Unternehmenspartner im Projekt bestens abgedeckt werden.
- Für geologische Fragestellungen standen im Rahmen des Projektbeirats die Geologische Bundesanstalt (GBA) mit Herrn Dir. Dr. Peter Seifert (LOI) und vom FWS Schweiz der Experte Dr. Walter Eugster (LOI) – speziell für Tiefe Geothermie – zur Verfügung.
- Geothermische Karten, z.B. der Geologischen Bundesanstalt, wurden herangezogen, ebenso werden Fachgespräche mit Geologen (siehe auch Projektbeirat) durchgeführt. Probebohrungen waren nicht vorgesehen, es wird auf Ergebnisse erfolgter Bohrungen zurückgegriffen.
- Die Projektpartner AEE INTEC und Ochsner sind dazu prädestiniert, das Thema der Verbindung von Wärmepumpe und Solarthermie (mit PVT-Kollektoren) weiter voranzutreiben.
- Auf dem Gebiet der Hochtemperatur-Wärmepumpen, welche die speicherbare Energiemenge bei vorgegebener Speichergroße erheblich vergrößern können, kann Projektpartner Ochsner als Vorreiter auf diesem Gebiet beste Erfahrungen in das Projekt einbringen. Gleiches gilt für Großwärmepumpen: Mit diesem Spezialgebiet der Wärmepumpentechnik hat sich Firma Ochsner seit vielen Jahren beschäftigt und kann bereits auf eine Vielzahl erfolgreich realisierter Projekte im In- und Ausland verweisen.

Nach Festlegung des Standorts mussten die geplanten und der Analyse zu Grunde zu legenden Baukörper und Nutzungen – in enger Abstimmung mit der Stadt Wien – definiert werden.

Anschließend wurden die **Last- und Erzeugungsprofile**, welche sich aus den Nutzungsgewohnheiten der einzelnen Gebäude- und Systemkombinationen bzw. der installierten Gebäudetechnik ergeben, erstellt. Als Grundlage hierfür dienten einerseits klimatische Informationen für den jeweiligen Standort (Temperaturverlauf und Sonneneinstrahlung), andererseits standardisierte und eigens erstellte Profile für die vorhandenen bzw. geplanten

Last- und Erzeugungsanlagen (Datenquelle: E-Control und Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, eigene Berechnungen mit Hilfe von Berechnungsmodellen).

Das Berechnungsmodell auf der **Nutzerseite** wurde im Passivhaus Projektierungspaket – kurz PHPP – aufgebaut. Das PHPP ist ein excel-basiertes Planungstool für die Modellierung von Niedrigstenergie- bzw. Passivhäusern. Im Gegensatz zu gängigen Energieausweisberechnungsprogrammen können im PHPP einzelne Annahmen, wie z.B. Klimadatensätze und innere Lasten, leicht geändert werden, und es ermöglicht somit eine Berechnung unabhängig von den derzeitigen Normen. Dadurch kann das Ergebnis den zukünftigen Bedingungen (zukünftige Bauordnung, zukünftiges Klima, atypische Nutzung) angepasst werden.

Dazu wurde in einem ersten Schritt das Gebäude bzw. der Gebäudekomplex im Softwaretool google SketchUp grafisch erfasst (vgl. Abbildung 2).

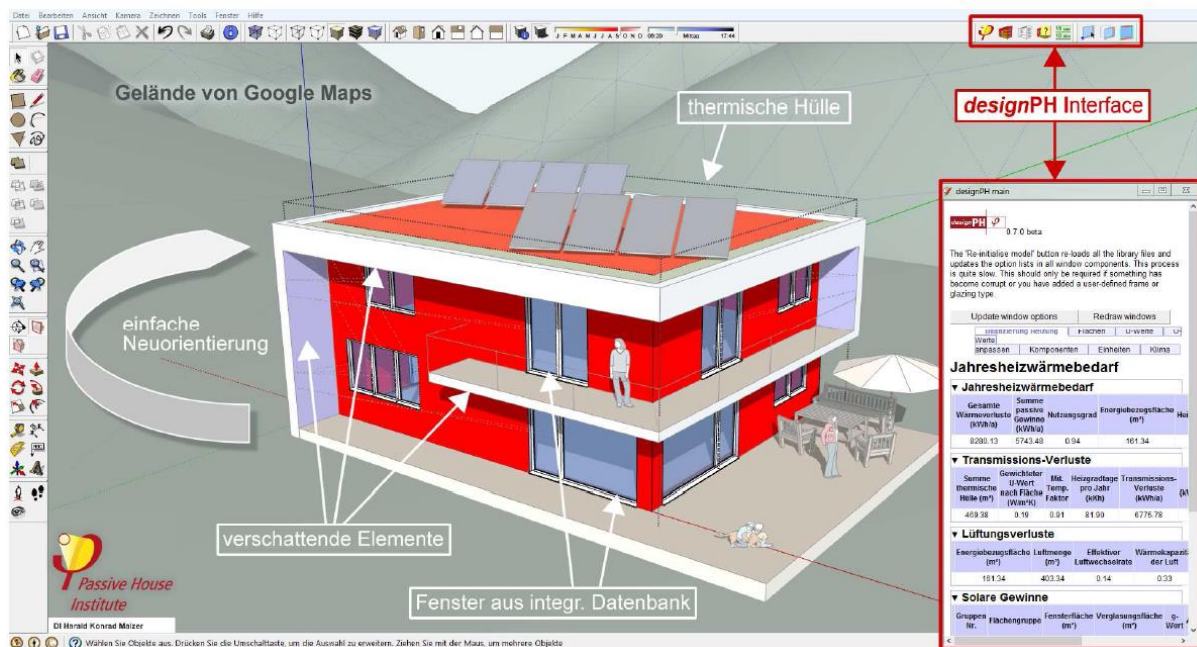


Abbildung 2: Gebäudemodell als Grundlage für die Modellierung (Quelle: designPH_1.0_Installationsanweisungen)

Anschließend wurden die geometrischen und bauphysikalischen Daten (U-Wert) über das designPH Interface in das PHPP übertragen.

In einem abschließenden Schritt wird das Gebäudemodell – nach der Festlegung der Randbedingungen – parametrisiert. Die Energieflüsse werden anschließend für die weitere Bearbeitung aufbereitet und mit Monitoringdaten aus der Praxis validiert (Lastprofile von Wien Energie).

Das Berechnungsmodell auf der **Erzeugerseite** hingegen wird in Abhängigkeit der Erzeugungstechnologie mit spezifischen Softwarepaketen erstellt (Photovoltaik: PV*SOL; Solarthermie: Polysun; Sonstige Technologien: Office Excel). Auch wird eine Speichersimulation eines Untergrundspeichers durchgeführt (EED – Earth Energy Designer – und FeFlow). Dabei können sowohl Beladungs- als auch Entladungszyklen dargestellt werden.

Weiters ist eine Bilanzierung von zugeführter und entnommener Energie möglich, sodass der Wirkungsgrad des Speichers ermittelt werden kann. Diese Simulation wird vom Büro geohydrotherm gemeinsam mit der Geologischen Bundesanstalt durchgeführt.

Neben der Bewertung der Energieflüsse werden auch ökologische und ökonomische Kennzahlen berechnet und analysiert. Zur Untermauerung der gewonnenen Erkenntnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen wurden Sensitivitätsanalysen im Rahmen eines Variantenvergleichs durchgeführt.

2 Neue Energiekonzepte

Die Umsetzung eines Energiekonzepts mit Photovoltaik/Solarthermie, Geothermie, Wärmepumpe und Großspeicher ist im dicht bebauten städtischen Gebiet vor allem aufgrund des begrenzten Platzangebots eine Herausforderung.

In Wien gibt es derzeit 17 Stadtentwicklungsgebiete. Ein Anschluss an das zentrale Fernwärmenetz ist nicht überall möglich, und erneuerbare Energien werden im Gegensatz zu reiner Erdgasversorgung als politisch prioritär angesehen. Von besonderem Interesse – insbesondere aus mittel- bis längerfristiger Perspektive – ist die Entwicklung von Konzepten für die Wärme- und Kälteversorgung von Stadtteilen mit möglichst hohem Anteil erneuerbarer „Vor-Ort-Energie“, also ohne Fernwärme- oder Erdgasanschluss in diesen Gebieten. Eine Kombination aus Geothermie als Speicher und Photovoltaik bietet sich für diese Gebiete daher als eine der möglichen Alternativen an. Abwasserenergie und die Nutzung der Luft als Wärmequelle im Sommer weisen in städtischen Gebieten ebenso sehr hohes Potenzial und hohe Effizienz auf. Weiters sollte möglichst die gesamte im Gebiet verfügbare Abwärme für die Wärmeproduktion genutzt werden, um damit Synergien zwischen Wärme- und Kälteverbrauchern zu erreichen.

Dieser Bericht beschreibt Konzeptvarianten für die energie- und kostenoptimierte Kombination aus verschiedenen Wärmepumpenquellen (Abwasser, Außenluft, Kühlenergie, Erdreich) sowie Solarthermie und Photovoltaik für die Beheizung, Warmwasserbereitung und Kühlung am Beispiel des Stadtentwicklungsgebiets Nordwestbahnhof. Die Optimierung bezieht die Langzeitspeicherung der thermischen Energie in Großspeichern (z.B. Erdspeicher) mit ein, da erst damit die Unterschiede in den zeitlichen Verläufen verschiedener Erzeuger- und Verbraucherprofile bewältigt werden können.

3 Stadtentwicklungsgebiet Nordwestbahnhof

Am Nordwestbahnhof im 20. Wiener Gemeindebezirk sollen ab ca. 2020 Gebäude mit einer Gesamtfläche von 780.000 m², verteilt auf 20 Blöcke, errichtet werden, der Großteil wird Wohnnutzung sein (68 %). Der Rest verteilt sich auf Büronutzung, Schulen, Geschäfte und Restaurants etc. Die Vorgaben sind im Leitbild Nordwestbahnhof aus dem Jahr 2008 (online zugänglich) festgehalten: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/nordwestbahnhof/>

Die Berechnungen beruhen auf den damals getroffenen Festsetzungen. Jedoch existiert zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch kein Flächenwidmungsplan für die neue Nutzung, sodass mit Änderungen gerechnet werden muss. Eine wesentliche Änderung könnte sein, dass der Anteil der Wohnnutzung noch weiter erhöht wird, da die Wohnbevölkerung Wiens derzeit um etwa 30.000 pro Jahr wächst³.

Die Bebauung soll planmäßig in drei Etappen erfolgen.

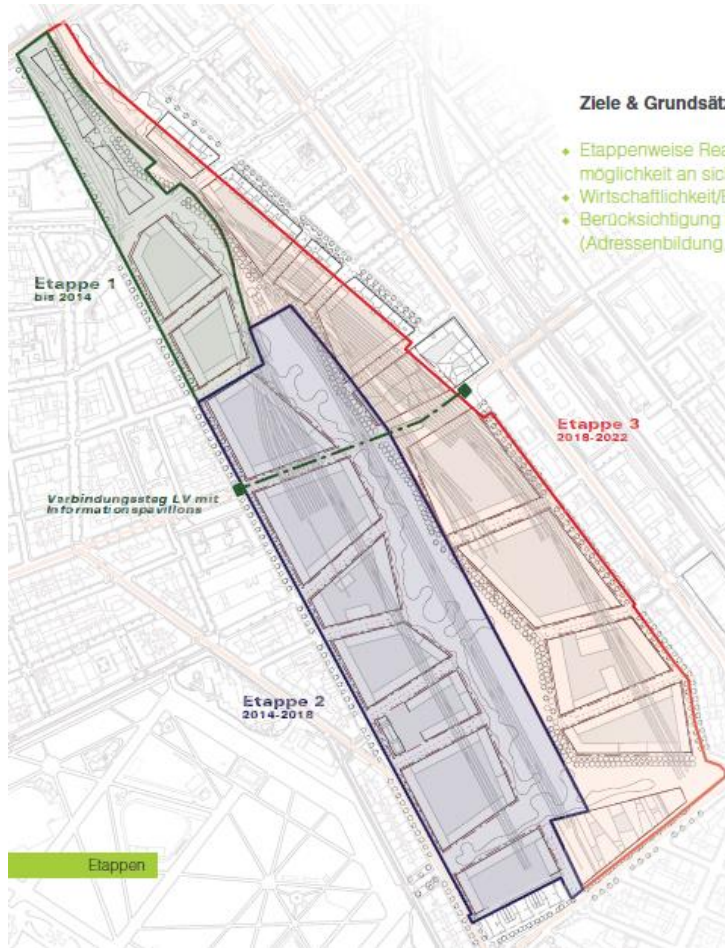


Abbildung 3: Etappenplan zur Bebauung des Nordwestbahnhofs (Quelle: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/nordwestbahnhof/>)

Diesem Etappenplan ist zu entnehmen, dass sich der 2008 anvisierte Starttermin für 2014 um mehrere Jahre nach hinten verschieben wird. Unabhängig davon wurde jedoch auf diesen etappenweisen Ausbau im Projekt Rücksicht genommen.

Die Absiedlung des derzeit noch bestehenden Frachtenbahnhofs Nordwestbahnhof ist untrennbar mit der Entwicklung des neuen zentralen Güterterminals Inzersdorf verbunden. Nach derzeitigem Stand ist frühestens 2017 mit dessen Inbetriebnahme zu rechnen. Daher

3

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/bevoelkerungsstand_und_veraenderung/bevoelkerung_zu_jahres-quartalsanfang/023582.html

ist anzunehmen, dass eine Bebauung frühestens etwa 2020 starten wird. Somit ist noch ausreichend Zeit, um innovative Energiekonzepte in verschiedenen Varianten zu untersuchen und zu optimieren.

4 Bestimmung des Energiebedarfs und des Temperaturniveaus für Heizung, Kühlung und Warmwasser

Für die Erstellung eines Energiekonzepts ist es zunächst nötig, den erwarteten Energiebedarf bzw. Energieverbrauch zu bestimmen. Dieser teilt sich in Heizung, Warmwasser, Kühlung und Strom auf. Der Fokus dieser Untersuchungen liegt auf den drei thermischen Anteilen.

4.1 Heizung

Der Heizwärmebedarf (HWB) ergibt sich aus dem von Wien Energie genannten Mittelwert von $\text{HWB} = 36 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für Wohngebäude; für Nichtwohngebäude wurden $45 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ angesetzt (Quelle: Wien Energie). Alle Flächen-Angaben beziehen sich auf die Bruttogrundfläche (BGF).

Als Verifizierung wurde mittels Energieausweisprogramm (Gebäudeprofi ETU) ein Gebäude berechnet (U-Werte der Gebäudeteile unter Normbedingungen), dass laut nationalem Plan im Jahr 2020 gemäß der Obergrenze der erlaubten thermischen Verluste gerade noch zulässig sein wird. Mittels Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP), das es erlaubt, anstatt Normwerte Erfahrungswerte einzusetzen (v.a. nutzerspezifische Parameter), wurde der HWB dieses Beispielgebäudes zu etwa $35 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ berechnet, weshalb die gemachte Annahme von $36 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für den Heizwärmebedarf valide ist, d.h. im Jahr 2020 wird ein Gebäude mit diesem (realen) HWB für den Wohnbau noch zulässig sein.

Für den Nicht-Wohnbau wurde ein spezifischer Heizwärmebedarf von $45 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ angenommen. Für die weitere Betrachtung wurde ein gewichteter, spezifischer Heizwärmebedarf aus den Werten für Wohnen und Nicht-Wohnen basierend auf der geplanten Nutzungsverteilung von 68% Wohnen und 32% Nicht-Wohnen zu $38,9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ errechnet.

Das Abgabesystem wird in Abstimmung mit Stadt Wien und Wien Energie als Flächenheizung angenommen (Fußboden, Wand, Decke). Als benötigte Vorlauftemperatur am Ort der Wärmeabgabe wird bei Normaußentemperatur, welche am Standort Wien laut ÖNORM B 8110-5 $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt, 35°C definiert, was, um Leitungsverluste ausreichend zu berücksichtigen, zu einer maximalen Vorlauftemperatur bei den Heizzentralen von 40°C führt.

Zwar werden bei vielen Bauprojekten derzeit noch Radiatoren eingesetzt. Jedoch hat eine Flächenheizung eine Reihe von Vorteilen:

- Heizen und Kühlen sind mit demselben Abgabesystem möglich

- Höhere Arbeitszahlen der Wärmepumpen führen zu niedrigeren Energiekosten
- Geringere Verteilverluste
- Flächen an den Wänden sind uneingeschränkt nutzbar
- Hygienischere Raumlufte durch weniger Konvektion
- Wird zunehmend bevorzugt bzw. sogar gefordert
- Entspricht dem Stand der Technik.

Dem stehen geringe Mehrkosten in der Bauphase gegenüber.

Das Heizlastprofil wurde einer Messung von Wien Energie eines Wohnobjekts in Wien mit 90 Wohneinheiten entnommen.

4.2 Kühlung

Für den Kältebedarf ist entscheidend, welche Nichtwohnnutzungen auf dem Gelände angesiedelt werden. Da hierzu momentan keine Angaben gemacht werden können, wurde in Abstimmung mit Wien Energie ein Schätzwert von 2 GWh/a angesetzt, der in die Berechnungen pauschal eingesetzt wurde.

Die Einbindung eines Gebäudes in der Dresdner Straße mit einem Kühlbedarf von etwa 1,1 GWh/a, der sich aus einer Hochrechnung der Betriebskostenabrechnungen ergibt, die für zwei der drei Gebäudeteile zur Verfügung standen, wäre aufgrund des Wärmedefizits (auf dem Stadtentwicklungsgebiet ist weit mehr Heizenergiebedarf als Kühlenergiebedarf zu erwarten) am Nordwestbahnhof von Vorteil und wird in alle Szenarien aufgenommen. Letztlich liegt es jedoch an den Eigentümern – mit diesen wurde jedoch in diesem Stadium noch kein Kontakt aufgenommen.

Das Kühlbedarfsprofil wurde einem Bürogebäude in Wien mit Fitnesscenter, Banken, Café und Restaurant entnommen, das im Jahr 2013 im Rahmen des IEE-Projekts iSERV von der Österreichischen Energieagentur einem Monitoring unterzogen wurde. Dieser Nutzungsmix wird seitens des Projektteams als repräsentativ für die möglichen Nichtwohnnutzungen am Nordwestbahnhof erachtet, wenngleich Schulgebäude im damals gemonitorten Gebäude nicht enthalten waren.

Kühlung für Wohnraum ist in Wien derzeit noch kein Thema, wird aber aufgrund der immer wärmer werdenden Sommer zunehmend ein Thema werden. Im Sinne einer über das Jahr ausgeglichenen Bilanz zwischen Wärme- und Kältebedarf ist dies auch aus energetischer Sicht durchaus sinnvoll. Grundsätzlich könnte aber das Heizleitungsnetz und das Wärmeabgabesystem im Sommer genauso für Kühlung verwendet werden, allerdings nicht gleichzeitig, wobei aber eine zeitliche Überschneidung im Gegensatz zu Nichtwohnnutzungen, nicht wahrscheinlich ist.

4.3 Warmwasser

Der Warmwasserbedarf ergibt sich aus der Anzahl der geplanten Wohnbevölkerung auf dem Areal. Zusätzlich spielen die Zirkulationsverluste eine wichtige Rolle. Weiters sind die hier nötigen Temperaturen deutlich über jenen für Heizung anzusiedeln, was die Arbeitszahl der Wärmepumpe reduziert. Aufgrund der Legionellenthematik müssen 60 °C beim Warmwassererzeuger und 55°C bei den Zapfstellen eingehalten werden. 60 °C entsprechen daher der Auslegungstemperatur für den Vorlauf der Wärmepumpe, wie dies auch in der Legionellenverordnung gefordert wird.

Im Detail sind jedoch drei verschiedene Varianten mit Zirkulationsleitung denkbar:

- Die Wärmepumpen, die jeweils sowohl für Heizung als auch für Warmwasserbereitung zuständig sind und den Heizungspuffer außentemperaturabhängig erwärmen, fahren bei Bedarf des Warmwasserspeichers auf die höhere Temperatur hoch, und gleichzeitig werden die Speicherladepumpen oder entsprechende Ventile umgeschaltet.
- Es gibt eigene Warmwasser-Wärmepumpen, die als Quelle – wie die Heizungs-wärmepumpen auch – das Anergienetz (Niedertemperatur-Verteilnetz – siehe Abschnitt „Verteilkonzept“) nutzen und den Warmwasserpuffer auf konstanter Temperatur halten.
- Es gibt eigene WW-Wärmepumpen, die als Quelle die Heizungspuffer in den Heizzentralen verwenden und näher an den Verbrauchern angesiedelt sein können und somit Leitungslänge und Verluste minimieren. Es ist eine hohe Bandbreite bei den Einsatzgrenzen der Wärmepumpen nötig, da die Heizungspuffer im Sommer kalt (15°C) und im Winter warm (40 °C/45 °C) sind. Mit Rücklaufbeimischung ist dies jedoch machbar.

Aufgrund der niedrigeren Zirkulationsverluste wäre die letztgenannte Variante am besten. Jedoch ist eine zweistufige Aufwärmung mit einem niedrigeren Coefficient of Performance (COP) verbunden. Daher ist die zweite Variante am sinnvollsten. Aufgrund der Ausfallsicherheit wird vorgeschlagen, pro Gebäudeblock zwei Warmwasserwärmepumpen vorzusehen. Diese nehmen als Wärmequelle direkt das Anergienetz, das unter jedem Gebäudeblock verläuft.

Diese zwei Wärmepumpen je Block speisen Pufferspeicher, die jeweils einer Stiege zugeordnet sind und über Frischwassermodule das erforderliche Warmwasser produzieren. Da es bei dieser Variante keine Warmwasserspeicher gibt, müssen auch keine Mindesttemperaturen im Sinne der Legionellenverordnung eingehalten werden.

Lösungen, bei denen der gesamte Wärmebedarf auf das Temperaturniveau des Warmwassers aufgewärmt wird und auf Wohnungsebene mit Mischern der für die Heizung benötigte Anteil wieder heruntergeregelt wird, hätten zwei Vorteile: Es müsste nur ein Zweileiter- statt eines Vierleiternetzes installiert werden und die Leitungsverluste von zwei Leitungen wären geringer als von vier Leitungen. Allerdings spricht die hohe benötigte Temperatur für Warmwasser gegen diese Variante, weil die Arbeitszahlen der Wärmepumpen damit deutlich sinken würden.

Der Energieverbrauch für Warmwasser wird trotz der teilweisen Vermeidung von Zirkulationsverlusten in Übereinstimmung mit den Angaben von Wien Energie mit 28 kWh/m²a für Wohnbauten angesetzt. Für die Nichtwohnbauten wird er auf 0 gesetzt, da hier kein wesentlicher Bedarf zu erwarten ist und dieser (z. B. für Büros) ohnehin durch Elektro-Kleinspeicher gedeckt werden wird, da dies aufgrund niedrigerer Verluste und des Wegfalls langer Leitungszuführungen wirtschaftlicher sein wird.

Das Warmwasserbedarfsprofil wurde, wie das Heizenergieprofil, einer Messung von Wien Energie eines Wohnobjekts in Wien mit 90 Wohneinheiten entnommen.

5 Speicherkonzepte

Um solare Gewinne und die ganzjährige relativ gleichmäßig verfügbare Abwasserenergie möglichst effizient nutzen zu können, müssen Energiespeicher vorgesehen werden.

In Frage kommen dabei grundsätzlich:

- Erdsondenspeicher
- Wasserspeicher und
- Eisspeicher.

Große Wasserspeicher bestehen aus einem abgedeckten Erdbecken. Die Oberfläche kann nicht genutzt werden, eventuell nicht einmal betreten werden. Dies ist auf dem Areal des Nordwestbahnhofs aufgrund der räumlichen Verhältnisse nicht möglich. Es ist aber auch möglich, die Wasserspeicher betretbar auszuführen. Dabei können zylindrische Speicher aus Beton im Erdreich vergraben oder auch oberirdisch sichtbar ausgeführt werden. Ein Beispiel für eine solche Anlage befindet sich in Crailsheim (D).

Es ist jedoch sinnvoll, das so gespeicherte Wasser auf möglichst hohe Temperatur zu bringen. Ein Anergienetz mit Wärmepumpen sollte jedoch auf möglichst niedriger Temperatur betrieben werden. Die Kosten für einen Wasserspeicher und auch die Praktikabilität eines Wasserspeichers würden damit negativ beeinträchtigt. So müsste, um bei einem verwendbaren Temperaturhub von 8 bis 30°C den Jahresbedarf an Wärme (ca. 50 GWh) speichern zu können (worauf der Speicher in etwa ausgelegt werden sollte) ca. 1,96 Mio. m³ Wasserspeichervolumen installiert werden.

Eisspeicher benötigen ein relativ geringes Volumen pro gespeicherte Energie, jedoch muss die Wärmepumpe dann stets von etwa 0°C quellenseitig starten. Außerdem vereist der Speicher typischerweise zuerst an den Wärmetauschern, wodurch der Wärmeübergang behindert wird und das Speichervolumen nur zum Teil genutzt werden kann. Aus diesen Gründen wurde diese Variante verworfen. Damit würde, trotz des vergrößerten Wärmeintrags, das Volumen für einen Saisonspeicher sehr groß werden und zu relativ hohen Investitionskosten führen: Dieser Speicher müsste ein Volumen von 370.000 m³ haben – dies entspricht 72 m Kantenlänge. Zudem zeigt sich, dass bei Eisspeichern nicht das

gesamte Volumen gut genutzt werden kann. Vereisungen führen bekanntlich zu schlechtem Wärmeübergang.

Am üblichsten und in diesem Fall auch am erfolgversprechendsten ist die Variante des Erdspeichers.

Hier gibt es zwei untersuchenswerte Varianten:

- Ein zentraler Erdsondenspeicher (quadratisch geformtes Erdsondenfeld) in der Mitte des Areals
- Erdsonden unter sämtlichen bebauten Flächen.

Die Möglichkeit der Wärmespeicherung auf höherem Temperaturniveau (ca. 95 °C) wurde als Variante überlegt und umfassend diskutiert.

Wenn man Wärme mit 95 °C einspeichert (am Nordwestbahnhof als Abwärme aber voraussichtlich nicht vorhanden) und das Nutzniveau für Heizung bei 45 °C liegt, so können aus 1 m³ Speichervolumen ca. 60 kWh Wärmeenergie genutzt werden. Der Speicher wäre mit knapp unter 1 Mio. m³ kleiner und billiger als jener bei niedrigerem Temperaturniveau, da bei diesem nur eine geringere Temperaturdifferenz genutzt werden könnte. Jedoch ist die Speicherung auf hohem Temperaturniveau in Kombination mit einem Anergienetz nicht sinnvoll, da so hohe Temperaturen nicht benötigt werden. Abgesehen von höheren Wärmeverlusten ist in Österreich die Speicherung über 30°C im Allgemeinen nicht zugelassen.

Würde Abwärme mit einem Temperaturniveau von 45 °C zur Verfügung stehen, könnte der Speicher mittels Hochtemperatur-Wärmepumpe mit einem durchschnittlichen COP von 5,3 geladen werden (COP bei W45/W75 – 75°C wäre in diesem Szenario in etwa die durchschnittliche Zieltemperatur). Nachdem am Nordwestbahnhof keine derartige Abwärmequelle verfügbar ist, müsste die Speicherladung aus anderen Wärmequellen (z.B. Kanalabwasser mit ca. 14°C) erfolgen. Dafür wären dann 2-stufige Hochtemperatur-Wärmepumpen erforderlich. Der durchschnittliche COP würde dann nur noch etwa 2,6 betragen (COP bei W10/W75). Als Tagesspeicher oder Kurzzeitspeicher sind beide Varianten der Energiequelle interessant, wobei natürlich die Nutzung von Abwärmequellen (z.B. von Kondensatoren von Kühlhäusern oder Gefrierhäusern, Lebensmittelkühlern oder aus gewerblichen/industriellen Prozessen) die energetisch effizientere Variante darstellt.

Die Lösung mit der 2-stufigen Hochtemperatur-Wärmepumpe wäre wesentlich effizienter, wenn auch die Kühlenergie (Raumkühlung, EDV-Anlagen, Rechenzentren usw.) als Nutzenergie verwendet werden kann. Dann würde sich der Gesamt-COP (Heizen und Kühlen = COP integrated) auf 4,2 erhöhen, das heißt, aus einem Teil Antriebsenergie würden 1,6 Teile Nutzenergie für Kühlung und 2,6 Teile Nutzenergie für Heizung; $1,6 + 2,6 = 4,2$). Beim Nordwestbahnhof ist diese Möglichkeit wegen des geringen Kältebedarfs allerdings nur sehr eingeschränkt gegeben.

Nachdem für das Energieversorgungskonzept für den Nordwestbahnhof letztendlich ein Anergienetz (Temperaturniveau 8 bis 22 °C) mit entsprechenden Erdreich-Saisonspeichern gewählt wurde, wurde hier auf den Einsatz der Hochtemperatur-Wärmepumpe als Energietransformer verzichtet. Denn es stehen nach derzeitigem Wissensstand kaum Abwärmequellen mit annähernd 45 °C Temperaturniveau zur Verfügung, und das gleichzeitige Nutzen von Kühl- und Heizenergie in größerem Stil ist ebenso nicht absehbar.

6 Verteilkonzept

Das Energieverteilkonzept sieht vor, dass ein kaltes/kühles Ringnetz im Zweileitersystem („Anergienetz“) installiert wird, das in Kunststoffleitungen reines Wasser (ohne Glykol) transportiert. Wärmeanwendungen nehmen Leitung 1 als Vorlauf und Leitung 2 als Rücklauf, während Kälteanwendungen Leitung 2 als Vorlauf und Leitung 1 als Rücklauf verwenden. Die Hochschule Luzern beispielsweise arbeitet derzeit an einem Einleiternetz. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es aber noch keine Ergebnisse über die Vor- und Nachteile dieser Variante bzw. eine Conclusio. Der Unterschied zwischen Erdreich- und Anergienetztemperatur beträgt im Jahresmittel nur etwa 10°C, womit die Wirtschaftlichkeit von Leitungsdämmungen überprüft werden sollte.

Damit wird in Kauf genommen, dass Free-Cooling nicht möglich ist. Da der erwartete Kühlbedarf aber ohnehin klein gegenüber dem Wärmebedarf ist, spielt dieser Nachteil gegenüber dem Vorteil der höheren Speicherfähigkeit des Erdreichs eine untergeordnete Rolle.

Wie im Kapitel „Warmwasser“ bereits ausgeführt, hat die Art der Warmwasserbereitung Auswirkung auf das Leitungskonzept: Entweder werden gemeinsame Leitungen für Heizung und Warmwasser vorgesehen oder diese in getrennten Leitungen geführt. Da die Temperaturniveaus für Heizung und Warmwasser v.a. bei Niedertemperaturheizsystemen stark voneinander abweichen, ist es beim Einsatz von Wärmepumpen tendenziell sinnvoller, getrennte Leitungen auszuführen, weil sich dadurch die Heizwärme auf niedrigerem Temperaturniveau bereitstellen lässt und die Gesamtjahresarbeitszahl erheblich steigt. Negativ wirkt sich das dadurch notwendige Vierleiternetz (je zwei Leiter für Heizung und Warmwasser) auf die Investitionskosten der Leitungen und auch auf die Leitungsverluste (die jedoch für innerhalb der Gebäude verlaufende Leitungen in der Heizperiode zu Wärmegewinnen führen und somit nicht zur Gänze als Verlust zu sehen sind) aus. Es muss damit jeweils im Einzelfall abgewogen werden, ob sich die für Wärmepumpen günstige Trennung von Heizung und Warmwasserbereitung auszahlt. Dies wird umso mehr der Fall sein, wenn die Leitungen im Verhältnis zur transportierten Wärme kurz sind, also bei dichter Bebauung.

7 Heizzentralen

Die Dimensionierung der Heizzentralen richtet sich nach der Maximallast.

Zu deren Berechnung wurden zwei Ansätze verfolgt.

Erster Ansatz:

Mit Hilfe eines von Wien Energie zur Verfügung gestellten stündlichen Wärmelastprofils (über ein Jahr) für ein Gebäude mit 90 Wohnungen, das 2006 errichtet wurde, wurde die bei einer gegebenen jährlich benötigten Energiemenge (für Heizung, Warmwasser und gesamt) die jeweilige Maximalleistung berechnet. Da es sich um Werte aus 2013 handelt, wurde eine Normierung auf das Klimamittel 1971 – 2000 durchgeführt.

Die Positionierung und Aufteilung des Gebiets auf die 5 Heizzentralen ergeben sich aus Bauphasen, räumlicher Struktur und der Anforderung, dass alle Zentralen etwa gleich groß sein sollen:

Tabelle 1: Dimensionierung und Energieverbrauch auf Ebene der Heizzentralen

Heizzentrale	Blöcke	GWh/a			MW		
		Heizung	WW	gesamt	Heizlast	WW	gesamt
1	1, 2, 3, 18, 19, 20	6,8	3,3	10,0	4,5	1,3	5,3
2	4, 5, 6	4,9	2,5	7,4	3,3	1,0	3,9
3	7, 8, 9, 10	5,7	3,6	9,3	3,8	1,4	4,7
4	11, 12, 13	5,9	2,2	8,1	4,0	0,9	4,4
5	14, 15, 16, 17	7,5	3,3	10,8	5,0	1,3	5,7
gesamt		30,7	14,9	45,6	20,6	5,9	23,9

Die ausgewiesene Gesamtmenge ist deswegen kleiner als die Summe aus Heizlast und WW-Last, weil die Maxima nicht gleichzeitig auftreten, wie sich aus den analysierten Stundenwerten ergibt. Die WW-Leistung wird allerdings nicht in den Heizzentralen, sondern auf Blockebene bereitgestellt. Der Übersichtlichkeit wegen wurden die Werte allerdings für die einer Heizzentrale zugeordneten Baublöcke zusammengefasst. Analog gilt dann wiederum, dass die Summe der Warmwassermaximallasten größer ist als die auf Heizzentralenebene berechnete Last.

Zweiter Ansatz:

Die Volllaststundenzahl für Heizung beträgt laut Wien Energie 1.100 Stunden pro Jahr, jene für Warmwasser 2.200 h/a. Diese Zahl wurde auf den Energiebedarf angewendet und noch mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor versehen.

Basierend auf einer Studie der TU Graz und des Büros BIOS aus 2001⁴ wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,6 angenommen (oberes Ende des 95% Konfidenzintervalls, um auf der sicheren Seite zu sein).

Dies ergibt eine gute Übereinstimmung (man erhält um etwa 10 bis 20 % niedrigere Werte als beim ersten Ansatz), sodass die Auslegungsdaten gemäß Tabelle für die Projektuntersuchungen die Basis bilden und man zusätzlich noch auf der sicheren Seite ist.

Zwischen diesen Heizzentralen liegen auf der einen Seite jeweils Erdspeicher samt Vor- und Rücklauf des Anergienetzes, auf der anderen Seite das sekundärseitige Heizungsverteilnetz, das die Gebäude mit Raumheizung und ggf. -kühlung versorgt. Auf der Sekundärseite ist das Netz für die Heizung ein Zweileiternetz. Darüber hinaus existiert ein separates, unabhängiges Zweileiternetz für die Warmwasser-Wärmepumpen, von denen es pro Gebäudeblock zwei Stück gibt. Für die zu kühlenden Bereiche ist ein weiteres Kühlnetz vorzusehen, außer für den eventuell zu kühlenden Wohnbereich, da hier im Sommer das dann nicht benötigte Heiznetz verwendet werden kann.

Der Vorteil mehrerer Heizzentralen liegt darin, dass die Länge der warmen Leitungen deutlich reduziert werden kann. Gäbe es nur eine Heizzentrale, müsste im ungünstigsten Fall Heizungswasser auf hohem Temperaturniveau über eine Strecke von bis zu 800 m transportiert werden. So beschränkt sich dies auf höchstens 300 m (jeweils Luftlinie). Damit sinken die Transportverluste (v.a. Zirkulationsverluste).

Sieht man entsprechende Verbindungen zwischen den Heizzentralen vor (diese können gemeinsam mit den Anergienetzleitungen verlegt werden und bei Ausfall einer Heizzentrale die Wärme einer anderen Heizzentrale herbeiliefen), so steigt die Ausfallssicherheit nochmals deutlich an, wobei ohnehin bereits in einer Heizzentrale mehrere Wärmepumpen vorhanden sind. Diese zusätzliche Sicherheit ist den dadurch entstehenden Mehrkosten gegenüberzustellen.

Auf der anderen Seite ist es kostenmäßig kein Nachteil, die benötigte Heizleistung auf fünf Heizzentralen zu verteilen, weil in diesem Leistungsbereich Wärmepumpen, Steuerungen etc. bereits skaleninvariant sind, d.h. eine Halbierung der Leistung reduziert die Kosten genau auf die Hälfte.

⁴ <http://www.bios-bioenergy.at/uploads/media/Paper-Winter-Gleichzeitigkeit-Euroheat-2001-09-02.pdf>

Für die Wärmepumpen in den Heizzentralen wurde folgendes Modell als geeignet ermittelt:

IWWS 660 ER2

Auslegung W15 / W40

Vorlauftemperatur 40

°C

QH	754,6 kW
N	122,3 kW
QK	632,3 kW
COP Hzg	6,17

Verdampfer

Eintritt	15,0 °C
Austritt	10,0 °C
Volumen	108,8 m ³ /h

Kondensator

Eintritt	35,0 °C
Austritt	40,0 °C
Volumen	129,8 m ³ /h

Abbildung 4 zeigt die Anergienetzleitungen, die Zuleitungen aus den Erdspeichern, die fünf Heizzentralen und – symbolhaft – die Kältezuleitung zu bestehenden Gebäuden in der Dresdner Straße.

In den Heizzentralen selbst befinden sich neben den Anergienetz- und lokalen Verteilnetzleitungen die Wärmepumpen und die Pufferspeicher für Heizung und Kühlung. Die Warmwasserspeicher befinden sich in den einzelnen Gebäudeblöcken bei den Wärmepumpen für die Warmwasserproduktion.

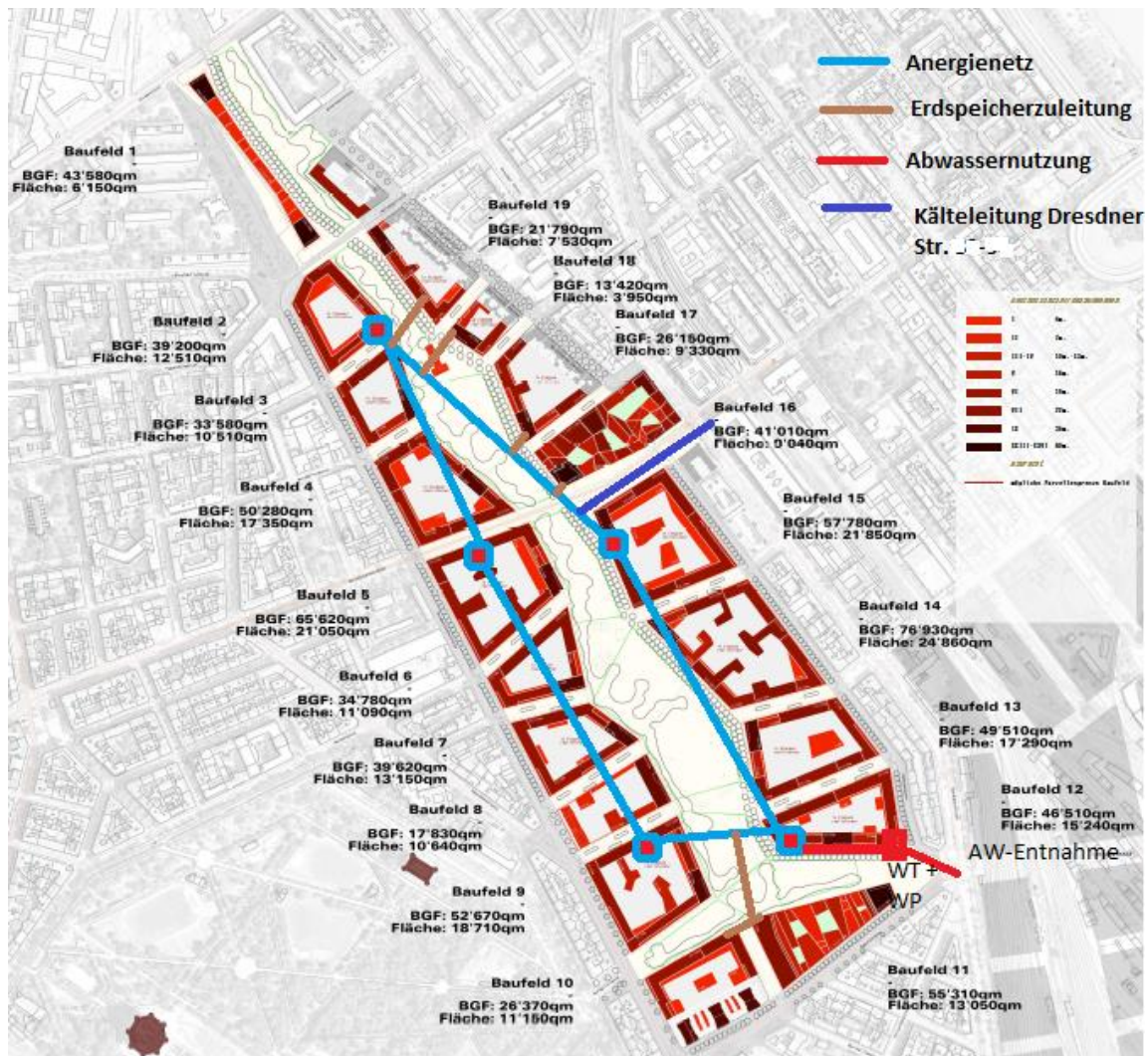


Abbildung 4: Leitungsführung vor den Heizzentralen; zu sehen sind die Anergienetzleitungen, der Ort und die Zuführung von der Abwasserenergienutzung, die Zuleitungen der Erdspeicher, soweit das Anergienetz nicht direkt unter den Blöcken verläuft, und die Verbindung mit Gebäuden in der Dresdner Straße zur Abwärmeeinspeisung; Quelle: Stadt Wien (Grundplan), Österreichische Energieagentur (Leitungen)

Für die Heizzentrale 1 bis 5 sind zwischen 5 und 8 Stück, insgesamt 32 Stück dieses Wärmepumpentyps notwendig, um die Heizlasten gemäß Tabelle 1 abdecken zu können.

Für den Referenzfall der reinen Erdgasbeheizung ist in Abstimmung mit Wien Energie jedoch von einer Heizzentrale pro Gebäudeblock auszugehen und nicht von fünf Heizzentralen. Dies hängt mit den Sicherheitsbestimmungen für große Erdgaskesselanlagen zusammen.

Die Abstände zwischen den Heizzentralen betragen:

1→2: 275 m

2→3: 475 m

3→4: 215 m

4→5: 500 m

5→1: 360 m

Die Länge des Anergienetzes beträgt somit insgesamt 1.925 m (jeweils für Vor- und Rücklauf).

Auslegung des Anergienetzes

Zwischen Vor- und Rücklauf wird aufgrund der Spezifikationen der Wärmepumpen ein delta T von 5°C einzustellen sein. Der maximale Leistungsbedarf einer Heizzentrale aus dem Anergienetz liegt bei 5,7 MW. Dafür ist eine Wassermenge von 974 m³/h notwendig. Wird das Anergienetz mit DN500-Rohrleitungen aufgebaut (Innendurchmesser: 475,4 mm⁵), ist die max. Fließgeschwindigkeit rund 1,5 m/s⁶.

8 Energiequellen

8.1 Abwasserenergie

Die Analyse der vorhandenen Kanäle über www.kanis.at hat – ebenso wie Gespräche mit Wien Kanal – ergeben, dass der Kanal mit dem höchsten Potenzial in der Umgebung des Nordwestbahnhofs jener unter der Nordbahnstraße ist. An der Kreuzung mit der Taborstraße berührt dieser direkt das Areal des Nordwestbahnhofs. Der angenommene Entnahmepunkt des Abwassers liegt daher an der Kreuzung der Nordbahnstraße mit der Taborstraße, wobei die Zuflüsse der Sammler aus der Rebhannngasse und der Taborstraße im unmittelbaren Bereich der Kreuzung nicht von Relevanz für das Abwasseraufkommen sind. Nur falls sich die Entnahme des Abwassers vor und nach den Zuflüssen gleich aufwändig gestaltet, sollten diese Zuflüsse ein Entscheidungsgrund für die Positionierung der Entnahmestelle sein.

Die Bevölkerungszahlen im Kanaleinzugsgebiet des Nutzungspunktes wurden der Kartenwerkstatt der Stadt Wien⁷ entnommen. Die Zählbezirke mit den Nummern 2002 (15.344 EW) und 2008 (5.377 EW) entwässern zur Gänze Richtung Nutzungspunkt, jener mit der Nummer 2007 (12.703 EW) zu etwa einem Viertel (grobe Schätzung). Die Einwohneranzahl im Einzugsgebiet beträgt somit: $15.344 + 5.377 + 12.703/4 = 23.900$ EW. Für die Baufelder 11 bis 20 des Nordwestbahnhofs mit etwa 2.000 geplanten Wohnungen und daher etwa 4.400 EW ist eine Entwässerung Richtung Nutzungspunkt wahrscheinlich. Damit fließt bei Fertigstellung der Bebauung auf dem Nordwestbahnhof-Areal das Abwasser von 28.300 EW am Nutzungspunkt vorbei.

Im Sinne einer konservativen Schätzung bleiben Abwässer aus Nichtwohnnutzungen (im Bestand und auch am noch zu bebauenden Nordbahnhofsgelände) in der Berechnung unberücksichtigt.

⁵ Z.B. <http://www.kunststoffrohre-einecke.de/Sonderangebote/5m-Rohr/KG-Rohr-KGEM-DN-500-5-m-lang.html>

⁶ Berechnung: <http://www.tlv.com/global/DE/calculator/water-velocity-through-piping.html>

⁷ <http://www.kartenwerkstatt.at/#!/map/austria-wien-regdistrict-osm-imposm-bright-01>

Laut BMLFUW beträgt der Wasserverbrauch (und bei Wohnungen damit auch näherungsweise die Abwassereinleitung) 135 l/Person und Tag.⁸

Daraus ergibt sich ein mittlerer Trockenwetterabfluss von: $28.300 \cdot 135 / 86400 = 44,2$ l/s.

Von Wien Kanal wurde, basierend auf älteren Modelldaten, ein Tagesspitzenwert bei Trockenwetter von 45 l/s bekannt gegeben. Dies ist aber eben ein Spitzenwert. Ein korrespondierender Tagesmittelwert würde unter den errechneten 44,2 l/s im Tagesmittel liegen. Damit liegt die Annahme von Wien Kanal niedriger. Es wurde der Wert aus der eigenen Berechnung zu Grunde gelegt, da dieser aus validen Grundlagen hergeleitet werden kann. Die Zuzählung der noch nicht vorhandenen Wohnbevölkerung kann diese Differenz nur teilweise klären. Es ist anzunehmen, dass dieser Schätzwert auch den bereits in den vergangenen Jahren stattgefundenen Bevölkerungszuwachs in diesem Gebiet noch nicht abbildet.

Gespräche mit Wien Kanal haben ergeben, dass nur externe Wärmetauscher zulässig sind. Dazu muss das Abwasser aus dem Kanal entnommen werden.

Die Tages- und Jahresganglinien des Kanalabflusses wurden aus Kanaldaten abgeleitet, die für den Sammler unter der Nottendorfer Straße von Wien Kanal erhalten wurden. Von diesen Werten sind beim dortigen Kanalprofil laut Auskunft der bayerischen Firma Huber SE, die bereits viele externe Kanalwärmetauscher samt Entnahmebauwerk errichtet hat, 15 l/s abzuziehen, die dem Kanal nicht entnommen werden können bzw. sollten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Aus den Durchflussanalysen beim Sammler Nottendorfer Straße aus dem Jahr 2008 ergibt sich folgende, für die Grobdimensionierung v.a. der Speicher hilfreiche Verteilung der Abwassermengen auf 2-Stunden-Intervalle nach Monat.

Tabelle 2: Thermisch nutzbare Abwassermenge im Zweistundenmittel je Monat

Nutzbarer Durchfluss in l/s (Abfluss minus 15 l/s laut Huber)												
	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-24h
Jan	24,75	20,23	18,88	26,83	40,66	45,66	46,72	43,10	41,93	39,75	38,68	33,36
Feb	5,53	2,09	2,13	8,20	19,22	21,70	19,33	19,71	15,60	17,41	14,09	10,86
Mär	12,34	7,77	5,13	16,51	25,48	30,22	27,34	27,33	24,68	22,78	23,06	19,04
Apr	10,22	7,07	10,59	28,38	30,37	29,59	30,42	26,55	28,06	25,35	22,49	17,42
Mai	11,12	7,12	10,38	27,45	31,21	30,96	30,07	27,87	26,84	26,14	24,34	21,21
Jun	19,73	17,27	20,06	33,40	37,35	36,94	36,23	34,33	32,83	33,12	31,09	28,05
Jul	27,99	22,05	25,78	41,04	46,94	46,99	46,80	44,58	43,53	42,25	40,84	36,65
Aug	26,13	20,79	24,79	41,32	46,40	47,85	47,61	45,26	44,64	43,86	41,77	35,40
Sep	23,19	19,07	21,90	38,08	44,46	44,00	43,22	39,75	39,31	39,64	37,17	30,06
Okt	21,15	15,93	19,01	38,29	43,58	43,91	43,01	42,59	37,36	40,00	38,91	32,92
Nov	26,13	17,87	17,30	28,10	42,99	43,88	45,02	42,49	37,78	39,26	38,23	32,90
Dez	24,75	20,23	18,88	26,83	40,66	45,66	46,72	43,10	41,93	39,75	38,68	33,36

⁸ <http://www.bmlfuw.gv.at/wasser/nutzung-wasser/Trinkwasser.html>

Auffallend ist, dass die Werte v.a. im Februar nur ein Zehntel der Werte anderer Monate betragen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass hier der Abfluss nur ein Zehntel beträgt, da die in der Tabelle verzeichneten Werte immer die um 15 l/s verminderten tatsächlichen Abflusswerte darstellen.

Seit November 2015 läuft eine Messung von Durchfluss und Temperatur des Abwassers im Kanal Ecke Taborstraße/Nordbahnstraße. Die ersten Ergebnisse zeigen folgendes Bild:

- Selbst bei -7°C Außentemperatur sinkt die Abwassertemperatur in der Nacht nicht unter 11°C , im Tagesmittel nicht unter $13,5^{\circ}\text{C}$.
- Die Abflussmenge bewegt sich mit guter Genauigkeit im angenommenen Bereich von 40 bis 50 l/s im Trockenwettermittel.
- Die hier für die Potenzialberechnung zunächst angenommenen Werte wurden damit also bisher bestätigt.

Eine Alternative wäre die Errichtung eines parallelen Sammlers unter der Nordbahnstraße. Dieser könnte dann mit einem Kanalwärmetauscher versehen werden. Aus Sicht des Projektteams stehen hier aber sehr hohe Mehrkosten einem vergleichsweise geringen Zusatznutzen gegenüber (Pumpleistung für die Entnahme des Abwassers würde entfallen). Es ist überhaupt fraglich, ob die mit der externen Lösung erzielbaren ca. 2,5 MW (47,85 l/s im August; Abkühlung von 20 auf 6°C) mit einem Kanalwärmetauscher überhaupt erzielbar wären. Dieser müsste deutlich über 1 km lang sein. Dies erscheint undurchführbar.

Der Temperaturverlauf wurde den Werten des Kläranlagenzulaufs der Wiener Hauptkläranlage entnommen (Werte von 2010 bis Mitte 2013) und findet sich in folgender Tabelle.

Tabelle 3: Monatliches Temperaturmittel des Abwassers im Zulauf der Wiener Hauptkläranlage, Quelle: EbS Wien

Temperatur Abwasser in $^{\circ}\text{C}$											
Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
13	13	13	16	17	18	20	20	19	17	16	14

Im Wesentlichen besteht die Abwasserenergienutzungsanlage aus drei Komponenten:

- dem Entnahmebauwerk mit grober Vorsiebung des Abwassers
- den Wärmetauschern und
- den Wärmepumpen.

Während die Wärmepumpe keine speziellen Anforderungen erfüllen muss und hier auch eine normale Wasser/Wasser-Wärmepumpe eingesetzt werden kann, sind Entnahmebauwerk und Wärmetauscher Spezialanfertigungen für die Nutzung von Abwasserenergie.

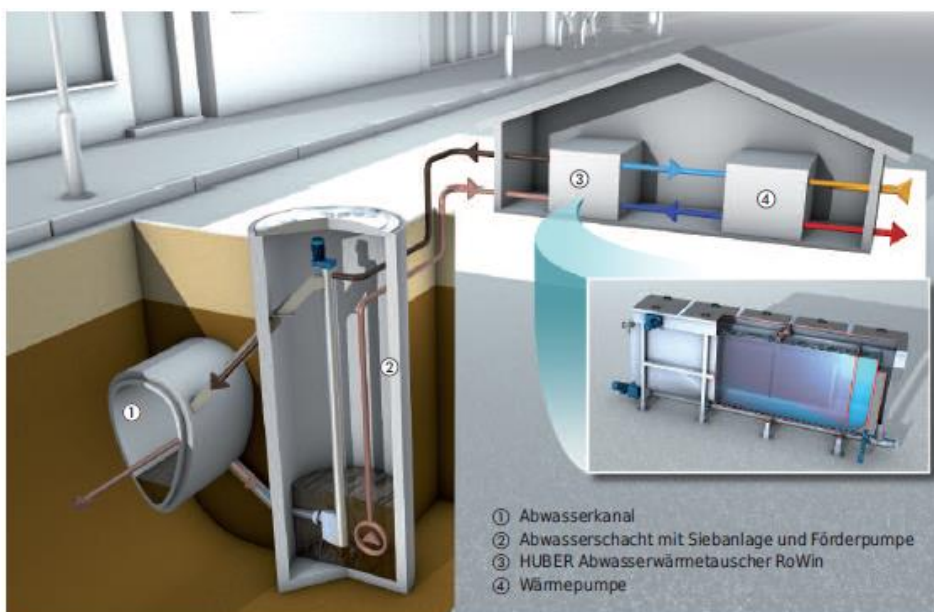
Entnahmebauwerk

Dieses sorgt dafür, dass das aus dem Kanal ausgeleitete Abwasser von Grobstoffen (ca. über 6 mm Durchmesser) befreit wird, bevor es zum Wärmetauscher geleitet wird. Beispielfhaft wird hier das Konzept der bayerischen Firma Huber SE gezeigt.

Firma Huber beschreibt dieses System folgendermaßen:

„Der Energieentzug aus dem Abwasser erfolgt nach dem Verfahren HUBER ThermWinR, wofür ein oberflur aufgestellter Wärmetauscher vorgesehen ist. Zunächst wird über ein Entnahmebauwerk ein Teilstrom des Abwassers aus dem Abwasserkanal entnommen, und mit einer nachfolgenden Siebanlage werden die Grobstoffe zurückgehalten und wieder in den Kanal zurückgeführt. Anschließend wird das gesiebte Abwasser auf den oberflur aufgestellten Wärmetauscher geleitet, welcher im Freispiegel durchströmt wird. Damit werden die Voraussetzungen für stetig stabile, hydraulische Verhältnisse und eine kontrollierte Wärmeübertragung im Wärmetauscher geschaffen. In diesem erfolgt die Erwärmung des Sekundarkreislaufes, welcher mit einer Wärmepumpe gekoppelt ist. Anschließend fließt das abgekühlte Abwasser unter gleichzeitiger Mitnahme des Siebgutes zurück in den Abwasserkanal.“

Untenstehend findet sich eine Prinzipskizze dieser Anlage. Hier ist auch ein Wärmetauscher enthalten, der allerdings nicht im Gegenstromprinzip arbeitet und damit für die bei der thermischen Abwassernutzung meist gegebenen niedrigen (d.h. unter dem für Heizung und Warmwasserbereitung benötigten Temperaturniveau liegenden) Temperaturen nicht optimal ist. Das System des Entnahmebauwerks ist allerdings auch mit anderen Wärmetauschern kombinierbar.



Funktionale Darstellung der Rückgewinnung von thermischer Energie aus Abwasser nach dem Verfahren HUBER ThermWin®

Abbildung 5: Prinzipskizze eines externen Kanalwärmetauschers, Quelle: Huber SE

Wärmetauscher

Da das Abwasser auch nach der Vorsiebung noch viele Schwebstoffe enthält, die sich auf festen Oberflächen mit der Zeit als den Wärmeübergang behindernder Biofilm bemerkbar machen, sind hier spezielle Wärmetauscher vorzusehen, die sich periodisch selbst reinigen können.

Beispielhaft wird hier der Wärmetauscher der Firma Jaske und Wolf gezeigt und beschrieben.

„Das DUPUR®-Wärmetauschersystem ist für den stabilen Betrieb mit Abwasser ausgelegt. Das System verhindert dauerhaft das Fouling an der Wärmetauscheroberfläche durch kontinuierliche mechanische Reinigung. Spezielle Molche beseitigen in regelmäßigen Abständen automatisch die Ablagerungen in allen Schmutzwasser führenden Leitungen des Wärmetauschers.

Herzstück des Mehrfachrohr-in-Rohr-Wärmetauschers ist ein Molchventil, das das gleichzeitige Molchen (Reinigen) aller Rohrleitungen während des laufenden Betriebs ermöglicht. Ein Eingriff in das System oder eine Betriebsunterbrechung ist dabei nicht erforderlich. Die Reinigungsintervalle werden über eine Steuerung eingestellt und ermöglichen dauerhaft einen hohen Wirkungsgrad und wirtschaftlichen Betrieb und mehr Energieeffizienz.

Der DUPUR®-Wärmetauscher eignet sich zur Wärmeübertragung und Energierückgewinnung bei verschmutztem Abwasser und Schlamm wie sie z.B. in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, Schlachtereien, Gerbereien, Schwimmbäder, Geothermie, Chemieindustrie, Kläranlagen, Biogas- & Teilereinigungsanlagen etc. vorkommen.“



Abbildung 6: Wärmetauscher von Jaske und Wolf

Wärmepumpe

Das Konzept sieht vor, dass eine separate Abwasserwärmepumpenzentrale installiert wird, die die Wärme auf das im Anergienetz bzw. in den Erdspeichern benötigte Temperaturniveau bringt. Aufgrund der benötigten Leistung werden für die Berechnungen im Projekt drei Wärmepumpen des Typs Ochsner IWWS 960 ER 1 vorgesehen, denen jeweils zwei Wärmetauscher der Firma Jaske & Wolf zugeordnet sind.

Kühlt man das Abwasser ganzjährig auf 6 °C ab (variable Temperaturspreizung), so ergibt sich ein Wärmepotenzial aus dem Abwasser von jährlich 13,9 GWh.

Die auf den genannten Modellwerten basierende Auslegung der Wärmepumpenanlage als Energietransformer zwischen Kanalabwasser und Anergienetz ergab, dass drei Wärmepumpen des folgenden Typs notwendig sind, um praktisch die gesamte Wärmeenergie, die durch Abkühlung des Abwassers auf 6°C (unabhängig von der Abwasserausgangstemperatur) anfällt, nutzbar machen zu können.

OCHSNER IWWS 960 ER1

Auslegung W09 / W30

Vorlauftemperatur 30 °C

QH	955,5 kW
N	143,1 kW
QK	812,4 kW
COP Hzg	6,68

Verdampfer

Eintritt	10,0 °C
Austritt	4,0 °C
Volumen	116,4 m ³ /h

Kondensator

Eintritt	25,0 °C
Austritt	30,0 °C
Volumen	164,3 m ³ /h

Abwasser Wärmetauscher (DUPUR von Jaske & Wolf)

Abwasser Eintritt	16,0 °C
Abwasser Austritt	6,0 °C
Abwasser Menge	35,85 m ³ /h
WP Zwischenkreis Eintr.	4,0 °C
WP Zwischenkreis Austr.	10,0 °C
WP Zwischenkreis Menge	59,70 m ³ /h
Leistung	416,5 kW

Abbildung 7: Auslegungsparameter der Wärmepumpen und Wärmetauscher zwischen Abwasser und Anergienetz

Es ist nochmals zu betonen, dass bei dieser Auslegung keine Messwerte herangezogen wurden. Weiters wurde das Abwasser der zukünftigen Gebäude auf dem Nordwestbahnhof

nur zum Teil berücksichtigt, was sich bei der weiteren Planung im Sinne der nachhaltigen Energielösung noch ändern könnte.



Abbildung 8: Stadtwerke Amstetten als Beispiel einer realisierten Anlage zur Energiegewinnung aus Abwasser, Quelle: Ochsner

Bevor irgendwelche Schritte zur konkreten Umsetzung getroffen werden, muss auf jeden Fall eine Kanaldurchflussmessung kombiniert mit einer Temperaturmessung erfolgen, um die Auslegung des Wärmetauschers und der Wärmepumpe genauer durchführen zu können und die Ertragsprognosen zu verifizieren.

Eine solche Messung wird von November 2015 bis Februar 2016 durchgeführt. Die ersten Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Annahmen.

Der Abwasserkanal selbst kann ebenso als Energieverteilnetz gesehen werden, allerdings unidirektional. An einer bestimmten Stelle des Kanals kann z.B. durch eine Kühlanwendung Wärmeenergie in das Abwasser eingebracht werden, die in Fließrichtung für eine Wärmeanwendung wieder entnommen werden kann und umgekehrt. Einschränkungen ergeben sich neben der Unidirektionalität auch durch die Notwendigkeit der Gleichzeitigkeit. Als Gesamtkonzept für ein Stadtentwicklungsgebiet ist dieses Konzept unzureichend, kann jedoch bei einzelnen Verbrauchs- bzw. Einspeisestellen mit in etwa gleicher Größe und gleichem Bedarfsprofil durchaus sinnvoll sein.

Für das ordnungsgemäße Funktionieren einer Kläranlage ist die Abwassertemperatur ein zentraler Parameter. Wärmeentnahmen und -einleitungen verändern die Temperatur und damit auch die Reinigungsleistung der Kläranlage. Bei zu niedrigen Temperaturen können die Mikroorganismen nicht mehr ausreichend arbeiten und das Abwasser (v.a. hinsichtlich der Denitrifikationsleistung) wird nicht mehr ausreichend gereinigt. Die Auswirkungen von Wärmeentnahmen sind im Hinblick auf das ordnungsgemäße Funktionieren der zugehörigen Kläranlage daher stets zu prüfen. Im hier nicht relevanten Fall der Einspeisung von Wärme in den Kanal ist zwar nicht die Reinigungsleistung der Kläranlage betroffen, jedoch können hier bereits im Kanal vermehrt Faulungsprozesse entstehen, die zu Geruchsbelästigungen im bewohnten Gebiet führen können. Weiters ist die Beeinflussung des Vorfluters (Fluss, See etc., in den die Kläranlage einspeist) zu berücksichtigen (in Wien aber wegen der hohen Abflussmenge der Donau nicht relevant).

Die Berechnung der Auswirkung der Abkühlung auf die Temperatur des Zuflusses der Kläranlage zeigt Folgendes: Der mittlere Trockenwetterzufluss beträgt laut EBS Wien

(<https://www.ebswien.at/hauptklaeranlage/hauptklaeranlage/zahlen/>) 7.000 l/s. Die maximale Entnahmeleistung während der kalten Jahreszeit (November bis März) beträgt 1,88 MW. Ohne Berücksichtigung der Wiederaufwärmung bis zur Kläranlage würde diese Nutzung zu einer Temperaturabsenkung von 0,06 K beim Kläranlagenzulauf führen. Da die Kläranlage 8,2 km Luftlinie vom Entnahmepunkt entfernt ist (die Kanallänge beträgt damit um Einiges mehr), wird ein erheblicher Teil dieser Abkühlung durch thermischen Kontakt mit dem Kanalrohr bzw. umgebendem Erdreich und auch der umgebenden Luft wieder kompensiert. Der tatsächliche Einfluss ist damit in jedem Fall geringer als die errechneten 0,06 K. Eine derartige Temperaturänderung ist voraussichtlich nicht einmal messbar und hat keinen merkbaren Einfluss auf die Kläranlage.

8.2 Abwärme

Ein guter Ausgangspunkt für die Identifizierung von Abwärmelieferanten sind Luftbilder, auf denen Rückkühlungsanlagen auf Dächern zu erkennen sind. Die Fläche der Rückkühler gibt einen ersten Anhaltspunkt für den Kühlleistungs- bzw. (etwas ungenauer) auch für den Kühlenergiebedarf.

Auf diese Weise wurden Kälteverbraucher in der Umgebung des Nordwestbahnhofs in der Dresdner Straße identifiziert

Der Kältebedarf eines Gebäudes mit etwa 50.000 m² Büroflächen wurde aufgrund von Angaben von Hausverwaltungsabrechnungen ermittelt und beträgt 1,1 GWh im Jahr 2013. Dies entspricht daher einem möglichen Wärmeeintrag ins Anergienetz von etwa 1,65 GWh (Annahme: COP = 3). Diese Abwärme könnte für das Anergienetz am Nordwestbahnhof genutzt werden. Die Kältemaschinen des bestehenden Gebäudes werden jedoch weiter unverändert in Betrieb sein.

Aussagen über die Abwärmemenge auf dem Nordwestbahnhof-Areal sind schwierig zu treffen, weil es hier stark auf die sich ansiedelnden Betriebe/Firmen etc. ankommt. Gemeinsam mit Wien Energie wurde der Kältebedarf mit 2 GWh/a angesetzt, der einem Wärmeeintrag von etwa 3 GWh/a ins Anergienetz entspricht (COP = 3) – je nach Auslegung des Kältekreislaufs ist aber auch ein höherer COP und damit ein niedrigerer Wärmeeintrag denkbar.

Bezieht man Gebäude in der angrenzenden Dresdner Straße in das Heiz- und Kühlkonzept ein, ergibt sich ein Kältebedarf von 3,1 GWh/a und ein Wärmeeintrag von 4,65 GWh/a ins Anergienetz.

Diese Abwärme wäre technisch nutzbar und eine wesentlich umweltfreundlichere Variante der Abwärmeabfuhr. Das Gesamtenergiekonzept funktioniert allerdings auch ohne diesen Beitrag. Entscheidend wird sein, dass eine für den Eigentümer dieses Bürogebäudes sowie für den Energieversorger des Stadtentwicklungsgebietes Nordwestbahnhof wirtschaftlich interessante Verrechnungsmethode gefunden werden kann.

8.3 Solarenergie

Bei einer Recherche, welche erneuerbaren Energieträger an einem bestimmten Standort zum Einsatz kommen können, stehen meist wirtschaftliche Aspekte im Vordergrund. Dieser Zugang ist für einzelne Bauträger jedenfalls nachvollziehbar. Im größeren Kontext von Versorgungssicherheit und Energieplanung eines ganzen Bezirkes, einer Gemeinde oder eines Landes ist die Frage nach der Flächeneffizienz eine ebenso wichtige.

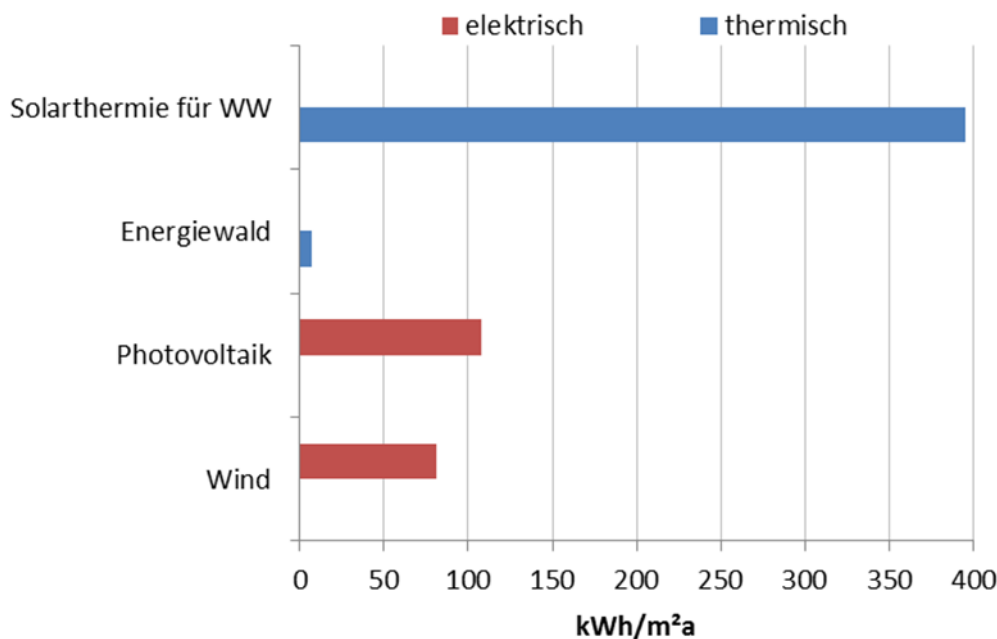


Abbildung 9: Energieertrag ausgewählter erneuerbarer Energien in Bezug auf die notwendige horizontale Fläche

Abbildung 9 zeigt den Energieertrag ausgewählter erneuerbarer Energien bezogen auf die horizontale Fläche. Für Solarthermie und Photovoltaik wurde eine horizontale Aufständerung gewählt⁹, bei der Windkraftanlage wurde der notwendige Abstand zwischen einzelnen Windrädern berücksichtigt¹⁰, für den Energiewald wurde auf Daten des österreichischen Biomasse-Verbands zurückgegriffen (österreichischer Biomasse-Verband, 2012). Bei Photovoltaik und Wind wurde berücksichtigt, dass jede erzeugte Kilowattstunde Strom ins Stromnetz eingespeist werden kann. Bei den Wärmeanwendungen ist ein in der Aufnahmekapazität begrenzter Wärmespeicher berücksichtigt. Wie die Abbildung darlegt, haben Solarthermie und Photovoltaik die höchste Flächeneffizienz unter den erneuerbaren Energieträgern. Eine Kombination aus den beiden Technologien ist damit insbesondere in städtischen Gebieten ein essenzieller Vorteil, wenn es um den Einsatz erneuerbarer Energieträger in Arealen mit hoher Bebauungsdichte geht.

Unter anderem aus diesem Grund lag der Einsatz von Solarenergie im Fokus der Untersuchungen in der vorliegenden Studie. In Verbindung mit Wärmepumpen scheint zunächst der Einsatz von Photovoltaik der logischere Zugang. Das jahreszeitliche Ungleich-

⁹ Simulation in Polysun, Standort Wien, Aufständerung 0°

¹⁰ <http://www.windenergie-im-binnenland.de/flaechenverbrauch.php>

gewicht zwischen Solar-Ertrag (Sommermonate) und erhöhtem Wärmebedarf (Wintermonate) lässt die Herausforderungen dieser Energiekonzepte schnell offenbar werden. In dem vorliegenden Konzept kommt ein Anergienetz zur Anwendung, welches – gemeinsam mit den Tiefensonden – regeneriert werden muss, um über einen langen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten verlässlich als Wärmequelle dienen zu können. Solarthermie kann sehr gut für diese Regeneration eingesetzt werden und bietet, wie oben gezeigt, eine exzellente Flächeneffizienz. Insbesondere sind bei einer praktisch unendlich großen Wärmesenke, wie das ein großer Erdspeicher darstellt, auch noch deutlich höhere solare Wärmeerträge zu erwarten als in Abbildung 9 dargestellt. Da für die Regeneration des Erdspeichers Temperaturen von ca. 30°C ausreichen, kann auf unabgedeckte Hybrid-Kollektoren (PVT) zurückgegriffen werden. Bei Hybridkollektoren werden Photovoltaik-Module und Solarthermie-Kollektoren in einer Baueinheit vereint. Dies bringt zwei Vorteile:

- durch Senkung der mittleren Modultemperatur wird der elektrische Ertrag erhöht
- zusätzlich zum Strom kann die abgeführte Wärme genutzt werden, wodurch der flächenspezifische Solarertrag (elektrisch plus thermisch) gesteigert wird.

Gelingt es die Modultemperatur unter 40°C zu halten, kann mit einem elektrischen Mehrertrag gegenüber konventionellen PV-Modulen zwischen 4% (Zenhäusern, 2014) und 10% (Hofer-Noser, 2014) gerechnet werden.

Im Falle eines Anergienetzes sind nicht-abgedeckte PVT-Module vorzuziehen, da hier keine Betriebstemperaturen über 30°C auftreten und der elektrische Mehrertrag für den Betrieb der Wärmepumpen wünschenswert ist.

8.3.1 Abschätzung des Flächenpotentials

Als Basis für die Feststellung der verfügbaren Fläche wurden zwei Methoden herangezogen:

a.) Anhand des - bezüglich Flächen und Bauhöhen - sehr detaillierten Bebauungsplans (vgl. Abbildung 4) wurden die ganzjährig unverschatteten Flächen im Detail ermittelt (72.450 m²). Unter der Annahme, dass etwas weniger als die Hälfte dieser Fläche (45%) für solare Energiegewinnung nutzbar ist, ergeben sich 32.600 m² potentiell nutzbare Solarfläche.

b.) In einem Report der European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF) (Weiss, 2009) wurden Faktoren veröffentlicht, mit deren Hilfe von der Gebäudegrundfläche auf die solar nutzbaren Flächen auf Dach und Fassade geschlossen werden kann. Die Faktoren berücksichtigen bereits, dass aufgrund von Verschattung, Ausrichtung, Denkmalschutz und verschiedenen Dachkonstruktionen nie die gesamte Dach- oder Fassadenfläche genutzt werden kann: Das Solarpotential am Dach entspricht 40 % der Gebäudegrundfläche, jenes in der Fassade entspricht 15 % der Gebäudegrundfläche. Aus dem Bebauungsplan lässt sich eine Gebäudegrundfläche von rund 93.000 m² ablesen. Mit Hilfe des obigen Faktors von 0,4 ergibt sich eine potentielle Solarfläche von 37.200 m².

Für die Simulationen wurde das konservativere, nochmals abgerundete Ergebnis von 30.000 m² herangezogen.

8.3.2 Marktrecherche Hybridkollektoren

Zwar ist die Technologie von Hybridkollektoren schon seit einigen Jahren bekannt, jedoch hat die Technologie erst eine recht geringe Marktdurchdringung. Daher wurde zu Beginn des Projekts eine Marktrecherche durchgeführt, um Hersteller und Vertriebe dieser Technologie ausfindig zu machen und um belastbare Daten für die Wirtschaftlichkeitsrechnung zu erhalten.

Ein Großteil der Kollektoren ist flüssigkeitsgeführt. Das heißt, auf die Rückseite der Photovoltaikmodule werden Rohrschlangen aufgebracht, sodass ein Frostschutzgemisch die Wärme abtransportieren kann. Die Geometrie der Rohrschlangen kann recht unterschiedlich sein. Auf verschiedenen Wegen wird versucht, die Wärmeverteilung in den Photovoltaikmodulen möglichst regelmäßig und die Modultemperatur möglichst gering zu halten. Auch Hybrid-Luftkollektoren sind auf dem Markt erhältlich, jedoch viel seltener. Solche Kollektoren können zur Vorwärmung von Zuluft für Lüftungsanlagen verwendet werden.

Ähnlich wie bei Solarthermie-Kollektoren gibt es auch hier abgedeckte und unabgedeckte Kollektoren. Hierbei geht es immer um die thermische Seite der Hybridkollektoren: Unabgedeckte Hybridkollektoren favorisieren die Stromproduktion auf Kosten des maximal möglichen Temperaturniveaus auf der thermischen Seite. Abgedeckte Hybridkollektoren hingegen schaffen - dank der dämmenden Abdeckung - durchaus Temperaturen, die für die Warmwasserbereitung ausreichend sind, jedoch senkt die höhere Modultemperatur den elektrischen Ertrag. Beide Technologievarianten haben den Vorteil der höheren Flächeneffizienz als Photovoltaik und Solarthermie getrennt. Da die beiden Technologien gegenläufige Temperaturanforderungen haben, entscheidet die Anwendung, ob abgedeckte oder nicht abgedeckte Module vorzuziehen sind.

Tabelle 4: Ergebnis der Marktrecherche für Hybridkollektoren

Firma	Land	Website	Firmentyp	Typ
Absolicon Solar Concentrator AB	SE	www.absolicon.com		Fluid
AMK-SOLAC Systems AG	CH	www.amk-solac.com		Fluid
Brandoni Solare	IT	www.brandonisolare.com/en/products.php		Fluid
C. Bösch GmbH	AT	www.solator.cc	Hersteller	Fluid
Conserval Engineering Inc	CA	www.solarwall.com		Luft
Dualsun	FR	www.dualsun.com	Hersteller	Fluid
Ecotec Energy AG	USA	www.ecotec-energy.com		Fluid
Fototherm Srl	IT	www.fototherm.com		Fluid
Grammer Solar GmbH	DE	www.grammer-solar.de	Hersteller	Luft
Meyer Burger	CH	pvsystems.meyerbuerger.com/produkte/hybrid/		Fluid
PA-ID GmbH	DE	www.2power-hybrid.com		Fluid
Solarzentrum AG	DE	www.solarzentrum-allgaeu.de	Hersteller	Fluid
Solimpeks Solar Corsep	TR	www.solimpeks.com		Fluid
Ren-ON	DE	ren-on.de/Solarkollektoren.html	Hersteller	Fluid
KIOTO Solar	AT	www.kiotosolar.com/de/waerme/twin-energiedach/	Hersteller	Fluid
3F Solar	AT	www.3f-solar.at/	Hersteller	Fluid

Tabelle 4 erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, aber gibt einen guten Überblick über die verfügbaren Hersteller und Vertriebsstellen von Hybridkollektoren. Aus den bei der Recherche zur Verfügung gestellten Unterlagen ging nicht immer eindeutig hervor, ob es sich um einen Hersteller oder um einen Vertrieb von Hybridkollektoren handelt. Falls die Zuordnung eindeutig erkennbar war, wurde das entsprechend vermerkt.

8.3.3 Kosten von Hybridkollektoren

Solimpeks gibt für den Kollektorpreis knapp 350 €/m² an. 3F Solar stellt 3 exemplarische Systeme mit 6,8 m², 10m² und 17m² mit den Systempreisen 4.680 €, 6.840 € und 11.280 € (exkl. Montagearbeit und Lieferung) vor. Mit Hilfe einer linearen Interpolation wurde auf 30.000 m² hochgerechnet, was zu einem Quadratmeterpreis von rund 652 € führt. Meyer Burger erstellte ein Angebot für 30.000 m² und gibt 549 €/m² (582 SFr.) an (am Dach fertig installiert, inkl. Wechselrichter, exkl. Steigleitungen).

8.3.4 Dimensionierung und Simulation

Nach einigen Vergleichsrechnungen, Simulationen und Diskussionen mit der Hochschule Luzern (Planer der Suurstoffi, Luzern) wurde eine horizontale Montage der PVT-Kollektoren gewählt (0° Aufständigung). Dies bietet wesentliche Vorteile bei der Montage (z.B. geringere Windlasten) und der Verschaltung der Anlage. Außerdem wird so die verfügbare Dachfläche bestmöglich genutzt, da Eigenverschattung kein Thema ist. Eine eventuelle Abdeckung durch Schnee könnte durch kurzfristige Umkehrung des Solarkreislaufs abgetaut werden. Die Simulation für die Bestimmung der thermischen und elektrischen Erträge wurde mit Polysun 7.2 durchgeführt. Nach Rücksprache mit Velasolaris – dem Hersteller von Polysun – und dem Hybridkollektor-Hersteller Meyer Burger wurde der Simulation eine Polysun-Vorlage zugrunde gelegt Abbildung 10, welche ursprünglich in Zusammenarbeit mit der Firma Meyer Burger erstellt wurde (Baetschmann, 2015).

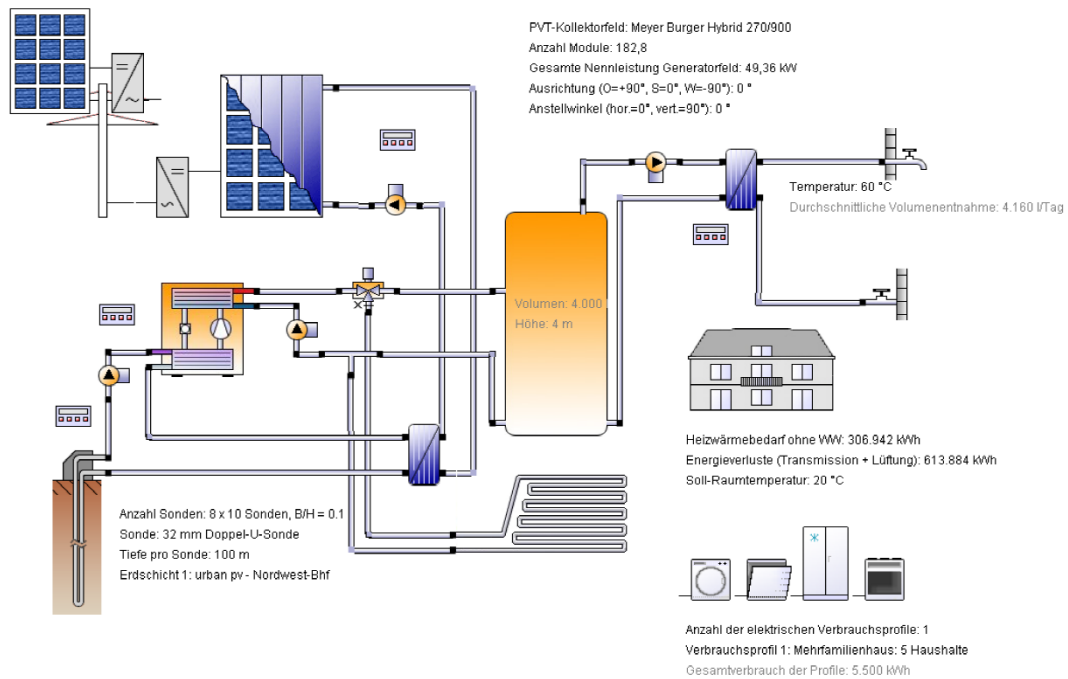


Abbildung 10: Schema inklusive Annahmen zur Simulation des Systems, Quelle: Meyer Burger bzw. Polysun

Das Schema bildet im Prinzip die Funktion des gewünschten Systems ab: Der thermische Ertrag aus den Hybridkollektoren wird für die Regeneration der Erdsonden genutzt. Die Wärmepumpe produziert Heizungswärme direkt und hält Energie für die Warmwasserbereitung in einem verhältnismäßig kleinen Pufferspeicher vor (stimmt nicht genau mit dem für den Nordwestbahnhof gewählten Konzept zusammen, ist jedoch für die Simulationsergebnisse von untergeordneter Bedeutung). Es ist jedoch nicht möglich, die Dynamik des Anergienetzes in Polysun abzubilden. Für eine erste, grobe Abschätzung der Energiebilanz ist diese Simulation jedoch hinreichend genau.

Für den Heizwärmebedarf wurden Werte angesetzt, welche aus langjährigen Messungen von Wien Energie in zahlreichen neu gebauten Objekten hervorgehen. In Polysun gibt es mehrere Möglichkeiten ein Gebäude abzubilden. Aus den Eingabegrößen errechnet Polysun den monatlichen Bedarf. Es hat sich gezeigt, dass bei Eingabe des jährlichen Wärmebedarfs, die Monatsverteilung am besten mit der Realität übereinstimmt (Ruepp, 2015). In Abbildung 11 sind die Eingaben dokumentiert.

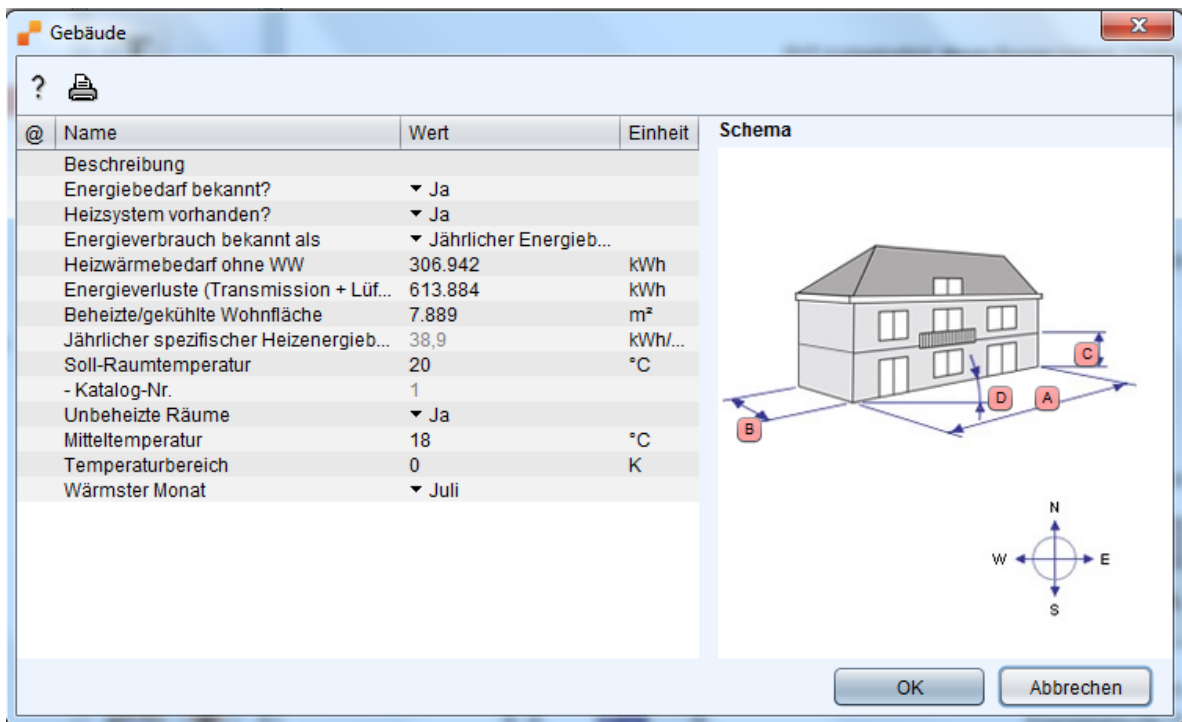


Abbildung 11: Darstellung des Heizwärmebedarfs in Polysun 7.2.4

Der Warmwasserbedarf wurde mit Hilfe der Auslegungskriterien für Geschößwohnbauten bestimmt (Fink, 2011). Aufgrund der Gleichzeitigkeit werden 20 bis 40 Liter pro Person und Tag bei 60 °C empfohlen. Nach Rücksprache mit Wien Energie wurden hier 40 Liter pro Person und Tag bei 60 °C angenommen. Wien Energie konnte auch ein reales Warmwasserprofil – basierend auf langjährigen Messdaten – zur Verfügung stellen. Dieses beinhaltet auch Zirkulationsverluste. In Polysun wurden die Zirkulationsverluste auf 70 % gesetzt, um das reale Profil nachzubilden.

Das verwendete Warmwasserprofil für Mehrfamilienhäuser ist in Abbildung 12 zu sehen.

Warmwasser Profil

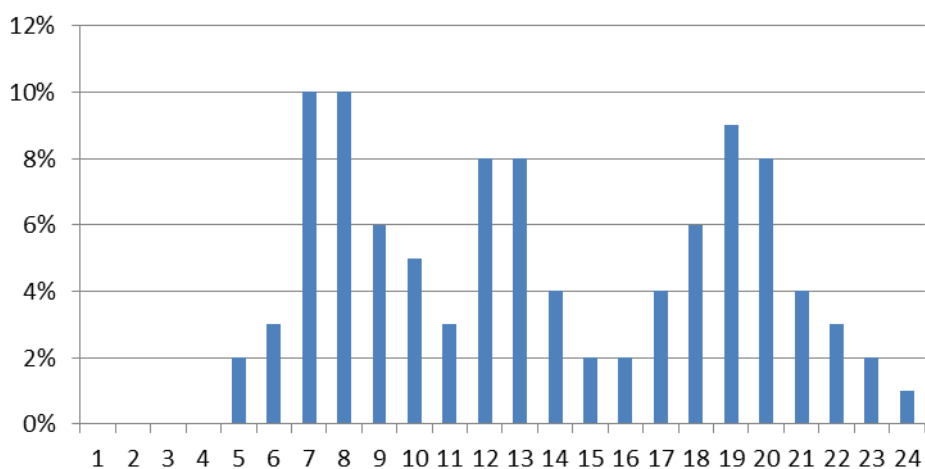


Abbildung 12: Warmwasserprofil für Mehrfamilienhäuser, Polysun 7.2.4

Da nicht beliebig große Solaranlagen mit Polysun simuliert werden können, wurde nur 1/100 des Systems simuliert und die Ergebnisse für die Bilanz des Gesamtsystems in Excel hochgerechnet. In folgender Tabelle sind die tatsächlichen Werte und die Grundlagen für die Polysun-Simulation dargestellt – blau markierte Felder sind Eingabegrößen für die Simulation.

Tabelle 5: Eingabegrößen der Polysun-Simulation für Heizwärme- und Warmwasserbedarf

Annahmen (lt. Wien Energie bzw. AEA¹¹)		
Ansatz	tatsächlich	0,01
Solar [m²]	30.000	300
Puffer [m³]	400	4
Heizwärmebedarf [kWh]	30.684.000	306.840
WW-Bedarf [kWh]	8.502.827	85.028
WW-Bedarf	39,8 l/Person&Tag bei 60°C	
Kaltwassertemperatur [°C]	12	
WW-Bedarf [Liter/d]	415.990	4.160
Zirkulationsverluste	70%	
Einwohner	10.452	105
BGF [m²]	788.862	7.889
Neigung [°]	0	

Es wurde mit dem Klimadatensatz für Wien gerechnet, der von Polysun zur Verfügung gestellt wurde. Um den Einfluss unterschiedlicher Standorte analysieren zu können, wurden Vergleichssimulationen für die Standorte Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck durchgeführt. Polysun verwendet Klimadaten von Meteonorm 6.0.

8.3.5 Erdsonden und Wärmepumpen

Die Erdsonden und der Erdspeicher werden durch ein spezielles Simulationswerkzeug abgebildet (vgl. Kapitel Speicher). Um jedoch das Zusammenspiel „Hybridkollektor ↔ Erdsonden“ abbilden zu können, wurde das Sondenmodell in Polysun bestmöglich angepasst. Ähnlich Tabelle 6 oben, markieren die blau hinterlegten Felder auch hier die Eingabegrößen für Polysun (Tabelle 7).

Tabelle 6: Eingabegrößen der Erdsonden in Polysun (blau hinterlegte Felder)

Annahme Erdwärmesonde		
Ansatz	tatsächlich	0,01
Lambda [W/mK]	1,95	
spez. Wärmekapazität [J/m ³ K]	2200000	
Dichte [kg/m ³]	2000	
spez. Wärmekapazität [J/kgK]	1100	
Mächtigkeit [m]	200	

¹¹ Austrian Energy Agency

Typ	32mm Doppel U	
Auslegetemperatur [°C]	0	
Sondenabstand [m]	3	
Sondenanzahl	8000	80
g-Wert 1	5,001	
g-Wert 2	12,889	
g-Wert 3	31,487	
g-Wert 4	39,249	
g-Wert 5	40,032	
B/H-Wert	0,1	

Es ist mit Polysun nicht möglich, Simulationen über mehrere Jahre vorzunehmen, um die Temperaturschwankungen bzw. -änderungen über einen längeren Zeitraum abzubilden. Es besteht nur die Möglichkeit, eine Vorlaufzeit inkl. jährlicher Entzugsenergie anzugeben. Da das Erdreich mit EED (Earth Energy Designer) detailliert abgebildet wurde, wurde in Polysun keine Vorlaufzeit gewählt (0 Jahre).

Von der Firma Ochsner wurde ein Kennlinienfeld der Wasser-Wasser-Wärmepumpe IWWS 660 ER2 zur Verfügung gestellt. Diese Wärmepumpe geht auch in die Wirtschaftlichkeitsrechnung ein. Aus diesem Kennlinienfeld gehen die Leistungen für die Betriebspunkte W10/W40, W15/W40, W20/W40, W10/W60, W15/W60 und W20/W60 hervor. Das Kennlinienfeld in Polysun baut auf geringfügig anderen Betriebspunkten auf, welche aus dem Kennlinienfeld von Ochsner heraus linear interpoliert wurden (Tabelle 7).

Tabelle 7: Kennlinienfeld der Wärmepumpe: Angaben Ochsner (weiß), interpolierte Werte (grün) für Eingabe in Polysun

W	W10		W15		W20	
	therm. Leistung	el. Leistung	therm. Leistung	el. Leistung	therm. Leistung	el. Leistung
35	664,325	104,125	767,75	106,825	865,25	115,825
40	654,9	119,6	754,6	122,3	855,6	131,3
45	645,475	135,075	745,45	137,775	845,95	146,775
50	636,05	150,55	734,3	153,25	836,3	162,25
55	626,625	166,025	723,15	168,725	826,65	177,725
60	617,2	181,5	712	184,2	817	193,2

8.3.6 Simulationsergebnisse

Mit Hilfe der Polysun-Simulation kann das Zusammenspiel von Hybridkollektoren und Regeneration des Erdsondenspeichers abgebildet werden. Auch die Verbrauchsseite bezüglich Brauchwarmwasser und Heizwärme wird gut berücksichtigt. Nicht berücksichtigt werden die weiteren Wärmequellen wie Abwasser, Luft-Wasser-Wärmepumpe und Kühlung. Außerdem kann die gesamte Dynamik zwischen Wärmequellen (Hybridkollektoren, Abwärme, Eintrag aus Abwasser-Wärmepumpen), Wärmesenken (Warmwasser, Heizung, Netzverlusten) und dem Anergienetz, welches als großer thermischer Puffer fungiert, in dieser

vereinfachten Berechnung nicht berücksichtigt werden. Mit Hilfe der Simulationsergebnisse kann jedoch eine erste Abschätzung gemacht werden, ob eine ausgewogene Wärmebilanz erreicht werden kann, welche eine langfristige Nutzung (> 50 Jahre) des Erdsondenspeichers gewährleisten würde.

In der Simulation wurde festgelegt, dass die Sondaaustrittstemperatur 8 °C nicht unterschreiten darf. Die Erdtemperaturen können von Polysun nicht ausgegeben werden. Daher kann der Effekt der Hybridkollektoren nur an der maximalen Sondaaustrittstemperatur im Betrieb abgelesen werden.

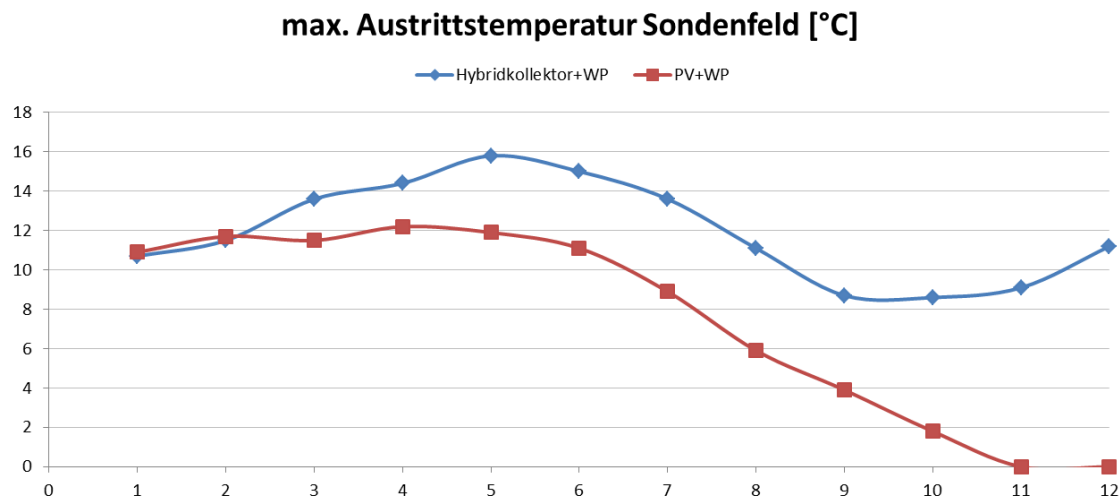


Abbildung 13: Maximale Sondaaustrittstemperatur im Betrieb - Vergleich Hybridkollektor-Variante (Blau) und reine PV-Lösung (rot)

Wie Abbildung 13 zeigt, sinkt die Sondaaustrittstemperatur beständig ab, wenn keine Regeneration stattfindet (rot). Diese Beobachtung gilt, sofern in beiden Fällen das Erdsondenfeld gleich dimensioniert wird, wie es für die Simulation angenommen wurde. Für die Sondendimensionierung wurde angenommen, dass die Energiebilanz über ein Jahr ausgeglichen ist. Bei der Analyse der Simulationsergebnisse muss das oben Erwähnte berücksichtigt werden. Tabelle 8 zeigt die Simulationsergebnisse für die wichtigsten Größen.

Der Warmwasser- (WW) und Heizwärmebedarf (HWB) sind an sich Eingabegrößen. Trotzdem kommt es bei der Anwendung interner Algorithmen zu geringen Abweichungen zwischen den verschiedenen Szenarien.

Wie erwartet liefern die Hybridkollektoren – dank Modulkühlung (vgl. Tabelle 8, Zeile 3) – einen erhöhten elektrischen Ertrag. Der Mehrertrag beläuft sich lt. Simulation auf 4 %. Zusätzlich liefern sie 17,6 GWh thermisch ins Energienetz. Dies entspricht einem spezifischen Ertrag von 587 kWh/m²a. Nach Rücksprache mit dem Kollektorhersteller wurde dieser Betrag in der Gesamtbilanz auf 450 kWh/m²a korrigiert.

Tabelle 8: Simulationsergebnisse für den Standort Wien

	PVT unabged. WP	PV WP	Gas
Ertrag elektrisch [kWh]	4.585.231,9	4.396.107,7	-
Ertrag thermisch [kWh]	17.624.774,9	-	-
Maximaltemperatur Modul [°C]	25,6	55,6	-
WW Bedarf [kWh]	14.234.136,7	14.175.927,0	15.372.089,0
HW Bedarf [kWh]	29.768.296,0	29.774.040,2	29.785.576,2
Nachheizung [kWh] Qaux	44.173.552,5	44.121.520,5	45.489.416,1
EWP Ges. [kWhel]	8.715.697,5	8.875.778,8	-
Gas [kWh] EauX	-	-	47.745.847,6
EWP abzgl. PV stündlich [kWhel] - Priorität 1	7.366.657,7	7.549.370,0	-
EPumpen [kWhel]	296.557,2	68.869,4	8.530,5
EPumpen abzgl. PV stündlich [kWhel] - Priorität 2	146.806,9	65.626,8	-
PV-Überschuss [kWhel] - stündlich	3.083.872,9	3.066.441,9	-
Solare Deckung	50%	-	-

Da der thermische Ertrag in der Simulation ausschließlich zur Sondenregeneration verwendet wird, ist die Nachheizenergie (Qaux) in allen Szenarien praktisch gleich. Die sinkenden Quelltemperaturen für die Wärmepumpe wirken sich in der Simulation interessanterweise nur wenig auf den Strombedarf (Eaux) aus. Die PV-Lösung braucht nur 2% mehr Strom als die Kombination mit Hybridkollektoren. Wird der momentan anstehende Stromertrag aus den jeweiligen Kollektoren auf Stundenbasis bilanziert, kann der Netzstrombedarf der Wärmepumpe bei der Verwendung von Hybridkollektoren um 15,5 % gesenkt werden (Priorität 1). Die Kombination mit PV bringt es auf eine Reduktion um 15 %. In einem zweiten Schritt (Priorität 2) kann der erzeugte PV-Strom für sämtliche Umwälzpumpen im System genutzt werden. Letztendlich bleiben 3,08 GWh (PVT) bzw. 3,06 GWh (PV) Strom übrig, welcher anderweitig verwendet werden kann. Eine Möglichkeit ist es, den Überschussstrom – welcher primär im Sommer anfallen wird – mit Hilfe von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Wärme umzuwandeln und so die Wärmebilanz des Anergienetzes zu verbessern. Sollten dann noch Überschüsse übrig bleiben, könnte der Haushaltsstrom abgedeckt werden. Die rechtlichen und abrechnungstechnischen Fragen im Zusammenhang mit dem Betrieb von PV- bzw. PVT-Anlagen wurden hier nicht betrachtet..

Der solare Deckungsgrad muss in dieser Systemkonfiguration etwas anders als sonst üblich betrachtet werden. Die gängigste Definition ist:

$$\frac{\text{solarer Ertrag}}{\text{solarer Ertrag} + \text{Nachheizung (Wärme)}}$$

Im vorliegenden System liefert jedoch die Solaranlage keine direkte Nutzenergie, sondern speist auf der Quellenseite der Wärmepumpe ein. Daher wurde hier folgende Definition des solaren Deckungsgrads angewandt:

solarer Ertrag
Entzugsenergie der Wärmepumpe aus dem Anergienetz

Entsprechend Tabelle 8 können also die Hybridkollektoren 50% der aus dem Anergienetz entzogenen Wärme bereitstellen. Dieser Wert basiert auf dem spezifischen Ertrag von 587 kWh/m²a. Wird der spezifische Ertrag auf 450 kWh/m²a nach unten korrigiert, ergibt sich eine solare Deckung von 38 %.

Ein direkter Vergleich der erneuerbaren Szenarien mit der reinen Gasversorgung ist nur auf Basis von ökologischen Faktoren (Primärenergie, CO₂-Äquivalent) bzw. bezüglich Wirtschaftlichkeit möglich.

8.3.7 Einfluss des Standorts

Um zu einer ersten Abschätzung zu gelangen, welchen Einfluss ein anderer Klimastandort auf das System hat, wurden die Simulationen auch für Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck durchgeführt. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass Warmwasser- und Heizwärmebedarf gleichbleiben. Gegebenenfalls muss bzw. kann also die Gebäudedämmung angepasst werden, um den gleichen Heizwärmebedarf wie in Wien zu erzielen. Außerdem wurden die Annahmen für die Erdsonden nicht verändert.

Tabelle 9: Standortvergleich inkl. prozentueller Abweichung gegenüber dem Referenzstandort Wien

	Wien	Graz	Linz	Salzburg	Innsbruck	
mittlere Außentemperatur [°C]	11,7	9,9	10	9,7	6,4	
Höhe ü. M.	179	353	266	424	574	
Einstrahlung [kWh/a]	1125	1161	1092	1052	1182	
		3,2%	-3,0%	-6,5%	5,1%	
PVT unabged. WP	PVT elektrisch [kWh]	4.585.232	4.769.666	4.467.716	4.306.788	4.923.883
			4,0%	-2,6%	-6,1%	7,4%
PVT unabged. WP	PVT thermisch [kWh]	17.624.775	18.990.105	17.954.649	18.539.459	18.521.294
			7,7%	1,9%	5,2%	5,1%
	Maximaltemperatur Modul [°C]	25,6	26,0	24,9	23,6	21,8
PV WP	PV elektrisch [kWh]	4.396.108	4.561.558	4.287.777	4.131.539	4.726.740
			3,8%	-2,5%	-6,0%	7,5%
	Maximaltemperatur Modul [°C]	55,6	58,3	61,5	55,8	55,0

Die obige Tabelle konzentriert sich auf die solaren Erträge und klimatischen Bedingungen an den jeweiligen Standorten. Wien ist zwar der wärmste Standort im Jahresmittel, jedoch ist die Einstrahlung in Graz und Innsbruck höher. Dies schlägt sich für Graz und Innsbruck in höheren thermischen und elektrischen Erträgen nieder. Der in Innsbruck deutlich erhöhte elektrische Ertrag aus der PV-Anlage ist auf die geringeren Außentemperaturen zurückzuführen, was sich auch in der maximalen Modultemperatur widerspiegelt. In Salzburg und Linz sind aufgrund der geringeren Einstrahlung Mindererträge zu erwarten. Die Herkunft der thermischen Mehrerträge in Salzburg ist nicht ganz eindeutig. Es steht zu vermuten, dass aufgrund der geringeren Außentemperatur das Erdreich als Quelle für die Wärmepumpe

stärker belastet wird und daher mehr Erträge aus den Hybridkollektoren genutzt werden können.

Fazit aus dem Standortvergleich ist Folgendes: Aufgrund unterschiedlicher Einstrahlung sind Abweichungen bei den solaren Erträgen zu erwarten (im Vergleich zu Wien). Jedoch sind die Abweichungen nicht groß genug, um das Anergienetz-Konzept grundlegend zu beeinflussen oder gar unmöglich zu machen. Vielmehr ist die gesamte Wärmebilanz ausschlaggebend. Für jeden potentiellen Standort sind die Wärmequellen und -senken gesondert zu eruieren und Gesamtwärmebilanz zu erstellen.

8.4 Luft-Wasser-Wärmepumpen

Zur Ergänzung des Konzepts mit erneuerbarer Vor-Ort-Energie werden Luft-Wasser-Wärmepumpen eingesetzt. Die Luftwärmepumpen sollen in Betrieb sein, sobald die Außentemperatur über 10°C liegt und bevorzugt mit PV-Strom betrieben werden. Diese Luft-Wasser-Wärmepumpen speisen Umweltenergie über das Anergienetz in die saisonalen Erdspeicher ein. Dadurch werden Einspeisung und Entnahme angeglichen, damit die Sondenfelder über Jahrzehnte nutzbar bleiben. So wird eine sehr hohe Arbeitszahl garantiert – die mittlere Lufttemperatur in dieser Zeit liegt bei 18°C und damit höher als bei fast allen üblicherweise verwendeten Wärmequellen. Laut Klimadatensatz aus Polysun (Datensatz für Wien) liegt die Außentemperatur in Wien an 5.017 Stunden über 10°C, womit eine hohe Volllaststundenzahl (eben von etwa 5.000) garantiert ist.

Auf den nahe am Anergienetz liegenden Blöcken (alle außer 1, 10 und 11) werden jeweils gleiche Anzahlen der Luftwärmepumpe des Typs Ochsner OLWP 65 vorgesehen. Bei Auslegung A18/W35 haben diese einen COP von 4,95.

Diese Luftwärmepumpen speisen primär das Anergienetz. Da diese jedoch vor allem im Sommer in Betrieb sind, wo der Wärmebedarf eher gering ist, wird ein großer Teil der Energie in die Erdsonden zwischengespeichert werden.

Folgender Wärmepumpentyp ist für diesen Anwendungsfall geeignet:

OCHSNER OLWP 65 plus
Auslegung L18 / W35
Vorlauftemperatur 35 °C

QH	94,0 kW
N	19,0 kW
QK	75,0 kW
COP Hzg	4,95

<i>Kondensator</i>	
Eintritt	30,0 °C
Austritt	35,0 °C
Volumen	16,2 m ³ /h

Aufgrund der Einsatzgrenzen wird eine Rücklaufemperatur-Anhebung erforderlich sein. Daher ist die Eintrittstemperatur am Kondensator mit 30 °C angegeben.

8.5 Geothermie

Die Nutzung des Erdreichs als Energiequelle und Energiespeicher ist ein wesentlicher Punkt des geplanten Energiekonzepts für das Stadterweiterungsgebiet Nordwestbahnhof. Die Nutzung geothermischer Energie kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Die für den Projektstandort generell möglichen Nutzungssysteme sind in Abb. 15 dargestellt.

8.5.1 Darstellung möglicher Nutzungssysteme

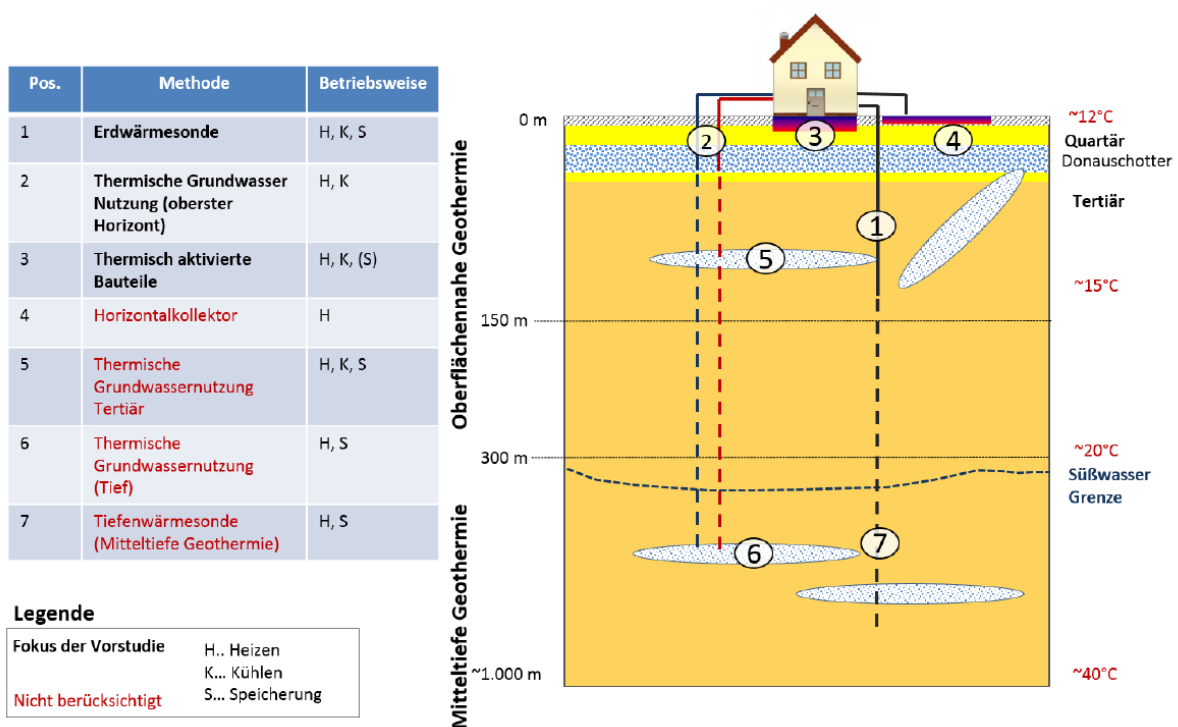


Abbildung 14: mögliche Nutzungssysteme für den Projektstandort Nordwestbahnhof, Quelle: GÖTZL, et al.2014

8.5.2 Ausgewählte Nutzungsvarianten für das gegenständliche Projekt

Im gegenständlichen Projekt werden nur die oberflächennahen Nutzungen in Form von Erdwärmesondenfeldern, welche als Speicher und Quelle für den Heizwärmebedarf als auch für die Warmwasserbereitung dienen, untersucht.

8.5.3 Überblick über die Geologie und Hydrogeologie am Projektstandort

Die Fläche der Stadt Wien besteht etwa zu einem Drittel aus Anteilen der Ostalpen (Wienerwald) und zu zwei Dritteln aus dem Wiener Becken. Der Wienerwald im westlichen Stadtgebiet beinhaltet flächenmäßig überwiegend Sandsteine und Mergel der Flysch- und Klippenzone, während die Kalkalpen (vorherrschend Kalksteine und Dolomite) nur im SW bei

Kalksburg anzutreffen sind. Östlich des Wienerwalds liegt das Wiener Becken, dessen tektonische Anlage sich vor allem im Vorhandensein großer Störungen bzw. Brüche zeigt, die das Stadtgebiet im Untergrund von NNO nach SSW durchlaufen. Von den Höhen der Schmelz, des Wiener- und Laaerberges zum Stadtzentrum hin erstreckt sich die Zone der Quartärterrassen, diese untergliedern sich in vier Aufschüttungsterrassen der Donau. Die Laaerbergterrasse wurde dabei im Mittelplozän gebildet, sie erstreckt sich über die westlichen Bezirke bis zur Donau nordwestlich des Nußdorfer Wehrs und liegt rund 90 bis 100 m über dem Mittelwasser der Donau. Die Arsenal- und Theresianumterrasse, gebildet im Oberplozän (ältere Riß-Eiszeit vor rund 200.000 Jahren), erstreckt sich über das Gelände des Arsens und der inneren Bezirke. Die Stadt- und Simmeringer Terrasse, gebildet in der Alteiszeit, bildet den eigentlichen Steilabfall zur Donau (Seehöhe 155-172 m bzw. durchschnittlich 12 – 15 m über dem Mittelwasser der Donau) und die Praterterrasse, gebildet in der Würm-Eiszeit vor rund 60.000-10.000 Jahren; Einzugsgebiet der unregulierten Donau, Seehöhe 146-161 m. Die Abbruchlinien sind im Stadtbild auch heute noch deutlich zu erkennen, etwa in der Inneren Stadt gegen den Donaukanal zu. Die Wiener Terrassenlandschaft wird in West–Ost-Richtung von Gerinnen durchschnitten, die alle in die Donau münden (PLACHY, H.).

Das Gebiet des Nordwestbahnhofs befindet sich im Bereich der Praterterrasse, welche bis in die Donauniederung reicht.

8.5.3.1 Gesteinsbestand

Hinsichtlich des Gesteinsbestands lassen sich die Sedimente des Jungtertiärs, soweit sie nicht von eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Gesteinen verdeckt sind, in zwei Ausbildungsformen erkennen: Einerseits sind typische, grobkörnige Ufer- und Randsedimente, andererseits feinkörnige Beckensedimente bekannt. Die Ufersedimente zeichnen sich durch das Vorherrschen von Kiesen, Konglomeraten und Kalken aus, während die Beckensedimente aus Feinsanden, Schluffen und Tonen bestehen. Die Schichten aus dem Jungtertiär bilden meist die Basis der Quartärschichten. Die Schichten aus dem Quartär (= Terrassenbereiche) bestehen aus fallweise mehr als 15 m mächtigen Terrassenschotterkörpern, die meist von Lößlehm bedeckt sind und mit ihrer Untergrenze auf einem oft deutlich ausgeprägten Relief der Jungtertiäroberfläche aufliegen. Die Terrassenschotter können auch sandige und schluffige Einschaltungen aufweisen, die sich jedoch nie über größere Bereiche verfolgen lassen.

8.5.4 Petrografisch-thermische Gesteinsparameter

Für eine Bemessung und Bewertung von geothermischen Nutzungsanlagen sind folgende Gesteinsparameter von Bedeutung:

- Effektive Wärmeleitfähigkeit λ [W/m/K] unter Berücksichtigung des Porenanteils und der Wassersättigung
- Effektive volumetrische Wärmekapazität c_p [J/m³/K] unter Berücksichtigung des Porenanteils und der Wassersättigung.

Von der Geologischen Bundesanstalt wurden im Zuge des Projektes WC-31, „Erdwärmepotentialerhebung Stadtgebiet Wien“, bereits thermische Gesteinsparameter für das Detailgebiet Nordwestbahnhof ausgewiesen. Basis für diese Festlegung waren einerseits die Daten des Wiener Baugrunderkennungsregisters (Bohrungen) und andererseits durchgeführte Thermal Response Tests (= direkte Messung der effektiven Wärmeleitfähigkeit von Erdwärmesonden). Aufgrund der geologischen Verhältnisse (quartäre Bedeckung, tertiärer Untergrund) wurde die Wärmeleitfähigkeit tiefengestuft. Aufgrund der geringeren Wärmeleitfähigkeit der tertiären Lockergesteine nimmt die Wärmeleitfähigkeit mit der Tiefe etwas ab. In Tabelle 10 sind die ermittelten Wärmeleitfähigkeiten zusammengestellt.

Tabelle 10: Zusammenstellung der Wärmeleitfähigkeiten über die Tiefe, Quelle: GBA

Tiefenintervall (m)	Effektive Wärmeleitfähigkeit (W/mK)
0-30	1,98
0-100	1,95
0-300	1,93

Der Parameter volumetrische Wärmekapazität ist weit weniger sensitiv als die Wärmeleitfähigkeit, auch der Schwankungsbereich ist deutlich geringer. Dieser Parameter kann mit ausreichender Genauigkeit aus Rechenanleitungen, Normen und Regelblättern entnommen werden. In Österreich steht für geothermische Anwendungen das Regelblatt des ÖWAV RB207 mit entsprechenden Tabellen zur Verfügung.

Die volumetrische Wärmekapazität wurde auf Basis dieses Regelblatts mit $c_p = 2,1 \text{ MJ/m}^3\text{K}$ für alle weiteren Berechnungen und Simulationen festgelegt.

8.5.5 Hydrogeologische Daten

Die hydrogeologischen Verhältnisse am Standort Nordwestbahnhof sind geprägt durch einen gut durchlässigen quartären Grundwasserleiter mit variabler Mächtigkeit. Aufgrund der Abdichtung zur Donau, welche im Zuge des Kraftwerks Freudenu errichtet wurde, besteht keine Verbindung zur Donau. Der Grundwasserspiegel im 2. und 20. Bezirk wird künstlich durch Pumpwerke geregelt. Die dabei eingestellte Grundwasserganglinie entspricht in etwa der natürlichen Grundwasserganglinie. Das dem quartären Grundwasserleiter unterlagernde Tertiär ist als Grundwasserstauer anzusehen. Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters beträgt am Standort Nordwestbahnhof etwa 6 bis 10 m. Die mittlere Grundwassertemperatur kann mit $12,6^\circ\text{C}$ angegeben werden.

In Abbildung 15 sind die bestehenden Grundwassernutzungen gem. Wasserbuch dargestellt (Quelle: GBA).

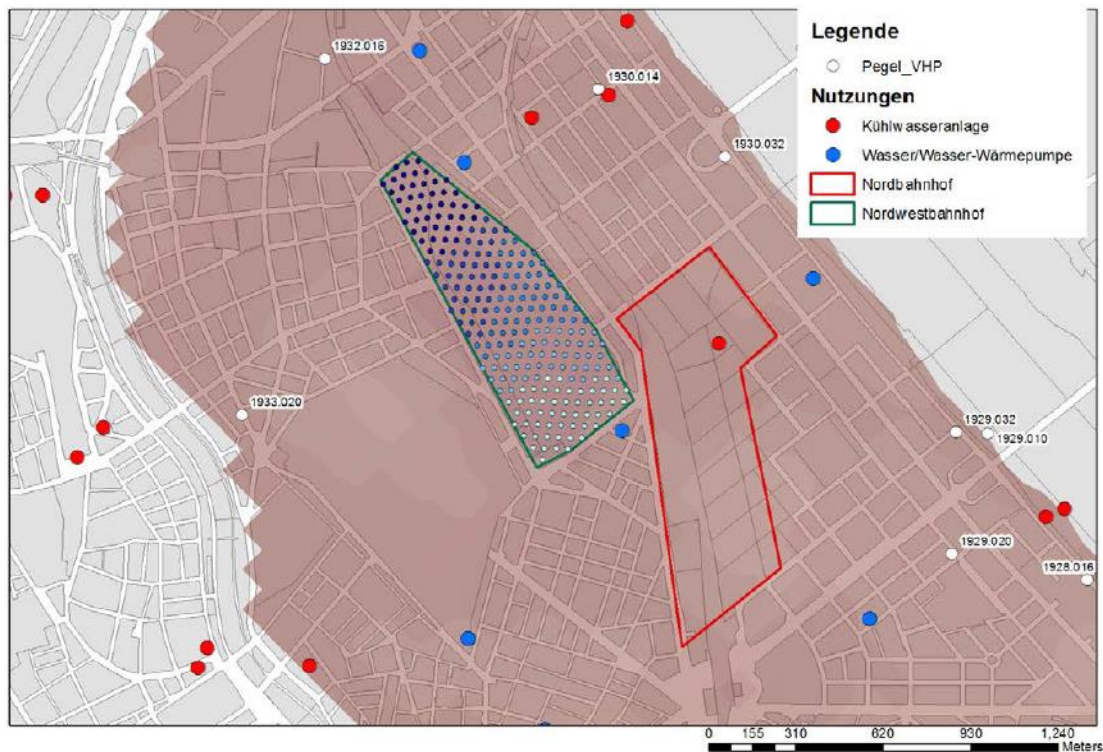


Abbildung 15: bestehende Nutzungen im Bereich Nordwestbahnhof, Quelle: GBA, 2014

8.5.6 Simulationsrechnungen zur Ermittlung des möglichen geothermischen Nutzungspotenzials

Die Ermittlung des geothermischen Nutzungspotentials mittels Erdwärmesondenfelder erfolgt auf Basis von Simulationsrechnungen.

Für die Simulation der Energieentnahme aus bzw. Rückspeisung in die einzelnen Erdwärmesondenfelder wird die Computersoftware Earth Energy Designer verwendet. Mit diesem Programm kann bei gegebenen Randbedingungen der Verlauf der mittleren Sole- bzw. Wassertemperatur in den Sonden über eine vordefinierte Zeitperiode simuliert werden. Das Programm bietet weiters die Möglichkeit der Optimierung der Anzahl und Geometrie des Sondenfelds.

8.5.7 Randbedingungen der Simulationsrechnung

8.5.7.1 Kennwerte der Erdwärmesonden

Die in den nachfolgenden Simulationsrechnungen verwendeten Erdwärmesonden werden als herkömmliche Duplex-Sonden in der Dimension DN 32 aus handelsüblichem Material PE-100 RC SDR 11 hergestellt. Der Bohrdurchmesser beträgt dabei üblicherweise 5 Zoll, die Sondenverpressung erfolgt mit thermisch unverbessertem Verfüllmaterial ($\lambda > 1,0 \text{ W/mK}$). Die Sondenlänge wird im ersten Ansatz mit 100 m und in einem weiteren Ansatz mit 150 m angenommen.

Da im gegenständlichen Energiekonzept die Sondenfelder nicht als Quelle, sondern als Energiespeicher fungieren sollen, kann der Sondenabstand entsprechend klein gewählt

werden. Gemäß BÜTTNER 1998 kann ein minimaler Radius von $R_a = 1,5$ m angenommen werden. Daraus ergibt sich ein minimaler Sondenabstand von 3 Meter.

Gebäudedaten- Flächenverfügbarkeit

Die Flächenverfügbarkeit für mögliche geothermische Nutzungen basiert auf dem geplanten Bauungskonzept der MA 20.

Um eine effiziente Nutzung der zur Verfügung stehenden Flächen zu erreichen, ist es sinnvoll, die Sondenfelder unter die geplanten Gebäude zu situieren; dies auch im Hinblick darauf, dass die Einzelsonde nach Fertigstellung nicht mehr zugänglich sein muss – sie besitzt keine zu wartenden Teile. Auch kann der entsprechende Verteiler direkt im Keller-geschoß untergebracht werden. Für eine geothermische Nutzung werden dabei die Flächen

Tabelle 11: nutzbare Fläche Geothermie und mögliche Sondenanzahl

Baufeld	Baufeldfläche gesamt (m²)	angenommene nutzbare Fläche Geothermie (m²)	Anzahl Sonden bei Abstand 3 m
1	7400	7400	822
2	12500	2117	235
3	10500	3967	441
4	17350	5037	560
5	21050	7840	871
6	11100	2429	270
7	13150	6752	750
8	10600	3426	381
9	18700	6774	753
10	11150	3629	403
11	13050	13050	1450
12	15200	1953	217
13	17300	7870	874
14	24900	12081	1342
15	21850	6526	725
16	9000	3038	338
17	9300	2932	326
18	3950	3950	439
19	7500	3925	436
20	2350	2350	261
Summe:	257900	107046	11894

der PKW-Tiefgaragen, bei Gebäuden ohne Tiefgarage die Fläche des gesamten Keller-geschoßes angenommen. Die Fläche je Sonde wird mit 3x3 m festgelegt. Daraus ergeben sich folgende geothermische Nutzflächen und mögliche Sondenanzahlen für die einzelnen Baukörper:

- Um Schäden an den Wärmepumpen zu verhindern, darf die minimale Austritts-temperatur aus der Wärmepumpe 4°C nicht unterschreiten.

Aufgrund dieser Überlegungen werden zwei Grenztemperaturen gewählt:

- 20°C maximale Mitteltemperatur des Fluids (entspricht der Mitteltemperatur aus Sondenzu- und -ablauf) in der Erdwärmesonde.
- 6°C minimale Mitteltemperatur des Fluids in der Erdwärmesonde.

Simulationszeitraum

Die sich aufgrund der Energieentnahme und -rückspeisung einstellende Temperatur des Fluids in der Erdwärmesonde soll gem. ÖWAV Regelblatt 207 im gewählten Simulationszeitraum einen neuen Gleichgewichtszustand erreichen. Dadurch wird sichergestellt, dass aufgrund der geothermischen Nutzung ein nachhaltiger Gleichgewichtszustand im Erdreich erreicht wird.

Der Simulationszeitraum in den nachfolgenden Simulationsrechnungen wird mit 50 Jahren festgelegt.

Ausgeglichene Bilanzierung

Als eine wesentliche Randbedingung für die geothermische Nutzung wird von einer ausgeglichenen Energiebilanz ausgegangen. Die für den Heizwärmebedarf und die Warmwasserbereitung entnommene Energie aus den Sondenfeldern muss über die angeschlossenen Wärmequellen wieder eingespeist werden. Die Sondenfelder stellen daher einen Energiespeicher und keine Energiequelle dar. Nur durch eine ausgeglichene Speicherbewirtschaftung ist eine nachhaltige und wirtschaftliche geothermische Nutzung möglich. Eine reine Quellenbewirtschaftung von Sondenfeldern ist für das gegenständliche Energiekonzept nicht zielführend und würde zu folgenden Problemen in Planung und Betrieb führen:

- Ein großer Abstand zwischen den Einzelsonden ist notwendig, etwa der dreifache Wert des gewählten Abstands, dadurch verringert sich die Anzahl der Sonden und somit auch das geothermische Energiepotential um etwa 90 %.
- Die Bodentemperatur im Sondenfeld sowie im umgebenden Erdreich sinkt über die Nutzungsdauer stetig ab, sodass das Sondenfeld nach der ausgelegten Nutzungsdauer stillgelegt werden muss, obwohl die technische Lebensdauer noch nicht erreicht ist.
- Aufgrund des langsamen konduktiven Energieflusses im Boden ist von sehr langen Regenerationszeiten auszugehen, diese liegen weit über der Nutzungsdauer. Es handelt sich daher nicht um ein nachhaltiges Energiesystem.

- Die Effizienz pro Quadratmeter Sondenfeld ist bei Speicherfeldern deutlich höher als bei reinen Quellenfeldern. Da die Kosten für die Sondenerrichtung für beide gleich sind, ist daher ein Speicherfeld deutlich ertragreicher.

Lastprofil

Das Lastprofil, welches die Be- und Entladezyklen der Sondenfelder beschreibt, ergibt sich aus der Energiebilanz aus Bedarf (Heizbedarf und Warmwasserbereitung) und Energiebereitstellung durch andere Energiesysteme (Solarthermie, Abwasserenergie, Luftenergie). Unter Berücksichtigung von entsprechenden Verlusten ergibt sich nachstehendes Lastprofil, siehe Abbildung 17.

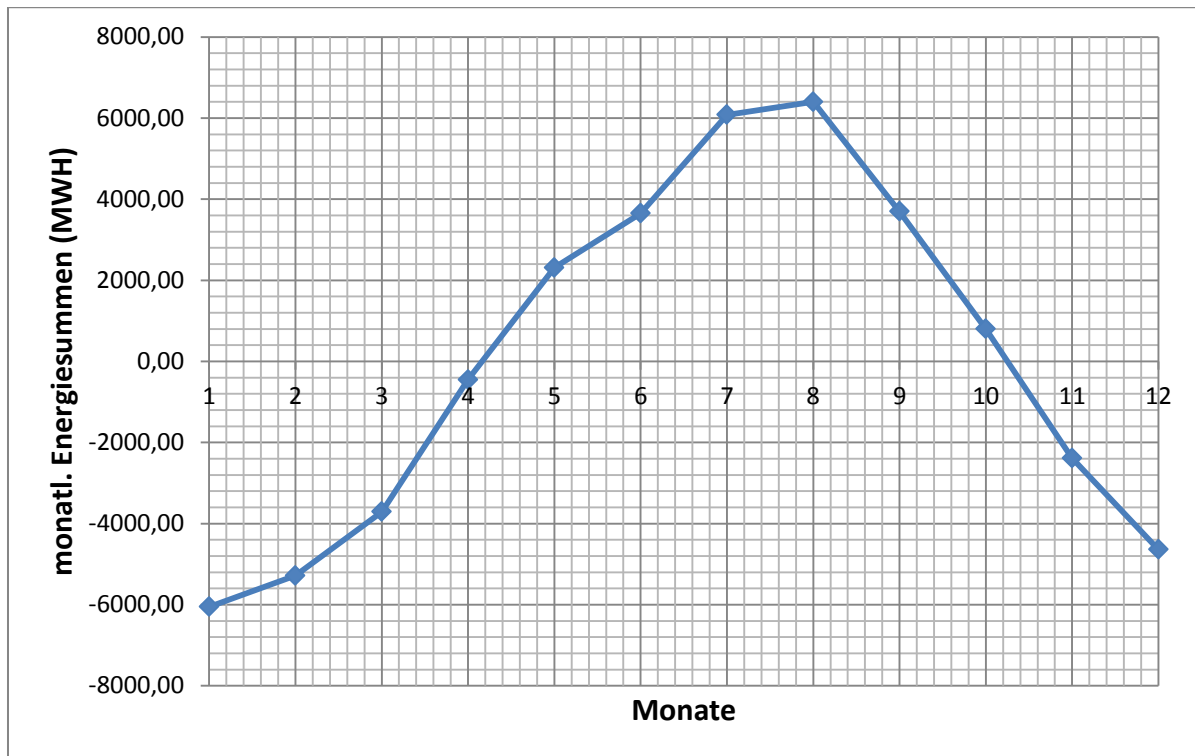


Abbildung 17: Lastprofil der geothermischen Nutzung auf Monatsbasis

Auf Basis des Lastprofils ergeben sich folgende Energiesummen:

Entzug: 22.527 MWh

Rückspeisung: 22.936 MWh

Diese Energiemengen werden den Sondenfeldern jährlich entzogen bzw. rückgeführt. Um das mögliche geothermische Potential der einzelnen Felder simulieren zu können, wird als Randbedingung der nachstehende prozentuale Verteilungsschlüssel aus Entnahme und Speicherung eingegeben, Abbildung 18.

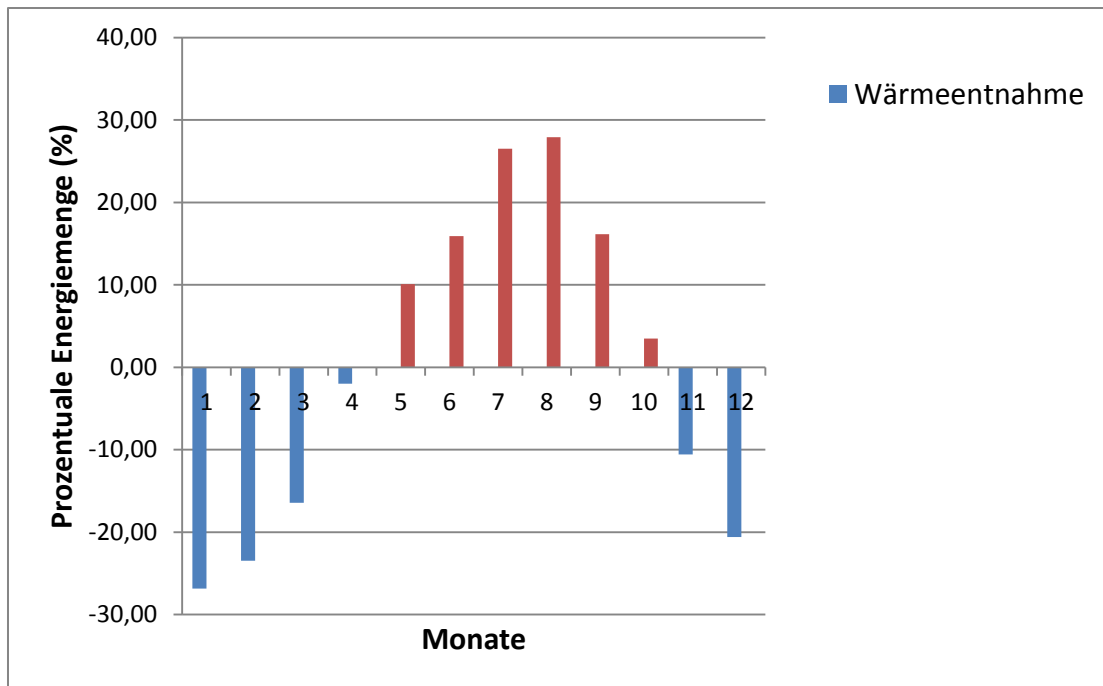


Abbildung 18: prozentualer Aufteilungsschlüssel der Energiemengen

Auf Basis dieser Eingangsdaten kann für jedes Sondenfeld die maximale Energiemenge berechnet werden, welche unter Einhaltung der Randbedingungen (Temperaturniveau des zirkulierenden Fluids) entnommen bzw. eingespeist werden kann. Dabei wird von ausgeglichenen Sondenfeldern ausgegangen, d.h. die zur Deckung des Wärmebedarfs entnommene Energiemenge wird in den Sommermonaten wieder in gleicher Höhe in die Sondenfelder eingespeichert.

8.5.8 Ergebnisse der Simulationsrechnungen

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Simulationsrechnungen für zwei unterschiedliche Sondenlängen und zwei unterschiedliche Temperaturen des Fluids zusammengestellt.

Die Tabelle enthält dabei folgende Angaben:

Baufeld	Nummer des entsprechenden Baufelds
Sondenanzahl	Anzahl der aufgrund der angenommenen geothermischen Nutzfläche ermittelten möglichen Sonden
Free Cooling	Variante Free Cooling ohne Wärmepumpenunterstützung, maximale Mitteltemperatur in der Erdwärmesonde ist dabei $T_{\max} = 18^{\circ}\text{C}$
Forcierte Kühlung	Kühlung mit Wärmepumpenunterstützung, die minimale Mitteltemperatur in der Erdwärmesonde beträgt dabei $T_{\min} = 6^{\circ}\text{C}$
Entzug/Einspeisung	Errechnete Entzugs- bzw. Einspeiseleistung
Fluid T _{min}	Minimale Mitteltemperatur in der Erdwärmesonde am Ende der Simulationszeit

Fluid Tmax

Maximale Mitteltemperatur in der Erdwärmesonde am Ende der Simulationszeit

In Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Simulationsrechnungen für alle Baufelder zusammengestellt. Die Länge jeder Einzelsonde beträgt 100m, der Abstand zwischen den Sonden beträgt 3 m.

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass der fehlende Energieanteil in Höhe von 22.527 MWh, welcher von den Erdwärmesondenfeldern geliefert werden soll, in beiden Konfigurationen deutlich erreicht bzw. überschritten wird.

In der Free-Cooling-Konfiguration können in Summe aus allen Feldern bei ausgeglichener Bilanzierung 35.220 MWh entzogen werden, in der Variante forcierte Kühlung ergeben sich sogar 51.750 MWh an Entzugsleistung, aufgeteilt auf jeweils 11.893 Einzelsonden.

Eine Deckung des fehlenden Energieanteils über Speicherfelder ist daher möglich. Die Anzahl der Sonden bzw. Sondenfelder kann an den Bedarf angepasst werden, je nach Konfiguration (Free Cooling oder forcierte Kühlung) kann die maximale Anzahl der Sonden bzw. Sondenfelder deutlich reduziert werden.

Um den fehlenden Energiebedarf in der Free-Cooling-Variante zu decken, sind die in Abbildung 22 gekennzeichneten Felder ausreichend, in Summe ergeben sich dadurch 22.980 MWh, aufgeteilt auf 7.926 Erdwärmesonden. Die Inbetriebnahme kann bei dieser Variante auch in den Wintermonaten erfolgen, die schlechteste Variante für die Sondenfelder stellt dabei die Inbetriebnahme zu Beginn der Heizperiode dar (September). Aufgrund der Wärmekapazität der Felder führt diese erste starke Energieentnahme zu keiner Unterschreitung der minimalen Fluidtemperaturen. Exemplarisch sei die Ganglinie der Fluidtemperatur über den Simulationszeitraum von Sondenfeld 14 (= Baufeld 14) dargestellt, siehe Abbildung 19.

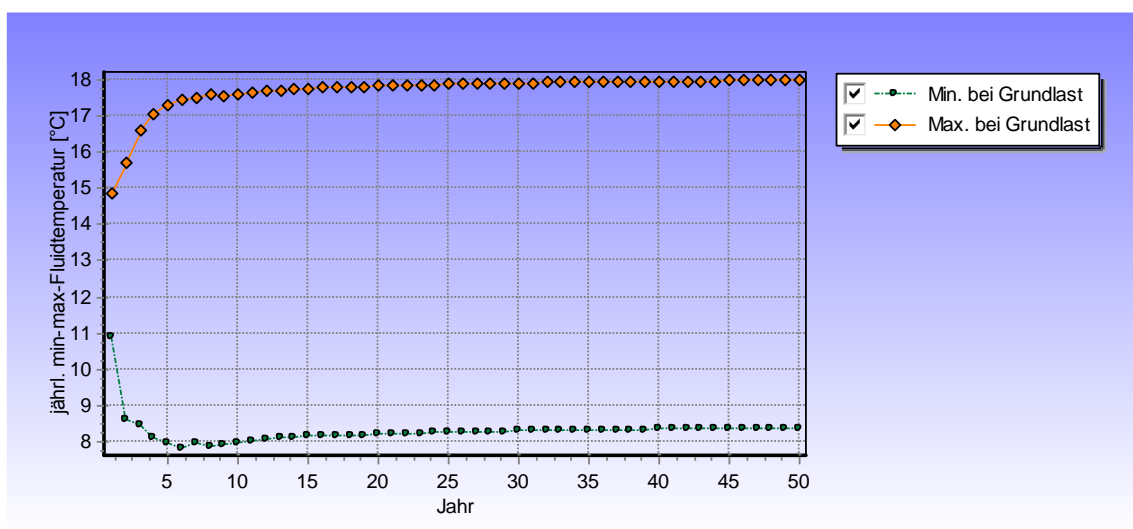


Abbildung 19: Ganglinie der Fluidtemperatur in den Sonden bei Free Cooling, Baufeld 14

Bei forcierter Kühlung sind in Summe nur 5.439 Sonden notwendig, um den fehlenden Energiebedarf zu decken. Dazu können die unter den Baufeldern 3, 4, 5, 8, 9, 12, 13 und 14 situierten Sondenfelder, verwendet werden. Aus diesen kann eine Energie von 22.660 MWh entzogen werden.

Die Felder benötigen jedoch vor dem ersten Wärmeentzug eine Wärmeeinspeicherung, um eine zu große Temperaturabsenkung bei Entzug zu vermeiden. In Abbildung 20 ist wiederum die entsprechende Ganglinie der Soletemperatur dargestellt, hier ist deutlich die Absenkung der Fluidtemperatur unter 6°C zu erkennen.

In beiden Varianten kann daher über die Variation der Sondenzahl und somit der Anzahl der Sondenfelder eine entsprechende Entzugsenergie bereitgestellt werden. Das maximal mögliche Energiepotential (Sondenfelder unter allen Baufeldern) wird nicht zur Gänze benötigt. Eine Reserve ist somit vorhanden.

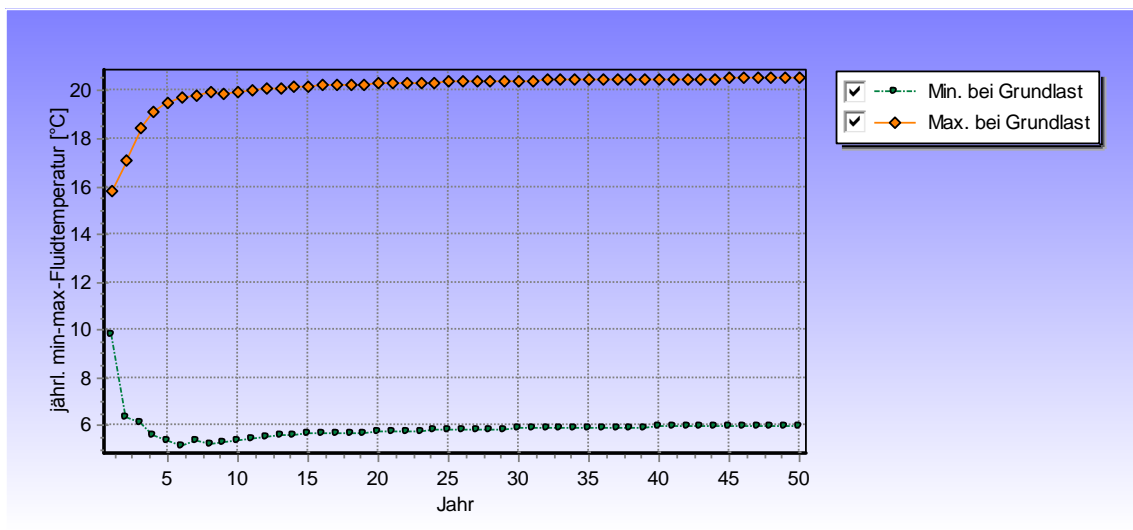


Abbildung 20: Ganglinie der Soletemperatur bei forcierter Kühlung, BF 14 ohne Einspeisung

Bei einer Einspeicherung von etwa der halben Rückspeiseenergiemenge vor der ersten Energieentnahme stellt sich eine minimale Temperatur, welche über der minimalen Soletemperatur liegt, ein, siehe Abbildung 21. Dies kann erreicht werden, wenn das Sondenfeld im August in Betrieb genommen wird und eine entsprechende Einspeisung laut Lastprofil erfolgt.

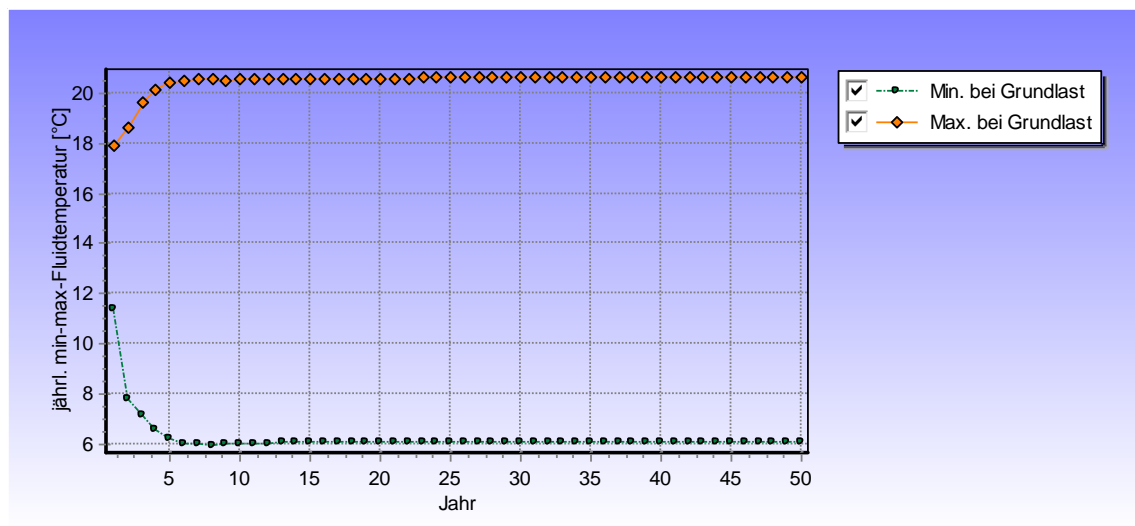


Abbildung 21: Zusammenstellung der Simulationsergebnisse für Sondenlänge L=100m, Sondenabstand R = 3m

Tabelle 12: Zusammenstellung der Simulationsergebnisse für Sondenlänge L=100m, Sondenabstand R = 3 m

Baufeld	Sonden- zahl	Free Cooling, $T_{\max} = 18\text{ °C}$			Sonden- zahl	Forcierte Kühlung, $T_{\min} = 6\text{ °C}$		
		Entzug/ Einspeisung	Fluid T_{\min}	Fluid T_{\max}		Entzug/ Einspeisung	Fluid T_{\min}	Fluid T_{\max}
		Stk.	MWh	°C		°C	Stk.	MWh
1	822	2650	8,14	18	822	3850	6	20,38
2	234	700	8,28	18,03	234	1050	6	20,63
3	441	1350	8,24	18,05	441	2000	6	20,56
4	560	1800	8,07	18,04	560	2600	6	20,38
5	871	2700	8,21	18	871	4000	6	20,49
6	270	820	8,23	18,01	270	1230	6	20,62
7	750	2400	8,16	18	750	3480	6,08	20,35
8	381	1150	8,25	18,02	381	1700	6,05	20,5
9	753	2350	8,17	18	753	3450	6	20,43
10	403	1220	8,27	18,03	403	1830	6	20,63
11	1450	4450	8,06	18,01	1450	6250	6	19,97
12	217	640	8,3	18	217	960	6	20,57
13	874	2650	8,23	18	874	3950	6	20,54
14	1342	2650	8,35	18,01	1342	4000	6	20,55
15	725	2250	8,2	18,03	725	3300	6	20,46
16	338	1000	8,28	18	338	1500	6	20,59
17	326	970	8,28	18	326	1450	6	20,56
18	439	1350	8,24	18,05	439	2000	6	20,57
19	436	1340	8,23	18,04	436	1980	6	20,52
20	261	780	8,29	18,02	261	1170	6	20,61
Summe:	11893	35220	8,22	18,00	11893	51750	6,00	20,50

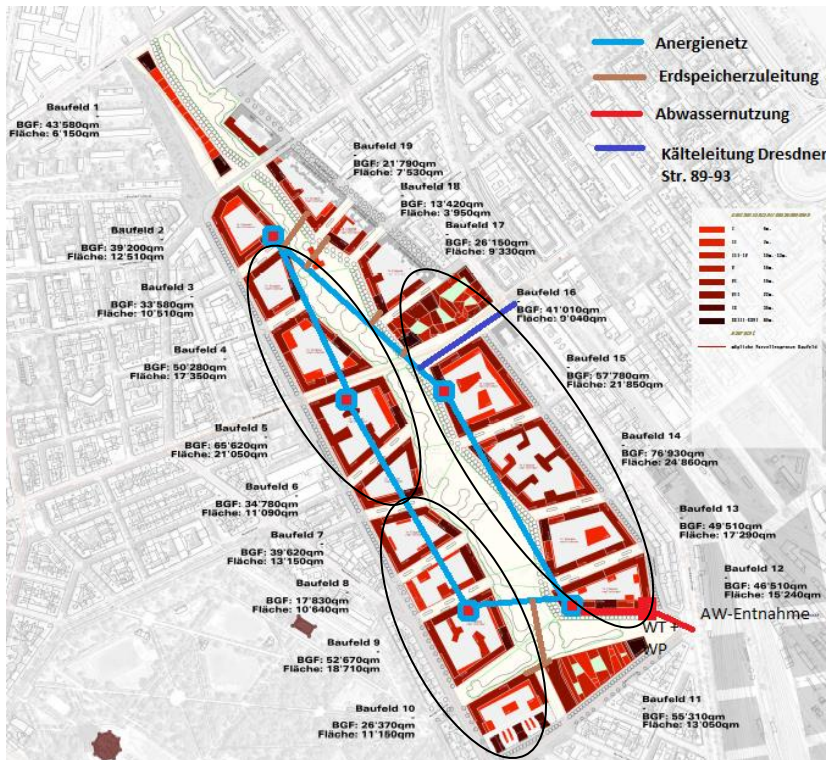


Abbildung 22: ausgewählte Baufelder für geothermische Nutzung bei Variante Free Cooling

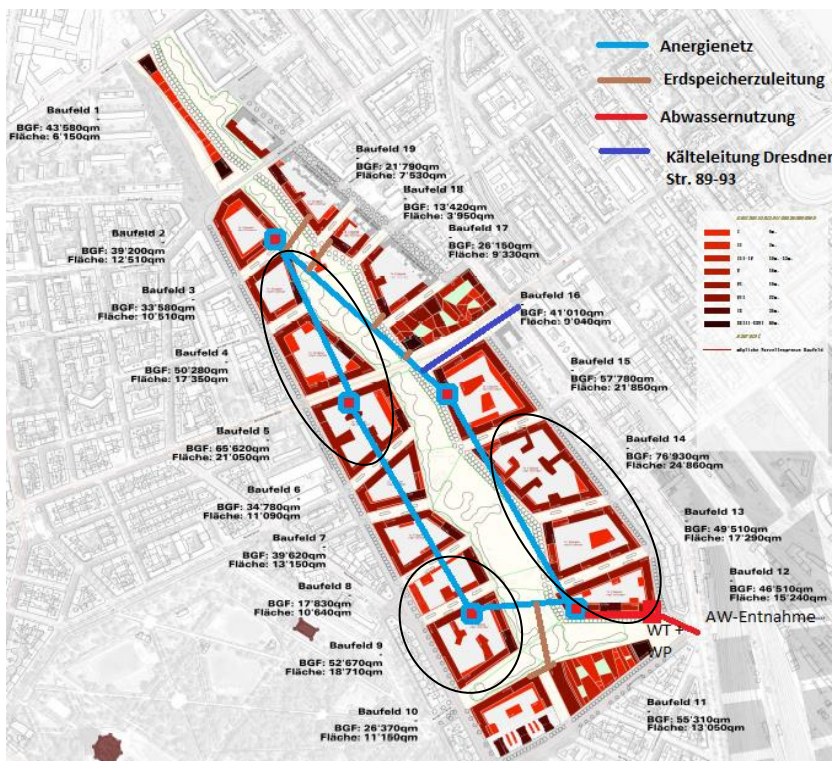


Abbildung 23: ausgewählte Baufelder für geothermische Nutzung bei Variante forcierte Kühlung

8.5.9 Computerunterstützte Modellierung der Auswirkungen der geothermischen Nutzung auf das umgebende Erdreich

Gemeinsam mit der Geologischen Bundesanstalt wurde eine geothermische Modellierung mit dem Computerprogramm FEFLOW der Firma WASY-DHI durchgeführt. Ziel dieser Modellierung war es, die Auswirkungen der geothermischen Nutzung im Bereich des Nordwestbahnhofs auf das umgebende Erdreich und den Grundwasserkörper darzustellen und in weiterer Folge eventuelle Nutzungskonflikte im Vorfeld abschätzen zu können. Nutzungen in diesem Bereich bestehen in Form von Grundwasserwärmepumpen sowie Grundwasserentnahmen für Kühlzwecke.

Modellgrundlagen

Die Simulation der Temperaturverteilung im Boden erfolgt mit dem Computerprogramm FEFLOW der Firma DHI-WASY in der Version 4.9 (WASY GmbH 2001). FEFLOW verwendet das Finite-Elemente (FE)-Verfahren zur numerischen Lösung der Wärmeleitungsgleichungen. Dazu wird über dem Modellgebiet ein FE-Netz aus homogenen Dreieckselementen generiert, um das Modellgebiet in Teilelemente zu zerlegen. Entlang der entstehenden Netz-Knoten erfolgt dann die Lösung der Wärmeleitungsgleichungen. Der Übergang in die Dreidimensionalität wird durch die senkrechte Projektion der Dreieckselemente realisiert. Dadurch entstehen Tetraeder-Elemente, deren obere und untere Begrenzung zwei Flächen bilden, die jeweils eine Schicht begrenzen. Durch horizontale und vertikale Diskretisierung kann das FE-Netz an vorgegebene Strukturen und Randbedingungen angepasst werden. Die damit zunehmende Anzahl der zu lösenden Gleichungen beeinflusst die Genauigkeit der Simulation. Allerdings sind mit steigender Netzverfeinerung auch ein höherer Rechenaufwand und damit längere Rechenzeiten verbunden. In Abbildung 24 ist das so diskretisierte Modellgebiet als dreidimensionaler Körper dargestellt, der hell dargestellte Bereich stellt dabei die Fläche des Nordwestbahnhofs dar. Hier wurde eine starke Netzverfeinerung durchgeführt, um die Genauigkeit des Modells zu erhöhen.

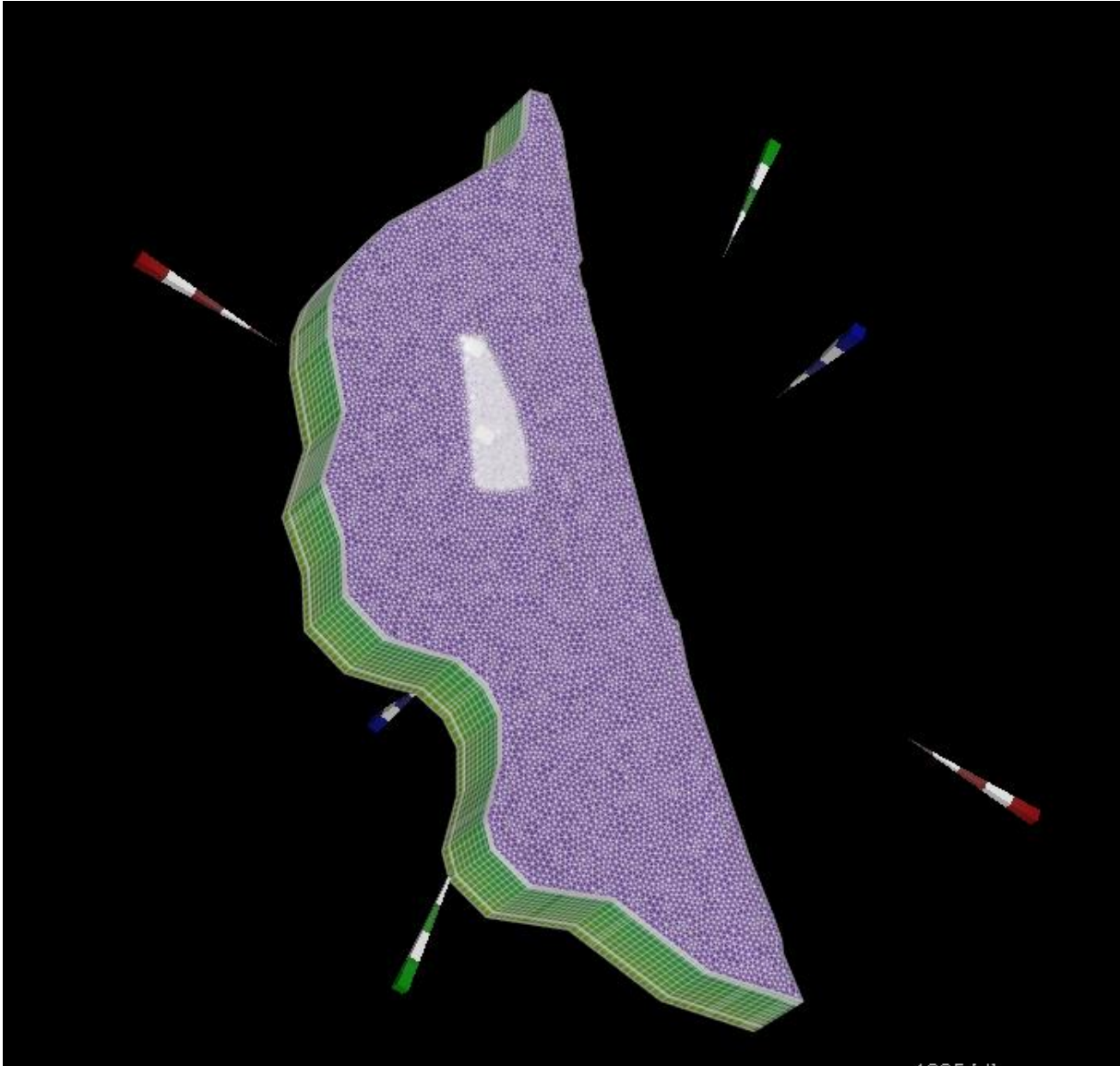


Abbildung 24: diskretisiertes Modellgebiet in dreidimensionaler Darstellung

Modellaufbau, Materialparameter und Randbedingungen

Für die Simulation wird ein vereinfachtes hydrogeologisches 3D-Modell, bestehend aus zwei Hauptschichten, verwendet. Die Erdwärmesonden werden dabei, wie in der Simulationsrechnung mittels EED, im Bereich der geplanten Tiefgaragen situiert. Aufgrund der geringen Mächtigkeit des quartären Grundwasserleiters befinden sich daher nur wenige Meter der Sonden im Grundwasserbereich, der Hauptteil befindet sich im tertiären Stauer.

Der quartäre Grundwasserleiter wird mit einer konstanten Grundwasserspiegellage beaufschlagt, das Grundwasserspiegelgefälle sowie die Fließrichtung bleiben über die Simulationsdauer unverändert (stationär).

Die thermische Leitfähigkeit wird im gesamten Modellgebiet auf 2 W/mK festgesetzt.

Das so generierte Modell umfasst das Gebiet des 2. und 20. Wiener Gemeindebezirks. Den nordöstlichen Modellrand bildet die Donau, den restlichen Modellrand bildet der Donaukanal. Die hydraulischen Randbedingungen ergeben sich aufgrund der Wasserspiegellagen beider Gewässer, bzw. der durch die Grundwasserpumpwerke eingestellten Ganglinie des Grundwasserspiegels.

Sondengeometrie und Abmessungen der Sondenfelder

Die Sondengeometrie wird etwa gleich wie bei der Simulationsrechnung mittels EED angesetzt, es handelt sich wiederum um Doppel-U-Sonden der Dimension DN 32. Als Fluid in den Sonden wird wiederum reines Wasser ohne Zusatz von Frostschutzmittel verwendet.

Zwei Sondenfelder werden am Gelände des Nordwestbahnhofs situiert. Sie bestehen jeweils aus 500 Einzelsonden mit einer Länge von je 120 m und einem Sondenabstand von 4 m (Annahmen der GBA). Die Felder sollen wie bei der vorangegangenen Simulationsrechnung als ausgeglichene Speicherfelder betrieben werden.

Lastprofil

Das Lastprofil ergibt sich hier wiederum aus der Energiebilanz aus Bedarf (Heizbedarf und Warmwasserbereitung) und Energiebereitstellung durch andere Energiesysteme (Solarthermie, Abwasserenergie, Luftenergie). Für die Modellierung wurden Wochensummen verwendet, eine ausreichende Genauigkeit des Modells ist dadurch gegeben. Das zusammengefasste Lastprofil ist in Abbildung 25 dargestellt. Die beiden Sondenfelder werden dabei mit einem Zehntel der gesamten Energiemenge beaufschlagt.

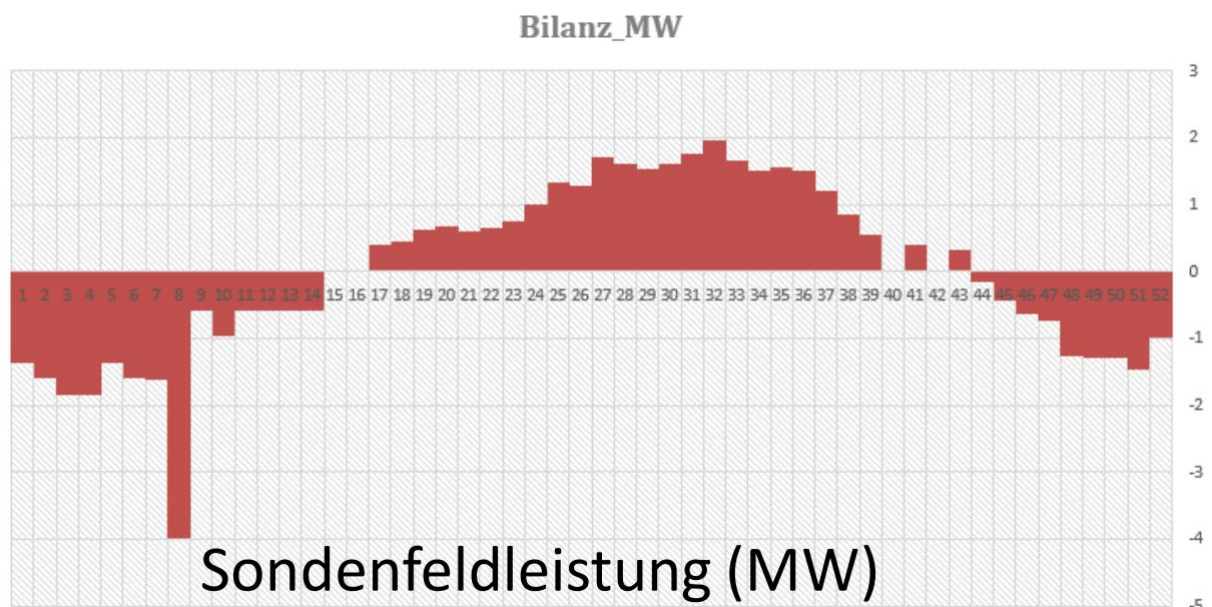


Abbildung 25: grafische Darstellung der Leistungsbilanz

Ergebnisse der thermischen Modellierung

Die Ergebnisse der thermischen Modellierung mittels Computerprogramm FEFLOW werden grafisch als Temperaturfelder am Ende des Modellierungszeitraums dargestellt. Die Temperaturfelder können dabei in der Aufsicht als auch in Profilschnitten dargestellt werden. Der Modellierungszeitraum betrug dabei drei Jahre.

In der Folge werden für die Entnahme und Rückspeisung von Wärmeenergie exemplarisch zwei Temperaturfelder in unterschiedlichen Tiefen dargestellt und erläutert.

Die Tiefenstufe 1 stellt dabei den seichten quartären Grundwasserkörper dar. Die Erdwärmesonden durchdrücken den etwa 6 bis 10 m tiefen Bereich zur Gänze und treten dann in den tiefgründigen tertiären Sedimentkörper ein.

Die Tiefenstufe 2 stellt den liegenden tertiären Untergrund dar. Dieser ist zwar weitestgehend wassergesättigt, es findet jedoch keine Wasserbewegung in Form einer Grundwasserströmung statt.

Temperaturverteilung bei Wärmeentnahme (Heizbetrieb im Winter):

- Tiefenstufe 1 (seichter tertiärer Grundwasserkörper), Abbildung 26:

Im Zuge der Wärmeentnahme kommt es zu einer Abkühlung des Erdreiches in den beiden Sondenfeldern. Das die Felder in dieser Tiefenstufe durchströmende Grundwasser wird ebenfalls abgekühlt. Dadurch bildet sich an der abstromigen Seite der Sondenfelder eine kleine Temperaturanomalie aus. Diese sich in Grundwasserflussrichtung ausbreitenden Kältefahnen sind jedoch sehr kurz, ihre Länge beträgt maximal etwa 30 m gemessen ab Austritt des Sondenfeldes. Die dabei auftretende Temperaturdifferenz zum unbeeinflussten Grundwasserkörper beträgt nur etwa 1 bis 2 °C. Aufgrund der geringen Grundwasserfließgeschwindigkeit kommt es jedoch rasch wieder zu einer Aufwärmung der kälteren Wasser auf das ursprüngliche Temperaturniveau.

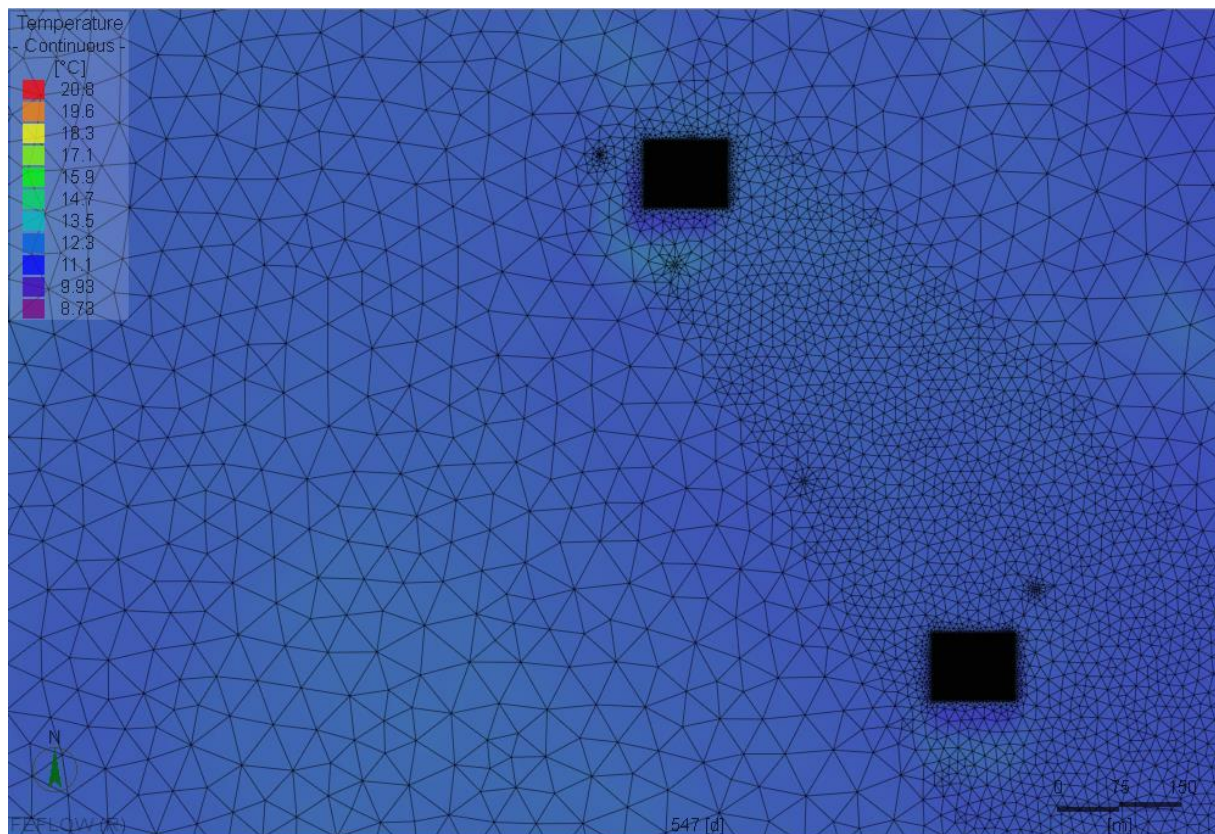


Abbildung 26: Temperaturfeld bei Wärmeentnahme (Heizbetrieb im Winter), Tiefenstufe 1

- Tiefenstufe 2 (tertiäre Sande ohne Grundwasserbewegung), Abbildung 27

In den tieferen tertiären Schichten ohne eine Beeinflussung durch strömendes Grundwasser sind nur sehr geringe Veränderungen des ungestörten Temperaturfeldes aufgrund der Energieentnahme erkennbar. Nur ein sehr schmaler Randbereich um die Sondenfelder zeigt eine leichte Beeinflussung. Die Breite dieses Bereichs beträgt jedoch nur wenige Meter.

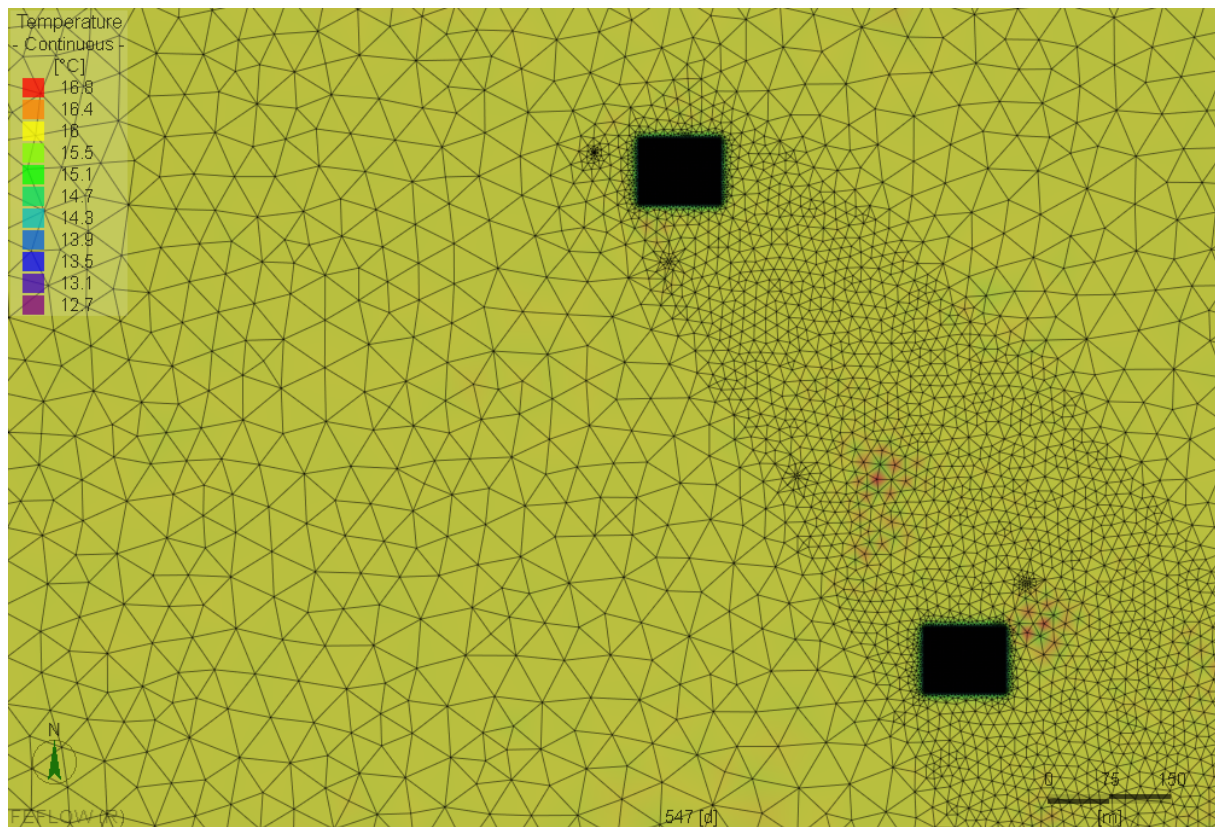


Abbildung 27: Temperaturfeld bei Wärmeentnahme (Heizbetrieb im Winter), Tiefenstufe 2

Temperaturverteilung bei Einspeisung von Wärmeenergie (Regeneration der Sondenfelder)

- Tiefenstufe 1 (seichter tertiärer Grundwasserkörper), Abbildung 28:

Bei der Einspeisung von Wärmeenergie in die Sondenfelder wird das durch die Sondenfelder strömende Wasser aufgewärmt. Die abstromig der beiden Felder austretende Wärmefahne ist gut erkennbar. Die Länge des beeinflussten Bereichs beträgt etwa 50 – 60 m, gemessen ab Austritt Sondenfeld. Die dabei auftretende Temperaturdifferenz zum ungestörten Grundwasserkörper beträgt etwa 2-3°C.

- Tiefenstufe 2 (tertiäre Sande ohne Grundwasserbewegung), Abbildung 29:

In den tieferen tertiären Schichten ohne eine Beeinflussung durch strömendes Grundwasser sind nur sehr geringe Veränderungen des ungestörten Temperaturfeldes aufgrund der Energieeinspeisung erkennbar. Nur ein sehr schmaler Randbereich um die Sondenfelder zeigt eine leichte Beeinflussung. Wie bei der Energieentnahme beträgt auch hier die Breite dieses Bereichs nur wenige Meter.

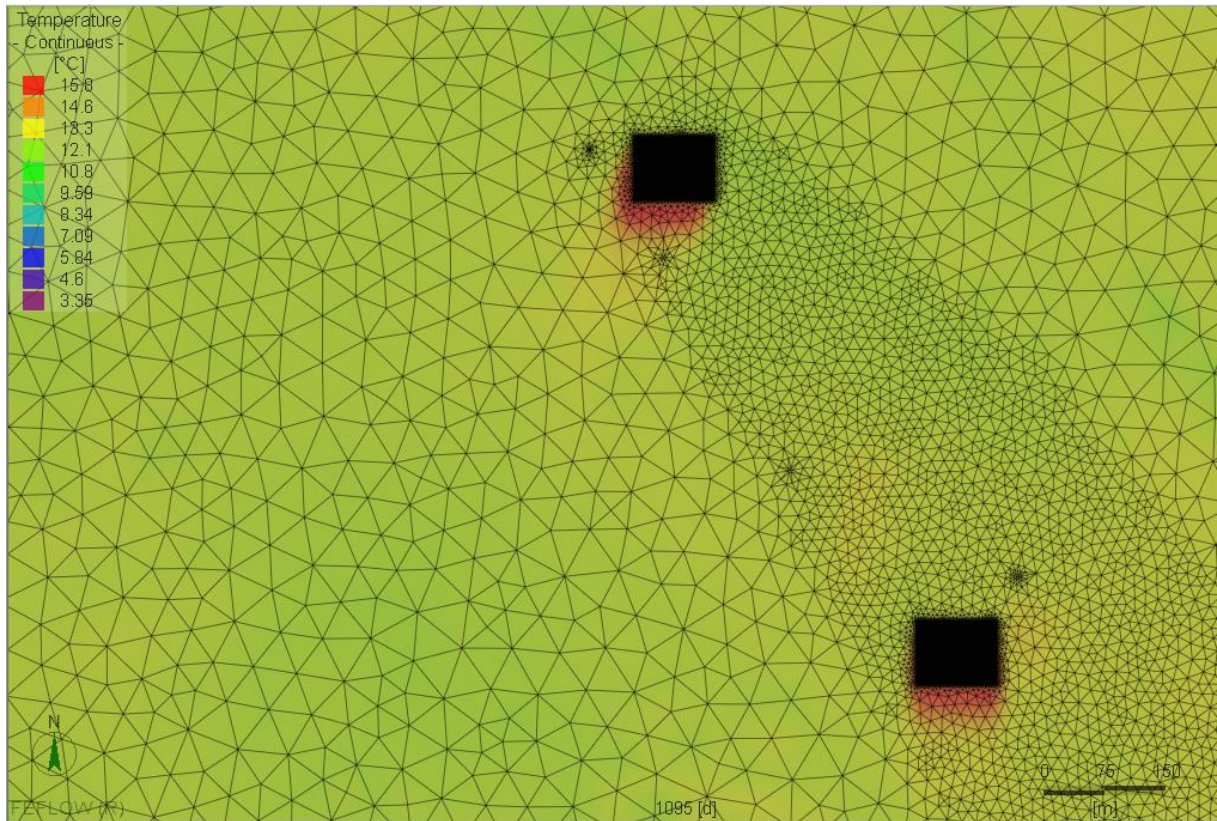


Abbildung 28: Temperaturfeld bei Wärmeeinspeisung (Regeneration im Sommer), Tiefenstufe 1

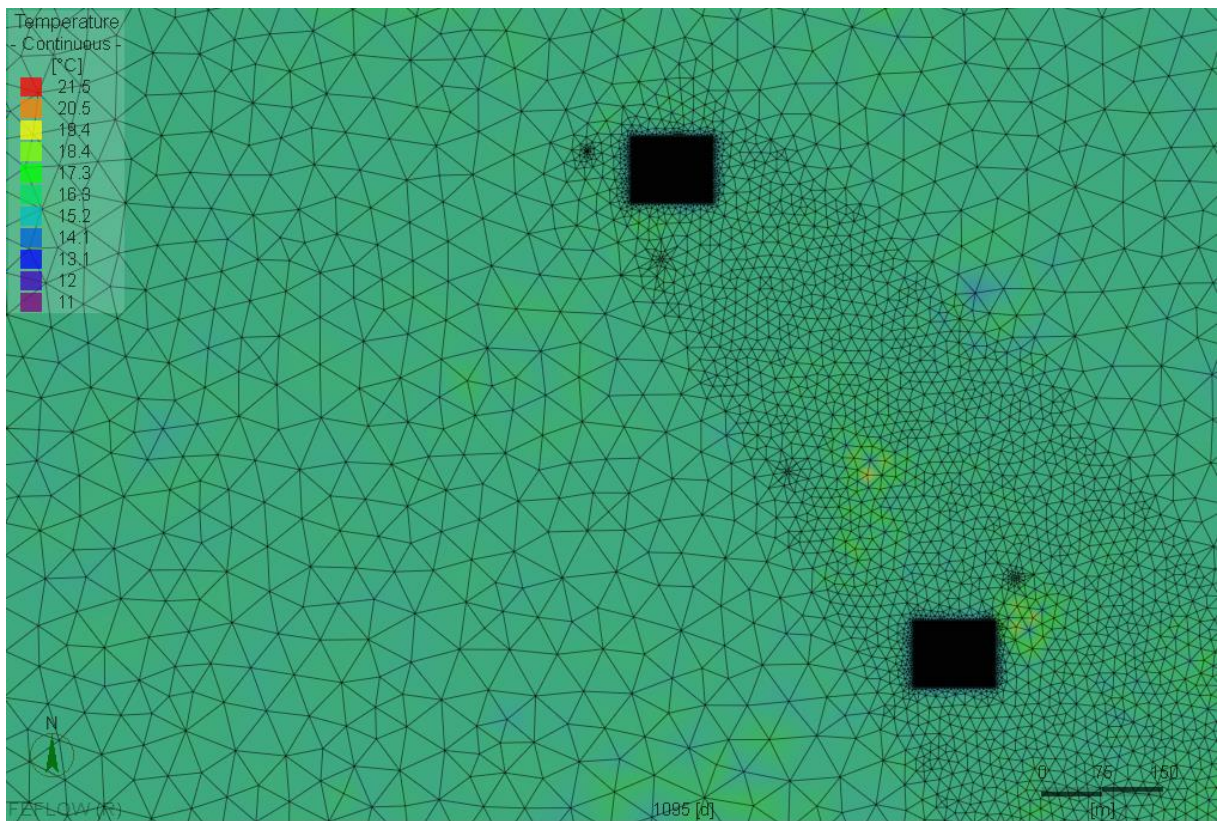


Abbildung 29: Temperaturfeld bei Wärmeeinspeisung (Regeneration im Sommer), Tiefenstufe 2

8.5.10 Zusammenfassung der Ergebnisse

Auf Basis der Ergebnisse der Simulationsrechnungen mittels des Programmes EED kann deutlich gezeigt werden, dass eine geothermische Nutzung in Form von Erdwärmesondenfeldern unter definierten Randbedingungen eine wirtschaftliche und nachhaltige Energiespeicherlösung darstellt.

Als wichtigste Randbedingung kann die ausgeglichene Energiebilanz genannt werden. Große Sondenfelder mit geringem Sondenabstand können wirtschaftlich und nachhaltig nur mit einer ausgeglichenen Energiebilanz über ihre Nutzungsdauer betrieben werden. Bei einer fehlenden oder zu geringen Regeneration sinkt aufgrund der zu geringen natürlichen Nachlieferung von Energie aus dem umgebenden Erdreich die Temperatur im Sondenfeld stark ab, und die untere Grenztemperatur bei Verwendung von reinem Wasser als Sondenfluid wird rasch erreicht. Ein Wärmeentzug ist dann nicht mehr möglich, da es zu einer Beschädigung der Wärmepumpen kommt.

Als weiterer wesentlicher Einflussfaktor kann die obere Grenztemperatur des Sondenfluids genannt werden. Sollen Free-Cooling-Systeme (ohne Wärmepumpe) in das Energiekonzept eingebunden werden, so dürfen die Systemtemperaturen nicht zu hoch werden, da sonst kein Kühleffekt mittels Free-Cooling mehr möglich ist. Die maximale mittlere Fluidtemperatur (Temperaturmittelwert von Sondenzu- und -ablauf) wurde daher auf 18°C festgelegt.

Im Vergleich zum forcierten Kühlbetrieb wird dabei jedoch nicht der gesamte mögliche Temperaturhub ausgenutzt. Bei forcierter Kühlung ist daher eine deutliche Einsparung von Sondenlaufmetern möglich, da die maximale mittlere Fluidtemperatur über 18°C liegen kann.

Weiteres Optimierungspotential kann in der Einzelsondenlänge gesehen werden. Eine Steigerung der Länge auf etwa 120m ist sicherlich möglich. Längere Sonden bedingen einen breiteren Temperaturtrichter um die Einzelsonde, was zu Überschneidungen mit den Nachbarsonden führt. Der Sondenabstand müsste daher bei längeren Sonden vergrößert werden, was wiederum zu einer geringeren Sondendichte führt.

Um die Auswirkungen der Energieentnahmen und –einspeisungen auf das umgebende Erdreich und den Grundwasserkörper darstellen zu können, erfolgte eine Finite-Element Modellierung mit Hilfe des Computerprogramms FEFLOW der Firma DHI-WASY. Diese Arbeiten wurden gemeinsam mit der Geologischen Bundesanstalt durchgeführt, welche eine Lizenz dieser Software besitzt.

Die Modellierung mittels FEFLOW zeigt nur geringe Auswirkungen der energetischen Bewirtschaftung der Sondenfelder auf das umgebende Erdreich und den quartären Grundwasserkörper. Aufgrund der moderaten Temperaturdifferenzen zur ungestörten Bodentemperatur können die thermischen Auswirkungen auf den Grundwasserkörper und auch auf das Erdreich als gering bezeichnet werden.

Die im Grundwasser entstehenden Wärme- und Kältefahnen sind aufgrund der geringen Grundwasserfließgeschwindigkeit sehr kurz, das thermisch veränderte Wasser nimmt sehr rasch wieder die ungestörte Umgebungstemperatur an. Weiters ist geplant, dass die Sonden in den Untergeschoßen der Gebäude errichtet werden. Somit wird der beeinflusste Bereich

des geringmächtigen quartären Grundwasserkörper verringert. Mit einer negativen Beeinflussung fremder Rechte in Form von Grundwassernutzungen oder Erdwärmesonden ist nicht zu rechnen.

8.6 Grundwasser

Aufgrund des Gesprächs am 13. April 2015 in der MA 20 wird Grundwassernutzung für das Nordwestbahnhof-Areal nicht weiter verfolgt, da dieses Potenzial am besten direkt bei den Grundwasserbrunnen an der Donau genutzt werden kann. Dies wird in einem anderen Projekt behandelt werden.

9 Darstellung der Varianten

Nachdem nun die einzelnen Energiequellen im Detail beschrieben wurden, werden diese zu vier unterschiedlichen Varianten zusammengefasst.

Die Referenzvariante ist die reine Beheizung mit Erdgas mit einer laut Wiener Bauordnung minimal vorzusehenden Solarthermiekollektorfläche von 1 m² pro 100 m² BGF. Anmerkung: Bei einer UVP-Pflicht ist diese Variante aufgrund einer höchstzulässigen Vor-Ort-CO₂-Emission von 140 g/kWh gar nicht möglich. Nach derzeitigem Stand wird der Eigentümer ÖBB freiwillig eine UVP durchführen, sodass es demnach nur eine hypothetische Variante wäre, die aber dennoch einen guten Vergleich zwischen fossilen und erneuerbaren Konzepten bietet.

9.1 Überblick nach Energiequelle/Systemkomponente

Abwasserenergie:

Die Abwasserenergienutzung unterscheidet sich bei den vier erneuerbaren Varianten nicht.

- 1.) Solarenergie vs. Luftwärmepumpen:

Solarenergie:

Die 30.000 m² verfügbare Solarfläche werden entweder mit PV- oder mit PVT-Kollektoren genutzt.

Luftwärmepumpen:

Bei Varianten mit PVT-Nutzung ist pro Block eine Luft-WP nötig, ausgenommen die Blöcke 1, 10 und 11, da sich diese weit entfernt vom Anergienetz befinden. Bei Varianten mit PV-Nutzung werden im Mittel 2 bis 3 Luft-WP pro Block (wieder ohne 1, 10 und 11) benötigt.

- 1.) Gaskessel vs. größer ausgelegte Wärmepumpen, Speicher und Leitungen

Gaskessel:

Gaskessel werden als Ergänzungen der Wärmepumpen in den Heizzentralen eingesetzt, wenn diese nicht auf Normaußentemperatur ausgelegt sind. Sie wirken sich auch auf die Dimensionierung des Erdspeichers und der Anergienetzleitungen (mindernd) aus.

Erdspeicher/Wärmepumpen in den Heizzentralen/Anergienetzleitungen:

Die Auslegung erfolgt bei Varianten mit Gaskessel auf 0°C Außentemperatur, bei Varianten ohne Gaskessel auf -12°C Außentemperatur.

9.2 Überblick nach Varianten

Im Folgenden werden die Unterscheidungsmerkmale sowie die energetischen, ökologischen und ökonomischen Bilanzen der vier erneuerbaren Varianten und der fossilen Referenzvariante dargestellt.

1. Variante (PVT)

PVT + 1 Luft-WP pro Block (außer 1, 10, 11) + Dimensionierung des Anergienetzes, der Speicher und der Wärmepumpen auf -12°C Normaußentemperatur + Abwasserenergie.

2. Variante (PV)

PV + 2 bis 3 Luft-WP pro Block (außer 1, 10, 11) (im Mittel) + Dimensionierung des Anergienetzes, der Speicher und der Wärmepumpen auf -12°C Normaußentemperatur + Abwasserenergie.

3. Variante (PVT+Gas)

PVT + 1 Luft-WP pro Block (außer 1, 10, 11) + Dimensionierung des Anergienetzes, der Speicher und der Wärmepumpen auf 0°C Außentemperatur + Gaskessel zur Spitzenabdeckung + Abwasserenergie.

4. Variante (PV + Gas)

PV + 2 bis 3 Luft-WP pro Block (außer 1, 10, 11) (im Mittel) + Dimensionierung des Anergienetzes, der Speicher und der Wärmepumpen auf 0°C Außentemperatur + Gaskessel zur Spitzenabdeckung + Abwasserenergie.

5. Variante (Gas + ST lt. BO)

Die Referenzvariante bildet eine Beheizung mit Erdgas, wobei hier die wahrscheinlichste Variante eine Heizzentrale pro Block ist. Laut Aussage von Wien Energie wären die benötigten Heizlasten sonst zu groß.

Tabelle 13: Energiebilanz in den fünf Varianten; jährliche Energiemengen

Energiebilanz Heizzentralen in MWh/a	PVT	PV	PVT+Gas	PV+Gas	Gas (+ST lt. BO)
Heizung	30.694	30.694	30.694	30.694	30.694
Warmwasser	14.948	14.948	14.948	14.948	14.948
Wärmeverluste	3.069	3.069	3.069	3.069	3.069
Summe	48.711	48.711	48.711	48.711	48.711
Kälte	3.100	3.100	3.100	3.100	
Strom für Kälte	1.550	1.550	1.550	1.550	
PVT thermisch/ST	13.500	-	13.500	-	2.250
Abwasser	11.851	11.851	11.851	11.851	
Strom für Abwasser-WP	2.047	2.047	2.047	2.047	
Luft	6.234	16.862	5.009	15.637	
Strom für Luft-WP	1.685	4.557	1.354	4.226	
Strom für Anergienetz-WP	8.744	8.744	7.900	7.900	
Wärme aus Erdgas	-		2.400	2.400	46.461
Summe	48.711	48.711	48.711	48.711	48.711

Überblickshalber wird noch einmal die Herkunft der angegebenen Werte dargestellt:

- Die Werte für Heizung und Warmwasser wurden mit den Flächenangaben aus dem städtebaulichen Leitbild für den Nordwestbahnhof, multipliziert mit den spezifischen Energieverbrauchskennzahlen von Wien Energie, gewonnen.
- Die Wärmeverluste beim Warmwasser sind bereits enthalten. Für Heizung wurde ein Anteil von 10% angenommen.
- Die Abwärme aus Kälteprozessen besteht aus zwei Anteilen:
 - 2 GWh/a direkt auf dem Nordwestbahnhof (Annahme in Abstimmung mit Wien Energie)
 - 1,1 GWh/a ist das Potenzial eines nahe gelegenen Bürogebäudes in der Dresdner Straße, das theoretisch eingebunden werden kann.
- Für die Kälteanlagen wurde eine JAZ von 3 angenommen, sodass der Stromverbrauch halb so hoch ist wie die abgeführte Kältemenge.
- Der thermische Ertrag aus den PVT-Kollektoren beträgt laut konservativer Annahme 450 kWh/m²a. 30.000 m² stehen laut Analyse der Dachflächen inkl. Berücksichtigung anderer Nutzungen für Solaranlagen zur Verfügung. Bei Variante 5 wurde 1% der geplanten Wohnfläche (also 5.000 m²) eingesetzt.
- Die Wärmeentnahmemenge aus dem Abwasserkanal unter der Nordbahnstraße ergibt sich aus den Annahmen zu Durchflussmengen und Temperatur und der ganzjährigen Abkühlung auf 6°C.

- Die JAZ der Abwasser-WP (Einspeisung ins Anergienetz) ergibt sich aus den Temperaturniveaus von Abwasser und Anergienetz.
- Die Außenluft stellt jenen Beitrag dar, der dafür sorgt, dass die Energiebilanz letztlich ausgeglichen ist.
- Der Strombedarf für die Außenluft-Wärmepumpen ergibt sich aus deren JAZ, wobei angenommen wurde, dass die Luft-WP nur laufen, wenn die Außentemperatur 10°C übersteigt. Damit beträgt die Mitteltemperatur 18°C und es ist eine hohe JAZ erreichbar.
- Der Strom für die Anergienetz-WP beinhaltet sowohl die Heizungswärmepumpen in den Heizzentralen als auch die Warmwasserwärmepumpen (zwei pro Block). Der Wert ergibt sich aus den benötigten Energiemengen (blaue Zeilen) und den Temperaturniveaus von Anergienetz einerseits und Heizungs- sowie Warmwasserkreislauf andererseits.
- Wärme aus Erdgas: Bei Varianten 3 und 4 liefert Erdgas jene Wärmemenge, die notwendig ist, um den Heizbedarf, der durch das Absinken der Außentemperatur unter 0°C notwendig wird, zu liefern, wobei unter 0°C die Wärmepumpen nicht abschalten, sondern mit jener Leistung weiterlaufen, die sie auch bei 0°C haben (bivalenter Betrieb). Dazu wurde das Temperaturprofil von Wien (Klimamittel 1971 – 2000) zu Grunde gelegt. Bei Variante 5 muss Erdgas jene Wärmemenge liefern, die nicht von den laut Bauordnung zu errichtenden Solarthermiekollektoren bereitgestellt wird.

Strombilanz

- Stromverbrauch Wohngebäude: 17.031 MWh/a
- Stromverbrauch Nichtwohngebäude: 21.676 MWh/a
- Stromverbrauch Wärmepumpen: 14.113 MWh/a
- Stromproduktion PVT (2 der 4 Varianten): 4.587 MWh/a
- Defizit: 48.233 MWh/a

Fazit: Der Wärme und Kältebedarf ist größtenteils (abgesehen vom elektrischen Strom für die Wärmepumpe) mit Vor-Ort-Erneuerbaren zu decken, der Strombedarf jedoch nur zu einem geringen Anteil.

Umweltbilanz

In der Umweltbilanz wurden die Emissionen laut OIB 6 (2015) ohne Vorketten berechnet, die sich aus den Verbräuchen von Strom und Erdgas ergeben. Es zeigt sich, dass die vier

erneuerbaren Varianten deutlich geringere Werte bei der Primärenergie (PE) aufweisen als die Referenzvariante mit Erdgas und einem Mindestmaß an Solarthermie.

Die Variante 1 (PVT) liegt bei allen Parametern am niedrigsten.

Somit können durch Umsetzung eines innovativen Energiekonzeptes ca. 10.000 t Treibhausgasemissionen pro Jahr eingespart werden, d.h. in etwa 1t/a pro Person (Wohnbevölkerung).

Tabelle 14: Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch (gesamt und nicht erneuerbar ohne Vorketten für die fünf Varianten des Energiekonzeptes für den Nordwestbahnhof

	PVT	PV	PVT+Gas	PV+Gas	Gas
PE gesamt MWh/a	26.789	32.276	27.969	33.456	66.292
PE nicht erneuerbar MWh/a	18.514	22.306	20.358	24.150	65.725
CO2 in t/a	3.871	4.664	4.238	5.030	13.372

10 Kosten

Es werden alle Kosten betrachtet, die für das Energiesystem bis inkl. zu den 5 Heizzentralen anfallen.

Tabelle 15: Investitionskosten für die Komponenten der Energieversorgung auf dem Nordwestbahnhof

Komponente	PVT	PV	PVT+Gas	PV+Gas	Gas+ST lt. WBO
PVT-Module, Installation, Montage, Verkabelung, Wärmeleitungen, V	16.000.000		16.000.000		
PV-Module, Installation, Montage, Verkabelung, Wechselrichter		10.300.000		10.300.000	
Wärmepumpen für Anergienetz ins Gebäudeverteilnetz	3.796.000	3.796.000	1.703.000	1.703.000	
Luftwärmepumpen zur Regenerierung Erdreich im Sommer	707.200	1.872.000	582.400	1.705.600	
Pufferspeicher Heizzentralen	200.000	200.000	200.000	200.000	
Warmwasserwärmepumpen (pro Block zwei; Quelle Heiznetz)	2.184.000	2.184.000	2.184.000	2.184.000	
Warmwasserpufferspeicher (pro Block zwei)	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000
Kanalschließung (Baumeisterarbeiten)	200.000	200.000	200.000	200.000	
Schachtsiebanlage	200.000	200.000	200.000	200.000	
Abwasserwärmetauscher	1.044.000	1.044.000	1.044.000	1.044.000	
Wärmepumpe für Abwasserwärmetauscher ins Anergienetz	448.500	448.500	448.500	448.500	
Erdsonden	14.000.000	14.000.000	14.000.000	14.000.000	
Gaskessel Alleinversorgung					4.097.561
Gaskessel Spitzenabdeckung unter 0°C			2.560.976	2.560.976	
Abgassystem (Rauchfang)			1.400.000	1.400.000	1.400.000
Gasleitungen 20x80 Meter			1.280.000	1.280.000	1.280.000
Solarthermie bei Gas					1.600.000
Anergienetzleitungen	2.600.000	2.600.000	2.600.000	2.600.000	
Leitungen zwischen WPs und Stiegen	1.200.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000	
Leitungen zwischen Gaskessel und Stiegen					1.200.000
Verteilerbalken Erdsonden	350.000	350.000	350.000	350.000	
Regelung Anergienetz/ Gesamtsystem	2.393.985	2.167.225	2.545.144	2.316.304	610.128
Platzbedarf mit Anergienetz - WP, Speicher, Rohre (ca. 1.500.-/m ²)	2.250.000	2.250.000	2.250.000	2.250.000	
Platzbedarf mit Gas (ca. 1.500.-/m ²)					1.125.000
Platzbedarf für WW-Speicher bei Gas					1.200.000
Platzbedarf für WW-Zentralen bei Anergienetz	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	
Summe	50.273.685	45.511.725	53.448.019	48.642.379	12.812.689
Annuität	4.948.004	5.103.007	5.190.711	5.341.185	4.366.918

In der Annuität sind Anschaffungskosten, Reparatur und Wartung (nach VDI 2067) sowie die Energiekosten enthalten. Es wurde ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren angesetzt. Die Lebensdauern stammen ebenfalls aus der VDI 2067.

- Zwar ist die Variante mit Erdgas in diesem Vergleich die günstigste. Würden aber z.B. nur die Hälfte der Kosten der PVT-Kollektoren (also ca. 8 Mio. €) gefördert, wäre die Variante „PVT“ bereits die wirtschaftlichste.
- Aufgrund der unsicheren Weiterentwicklung der Energieträgerpreise ist diese Variante sicher gegenüber Erdgas zu bevorzugen.

Sieht man sich die Energiekosten allein an, ergibt sich ein völlig anderes Bild:

- Je weniger der Energie durch Erdgas bereitgestellt wird, desto geringer sind die laufenden Energiekosten
- Die niedrigsten Energiekosten weist die Variante mit PVT-Kollektoren ohne Erdgaszusatzheizung auf.

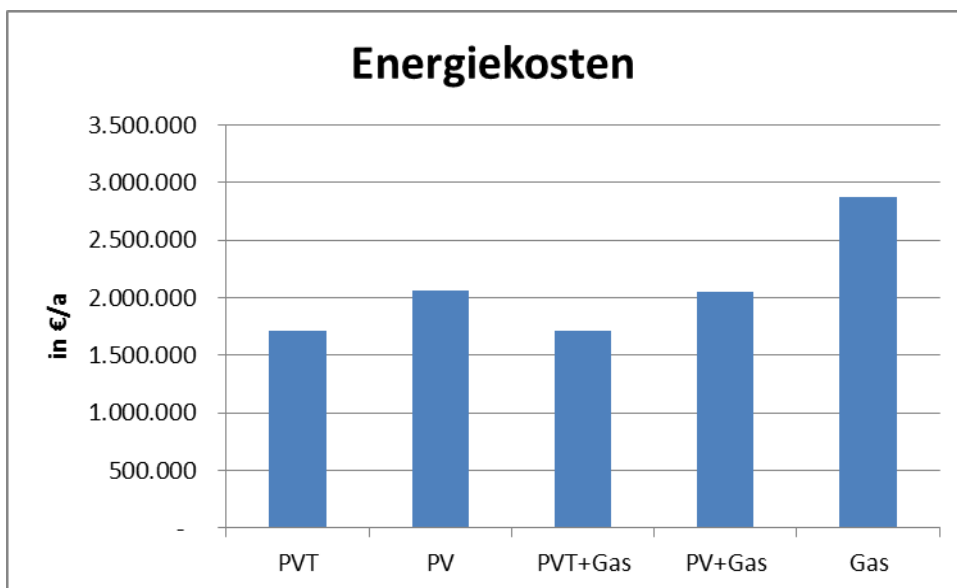


Abbildung 30: Jährliche Energiekosten (Gas/Strom): 48€/MWh und Strom: 121 €/MWh

11 Schlussfolgerungen

Im Rahmen der Durchführung des Projekts konnten zum einen internationale Erfahrungen mit innovativen Energiekonzepten, die auf Nahwärmenetzen beruhen und erneuerbare Energien nutzen, gesammelt bzw. im Projektdesign berücksichtigt werden. Die Kontakte, die geknüpft wurden, bestehen auch noch nach der Projektdurchführung und können so dazu beitragen, dass Projekte zu Anergienetzen in urbanen Planungsgebieten ausgelöst werden.

Das Projekt liefert die Erkenntnis, dass ein urbanes Stadtentwicklungsgebiet ohne fossile Brennstoffe und damit ohne Schadstoffemissionen vor Ort mit Heizenergie, Kühlenergie und Brauchwarmwasser versorgt werden kann. Die Mehrkosten gegenüber einer Gasversorgung sind, insbesondere vor dem Hintergrund, dass es sich um ein erstes derartiges Projekt in Österreich handelt, moderat. Noch zu berücksichtigen ist, dass bei entsprechendem Kältebedarf im Versorgungsgebiet die bei Gasversorgung erforderlichen Kälteaggregate von den Investitionskosten gegengerechnet werden können, da die eingesetzten Wärmepumpen auch die erforderliche Kühlenergie bereitstellen. Bei den jährlichen Betriebskosten schneidet das Konzept „Anergienetz“ schon auch bei den derzeitigen Energiekosten für Gas und Strom am besten ab. Unterstellt man, dass mittelfristig fossile Energieträger stärker im Preis steigen als Strom aus erneuerbaren Quellen, wird die jährliche Betriebskostensparnis noch deutlicher ausfallen. Kann für das Laden der Erdspeicher mit den Luft-Wasser-Wärmepumpen kostenloser/kostengünstiger Überschuss-Strom eingesetzt werden, kommt diese deutlichere Betriebskostensparnis sofort zum Tragen.

Das komplexe Zusammenspiel verschiedener Energiequellen und -senken wurde detailliert bearbeitet und liefert Erkenntnisse für die weitere Bearbeitung und das Vorantreiben des Themas „Anergienetz“.

Das Projektteam wird mit den zuständigen Stellen der Stadt weiterhin an einer Umsetzung innovativer Energiekonzepte mit möglichst hohem Anteil an lokal verfügbaren erneuerbaren Energieträgern zusammenarbeiten. Derzeit läuft diese Kooperation über die genauere Untersuchung der Kanalabflussdaten weiter und wird sich – speziell für den Nordwestbahnhof – in etwa einem Jahr weiter konkretisieren, wenn mit neuen Planungsdetails für die Bebauung und Nutzung zu rechnen ist.

Das Marktpotenzial für derartige Energiekonzepte ist in Zeiten steigender Bevölkerungszahlen im urbanen Raum besonders hoch. Im Prinzip ist jedes Neubaugebiet dafür geeignet, besonders jene mit ausgeglichener Wärmebilanz über das Jahr. Eine untere Grenze für die Größe des Gebiets lässt sich nicht genau definieren, sondern ist eine wirtschaftliche Entscheidung. Diese orientiert sich wiederum ganz stark an den gewährten Förderungen. In Zukunft ist damit zu rechnen (und es gibt auch schon erste Signale), dass speziell solche Konzepte eine hohe politische Unterstützung und damit auch Förderung erhalten.

12 Ausblick und Empfehlungen

Die relevanten Stakeholder in Wien sind gegenüber den Konzeptvarianten, die in diesem Projekt erarbeitet wurden, sehr aufgeschlossen. Es besteht Interesse die Arbeiten fortzuführen, sobald die Planung (Flächenwidmung) für das Gebiet des Nordwestbahnhofs definiert ist. Durch das abgeschlossene Projekt konnte sichergestellt werden, dass im weiteren Planungsprozess sowohl von Seiten der Stadt als auch von Seiten des Grundeigentümers ÖBB neuartige Energiekonzepte favorisiert werden, die sich auf die vor Ort verfügbaren, erneuerbaren Energiequellen stützen. Mit einem Folgeprojekt könnte dieser Prozess weiter begleitet werden, indem die Detailplanung unterstützt wird. Tätigkeiten, die in einem Sondierungsprojekt wie diesem nicht durchgeführt werden können wie z.B. detaillierte Leitungsplanung, Vorbereitung von Ausschreibungsunterlagen (energiebezogene Anforderungen) etc. könnten in einem Demonstrationsprojekt unterstützt werden. Als Zeitraum für die Durchführung eines solchen Vorhabens scheint Ende 2017 bis 2019 in Frage zu kommen.

Das hier vorliegende Konzept für die Wärme- und Kälteversorgung des Stadtentwicklungsgebiets Nordwestbahnhof ohne fossile Brennstoffe hat großes Potential zur Realisierung als Demonstrationsobjekt. Dies deshalb, da die jährlichen Energiekosten dabei relativ niedrig sind. Die Realisierung würde die Chance bieten, in Österreich entsprechende (wissenschaftliche) Erfahrungen mit dem System Anergienetz, Saisonspeicher, Wärmepumpen und Hybridkollektoren sammeln zu können, mögliche Kostensenkungspotenziale zu identifizieren und damit Initialzündung für weitere Stadtentwicklungsgebiete zu sein. Dies insbesondere dann, wenn die Realisierung entsprechend wissenschaftlich begleitet wird und mittels Monitoring über mehrere Jahre die tatsächlichen Betriebserfahrungen ausgewertet und verbreitet werden. Nachdem gerade, aber nicht nur, im urbanen Gebiet Schadstoffemissionen weitestgehend vermieden werden sollen, bietet sich dieses umweltfreundliche Konzept „Anergienetz in Verbindung mit solarunterstützter Wärmeerzeugung“ geradezu für die Realisierung und weitere Optimierung an. Die Risiken bei der Realisierung als Demonstrationsobjekt sind - fundierte Detailplanung vorausgesetzt – gering, und es können auch weitere Erkenntnisse der Hochschule Luzern und anderer mit dem Betrieb der Anergienetze Suurstoffi u.a. einfließen, um das jetzt vorliegende Konzept in der Detailplanung zu optimieren. Die Chancen, mit diesem Demonstrationsprojekt ein Leuchtturmprojekt für emissionsfreie Energieversorgung eines Stadtteils zu schaffen, welches über Österreich hinausstrahlt, sind sehr hoch.

13 Verzeichnisse

13.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bauteilaktivierung am Beispiel einer PE-Verlegung in einer Betondecke in einem Nichtwohngebäude; Quelle: www.ikz.de	15
Abbildung 2: Gebäudemodell als Grundlage für die Modellierung	18
Abbildung 3: Etappenplan zur Bebauung des Nordwestbahnhofs (Quelle: https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/nordwestbahnhof/)	20
Abbildung 4: Leitungsführung vor den Heizzentralen; zu sehen sind die Anergienetzleitungen, der Ort und die Zuführung von der Abwasserenergienutzung, die Zuleitungen der Erdspeicher, soweit das Anergienetz nicht direkt unter den Blöcken verläuft, und die Verbindung mit Gebäuden in der Dresdner Straße zur Abwärmeeinspeisung; Quelle: Stadt Wien (Grundplan), Österreichische Energieagentur (Leitungen)	30
Abbildung 5: Prinzipskizze eines externen Kanalwärmetauschers, Quelle: Huber SE.....	34
Abbildung 6: Wärmetauscher von Jaske und Wolf.....	35
Abbildung 7: Auslegungsparameter der Wärmepumpen und Wärmetauscher zwischen Abwasser und Anergienetz.....	36
Abbildung 8: Stadtwerke Amstetten als Beispiel einer realisierten Anlage zur Energiegewinnung aus Abwasser, Quelle: Ochsner	37
Abbildung 9: Energieertrag ausgewählter erneuerbarer Energien in Bezug auf die notwendige horizontale Fläche	39
Abbildung 10: Schema inklusive Annahmen zur Simulation des Systems, Quelle: Meyer Burger bzw. Polysun	43
Abbildung 11: Darstellung des Heizwärmebedarfs in Polysun 7.2.4	44
Abbildung 12: Warmwasserprofil für Mehrfamilienhäuser, Polysun 7.2.4.....	44
Abbildung 13: Maximale Sondenaustrittstemperatur im Betrieb - Vergleich Hybridkollektor-Variante (Blau) und reine PV-Lösung (rot).....	47
Abbildung 14: mögliche Nutzungssysteme für den Projektstandort Nordwestbahnhof, Quelle: GÖTZL, et al.2014.....	51
Abbildung 15: bestehende Nutzungen im Bereich Nordwestbahnhof, Quelle: GBA, 2014	54
Abbildung 16: Baufeld 7, angenommene Flächennutzung für Geothermie	56
Abbildung 17: Lastprofil der geothermischen Nutzung auf Monatsbasis	59
Abbildung 18: prozentualer Aufteilungsschlüssel der Energiemengen.....	60
Abbildung 19: Ganglinie der Fluidtemperatur in den Sonden bei Free Cooling, Baufeld 14 ..	61
Abbildung 20: Ganglinie der Soletemperatur bei forcierter Kühlung, BF 14 ohne Einspeisung	62
Abbildung 21: Zusammenstellung der Simulationsergebnisse für Sondenlänge $L=100\text{m}$, Sondenabstand $R = 3\text{m}$	63
Abbildung 22: ausgewählte Baufelder für geothermische Nutzung bei Variante Free Cooling	64

Abbildung 23: ausgewählte Baufelder für geothermische Nutzung bei Variante forcierte Kühlung	64
Abbildung 24: diskretisiertes Modellgebiet in dreidimensionaler Darstellung	66
Abbildung 25: grafische Darstellung der Leistungsbilanz.....	67
Abbildung 26: Temperaturfeld bei Wärmeentnahme (Heizbetrieb im Winter), Tiefenstufe 1 ..	69
Abbildung 27: Temperaturfeld bei Wärmeentnahme (Heizbetrieb im Winter), Tiefenstufe 2 ..	70
Abbildung 28: Temperaturfeld bei Wärmeeinspeisung (Regeneration im Sommer), Tiefenstufe 1	71
Abbildung 29: Temperaturfeld bei Wärmeeinspeisung (Regeneration im Sommer), Tiefenstufe 2	71
Abbildung 30: Jährliche Energiekosten (Gas/Strom): 48€/MWh und Strom: 121 €/MWh	

13.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dimensionierung und Energieverbrauch auf Ebene der Heizzentralen.....	27
Tabelle 2: Thermisch nutzbare Abwassermenge im Zweistundenmittel je Monat	32
Tabelle 3: Monatliches Temperaturmittel des Abwassers im Zulauf der Wiener Hauptkläranlage, Quelle: EbS Wien	33
Tabelle 4: Ergebnis der Marktrecherche für Hybridkollektoren.....	41
Tabelle 5: Eingabegrößen der Polysun-Simulation für Heizwärme- und Warmwasserbedarf	45
Tabelle 6: Eingabegrößen der Erdsonden in Polysun (blau hinterlegte Felder)	45
Tabelle 7: Kennlinienfeld der Wärmepumpe: Angaben Ochsner (weiß), interpolierte Werte (grün) für Eingabe in Polysun	46
Tabelle 8: Simulationsergebnisse für den Standort Wien.....	48
Tabelle 9: Standortvergleich inkl. prozentueller Abweichung gegenüber dem Referenzstandort Wien.....	49
Tabelle 10: Zusammenstellung der Wärmeleitfähigkeiten über die Tiefe, Quelle: GBA.....	53
Tabelle 11: nutzbare Fläche Geothermie und mögliche Sondenanzahl	55
Tabelle 12: Zusammenstellung der Simulationsergebnisse für Sondenlänge L=100m, Sondenabstand R=3m.....	63
Tabelle 13: Energiebilanz in den fünf Varianten; jährliche Energiemengen.....	75
Tabelle 14: Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch (gesamt und nicht erneuerbar ohne Vorketten für die fünf Varianten des Energiekonzeptes für den Nordwestbahnhof	77
Tabelle 15: Investitionskosten für die Komponenten der Energieversorgung auf dem Nordwestbahnhof	77

13.3 Literaturverzeichnis

„via Gialla“, Projekt der ETH Zürich: <http://www.viagiabella.ch/viagiabella-zero-emission-lowex/>

„Wärme- und Kältespeicherung im Gründungsbereich energieeffizienter Bürogebäude“, Projekt der TU Braunschweig: <https://www.tu-braunschweig.de/igs/forschung/wkspiea>

“Thermisches Monitoring an Nichtwohngebäuden mit Einsatz von oberflächennaher Geothermie und Validierung von Wärmeeintrag- und Entzug in den Untergrund“, Projekt der Leibniz Universität Hannover: <http://www.bohneingenieure.de/wp-content/uploads/Gesamtbericht-Teil-1.pdf>

Stober, I., Bucher, K.: Geothermie, Springer-Verlag, 2012

Energienutzung aus Untergrund und Grundwasser, Baudirektion Kanton Zürich, Planungshilfe, Juni 2010

Statistik Austria: Nutzenergieanalyse 2012, www.statistik.at

Mertens, K.: Photovoltaik – Lehrbuch zu Grundlagen und Praxis, Jahrbuch 2014, 2. Auflage, Hanser-Verlag, 2013

Stöcklhuber, A., Lüders, R.: Photovoltaik – Normen und Vorschriften, Testberichte, Beratung und Verkauf, Hüthig & Pflaum Verlag, 2013

Büttner D., Drach V., Ebert H.-P., Röhle B., Fricke J., Barthel R., Udluft P., Wehrig K. und Marquardt G. (1998), Abschlussbericht zum DBU-Projekt „ErdwärmesondenSpeicher Greußenheim – Vorstudie“, AZ 11909, Report ZAE 2 – 0998-6

ÖVGW- Regelblatt 207, Thermische Nutzung des Untergrundes

14 Anhang