



## Innovative Konzepte zur Versorgung großvolumiger städtischer Neubauten





## INHALTSVERZEICHNIS

ERNEUERBARE ENERGIEN FÜR URBANE PLANUNGSGBIETE	Seite	1
Solarenergie	Seite	1
Erdwärme	Seite	3
Grundwasser	Seite	3
Abwasserenergie	Seite	3
WÄRMEPUMPEN	Seite	4
VARIANTEN DER WARMWASSERBEREITSTELLUNG	Seite	4
WÄRME- UND KÄLTENETZ FÜR URBANE PLANUNGSGBIETE — ANERGIENETZE	Seite	5
ENERGIESPEICHERUNG	Seite	6
PLANUNGSSCHRITTE	Seite	7
WIENER STADTENTWICKLUNGSGBIET NORDWESTBAHNHOF	Seite	8
Energiebilanz	Seite	10
Wirtschaftlichkeitsberechnung	Seite	10
Ökologische Bilanz	Seite	11

# ERNEUERBARE ENERGIEN FÜR URBANE PLANUNGSGEBIETE

Stadterweiterungsgebiete im urbanen Bereich eignen sich hervorragend zur Nutzung von *vor Ort verfügbaren* erneuerbaren Energiequellen.

Diese Broschüre beschreibt verschiedene erneuerbare Energiequellen und wie diese aufgrund zweckmäßiger Planung und Umsetzung in Stadterweiterungsgebieten optimal genutzt werden können.

## Welche Energiequellen sind im urbanen Gebiet nutzbar?

Viele der „prominenten“ erneuerbaren Energieformen sind im städtischen, dicht bebauten Gebiet nur beschränkt oder gar nicht nutzbar. Dazu gehören etwa Wasserkraft oder Windenergie. Andere sind trotz der dichten Bebauung nutzbar, wieder andere werden sogar erst aufgrund der dichten Bebauung interessant und wirtschaftlich nutzbar. Im urbanen Gebiet sind v.a. folgende erneuerbare Energieformen relevant:

### Kollektorgestützte Systeme

- Photovoltaik
- Solarthermie
- Kombinationssysteme Photovoltaik — Solarthermie (PVT-Kollektoren)

### Wärmepumpengestützte Systeme mit den Quellen

- Grundwasser
- Fluss-/Seewasser
- Abwasser
- Außenluft
- Abwärme aus Kühlprozessen

## Solarenergie

Wenn eine Energieversorgung CO<sub>2</sub>-frei und die Energieträger „erneuerbar“ sind, braucht es das Zusammenspiel möglichst vieler verschiedener Energieträger. Diese können über ein „Anergienetz“, d.h. ein Niedertemperatur-Verteilnetz, zusammengeführt werden. Dieses Anergienetz verbindet die verschiedenen (erneuerbaren) Energiequellen mit den unterschiedlichen (Langzeit-) Energiespeichern und den Energieverbrauchern.

Das Konzept „Anergienetz“ funktioniert aus wirtschaftlicher Sicht aber nur dann, wenn kostengünstige Wärmequellen für die Regeneration von Netz und Wärmespeicher zur Verfügung stehen. Eine verlässliche Möglichkeit stellt die Nutzung von Solarenergie dar.

Für die Nutzung von Sonnenenergie stehen grundsätzlich drei Kollektortechnologien zur Verfügung:

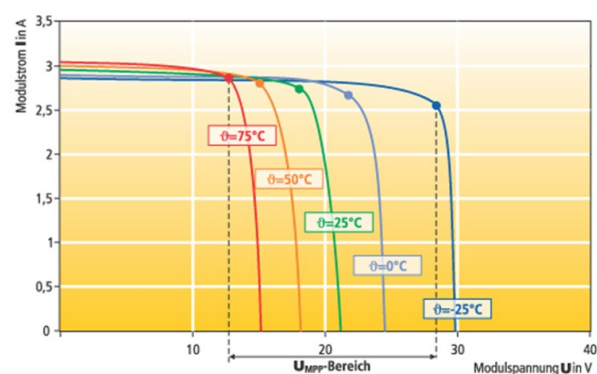
- Solarthermie
- Photovoltaik
- Hybridkollektoren – (flüssigkeits-)gekühlte Photovoltaikmodule

Im dicht verbauten, städtischen Umfeld ist die Flächenverfügbarkeit beschränkt, daher ist eine möglichst effiziente Nutzung von Dach- und Fassadenflächen unabdingbar. Dabei schneidet die thermische Nutzung der Solarenergie besonders gut ab. Bis zu 600 kWh Wärme pro m<sup>2</sup> Grundfläche können genutzt werden.

Beim Einsatz von Photovoltaik, wo bis zu 120 kWh/m<sup>2</sup>a geerntet werden können, muss ein Zwischenaggregat (z.B. Wärmepumpe) den produzierten Strom in Wärme wandeln.

Der höchste Ertrag an erneuerbarer Energie kann jedoch mit Hybridkollektoren (auch PVT-Kollektoren) erreicht werden. Hierbei handelt es sich um Photovoltaikmodule, deren elektrische Effizienz durch aktive Kühlung verbessert wird und bei denen gleichzeitig die thermische Energie nutzbar gemacht wird.

Luftgekühlte PVT-Kollektoren werden meist in Kombination mit Lüftungsanlagen verwendet und sind für die Anwendung in wassergeführten Wärmenetzen ungeeignet. Wird als Kühlmedium Sole eingesetzt, können die PVT-Kollektoren – gleich wie thermische Kollektoren – hydraulisch in das Wärmesystem eingebunden werden. Es stehen abgedeckte und unabgedeckte Hybridkollektoren zur Verfügung. Durch Abdeckung werden die thermischen Verluste reduziert und höhere Temperaturen sind erreichbar. Dies wirkt sich allerdings negativ auf die elektrischen Erträge aus und es sind keine elektrischen Mehrerträge gegenüber PV zu erwarten.



Bildbeschreibung: Verdeutlichung der Temperaturabhängigkeit von PV

Quelle: <http://www.pvaustria.at/daten-fakten/technologie/pv-auslegung/>

Unabgedeckte Hybridkollektoren in Verbindung mit einer Niedertemperatur-Senke optimieren den elektrischen Mehrertrag. Abgedeckte und unabgedeckte Hybridkollektoren haben aber jedenfalls eine höhere Flächeneffizienz als reine Solarthermie- bzw. Photovoltaiksysteme. In Verbindung mit Anergienetzen, die üblicherweise mit max. 30 °C Soletemperatur betrieben werden, sind unabgedeckte Hybridkollektoren vorzuziehen.

### Vorteile unabgedeckter Hybridkollektoren in Verbindung mit Anergienetzen:

- Die Kühlung der Photovoltaikmodule erhöht deren elektrischen Ertrag um mindestens 4 % und reduziert dadurch den für den Betrieb der Wärmepumpen notwendigen Netzstrombedarf.
- Für die Regeneration eines Anergienetzes mit Erdsondenspeicher reichen niedrige Temperaturen bis rund 30 °C vollkommen aus. Die Abwärme aus der Kühlung der PV-Module genügt dieser Anforderung, und thermische Solarkollektoren sind dafür nicht notwendig.
- Die Flächeneffizienz von Hybridkollektoren ist deutlich besser als jene der einzelnen Technologien.
- Aufgrund der ganzjährig vollständigen Nutzung der produzierten Solarwärme durch das Anergienetz und den Erdsondenspeicher können die Hybridkollektoren sehr flach montiert werden. Dies erhöht die Flächeneffizienz noch weiter und vereinfacht sowohl die hydraulische Verschaltung als auch die statischen Anforderungen an die Aufständigung.
- Beschneite bzw. vereiste Kollektorflächen können gegebenenfalls durch Umkehrung des Solarkreislaufs abgetaut werden.

Für eine Grobschätzung der für Solarenergie verfügbaren Flächen ist die Studie der Internationalen Energieagentur (IEA) dienlich (Weiss, 2009).

In dieser werden zwei Faktoren entwickelt, mit deren Hilfe von der Gebäudegrundfläche auf die für die solare Nutzung verfügbare Fläche geschlossen werden kann. Damit finden Abschattungen, Dachaufbauten und andere Nutzungen Berücksichtigung.

	Dach	Fassade
Faktor	0,4	0,15

Bei einer Gebäudegrundfläche von beispielsweise 90.000 m<sup>2</sup> führt dies zu einem solaren Dach-Flächenpotential von rund 36.000 m<sup>2</sup>. Bei einer horizontalen Montage und der direkten Einspeisung des thermischen Ertrags in das Anergienetz können bei typischen Bebauungsdichten in urbanen Planungsgebieten etwa zwischen 30 und 50 % der benötigten

Wärme solar gedeckt werden. Werden zusätzlich noch die Fassaden mit Hybridkollektoren versehen, kann der solare Deckungsanteil weiter angehoben werden.

## Solarthermie

Abhängig von der Art der Warmwasserbereitung, könnten dezentral zusätzlich solarthermische Kollektoren eingesetzt werden. Werden Warmwasserpuffer je Gebäude bzw. je Stiege eingesetzt, kann die Warmwasserbereitung im Sommer primär mit Solarthermie abgedeckt und damit auch elektrischer Strom für die Wärmepumpen eingespart werden.

## Photovoltaik

Der ausschließliche Einsatz von Photovoltaik ist in diesem Konzept nicht sinnvoll. Zwar sind PV-Module deutlich günstiger als Hybridkollektoren, jedoch sind im Gesamtkonzept dann viel mehr andere Wärmequellen (z.B. Luft-Wasser-Wärmepumpen) notwendig, um die Wärmebilanz des Anergienetzes ausgleichen zu können.

Hierbei sind nicht nur die höheren Investitionskosten der Wärmepumpen von Nachteil, auch der zusätzliche Platzbedarf der Wärmepumpen in Technikräumen und auf Dächern – für die auch schalltechnisch optimierte Außeneinheit – macht sich bemerkbar.

## Erdwärme

Erdwärme kann im oberflächennahen Bereich über Luft-Erdwärmetauscher, Erdwärmesonden, Fundamentpfähle, die als Energiepfähle ausgeführt sind, oder aber auch über Fundamentplatten, die als Erdkollektor ausgeführt sind, als Energiequelle für Heizung oder Kühlung genutzt werden. Dabei ist auf die thermische Regeneration des Erdreichs, das die Kollektoren umgibt, zu achten. Diese Regeneration ist wichtig, weil damit die Erdreichtemperatur über z.B. 50 Jahre Nutzungsdauer konstant bleibt. Die natürliche Regeneration ist beschränkt und vor allem bei großen Erdsondenspeichern nicht ausreichend um eine unausgeglichene Wärmebilanz kompensieren zu können.

Daher ist bei Nutzungen im hohen Leistungsbereich für ganze Stadtteile die Erdwärme nicht als nachhaltige Wärmequelle zu sehen, sondern vielmehr als Lastausgleichsspeicher zwischen einem mehrheitlich im Sommer auftretenden Kühlbedarf bzw. Wärmeeintrag aus anderen Quellen wie Sonne, Abwärme, Abwasser und einem hauptsächlich im Winter auftretenden Wärmebedarf.

Die Aspekte der Nutzung des Erdreichs als Speicher werden im Kapitel „Energiespeicherung“ beschrieben.

## Grundwasser

Die Nutzung des Grundwassers gehört im Grunde auch zur Erdwärme, da es sich um das im Untergrund vorhandene Wasser handelt. Grundwasser ist eine sehr interessante Energiequelle für Wärmepumpen, da es ganzjährig mit einer konstanten Temperatur von etwa 8 bis 12 °C, im innerstädtischen Bereich oft auch mit höherer Temperatur, zur Verfügung steht. Zu beachten sind jedoch die Verfügbarkeit und die entsprechenden wasserrechtlichen Genehmigungen. Diese stellen auch sicher, dass sich Grundwasserentnahme und -rückgabe nicht negativ auf die nächsten Anlagen in Fließrichtung des Grundwassers auswirken.

## Abwasserenergie

Abwasser aus Industrie, Gewerbe oder Kommunen kann sowohl als Wärmequelle als auch als Wärmesenke dienen. In Gebieten mit dominierendem Wärmebedarf wird die Nutzung eher auf den Wärmeentzug beschränkt sein, bei Büro- und Gewerbeobjekten kann aber auch die Abwärme aus (ganzjährigen) Kühlprozessen in das Kanalnetz eingespeist werden.

Grundsätzlich gibt es zwei Varianten, die thermische Energie des Abwassers zu nutzen: aus dem Kanalabwasser oder nach der Kläranlage.

Nach der Kläranlage ist es technisch einfacher, da das Abwasser dort schon gereinigt ist und daher die Wärmetauscher wesentlich weniger verschmutzen und auch weniger aufwändige Modelle (z.B. Freistrom-Plattenwärmetauscher) einsetzbar sind. Dafür befinden sich die Verbraucher häufig erst in größerer Entfernung. Bei entsprechender Kapazität kann sich allerdings eine „kalte“ Fernwärmeleitung rechnen, die eine oder mehrere Heizzentralen in Verbrauchernähe mit Abwasserenergie versorgt.

Bei der Nutzung im Kanal sind entsprechende Wärmetauscher erforderlich, die für den Einsatz in verschmutzten Abwässern geeignet sind.

Es gibt folgende zwei Systeme:

- **Kanalwärmetauscher**, die an der Kanalsohle montiert sind, und vom Abwasser überströmt werden: Durch vergrößerte Wärmetauscherflächen ist die verringerte Wärmeübertragungsleistung durch Bildung von Biofilmen (Fouling) berücksichtigt. Eng verwandt sind Kanalrohre mit eingebautem Wärmetauscher für neue Kanäle.

- **Externe Wärmetauscher** mit automatischer (mechanischer oder hydraulischer) Reinigung der Tauscherflächen: Bei diesem System wird über ein entsprechendes Entnahmebauwerk das Abwasser aus dem Kanal entnommen, gesiebt, über den Wärmetauscher geführt und dann wieder zurück in den Kanal geleitet. Dabei kann sowohl Wärmeentzug als auch Wärmeabgabe an das Abwasser erfolgen.

Manche Abwasserverbände lassen ausschließlich externe Tauscher zu, da hier keine Einbauten im Kanal erfolgen, die den Betrieb des Kanals beeinträchtigen könnten.

Ein Mindestabwasserfluss von 10 l/s im Trockenwettermittel gilt als Grenze für eine wirtschaftliche Machbarkeit. Dies entspricht etwa dem Abwasser von 7.000 Personen mit einem Abwasseranfall von 130 l/d\*P. Bei externen Tauschern liegt diese Grenze je nach Kanalprofil etwas höher, da ein gewisser Teilstrom immer im Kanal verbleibt. Externe Lösungen sind auch tendenziell bei größerer Leistung praktikabler, da pro Laufmeter Kanalwärmetauscher etwa 4 kW Wärmeleistung erreicht werden können und die benötigte Länge daher bei Anlagen im MW-Bereich nicht mehr praktikabel ist.



Abbildung 1: Kanalwärmetauscher, Quelle: Stadtwerke Amstetten



Abbildung 2: Siebschachtanlage von Fa. Huber bei der Anlage in Winterthur (CH), Quelle: Projektteam



Abbildung 3: Heizzentrale mit Wärmepumpe (Quelle: Kanalabwasser) in Amstetten | Foto: Ochsner Wärmepumpen GmbH.

## Wärmepumpen

Die Nutzung von Erdwärme, Grundwasser und Abwasser ist fast immer an die Verwendung von Wärmepumpen gebunden. Wärmepumpen dienen dazu, Umweltenergie mit einem niedrigen Temperaturniveau (Anergie), welches nicht mehr direkt für Wärmezwecke verwendet werden kann, wieder auf ein nutzbares Temperaturniveau (Exergie) anzuheben. Die Wärmepumpe wirkt dabei sozusagen als Energietransformer. Die wesentlichen Kennzahlen für die Effizienz von Wärmepumpen sind der COP (Coefficient Of Performance) und der SCOP (Seasonal COP, also über das Jahr betrachtet) oder auch die Jahresarbeitszahl (JAZ). Der COP stellt das Verhältnis zwischen abgegebener Leistung und Antriebsleistung an einem bestimmten Betriebspunkt dar. Der SCOP bildet mehrere Betriebspunkte ab und gewichtet diese. Die JAZ ist das Verhältnis zwischen in einem Jahr abgegebener Nutzenergie und im selben Zeitraum benötigter Antriebsenergie.

Eine JAZ von 5 bedeutet demnach, dass 5 Teile Nutzenergie mit 1 Teil Antriebsenergie und 4 Teilen Umweltenergie (von der Energiequelle) erzeugt werden. Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Quelle (Umweltenergie) und Senke (Nutzenergie) ist, desto höher werden SCOP und JAZ. Daher sollten für die Gebäudeheizung zur Wärmeverteilung Niedertemperatursysteme (z.B. Flächenheizungen) eingesetzt werden. Besonders interessant wird die Wärmepumpe, wenn Kühlenergie und Heizenergie gleichzeitig gebraucht werden. Das ist der Fall, wenn Kühlenergie, z.B. für EDV-Anlagen oder Rechenzentren, bereitgestellt werden soll und andererseits Wärme für Heizung oder Warmwasser benötigt wird. Auch bei der Klimatisierung von großen Gebäuden mit Dauerbetrieb, z.B. in Krankenhäusern, tritt dieser Fall ein. Es wird Kühlenergie zum Entfeuchten und gleichzeitig Heizenergie zum Nachwärmen der entfeuchteten Luft gebraucht. In all diesen Fällen werden mit einer Antriebsenergie z.B. 4 Teile Kühlenergie und 5 Teile Heizenergie erzeugt, sodass insgesamt 9 Teile Nutzenergie bereitgestellt werden. Die Wärmepumpe macht einerseits Umweltenergie für Heizzwecke nutzbar, andererseits trägt sie – bei entsprechendem Strom-Mix – auch zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im Vergleich zu fossilen Brennstoffen bei.

Gerade im innerstädtischen Bereich bzw. in neu zu erschließen-

den Raumentwicklungsgebieten ist häufig ein Mix aus verschiedenen Energiequellen für Wärmepumpen sinnvoll. Voraussetzung dafür ist allerdings ein vorausschauendes Gesamtkonzept für die Versorgung des Quartiers mit Wärme und ggf. auch Kälte. Eine große Herausforderung ist dabei die Speicherung, um Lastschwankungen bestmöglich auszugleichen und anfallende Abwärme aus Kühlprozessen (EDV, Lebensmittelkühlung und Tiefkühlung aus Supermärkten, Klimatisierung usw.) wieder für Heizzwecke nutzbar zu machen.

## Varianten der Warmwasserbereitstellung

Zur Bereitstellung von Energie für das Warmwasserverteilnetz aus dem Anergienetz sind folgende Varianten 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 höhere Temperatur hoch und gleichzeitig werden die Speicherladepumpen (über entsprechende Ventile) umgeschaltet.
- Es gibt eigene Warmwasser-Wärmepumpen, die als Quelle den Heizungspuffer verwenden und näher an den Verbrauchern angesiedelt sein können. Mit diesem Konzept können Leitungslängen und Verluste am besten minimiert werden. Es ist eine hohe Bandbreite bei den Einsatzgrenzen der WW-Wärmepumpen nötig, da die Heizungspufferspeicher im Sommer kalt (15 °C) und im Winter warm (40 °C / 45 °C) sein werden. Mit Rücklaufbeimischung ist dies jedoch machbar. Eine zweistufige Erwärmung wirkt sich jedoch negativ auf den COP bzw. auch auf die JAZ der Wärmepumpen aus.
- Es gibt eigene Warmwasser-Wärmepumpen, die als Quelle – wie die Heizungswärmepumpen auch – das Anergienetz nutzen und den Warmwasserpuffer auf konstanter Temperatur halten. Diese können entweder in den Heizzentralen stehen oder dezentral bei den Wärmeabnehmern angeordnet sein. Letzteres hat den Vorteil, dass die Länge der warmen Leitungen reduziert wird, jedoch sind dann mehrere Technikräume und zusätzliche Zuleitungen aus dem Anergienetz mitzuplanen.

Zur Einhaltung der *Legionellenverordnung* muss bei Frischwasserspeichern eine Mindestaustrittstemperatur von 60 °C gewährleistet werden. Die Speichertemperatur muss daher einige Kelvin höher liegen und die von der Wärmepumpe bereitzustellende Temperatur noch einmal um einige Kelvin. Für den Betrieb einer Wärmepumpe ist dieses Temperaturniveau weniger günstig.

Die *Legionellenverordnung* ist aber nicht für jedes Trinkwassersystem bindend, sondern nur für solche, bei denen das Volumen des Verteilsystems 3 Liter übersteigt (ca. 24 Meter Leitung zu 1/2 Zoll). Werden dezentrale Wärmetauscher (Frischwasserstationen) vorgesehen, so sind auch niedrigere Warmwassertemperaturen machbar. Jedoch verursacht dieses Konzept höhere Investitionskosten – daher ist die Wahl des optimalen Warmwassersystems eine Optimierungsaufgabe und auch ein Interessenskonflikt zwischen Investor (Optimierung der Errichtungskosten) und Nutzer (Optimierung der laufenden Kosten).

## Wärme- und Kältenetz für neue urbane Planungsgebiete – Anergienetze

Eine Möglichkeit für die Speicherung von Wärme oder Kälte in Stadtquartieren ist der Aufbau eines Anergienetzes (kaltes Fernwärmenetz mit Temperaturen von ca. 8 bis 20 °C) samt Langzeitspeichern bzw. Saisonspeichern, die häufig als Erdspeicher ausgeführt sind. In dieses Netz wird einerseits Abwärme aus den verschiedenen Quellen eingespeist und andererseits dient dieses Netz als Quelle für Wärmepumpen. Wichtig ist dabei, dass die Energieentnahme über das Jahr in etwa gleich groß ist wie die Energiezufuhr aus den verschiedenen Quellen, damit die Saisonspeicher im Lauf der Jahre nicht unterkühlen bzw. überhitzen.

Ein Anergienetz, welches gemeinsam mit saisonalen (Erd-) Speichern betrieben wird, ist für einen Stadtteil eine sehr interessante Lösung der umweltschonenden Versorgung mit Wärme- und Kälteenergie. Einerseits kann Abwärme aus Kühlprozessen (Industrie, Gewerbe, Lebensmittelkühlung und Tiefkühlung, EDV-Anlagen, etc.) sowie Solarwärme genutzt und saisonal zwischengespeichert werden, andererseits ist das Anergienetz mit einem Temperaturniveau von 8 bis 20 °C eine sehr attraktive Energiequelle für Wärmepumpen, weil damit sehr hohe Jahresarbeitszahlen (JAZ) erzielt werden können.

Die Nutzung von Abwärme aus Kühlprozessen kann aber auch eine eigenständige Lösung sein, da gerade in Industrie und Gewerbe häufig Abwärme mit einem Temperaturniveau von 35 bis 60 °C anfällt und gleichzeitig Prozesswärme mit 90 °C oder höher gebraucht wird. Hierbei kann die Hochtemperatur-

Wärmepumpe als Energietransformer eingesetzt werden und aus diesen Abwärmeströmen wieder Nutzwasser mit etwa 100 °C bereitstellen.

Im Zusammenhang mit einem Anergienetz mit Saisonerdspeicher kann der Nachteil einer Luft-Wasser-Wärmepumpe – beim höchsten Wärmebedarf ist es besonders kalt, womit die JAZ sinkt – wieder ausgeglichen werden, indem diese in der warmen Jahreszeit Überschussstrom (z.B. aus der Photovoltaik-Anlage des Quartiers) nutzt und damit über das Anergienetz die Saisonerdspeicher wieder auflädt. Nachdem Anergienetz und Erdspeicher mit relativ niedrigen Temperaturen betrieben werden, sind JAZ von etwa 5 realistisch. Beispielsweise liegt im Klimamittel 1971 – 2000 die Temperatur der Außenluft in Wien während 5.000 Stunden des Jahres über 10 °C. In dieser Periode beträgt die Mitteltemperatur 18 °C.

Günstige Voraussetzungen für ein Anergienetz sind:

1. Niedrige Vorlauftemperaturen für Nutzwärme
2. Hohe Energiedichte (in kWh/lfm.a)
3. Über das Jahr etwa gleich hoher Wärme- und Kältebedarf

Die ersten beiden Voraussetzungen sind in neuen Stadtentwicklungsgebieten vielfach gegeben bzw. gut realisierbar. Nummer 3 kann mit anderen, vor Ort verfügbaren Wärmequellen kompensiert werden.

Es können – natürlich unter gewissen Voraussetzungen – unterschiedlichste Energiequellen in ein Anergienetz einspeisen und auch unterschiedlichste Wärme- und Kälteabnehmer daran angeschlossen sein. Optimal ist es, wenn im Gebiet, das vom Anergienetz abgedeckt wird, über das Jahr hinweg etwa gleich viel Wärme- wie Kältebedarf vorhanden ist. Ein leichter Überschuss an Wärmebedarf ist von Vorteil, da die elektrische Energie der Wärmepumpen als Abwärme in die Energiebilanz einfließt.

In Gegenden mit überwiegender Wohnnutzung ist meist ein Überschuss an Wärmebedarf gegeben. Damit werden Abwärmepotenziale wie aus Solarenergie oder aus den typischen Wärmequellen für Wärmepumpen (Grundwasser, Erdreich, Luft) interessant. Es gibt aber auch Anergienetze, in denen diese Wärmequellen kaum eine oder gar keine Rolle spielen, weil sich Wärme- und Kältebedarf übers Jahr nahezu ausgleichen. Ein Beispiel dafür ist der Campus der ETH Zürich auf dem Höggerberg.



Bild: ETH Zürich ©  
GurkanSengun

Das Energienetz selbst hat eine Pufferkapazität von wenigen Stunden. Würden Wärmebedarf und Wärmeangebot (bzw. Kältebedarf und Kälteangebot) das ganze Jahr übereinstimmen, wäre dies der Optimalfall. Jedoch sind beide Mengen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Daher benötigt man mehr Speicherkapazität als das Energienetz selbst zur Verfügung stellen kann. Zur Lösung dieser zeitlichen Abweichungen bieten sich Erdsondenspeicher an. Für eine nachhaltige Nutzung des Erdspeichers ist es wesentlich, dass Wärmeentnahme und Wärmerückspeisung über das Jahr gesehen gleich hoch sind. Bereits geringe Unterschiede wirken sich über Jahrzehnte kumuliert auf die Erdtemperatur und damit sowohl auf die Leistungsfähigkeit der Anlage als auch unter Umständen auf das Grundwasser negativ aus.



Foto: Solites; Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

## Energiespeicherung

Wärme, die beispielsweise in einer Solaranlage anfällt, kann in einem Wärmespeicher aufbewahrt werden, um sie dann zu nutzen, wenn die Sonne gerade nicht scheint. Für das thermische Speichern kommen grundsätzlich Flüssigkeiten (oft Wasser) oder Feststoffe (Gestein) als Medium in Frage. Wegen seiner vergleichsweise hohen Wärmekapazität ist Wasser ein bevorzugtes Speichermedium.

Zur Speicherung großer Mengen Wärme ist aus technischer und wirtschaftlicher Sicht die Untergrundspeicherung am günstigsten.

Hier lassen sich drei Kategorien unterscheiden:

**Speichermedium Wasser (Konvektivspeicher):**  
Felskavernenspeicher, Erdbeckenspeicher

**Erdreich/Gestein als Speichermedium**  
(Konduktivspeicher): Erdwärmesonden-Speicher

**Untergrund (allg.) als Speichermedium (Mischspeicher):**  
Aquiferspeicher, Kies-/Wasserspeicher

Die Wahl des saisonalen Speichertyps hängt von den geologischen und hydrogeologischen Bedingungen am Standort und von der benötigten Speicherkapazität ab. Zum Abfangen von Bedarfsspitzen sind Pufferspeicher erforderlich. Andernfalls müsste die erforderliche Sondenlänge an die maximale Wärmeübertragungsleistung angepasst werden, was aus wirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll ist.

## Varianten der Speicherung

Bei einem Erdsonden-Wärmespeicher werden Sonden in großer Zahl und Dichte (Sondenabstand 1,5 – 4 m) erstellt und zur Oberfläche hin wärmegeämmt.

Um ein möglichst gutes Verhältnis zwischen Speicher Oberfläche und -volumen zu erreichen, sollten die Sonden möglichst im Kreis angeordnet werden und nicht allzu tief sein. Zum Beladen des Speichers durchströmt ein Wärmeträgerfluid die Sonden nacheinander vom Kreisinneren nach außen, um eine optimale Temperaturverteilung zu erreichen. Beim Entladen wird die Strömungsrichtung umgekehrt.

Bei Konduktivspeichern (Erdwärmesonden-Speichern) in Gestein oder Fels besteht ein Wärmeübergang zwischen Wärmeträgerfluid und Speichermedium. Hierdurch ist dieser Speichertyp weniger flexibel einsetzbar. In den meisten Fällen ist zur Kurzzeitspeicherung und zur Leistungsanpassung ein Pufferspeicher erforderlich. Der Vorteil dieses Speicherkonzeptes besteht jedoch in den vergleichsweise deutlich niedrigeren Baukosten. Für Kurzzeitspeicherung sind jedoch Erdsonden wegen der langen Zeitkonstanten nicht die geeigneten Instrumente.

Von Erdwärmesondenfeldern kann man dann sprechen, wenn mehr als 5 Erdsonden in räumlichem Zusammenhang errichtet werden. Für Erdwärmesondenfelder, die zusätzlich die Aufgabe von saisonalen Wärmespeichern aus der Solarthermie oder dem Kühlbedarf von Gebäuden übernehmen, können je nach Auslegung um die 100 in unmittelbarem räumlichen Zusammenhang befindliche Erdsonden errichtet werden. Dort wird im Sommer anfallende Solarwärme in den Untergrund eingespeichert und während der darauf folgenden Heizperiode über eine Wärmepumpe wieder entnommen.

Eine weitere Anwendung ist die der saisonalen Wärmespeicherung in einem Hochtemperatur-Wärmespeicher, der aus mehreren 100 einzelnen Erdwärmesonden bestehen kann.



Derartige Hochtemperatur-Erdwärmespeicher werden von großen thermischen Solaranlagen über die Sommermonate auf ein Temperaturniveau von bis etwa 90 °C erwärmt und unterstützen so in der Heizperiode die Wärmeversorgung der über ein Nahwärmenetz angeschlossenen Gebäude. Im langjährigen Betrieb können damit rund 50 % des Wärmebedarfs mit erneuerbaren Energien gedeckt werden.

## Planungsschritte

Um den Wärme- und Kältebedarf und deren Verläufe zu kennen und damit die Energiesysteme entsprechend dimensionieren zu können, müssen die Jahresprofile sämtlicher Wärme- und Kältequellen bzw. Wärme- und Kältesenken bekannt sein.

Diese sollten zumindest auf Monatsbasis vorliegen, und auch ein täglicher Lastverlauf hilft bei der Planung. Falls noch Einflussmöglichkeit auf die Nutzungsmischung des zu versorgenden Areals besteht, sollte auf ein eher ausgewogenes Verhältnis von Wärme- und Kältebedarf – zumindest über das Jahr hinweg – geachtet werden. Meist wird der Wärmebedarf überwiegen – gewerbliche Nutzungen wie z.B. Rechenzentren oder andere Gebäude mit großen Servern und damit großen Mengen an Abwärme sind in städtischen Gebieten jedoch stark vertreten und sollten eingebunden werden.

Im Anergienetz mit Erdspeicher gibt es keine Quellen und Senken im herkömmlichen Sinn mehr. Ein Wärmeverbraucher ist gleichzeitig Kältelieferant und ein Kälteverbraucher ist Wärmelieferant.

Ein Anergienetz ist ein Niedertemperatur-Verteilnetz und damit ist es auch entscheidend für die Effizienz des Gesamtsystems, dass die benötigten Endtemperaturen für Wärmeanwendungen möglichst niedrig sind. Flächenheizungen sind daher geradezu notwendig für ein erfolgreiches Konzept. Bei der Warmwasserbereitung gibt es Systeme ohne große Frischwasserspeicher, bei denen die Legionellenverordnung, die eine Mindesttemperatur von 60 °C vorschreibt, nicht eingehalten werden muss.

Im häufig auftretenden Fall, dass der Wärmebedarf viel größer als der Kältebedarf ist, müssen andere nachhaltige Energiequellen identifiziert werden.

Bei der Suche nach diesen Energiequellen stehen im Stadtgebiet zahlreiche Optionen zur Verfügung:

Zum einen können Betriebe in der Umgebung, bei denen Abwärme anfällt, angesprochen werden. Diese erkennt man auch leicht in Luftbildern – Rückkühler befinden sich oft auf dem Dach. Durch die Nutzung der bisher sinnlos an die Außenluft abgegebenen Wärme kann sich für alle Seiten eine sehr attraktive Win-Win-Situation ergeben. Natürlich werden

dabei aber auch Themen wie rechtliche Rahmenbedingungen und Ausfallrisiko mitberücksichtigt werden müssen.

Darüber hinaus stehen viele – wie schon auf Seite 1 beschrieben – verschiedene Wärmequellen zur Verfügung.

Der Erdsondenspeicher ist nicht als Wärmequelle zu sehen, da über das Jahr gesehen eine ausgeglichene Wärmebilanz erreicht werden muss.

Je nach Höhe des Wärmebedarfs, der nicht durch den Kältebedarf ausgeglichen werden kann, muss mehr oder weniger intensiv auf die anderen Energiequellen zurückgegriffen werden. Die Auswahl sollte sich dann an wirtschaftlichen Gesichtspunkten orientieren. Außenluft und Solarenergie sind auf dem gesamten Areal für gewöhnlich gleichmäßig verfügbar. Der Ort der Gewinnung richtet sich daher nach der Gebäudestruktur. Bei Luftwärmepumpen ist auf den Schallschutz zu achten.

Beim Grundwasser können unterschiedliche geologische, aber auch rechtliche Gegebenheiten eine Rolle spielen. Gibt es bereits eine Grundwassernutzung, dann darf diese nicht negativ beeinträchtigt werden. Dies kann zu einem Zielkonflikt werden: Große innovative Energiekonzepte können unter Umständen nicht umgesetzt werden, wenn es in der Umgebung eine kleine bestehende Grundwassernutzung gibt. Rechtliche Möglichkeiten den Inhaber der „kleinen“ Nutzung unter Gewährung einer fairen finanziellen Entschädigung zu einer Zustimmung zu bringen, sind derzeit nicht vorgesehen.

Beim Abwasser ist man am stärksten an die lokalen Gegebenheiten gebunden. Bei der Suche nach dem größten Abwasserkanal kann der Kanalkataster (für Wien z.B. auf [www.kanis.at](http://www.kanis.at) abrufbar) als Orientierung dienen. Zur genaueren Analyse sollte mit dem Kanalnetzbetreiber Kontakt aufgenommen werden. Dieser ist dann auch Ansprechpartner für die vor der Dimensionierung der Anlage durchzuführenden Kanalmessungen (Durchfluss und Temperatur) und die genaue Ausgestaltung der thermischen Abwassernutzungsanlage.

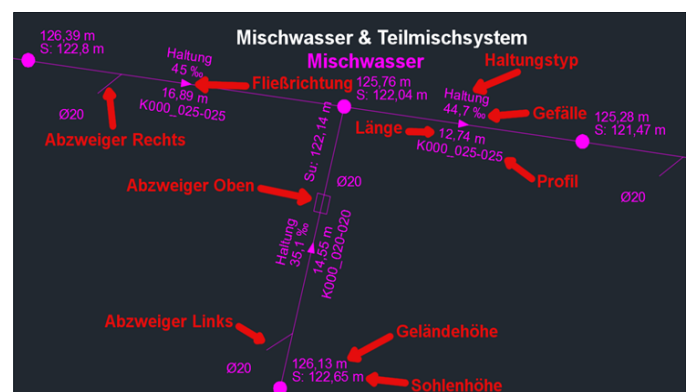


Bild: Entwässerungssystem;  
Quelle: Stadt Wien (Wien Kanal)

In kleineren Kanalnetzen ist es auch unbedingt notwendig mit dem Kläranlagenbetreiber (kann, muss aber nicht verschieden vom Kanalnetzbetreiber sein) Kontakt aufzunehmen. Eine hohe Entzugsleistung kann — je nach Kläranlagengröße und Entfernung zwischen Wärmetauscher und Kläranlage — deren Reinigungsleistung negativ beeinflussen.

Bei der Leitungsplanung bzw. Planung der Heizzentralen sollte aus hydraulischen Gründen auf ca. gleich große Zentralen hingearbeitet werden.

Kann man auf eine Vielzahl von Wärmequellen und Wärmepumpen zurückgreifen, verliert ein Backup-System (z.B. Gas- oder Biomassekessel) an Relevanz. Letztlich ist es eine Abwägung von Wirtschaftlichkeit und Risiko, ob eine solche Sicherheitsoption eingeplant wird. Grundsätzlich ist ein System aus Wärmepumpen und Anergienetz nicht auf die Anwesenheit von Backups angewiesen. Jedoch kann die Auslegung der Wärmepumpen auf eine Spitzenlastabdeckung durch Biomasse, Erdgas, Heizöl etc. abgestellt sein oder die eine oder andere Wärmequelle nicht oder nicht im erhofften Ausmaß zur Verfügung stehen – in diesen Fällen ist ein Zusatzheizsystem vorzusehen.

## Beispiel: Wiener Stadtentwicklungsgebiet Nordwestbahnhof

Am Nordwestbahnhof im 20. Wiener Gemeindebezirk sollen in einigen Jahren Gebäude mit einer Gesamtfläche von 780.000 m<sup>2</sup>, verteilt auf 20 Blöcke, errichtet werden. Der Großteil wird für Wohnbau genutzt werden (min. 68 %). Der Rest teilt sich auf Büronutzung, Schulen, Geschäfte, Restaurants etc. auf. Die Vorgaben sind im Leitbild aus dem Jahr 2008 ([www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/nordwestbahnhof](http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/nordwestbahnhof)) festgehalten: Demnach sollen etwa 5.000 Wohnungen für 11.000 Personen sowie 5.000 Arbeitsplätze (Büros, Gewerbeflächen, Schulen, Gastronomie) errichtet werden. Derzeit geht der Trend aber aufgrund der Nachfrage mehr in Richtung Wohnbau. Dies wird aber erst im Zuge der noch nicht durchgeführten Flächenwidmung festgelegt.

Bild: Rundgang, Nordbahnhof  
Foto: Die Grünen, Leopoldstadt



Die Analyse des Wärme- und Kältebedarfs ergab ein großes Ungleichgewicht: 30 GWh/a für Heizung, 15 GWh/a für Warmwasser, aber nur 2 GWh/a für Kühlung erforderten eine intensive Auseinandersetzung mit diversen vor Ort verfügbaren erneuerbaren Energieträgern.

Im Prinzip konnten alle in dieser Broschüre genannten Energieträger als verfügbar identifiziert werden. Einzig beim Grundwasser entschied man sich, dieses nicht weiterzuverfolgen. Einerseits machte eine konkurrierende Nutzung Probleme. Andererseits ist auch das Potenzial, auch aufgrund bereits bestehender Nutzungen, eher gering.

Flusswasser war auch eine Option, die aufgrund der Nähe der Donau (Entfernung knapp 1 km) untersucht wurde. Man entschied sich dann aber dafür, diese Idee bei Erweiterungsgebieten näher an der Donau (oder auch Donaukanal) weiterzuverfolgen, da die Frage der Zuleitungen mit komplizierten rechtlichen und baulichen Verfahren verbunden gewesen wäre.

Beim Abwasser ergab ein Blick in das Kanalinformationssystem KANIS, dass unter der Dresdner Straße bzw. Nordbahnstraße ein großer Hauptsammler verläuft, der einen erheblichen Teil des 20. Bezirks Richtung Süden entwässert. Aufgrund der Ergebnisse der Zählsprenzelzählung, auf [www.kartenwerkstatt.at](http://www.kartenwerkstatt.at) graphisch aufbereitet, zeigte sich ein Einzugsgebiet von etwa 25.000 Bewohnern, auf dessen Basis der Abwasserfluss im Trockenwettermittel auf 40 l/s geschätzt wurde. Erste Messungen, die im November 2015 nahe Taborstraße Ecke Nordbahnstraße gestartet wurden, zeigen sogar einen etwas höheren Abfluss. Die Temperatur überstieg mit 16,5 °C Anfang Dezember die Erwartungen deutlich.

Von den über 90.000 m<sup>2</sup> Dachfläche wurden 30.000 m<sup>2</sup> als für Solarenergie brauchbar angenommen. Damit sind andere Dachnutzungen wie Dachterrassen, Begrünung etc. berücksichtigt. Zunächst wurden PV- und PVT-Kollektoren (Hybridmodule) gegenübergestellt. Der im Verhältnis zum Kältebedarf hohe Wärmebedarf und die sogar leicht bessere Gesamtkostenbilanz (Annuitäten) sprachen dann aber für die Hybridmodule. Zwar sind die Anschaffungskosten der PVT-Module etwa 50 % höher als die der PV-Module, aber wegen des höheren Energieoutputs rechnen sich diese anfänglichen Mehrkosten auf lange Sicht.

Die Erdsonden wurden im Konzept unter den bebauten, unterkellerten Flächen konzentriert. Die so verfügbare Fläche ist aber weit größer als für die benötigte Speicherenergie notwendig ist. Daher können diese z.B. näher bei den Heizzentralen konzentriert werden.

Aufgrund von Luftbildern von [www.wien.gv.at/stadtplan](http://www.wien.gv.at/stadtplan) konnten einige Gebäude in der nahen Dresdner Straße identifiziert werden, in denen aufgrund von Dachrückkühlern ein hoher Kältebedarf zu erwarten ist. Anstatt die Abwärme auf das Dach zu leiten und an die Umwelt abzugeben, könnte diese mittels entsprechender Wärmetauscher und Leitungen in das Anergienetz gespeist und so für die Regenerierung der Erdspeicher genutzt werden. Kältelieferungen an diese Gebäude sind hingegen nicht vorgesehen.

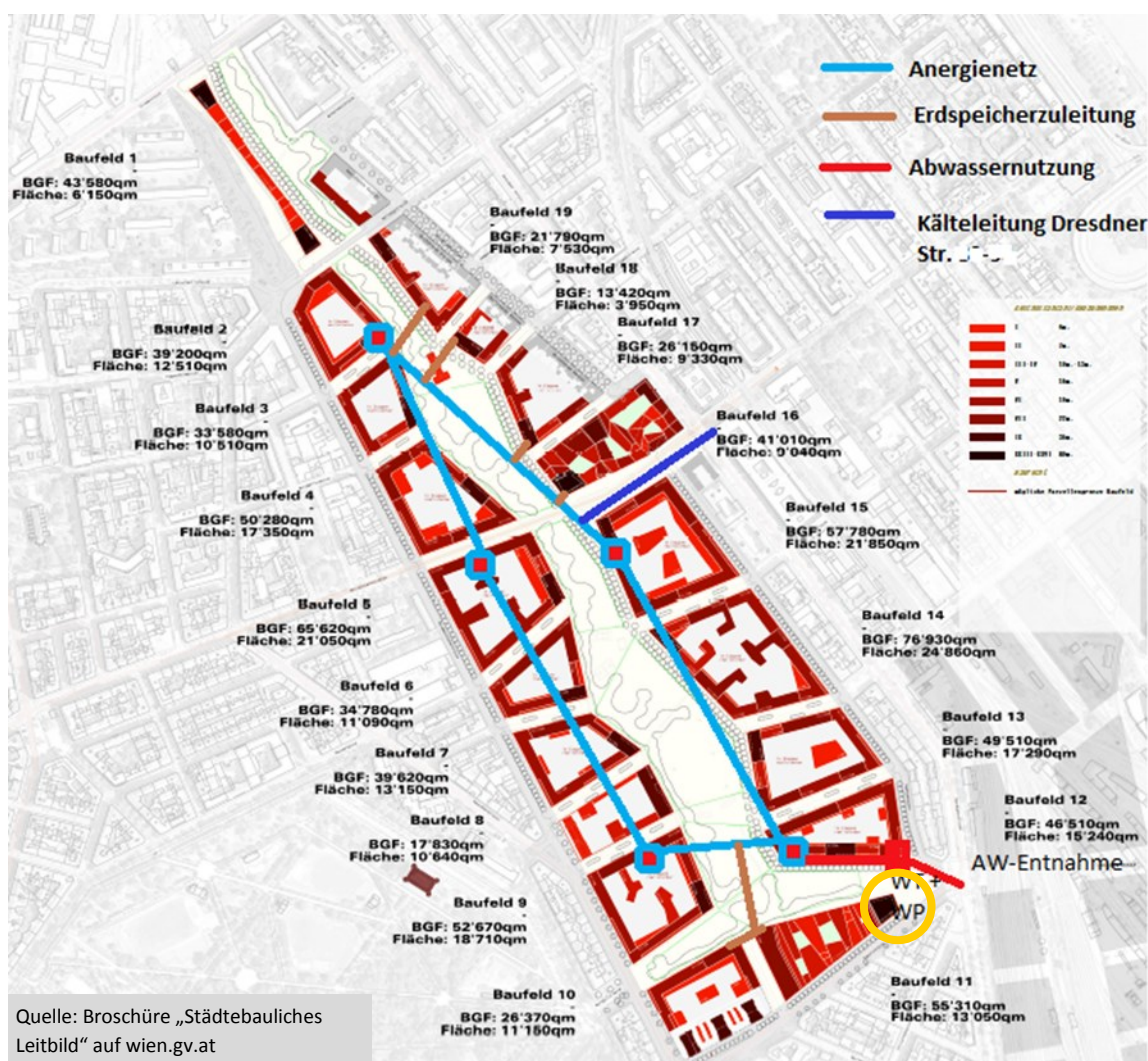
Die Anhebung auf Heiztemperaturniveau (max. 40 °C beim Wärmepumpenaustritt) erfolgt in fünf Heizzentralen. Diese sind gleichmäßig über das Gebiet verteilt. Die Anzahl Fünf ergab sich durch die räumliche Anordnung der Baublöcke, die in fünf etwa gleich große Gruppen geteilt werden konnte.

Eine höhere Anzahl an Heizzentralen erhöht den Aufwand für die Errichtung der Räumlichkeiten und bei wesentlich höherer Anzahl auch die Kosten der Aggregate („economies of scales“), verringert andererseits aber die Wärmeverluste, da die Länge der warmen Leitungen reduziert wird.

Bei der Wahl des Warmwassersystems wurde auf eine hohe Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe und niedrige Betriebskosten geachtet. Daher wurde die Option der dezentralen Warmwasserwärmepumpen, die als Quelle das Anergienetz nutzen, gewählt (entspricht der Variante 3 auf Seite 4). Die zweistufige Variante mit Nutzung des Heizungsnetzes hätte einen Verlust an COP und damit einen Energiemehrverbrauch bewirkt.

Pro Block sind zwei unterschiedlich große Wärmepumpen zur Warmwasserbereitung vorgesehen, damit bei unterschiedlichem Bedarf möglichst immer im höheren Leistungsbereich gefahren werden kann, womit die Arbeitszahl optimiert werden kann. Dabei kann jeweils eine Wärmepumpe für die andere kurzfristig auch als Backup dienen. Dafür müssen natürlich entsprechende Verbindungsleitungen installiert werden. Zur weiteren Erhöhung der Ausfallsicherheit können entsprechende Pufferspeicher vorgesehen werden.

Für das Gesamtsystem wurden fünf Varianten ökologisch und ökonomisch verglichen:



- „PVT“: PVT-Kollektoren und Auslegung von Anergienetz und Wärmepumpen auf die Normaußentemperatur
- „PV“: PV-Kollektoren und Auslegung von Anergienetz und Wärmepumpen auf die Normaußentemperatur
- „PVT+Gas“: PVT-Kollektoren und Auslegung von Anergienetz und Wärmepumpen auf 0 °C min. Außentemperatur, Spitzenlast über Gaskessel
- „PV+Gas“: PV-Kollektoren und Auslegung von Anergienetz und Wärmepumpen auf 0 °C min. Außentemperatur, Spitzenlast über Gaskessel
- „Gas“: Referenzvariante mit Gaskesseln (einer pro Block) und einem Mindestmaß an thermischen Solaranlagen laut Wiener Bauordnung (1 % der Wohnfläche, Stand: September 2015)

- realer Zinssatz 3 %
- Ersatzbeschaffungen und Wartung/Instandhaltung lt. VDI und anderen Quellen berücksichtigt

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigte, dass weniger als 20 % des Energiesystems, z.B. etwas mehr als die Hälfte der Kosten der PVT-Hybridkollektoren, gefördert werden müsste, damit die Variante mit der Wirtschaftlichkeit einer Gasversorgung mithalten könnte. Dass mit dieser Option die inländische Wertschöpfung sowohl kurzfristig (in der Bauphase) als auch langfristig (weniger Geldabfluss für Gasimporte) erhöht werden kann, wurde hier noch nicht berücksichtigt.

## Energiebilanz

Folgende Tabelle zeigt die thermische Energiebilanz:

Energiebilanz Heizzentralen in MWh/a	PVT	PV	PVT+Gas	PV+Gas	Gas
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
<b>Summe</b>	<b>48.711</b>	<b>48.711</b>	<b>48.711</b>	<b>48.711</b>	<b>48.711</b>
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
<b>Summe</b>	<b>48.711</b>	<b>48.711</b>	<b>48.711</b>	<b>48.711</b>	<b>48.711</b>
Stromverbrauch MWh/a	14.026	16.898	12.851	15.723	-
Gasverbrauch MWh/a	-	-	2.927	2.927	56.660

Die elektrische Energiebilanz stellt sich wie folgt dar:

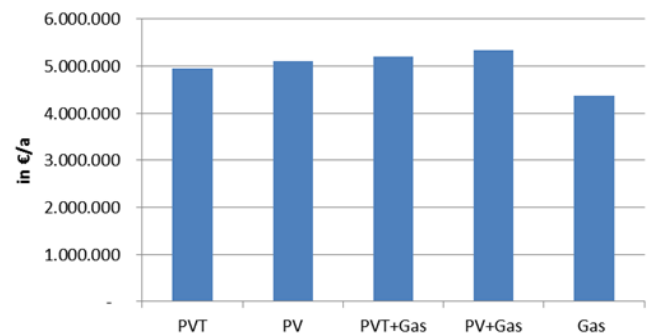
- Stromverbrauch Wohngebäude: 17.031 MWh/a
- Stromverbrauch Nichtwohngebäude: 21.676 MWh/a
- Stromverbrauch Wärmepumpen: 14.113 MWh/a
- Stromproduktion PVT (2 der 4 Varianten): 4.585 MWh/a
- Defizit: 48.235 MWh/a

## Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Annahmen für die ökonomischen Analysen wurden folgendermaßen gewählt:

- Gaspreis: 49 €/MWh
- Strompreis: 121 €/MWh (Gas und Strom: mittlerer Großhandelspreis inkl. Abgaben und Steuern 2013 – 2015)
- Einspeisetarif: 65,822 €/MWh (Wien Energie lt. PV Austria)
- Annuitätenmethode (preisdynamisch)
- Betrachtungszeitraum 25 Jahre

## Annuität

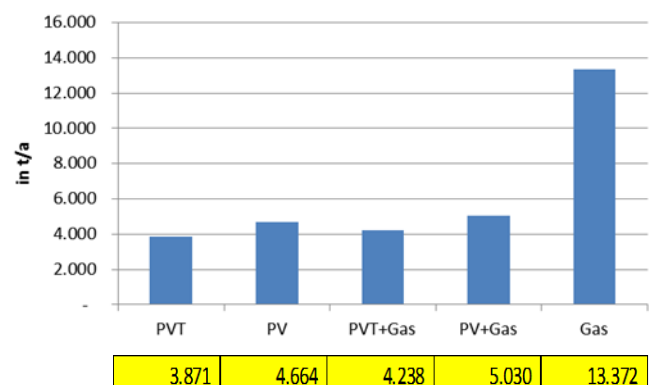


## Ökologische Bilanz

Bei der ökologischen Bilanz wurden die CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Primärenergieverbrauch berücksichtigt. Die Faktoren entstammen der OIB 6-Richtlinie 2015.

- Die Variante „Gas“ weist überall zwei- bis viermal so hohe Werte auf wie die vier erneuerbaren Optionen.
- Die vier erneuerbaren Optionen liegen in einem ähnlichen Bereich, wobei jeweils die PVT-Variante um etwa 5 bis 25 % besser bilanziert als die anderen

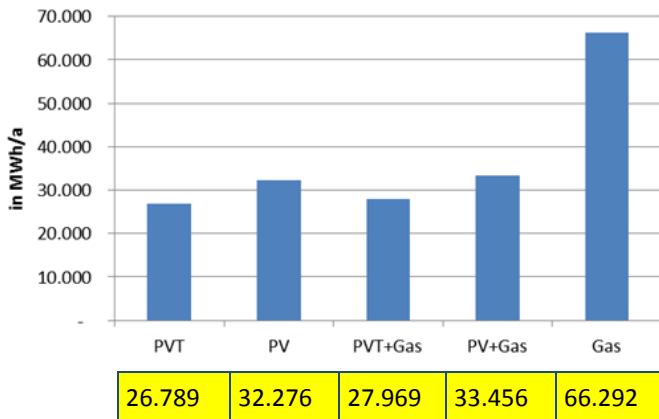
## CO2-Emissionen



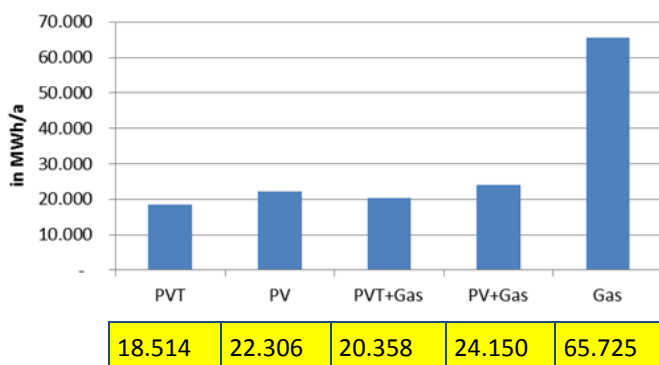
- Gegenüber einer Gasversorgung könnten auf dem Areal des Nordwestbahnhofs mit der Variante mit PVT somit 47 GWh/a nicht erneuerbarer Primärenergieverbrauch und 9.500 t CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden.

## Im Überblick die wichtigsten Ergebnisse zum Stadtentwicklungsgebiet Nordwestbahnhof:

### Primärenergieverbrauch gesamt



### Primärenergieverbrauch nicht erneuerbar



- Die beste ökologische Bilanz weist die Variante „PVT“ auf.
- Damit stellt diese Variante unter den erneuerbaren Optionen sowohl kostenmäßig als auch in der Umweltbilanz das Optimum dar.
- Bei einer Investitionskosten-Förderung von unter 20 % der Gesamtkosten für das Energiesystem (bzw. 50 % für die PVT-Kollektoren ohne sonstige Förderungen) ist die Variante „PVT“ auch bereits wirtschaftlicher als die konventionelle Lösung mit Erdgaskesseln und Solarthermie laut WBO.
- Die erneuerbaren Optionen erhöhen den inländischen Wertschöpfungsanteil wahrscheinlich massiv, womit sich die Mehrkosten relativieren.
- Bis zum Baubeginn am Nordwestbahnhof ist aufgrund der Neuheit der Technologie der PVT-Kollektoren mit sinkenden Preisen zu rechnen.
- Bei UVP-Pflicht wäre die konventionelle Lösung „Gas“ in dieser Form nicht genehmigungsfähig, da in diesem Fall strengere Grenzwerte als laut Bauordnung gelten!



© media wien, MA 21A



## Innovative Konzepte

zur Versorgung großvolumiger städtischer Neubauten

Projektpartner:



Förderstellen:



