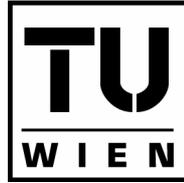


Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

„Oberflächennahe Erdwärmenutzung in Österreich – Überblick und Statuserhebung“

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades des
Diplom- Ingenieurs

unter der Leitung von
Em.o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.h.c.mult. Dr.techn. Heinz Brandl
Univ.- Ass. Dipl.- Ing. Richard Kaller
Institut für Geotechnik (E220)
Fachbereich für Grundbau, Boden- und Felsmechanik

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von
Andrea Zauner
Matr. Nr. 0325120
Felbigergasse 123/4/9
1140 Wien

Wien, im März 2009

Kurzfassung

Diese Arbeit soll einen umfassenden Überblick über das Thema der oberflächennahe Erdwärmenutzung eröffnen. Das gesamte System wird betrachtet: vom Primär- bzw. Gewinnungskreislauf über die Wärmepumpe bis zum Sekundär- oder Nutzungskreislauf werden die vielfältigen Systemlösungen aufgezeigt und erläutert. Ergänzend dazu werden die geotechnischen sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen erörtert und die möglichen Entzugsleistungen abhängig von den Untergrundverhältnissen, der jährlichen Betriebszeit sowie dem gewählten Gewinnungskreislauf dargestellt.

Erdwärmeeinrichtungen werden sowohl hinsichtlich umweltpolitischer wie auch wirtschaftlicher Aspekte beleuchtet und herkömmlichen Heizanlagen gegenübergestellt. Letztendlich widmet sich diese Arbeit auch der Statuserhebung in Österreich, von der Anzahl der bestehenden Anlagen über die Fördermodalitäten, das Leistungsspektrum der momentan am Markt erhältlichen Wärmepumpen, dem Energieverbrauch und Emissionsausstoß bis hin zu einem Vergleich der Wirtschaftlichkeit. Ausführungsbeispiele schließen diese Diplomarbeit ab und sollen zeigen, welches außerordentlich große Potential in Erdwärmeeinrichtungen steckt.

Abstract

This work is to give a comprehensive overview of the topic surfacenear geothermal energy use. The entire system is considered: from primary or production cycle over the heat pump up to the secondary or use cycle the various system solutions are presented and explained. Additionally, the geotechnical as well as the legal basic conditions are discussed, and the possible extracted energy depending on the situation of the subsoil, the annual period of operation and the selected production cycle is pointed out.

Geothermal heat plants are investigated both in environmental - political as well as in economic aspects and are compared to conventional heating systems. Finally, this work also contains a survey of the present state in Austria, regarding the number of existing plants, the modalities of furtherances, the performance spectrum of currently at the market available heat pumps, the energy consumption and emissions up to a comparison of efficiency. Case histories close this thesis and ought to illustrate, what enormous potential geothermal heat plants include.

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich all jenen Personen danken, die zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Em. o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. h.c.mult. Dr. techn. Heinz Brandl und Univ. Ass. Dipl.-Ing. Richard Kaller, die sich stets die Zeit genommen haben, mir bei Schwierigkeiten weiterzuhelfen und immer mit nützlichen Tipps zur Stelle waren, mich aber trotzdem mit großer Freiheit an diesem hochinteressanten Fachgebiet haben arbeiten lassen.

Großer Dank gebührt auch Dipl.- Ing. Dr. Frank Huber und Dipl.-Ing. Bmstr. Felix Friembichler, die den Anstoß zu dieser Arbeit gaben und mir in allen Phasen dieser Diplomarbeit mit nützlichen Hinweisen zur Seite standen und auch einige hilfreiche Kontakte herstellten.

Der größte Dank gilt aber meinen Eltern, Andrea und Dipl.- HTL- Ing. Gerhard Zauner, meinen Großeltern Gertrude und Ing. Josef Zauner und meinem Freund, Bernhard Keinrath, die mich während des gesamten Studiums unterstützt haben, bei Erfolgen und Misserfolgen hinter mir gestanden sind und oft geduldig gewartet haben, wenn ich mit Arbeiten für das Studium beschäftigt war. Ohne sie hätte ich mich nicht so sorglos meinem Studium widmen können. Ihnen widme ich diese Diplomarbeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Gewinnungskreislauf	8
2.1	Erdwärme als Energiequelle	8
2.2	Geotechnische Parameter	9
2.3	Rechtliche Rahmenbedingungen	13
2.3.1	Wasserrechtsgesetz	13
2.3.2	Mineralrohstoffgesetz	14
2.3.3	Baurecht	14
2.3.4	Andere gesetzliche Normen	15
2.3.5	ÖWAV Regelblatt 207	15
2.4	Technologische Möglichkeiten der oberflächennahen Geothermie	16
2.4.1	Horizontale Absorber	16
2.4.2	Erdwärmesonde	20
2.4.3	„Energiebrunnen“	22
2.4.4	Massivabsorber	23
2.4.5	Abschätzung der Auslegung von oberflächennahen Erdwärmekollektoren.....	30
2.5	Technologische Möglichkeiten der tiefen Geothermie	31
2.5.1	Warme Tunnel- bzw. Bergwässer	31
2.5.2	Deep Heat Mining bzw. Hot-Dry-Rock Prinzip	31
2.5.3	Hydrothermale Energienutzung	32
2.6	Vergleich der Absorberelemente	33
3	Wärmepumpen.....	35
3.1	Funktionsweise.....	35
3.2	Kennzahlen	36
3.3	Wärmepumpentypen	37
3.4	Kältemittel.....	38
3.5	Anlagenformen.....	39
3.5.1	Monovalenter Betrieb	40
3.5.2	Monoenergetischer Betrieb	40
3.5.3	Bivalenten Betrieb	41
3.6	Betriebsformen	42
3.6.1	Heizen mit Wärmepumpen	43
3.6.2	Free Heating	44
3.6.3	Kühlen mit Kühlmaschine	45
3.6.4	Free Cooling.....	46
3.6.5	Saisonale Speicherung	47

4	Nutzungskreislauf	48
4.1	Wärmeabgabesystem und Kühlflächen.....	48
4.1.1	Fußbodenheizung.....	51
4.1.2	Wandheizung.....	52
4.1.3	Bauteilaktivierung, Heizen und Kühlen mit Beton.....	53
5	Statuserhebung	56
5.1	Bestehende Anlagen.....	56
5.2	Förderungen für Erdwärmeanlagen.....	64
5.3	Leistungsbereich.....	70
5.4	Energieverbrauch.....	73
5.5	Emissionsausstoß.....	74
5.6	Wirtschaftlichkeit im Vergleich.....	79
6	Ausgeführte Projekte	93
6.1	Einfamilienhäuser.....	93
6.1.1	Einfamilienhaus mit Flächenkollektor, Salzburg.....	93
6.1.2	Einfamilienhaus mit Tiefensonde, Neubau, Oberösterreich.....	95
6.1.3	Einfamilienhaus mit Tiefensonde, Sanierung, Niederösterreich.....	96
6.2	Mehrfamilienhäuser.....	98
6.3	Öffentliche Bauten.....	99
6.4	Sonderbauten.....	101
6.4.1	Büroturm Uniqua Tower (Wien).....	101
6.4.2	Einkaufszentrum Atrio (Villach, Kärnten).....	102
6.4.3	Mega BauMax Wels.....	104
6.4.4	Trepka - Zentrale in Betonfertigteilbauweise (Obergrafendorf, NÖ).....	105
6.4.5	Rotes Kreuz Gebäude (Hollenstein, Niederösterreich).....	107
6.4.6	Neuer Hauptbahnhof (Wien).....	110
7	Zusammenfassung	114
8	Quellenverzeichnis	115
9	Abbildungsverzeichnis	118
10	Tabellenverzeichnis	122

1 Einleitung

„Gaskrise“, „Globale Erwärmung“, „Kyoto- Protokoll“ – das alles sind Schlagworte, die aktuell durch die Medien und unseren Alltag schwirren. In sehr vielen Lebensbereichen ist die Rede von Energieeinsparung und CO₂-Reduktion. Tatsächlich ist es so, dass die durchschnittliche Jahrestemperatur steigt, Gletscher sich immer weiter zurückziehen und selbst das ewige Eis an den Polen schmilzt. Dieser Temperaturanstieg ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf den Menschen und seine Emissionen zurückzuführen. Dass Kohlendioxid eine wesentliche Rolle spielt, gilt als unumstritten. [75]

Darüber, dass „etwas“ getan werden muss, sind sich viele einig, nur das „Wer“ und „Wie“ sind nach wie vor ein heißes Thema. Genau hier soll diese Arbeit einhaken. Aus Abb. 1 geht hervor, dass gut drei Viertel der Energie in einem privaten Haushalt für die Heizung eingesetzt wird. (Ein oder eventuell sogar mehrere Kraftfahrzeuge bleiben bei dieser Betrachtung unberücksichtigt)

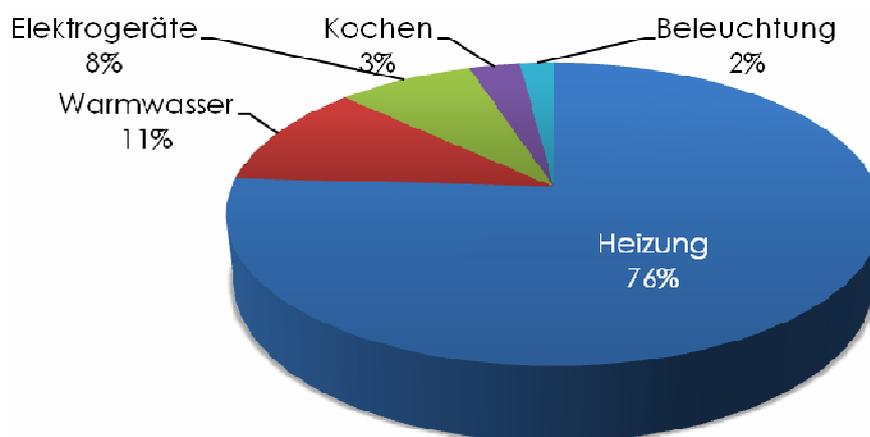


Abb. 1: Energieverbrauch im privaten Haushalt (Beispiel Deutschland)[28, überarbeitet]

Jedes Jahr gelangen mehrere hunderttausend Tonnen Kohlendioxid von den Heizanlagen der österreichischen Haushalte in die Atmosphäre. Kohlendioxid, das maßgebender Verursacher des anthropogenen Treibhauseffekts ist. Erdwärmanlagen bieten für alle Bauherren die Möglichkeit, durch die Wahl eines solchen Heiz- bzw. Brauchwasseraufbereitungssystems zur Senkung des CO₂- Ausstoßes beizutragen. Außerdem kann mit einem solchen Heizsystem auch der gesamte Energieverbrauch des Haushalts gesenkt werden, was angesichts der permanent steigenden Energiekosten neben dem Umweltaspekt ein weiterer Anreiz für eine Entscheidung für eine Wärmepumpe ist.

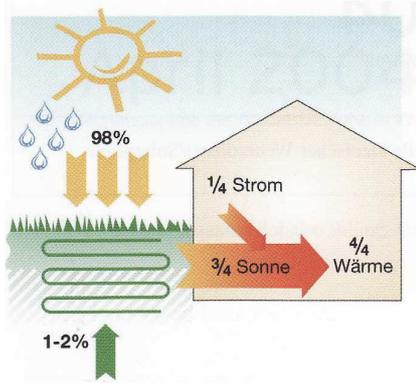


Abb. 2: Energieschema einer geothermisch betriebenen Wärmepumpenanlage [28]

Wie in Abb. 2 ersichtlich stammt der Großteil der oberflächennahen, im Boden gespeicherten Energie aus solaren Einträgen. Der kleine Rest der im Untergrund vorhandenen Energie stammt aus durch Konvektion in die Erdkruste transportierter Wärme aus dem Erdinneren.

Die gesamte Heizenergie setzt sich bei diesen Anlagen aus ca. 3/4 kostenloser Umweltenergie und ca. 1/4 zugeführter Energie für die Wärmepumpe zusammen. Neben dem besonders wirtschaftlichen Betrieb sind solche Anlagen auch äußerst komfortabel, sicher, umweltfreundlich und

die Geräte können, ohne Räume mit besonderen Anforderungen zu benötigen (vgl. Öllageraum, Heizraum, ...), platzsparend im Gebäude untergebracht werden.

In dieser Arbeit soll nicht nur das hochinteressante Thema Erdwärmennutzung mit seinen vielen Facetten, Möglichkeiten und Anwendungsbereichen näher beleuchtet, sondern auch eine Statuserhebung zur Erdwärmennutzung in Österreich durchgeführt und auf die Leistungsfähigkeit solcher Anlagen eingegangen werden. Aus den Erhebungen soll die Entwicklung am österreichischen Wärmepumpenmarkt ersichtlich werden, Tendenzen erkannt und herausgefiltert werden. Interessant ist auch, wie stark Erdwärmeeanlagen verbreitet sind, ob es Konzentrationen solcher Anlagen gibt und wenn ja, wo und weshalb.

Die systematische Gliederung in die grundlegenden Bereiche Gewinnungskreislauf, Nutzungskreislauf sowie der zwischengeschalteten Wärmepumpe sind in Abb. 3 ersichtlich.



Abb. 3: Systembereiche der Erdwärmennutzung

Neben den anlagentechnischen Aspekten sollen auch die geotechnischen und rechtlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden.

2 Gewinnungskreislauf

In diesem Kapitel wird der Kreislauf zur Wärmegewinnung im Boden beschrieben. Zu Beginn wird der Frage der Energiequelle nachgegangen. Ausgehend von den geotechnischen und den rechtlichen Rahmenbedingungen wird auf die verschiedenen Absorberformen und Verlegearten sowie auf die Anwendungsbereiche eingegangen.

Prinzipiell muss zwischen tiefer und nicht tiefer oder auch oberflächennaher bzw. seichter Geothermie unterschieden werden. Der oberflächennahen Erdwärmennutzung sind sämtliche Absorberelemente, wie Flächenabsorber, Massivabsorber und Energiebrunnen sowie die Erdwärme- bzw. Energiesonden zuzuordnen. Zu tiefer Geothermie zählt das Hot Dry Rock Verfahren, mit dem auch Energien in Tiefen von mehreren Kilometern erschlossen werden. Das Kapitel „Gewinnungskreislauf“ endet mit einer Gegenüberstellung der zuvor erörterten Verfahren.

2.1 Erdwärme als Energiequelle

Bevor auf die Nutzung der Erdwärme eingegangen wird, soll vorerst geklärt werden, woher diese Energie überhaupt kommt. Wie der Name es schon ausdrückt, ist Erdwärme in der Erde gespeicherte Wärme. Die Herkunft dieser Wärme lässt sich auf dreierlei Quellen zurückführen:

1. Restwärme aus der Erdentstehung
2. Wärme aus radioaktiven Zerfallsprozessen (Uran, Thorium und Kalium)
3. im oberflächennahen Bereich Wärme aus solaren Einträgen in die Erdkruste.

Der Erdkern selbst weist nach Schätzungen Temperaturen zwischen 4.500 und 6.500°C auf. Diese Wärme wird über Konduktion, aber auch über Konvektion in für uns nutzbare Tiefenbereiche transportiert. Je weiter also vom Kern entfernt, desto kühler, bzw. umgekehrt: je weiter von der Oberfläche entfernt, also je tiefer, desto wärmer; man spricht von geothermischen Tiefenstufen. Als Richtwert können 3°C Temperatursteigerung je 100m Tiefe genannt werden.

Wie auf der unten stehender Grafik (Abb. 4) erkennbar ist, wirken sich die jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen im oberflächennahen Bereich bis ca. 20m unter der Erdoberfläche aus. Ab ca. 20m herrschen konstante Temperaturverhältnisse unabhängig von den Temperaturschwankungen ober-tage. Diese konstante Temperatur entspricht in etwa dem Jahresmittel der Lufttemperatur an der Oberfläche. Bereits die Gallier, Kelten und German

machten sich die heißen Wässer aus dem Erdinneren zu Nutze, die Römer bauten erste Thermen. Auch im Königreich der Chinesen und der Ottomanen profitierte man von dieser Wärme. [15]

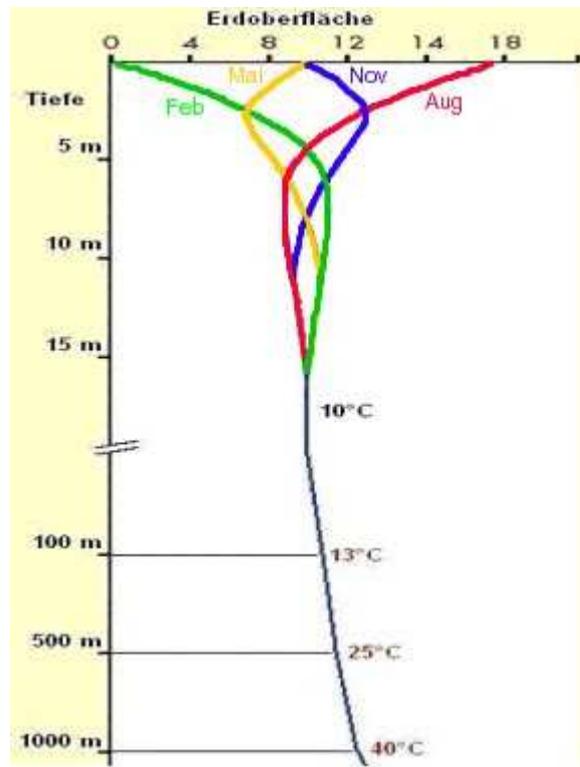


Abb. 4: Temperaturverlauf im Boden für die Monate Februar, Mai, August und November [47]

2.2 Geotechnische Parameter

Ein Kennwert für die mögliche Wärmeentzugsmenge aus dem Boden ist die spezifische Wärmekapazität. Diese ist stark abhängig von der Porosität, also jenem Volumenanteil, der von Wasser ausgefüllt werden kann. Des Weiteren ist sie von der Mineralzusammensetzung abhängig. So haben zum Beispiel Silikate gegenüber Wasser eine schlechtere spezifische Wärmekapazität und auch eine schlechtere Wärmeleitfähigkeit. [22]

In Österreich und auch in Europa gibt es neben den geologischen Karten, die Information über geologische Strukturen und vor allem das anstehende Gestein geben, auch Karten, die Auskunft über die wahrscheinlich vorherrschenden Temperaturen in der Tiefe geben. Grundlage dieser Kartierungen sind seismologische Messungen sowie direkte Kenntnisse aus verschiedenen Bohrungen bzw. bergmännischen Aktivitäten. Abb. 5 zeigt beispielhaft eine grobe Karte des terrestrischen Wärmestroms in Österreich.

Deutlich zu erkennen sind die hohen Wärmestromdichten im Bereich der Thermenregion im Osten Österreichs. In diesen Regionen ist eine besonders dünne Erdkruste, also eine Hochlage des Erdmantels, die Ursache für dieses besonders intensive terrestrische Wärmefeld.

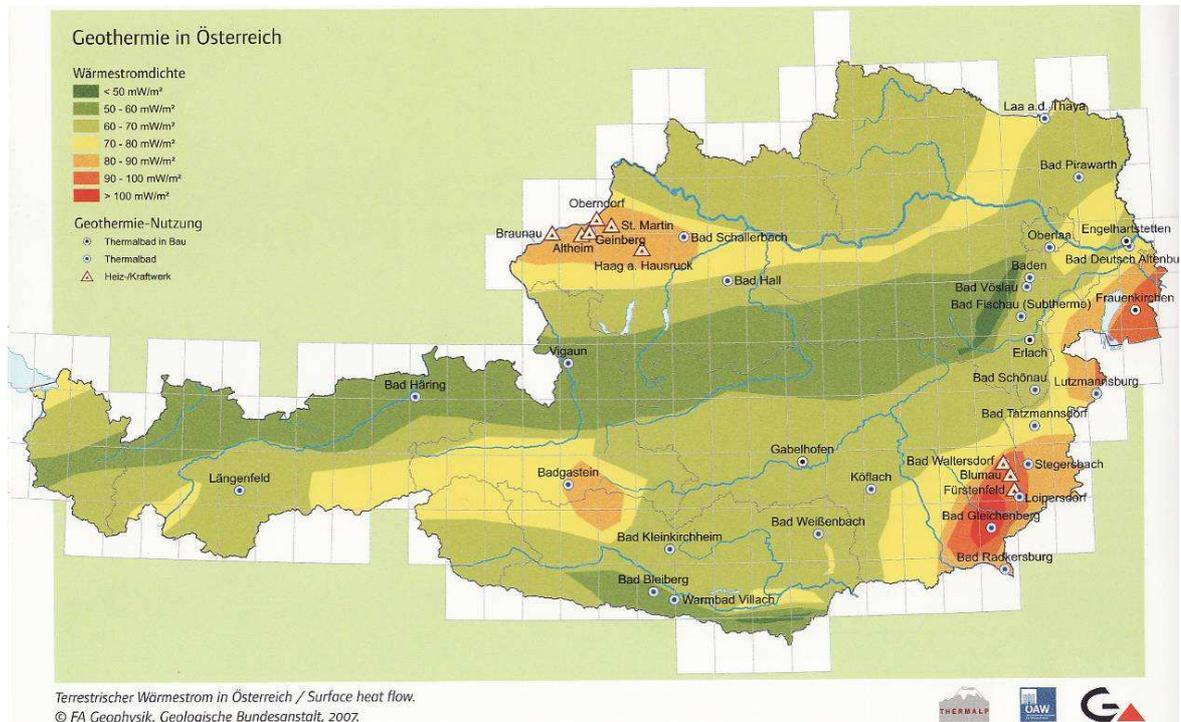


Abb. 5: terrestrischer Wärmestrom in Österreich [16]

Im oberösterreichischen Innviertel bzw. im Hausruckviertel lassen sich die ebenfalls überdurchschnittlichen geothermischen Verhältnisse auf weit reichende Tiefenwässerzirkulationssysteme zurückführen. [16]

Einflussfaktoren auf die Wärmeentzugsleistung eines Bodens sind:

- Wassergehalt – je höher der Wassergehalt, desto mehr Wärmeentzug ist möglich
- Porenanteil – abhängig von der Wasserfüllung. Bei Wasserfüllung ist ein hoher Porenanteil von Vorteil, bei trockenen Böden würde sich dieser hohe Porenanteil eher negativ auf die Entzugsleistung auswirken.
- Lagerungsdichte – je dichter die Lagerung, desto geringer der Porenanteil.
- Wärmeleitfähigkeit – je höher die Leitfähigkeit, desto mehr Wärme kann entzogen werden.
- Wärmekapazität – je höher die innere Wärmekapazität, desto mehr Wärme kann entzogen werden.
- Grundwasser – da Grundwasser eine relativ konstante Temperatur von etwa 8 bis 12 °C aufweist, hat dieses einen besonders positiven Einfluss – die Leistungszahl steigt, da das Temperaturniveau im Vergleich zu anderen Wärmequellen nicht mehr so hoch angehoben werden muss.

Folgende Richtwerte lassen sich aus der VDI 4640 für Flächenkollektoren ablesen:

Tabelle 1: Wärmeentzugsleistung für Flächenkollektoren bei 1800 Jahresbetriebsstd. [35]

Untergrund	Spezifische Entzugsleistung	
	Bei 1800 h/a	Bei 2400 h/a
Trockener, nichtbindiger Boden	10 W/m ²	8 W/m ²
Bindiger Boden, feucht	20-30 W/m ²	16-24 W/m ²
Wassergestättigter Sand/Kies	40 W/m ²	32 W/m ²

Tabelle 2: Benötigte Kollektorfläche für 1800 bis 2400 Jahresbetriebsstunden in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl [in Anlehnung an 35]

Untergrund	Benötigte Fläche pro kW Heizleistung in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (β)					
	bei 1800 h/a			bei 2400 h/a		
	$\beta = 3,5$	$\beta = 4,0$	$\beta = 4,5$	$\beta = 3,5$	$\beta = 4,0$	$\beta = 4,5$
Trockener, nichtbindiger Boden	71,4m ²	75,0 m ²	77,8 m ²	89,3 m ²	93,8 m ²	97,2 m ²
Bindiger Boden, feucht	23,8 m ² bis 35,7 m ²	25,0 m ² bis 37,5 m ²	25,9 m ² bis 38,9 m ²	29,8 m ² bis 44,6 m ²	31,3 m ² bis 46,9 m ²	32,4 m ² bis 48,6 m ²
Wassergestättigter Sand/Kies	17,9 m ²	18,8 m ²	19,4 m ²	22,3 m ²	23,4 m ²	24,3 m ²

Trockener, nichtbindiger Boden ist in Tabelle 1 mit 10 W/m² möglicher Wärmeentzugsleistung angegeben. Tatsächlich sollte aber von Erdwärmeanlagen in solchen Bodenverhältnissen Abstand genommen werden!

Für Erdwärmesonden nennt die VDI 4640 folgende, in Tabelle 3 dargestellten, Richtwerte. Die Werte gelten nur für Wärmeentzug und Sondenlängen von 40 m bis 100 m, der kleinste Abstand zwischen zwei Erdwärmesonden darf bei Sondenlängen von 40 m bis 50 m eine Länge von 5 m, bei Sondenlängen von >50 m bis 100 m eine Länge von 6 m nicht unterschreiten.

Als Erdwärmesonden kommen Doppel-U-Sonden mit DN 20, DN 25 oder DN 32mm oder Koaxialsonden mit mindestens 60 mm Durchmesser zum Einsatz. Nicht anwendbar sind Tabelle 3 und Tabelle 4 bei einer größeren Anzahl kleiner Anlagen auf begrenztem Areal.

Tabelle 3: Wärmeentzugsleistung für Tiefensonden für 1800 Jahresbetriebsstunden [in Anlehnung an 35]

Untergrund	Spezifische Entzugsleistung	
	Bei 1800 h/a	Bei 2400 h/a
Trockene Sedimente	25 W/m	20 W/m
Normaler Festgesteins- Untergrund und wassergesättigtes Sediment	60 W/m	50 W/m
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit	84 W/m	70 W/m
Kies, Sand trocken	<25 W/m	<20 W/m
Kies, Sand, wasserführend	65-80 W/m	55-65 W/m
Kies, Sand, starker Grundwasserstrom	80-100 W/m	80-100 W/m
Ton, Lehm, feucht	35-50 W/m	30-40 W/m
Kalkstein, massiv	55-70 W/m	45-60 W/m
Sandstein	65-80 W/m	55-65 W/m
Saure Magmatite (z.B. Granit)	65-85 W/m	55-70 W/m
Basische Magmatite (z.B. Basalt)	40-65 W/m	35-55 W/m
Gneis	70-85 W/m	60-70 W/m

Tabelle 4: Benötigte Sondenlänge für 1800 bis 2400 Jahresbetriebsstunden in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl [in Anlehnung an 35]

Untergrund	Benötigte Sondenlänge pro kW Heizleistung in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (β)					
	bei 1800 h/a			bei 2400 h/a		
	$\beta = 3,5$	$\beta = 4,0$	$\beta = 4,5$	$\beta = 3,5$	$\beta = 4,0$	$\beta = 4,5$
Trockene Sedimente	13,6 m	15,0 m	16,1 m	35,7 m	37,5 m	38,9 m
Normaler Festgesteins- Untergrund und wassergesättigtes Sediment	11,9 m	12,5 m	13,0 m	14,3 m	15,0 m	15,6 m
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit	8,5 m	8,9 m	9,3 m	10,2 m	10,7 m	11,1 m

Richtwerte um Künettenkollektoren abzuschätzen, können der nachfolgenden Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5: Wärmeentzugsleistung für Künettenkollektoren [in Anlehnung 35]

Bodenbeschaffenheit	Spezifische Entzugsleistung
Bindiger Boden, feucht	100 - 125 W/m Künette

2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Im Zuge der Errichtung einer geothermischen Anlage stellt sich natürlich auch die Frage der rechtlichen Rahmenbedingungen. Im Folgenden wird auf die verschiedenen gesetzlichen Hintergründe eingegangen und ein Überblick über Bewilligungs- und Anzeigepflicht bzw. auch Bewilligungs- und Anzeigefreiheit von Erdwärmeanlagen gegeben.

Bei der Errichtung einer Erdwärmeanlage ist nicht primär das privatrechtliche Eigentum an einer Liegenschaft an sich betroffen, sondern vielmehr die öffentlich-rechtlichen, im Besonderen die wasserrechtlichen Interessen durch die Nutzung der in Grund und Boden vorhandenen Ressourcen Wärme und Wasser.

2.3.1 Wasserrechtsgesetz

Das Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959) ist bundesweit gültig und regelt somit einheitlich die Rechtsvorschriften für die Errichtung von Erdwärmeanlagen aus wasserrechtlicher Sicht.

Grundsätzlich sind Wärmepumpenanlagen wasserrechtlich bewilligungspflichtig. Abhängig vom Anlagentyp sind allerdings Vereinfachungen möglich. Parteienstellung haben im Bewilligungsverfahren lediglich der Konsenswerber und das wasserwirtschaftliche Planungsorgan, gegebenenfalls auch noch der Begünstigte eines geschützten Gebiets.

- **Flachkollektoranlage:** Diese Anlagenform ist grundsätzlich bewilligungsfrei. Sie ist nur dann bewilligungspflichtig, wenn sie in besonders geschützten Gebieten (z.B. Wasserschutzgebieten, ...) oder in geschlossenen Siedlungsgebieten, deren Trinkwasserversorgung über einzelne Hausbrunnen sichergestellt wird, errichtet werden soll.
- **Erdwärmesondenanlage:** Die prinzipielle Bewilligungspflicht wird durch das vereinfachte Verfahren und somit lediglich Anzeigepflicht gem. §114 WRG 1959 erleichtert. Das bedeutet, dass der Behörde spätestens 3 Monate vor der geplanten Errichtung das Projekt anzuzeigen ist und die entsprechenden Unterlagen vorzulegen sind. Ergeht binnen dieser dreimonatigen Frist kein Einspruch oder gibt es keine Auflagen, so gilt die Anlage als bewilligt. Die Bewilligung für Tiefensonden ist mit 25 Jahren ab Einbringung der Anzeige befristet.
- **Wasser-Wasser-Wärmepumpe:** Diese Anlage, die entweder Grundwasser oder Oberflächenwasser als Wärmequelle nutzt, ist jedenfalls wasserrechtlich bewilligungspflichtig. Sie ist rein wasserrechtlich wie eine Nutzwasserentnahme und wie Einwirkungen auf Gewässer zu behandeln.

- **Anlage zur Wärmenutzung von Gewässern:** Neben der Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage, die ein offenes System ist, gibt es noch die Möglichkeit, mit einem geschlossenen System von Rohrleitungen lediglich die Wärmeenergie, und nicht das ganze Wasser abzuführen. Hier gilt dasselbe wie für Erdwärmesonden: Es liegt prinzipiell Bewilligungspflicht vor, allerdings darf das vereinfachte Verfahren angewendet werden und es besteht nur noch Anzeigepflicht.
- **Massivabsorber:** Diese Anlagenform ist im WRG nicht geregelt. Laut telefonischer Auskunft der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Wasserrecht, ist, abhängig von der Tiefe des belegten Elements, eine solche Anlage entweder Flachkollektoren oder Erdwärmesonden zuzuordnen und wie solche zu behandeln.

Nach §112 Abs. 6 WRG 1959 ist ähnlich der Bauordnung der Baubeginn sowie die Baufertigstellung von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes bei der Wasserrechtsbehörde zu melden. [5]

2.3.2 Mineralrohstoffgesetz

Die Erdwärmesonden betreffend ist die Grenztiefe 300m. Ab dieser Tiefe wechselt die Zuständigkeit vom Wasserrechtsgesetz zum Mineralrohstoffgesetz (MinroG) welches in Art. 1 §2 folgendes bezüglich Erdwärmegewinnung festlegt: „Dieses Bundesgesetz gilt weiters nach Maßgabe des Abs. 3 für die bergbautechnischen Aspekte des Suchens und Erforschens von Vorkommen geothermischer Energie sowie des Gewinnens dieser Energie (Erdwärme, Wärmenutzung der Gewässer) soweit hiezu Stollen, Schächte oder mehr als 300 m tiefe Bohrlöcher hergestellt oder benützt werden“. Eine Bewilligung für diese besonders tiefen Erdwärmesonden ist dann bei der zuständigen Montanbehörde einzuholen.

2.3.3 Baurecht

Baurechtliche Gesetzesnormen üben im Bereich der Erdwärmenutzung wenig Einfluss auf. Lediglich dort, wo Kollektoren und Gebäudebestandteil ineinander verschmelzen, was bei den Massivabsorbern der Fall ist, ist im Zuge des allgemeinen baurechtlichen Bewilligungsverfahrens eine Bewilligung für den Bauteil als Bestandteil des Gebäudes, nicht aber für den Kollektor an sich erforderlich.

2.3.4 Andere gesetzliche Normen

Ist eine Erdwärmegewinnungsanlage Teil einer, nach Gewerbeordnung 1994 bewilligungspflichtigen Betriebsanlage, so sind auch für diese Anlage zur thermischen Nutzung des Untergrundes bzw. Grundwassers die Bestimmungen der Gewerbeordnung (GO) 1994 i.d.g.F. anzuwenden.

Befindet sich die geplante Anlage in einem Naturschutzgebiet, besteht jedenfalls auch Bewilligungspflicht gemäß dem jeweils gültigen Landes- Naturschutzgesetz für das gesamte Projekt, also auch für die Erdwärmeanlage.

Gleiches gilt für Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes und des Grundwassers, wie die Erdwärmegewinnungsanlagen im Gesetzestext genannt werden, die im Zuge eines UVP- pflichtigen Projekts errichtet werden. Auch hier ist auf das gesamte Bauvorhaben, also auch auf die Erdwärmegewinnungs- bzw. – nutzungsanlage das Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVP-G) 2000 i.d.g.F. anzuwenden. [5]

2.3.5 ÖWAV Regelblatt 207 (1993)

Das Regelblatt 207 (das neue Regelblatt 207-2 steht kurz vor der Herausgabe) des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes macht ebenfalls Angaben zu Anlagen zur Gewinnung von Erdwärme. Im Wesentlichen ist dieses Regelblatt eine Erläuterung zum Wasserrechtsgesetz. Darüber hinaus wird der grundsätzliche Vorrang der Nutzung von Grundwasser für Zwecke der Trinkwasserversorgung hervorgehoben und auf wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte der Erdwärmesonden eingegangen. So ist auf Grund der in weiten Teilen Österreichs vorherrschenden geohydrologischen Gegebenheiten mit Grundwasser in mehr oder minder großen Tiefen zu rechnen. Um eben dieses vor ungünstigen Beeinflussungen durch Erdwärmesonden zu schützen, werden folgende Gefahrenmomente identifiziert:

- Mit besonderer Vorsicht ist in Gebieten mit gespanntem Grundwasser vorzugehen. Eine Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke oder ein Auslaufen ist verlässlich zu verhindern. Dies kann mittels Verrohrung und Abdichtung mittels Packersystem oder Injizierung erfolgen.
- Mit der Abdichtung der Bohrung an der Geländeoberkante ist ein Eindringen von wassergefährdenden Stoffen von der Oberfläche aus zu unterbinden.
- Von den Sonden selbst geht bei Werkstoffgebrechen die Gefahr des austretenden Wärmeträgermediums aus. Dieses sollte daher möglichst umweltverträglich sein und nach Außerbetriebnahme der Erdwärmee nutzungsanlage restlos aus der Sonde entfernt werden. Ähnliches gilt für die Betriebsmittel bei der Bohrung selbst.

2.4 Technologische Möglichkeiten der oberflächennahen Geothermie

2.4.1 Horizontale Absorber

Horizontal verlegte Absorberleitungen bilden ein geschlossenes System und können in verschiedenen Arten im Boden verlegt werden. Die Absorberleitungen werden in einer Schutzschicht aus Sand verlegt. Beim System Sole- Wasser wird als Rohrmaterial in der Regel ein PE- Rohr hart PN 10 ($25 \cdot 2,3 = 0,75'' = \text{DN } 20$ oder $32 \cdot 3 = 1'' = \text{DN } 25$) verwendet, während beim System Direktverdampfung Kupferrohre mit Kunststoffummantelung zum Einsatz kommen.

Für die Anordnung von horizontalen Absorbern ist es zweckmäßig, dass die benötigten Bodenflächen natürlich gewachsen sind, da es bei teilweiser Anschüttung zu unterschiedlichen Setzungen kommen kann und dadurch die Rohrleitungen beschädigt werden und das System nicht mehr funktionstüchtig sein könnte. Grundsätzlich gilt auch, dass je feuchter der Boden ist, desto besser ist die Wärmeleitung und desto höher ist die Wärmeentzugsleistung. Dies spiegelt sich in den erforderlichen Kollektorflächen wider. Bei lehmigen, feuchten Böden kann aus einer kleineren Fläche dieselbe Wärmemenge entzogen werden wie aus einer großen Fläche bei trockenen, schotterigen Böden, die für die Erdwärmenutzung nicht gut geeignet sind. Auch Torf ist wegen seiner schlechten Wärmeleitfähigkeit für die Erdwärmenutzung schlecht bis gar nicht geeignet.

Die Auswirkungen von Erdwärmekollektoren auf die Erdoberflächentemperatur und die Vegetation wurden bereits mehrfach untersucht, zuletzt von Studer 2006 [33].

Aus der VDI 4640 kann folgende Aussage entnommen werden: „Wenn Erdwärmekollektoren korrekt dimensioniert sind, dann sind die Einflüsse auf die Vegetation gering. [...] Bei einer Unterdimensionierung des Kollektors kann es zu einer örtlich begrenzten Auswirkung auf die Vegetation kommen (Verlängerung der Kälteperiode)“. Außerdem kann es zur Eisbildung rund um die Kollektorrohre kommen, was sich an der Oberfläche in Form von Hebungen auswirken kann.

Durch Untersuchungen belegt ist jedenfalls die Tatsache, dass mit zunehmender Tiefe die Regenerierfähigkeit des Bodens sinkt. Tiefere Erdschichten können sich nicht mehr auf ihre Ausgangstemperatur (ohne Wärmeentzug) regenerieren. Umso wichtiger ist es daher, dass Flächen, die mit Kollektoren belegt sind, nicht überbaut oder versiegelt werden, da die oberen Bodenschichten hauptsächlich oder beinahe ausschließlich durch die Sonnenenergie und das einsickernde Regenwasser regeneriert werden. Auch die Schneedecke ist relevant für die Bodentemperatur während und nach der Wärmeentzugsperiode, da diese eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit und eine geringe Durchlässigkeit aufweist und daher wie eine Isolationsschicht wirkt. Bereits 1976 bis 1977 wurden in Deutschland bestehende Anlagen vermessen mit dem Ergebnis, dass der Temperatur-

unterschied zwischen Boden mit und Boden ohne Wärmeentzug maximal 5°C beträgt. Im Hauptwurzelbereich konnte ab Anfang April kein Temperaturunterschied mehr festgestellt werden.

Eine Bepflanzung auch über den Kollektorflächen ist durchaus möglich. Das vorherrschende Groß- und Kleinklima (Lage zur Sonne, Wind, Kälteseen, etc.) muss aber jedenfalls beachtet werden. Bei der Bepflanzung sollten standortgerechte Arten bevorzugt werden. Durchgeführte Versuche lassen darauf schließen, dass robuste Pflanzen auch direkt auf dem Erdkollektor zwar langsamer, aber gesund wachsen. Obstbäume wachsen auch über den Kollektoren gut, über Ernteerträge kann jedoch noch nicht berichtet werden, da die Bäume zum Untersuchungszeitpunkt noch zu jung waren. Gemüse und Beerenpflanzen gedeihen ebenfalls gut und bringen reiche Ernte. Auch Rasen wächst nach einem etwas verzögerten Wachstum im Frühjahr gesund und ungeschädigt direkt über den Rohrregistern. Mit ausreichend Wasser und Nährstoffen sowie angepasster Rasenmischung lassen sich gute Ergebnisse erzielen. Aus wissenschaftlich nicht belegten Gründen wird von der Pflanzung von tief wurzelnden Gehölzen wie zum Beispiel Tanne, Walnuss oder Eberesche direkt über den Kollektoren abgeraten. Schäden durch Wurzeldickenwachstum sind allerdings keine bekannt. Im Falle einer Fällung eines Baumes ist es wichtig, dass der Wurzelstock nicht gerodet sondern durch Fräsen entfernt wird, um eine Schädigung der Kollektorleitungen zu vermeiden. [33]

(1) Flächenkollektor

Bei Flächenkollektoren werden die Rohrleitungen in einer Tiefe von 1,0 – 1,5 m und mit einem Abstand von mindestens 50 cm bei bindigen, feuchten Böden und mindestens 80 cm bei sandigen, schotterigen, trockenen Böden verlegt. Pro zu beheizendem Quadratmeter Nutzfläche sollten ca. 1,5 – 2,0 m² Erdfläche mit den Absorberleitungen erschlossen werden, um auch bei langen Kälteperioden dem Boden noch ausreichend viel Wärme entziehen zu können.

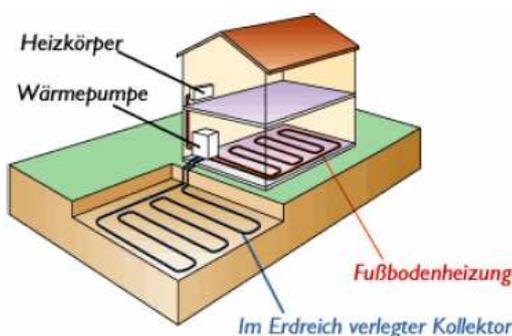


Abb. 6: Schema Flächenkollektor [40]



Abb. 7: Herstellung eines Flächenkollektor [71]

Auf diese Art und Weise lassen sich aus einem Quadratmeter Erdreich während einer Heizperiode etwa 100kWh Wärme gewinnen. Die entziehbaren Wärmeleistungen sind in erster Linie abhängig von Bodenart und Wassergehalt, was aus Tabelle 1 bis Tabelle 5 hervorgeht.

Als Rohrmaterial wird in der Regel ein PE- Rohr hart PN 10 ($25 \cdot 2,3 = 0,75'' = \text{DN } 20$ oder $32 \cdot 3 = 1'' = \text{DN } 25$) verwendet. Um annähernd gleiche Druckverhältnisse in den einzelnen Rohrsträngen sicherzustellen, sollten diese jeweils annähernd dieselbe Länge aufweisen. Bei Parallelschaltung erfolgt die Verlegung daher nach dem Tickelmann- Prinzip (siehe Abb. 9) Zur Sicherung der Rohre und für eventuelle spätere Arbeiten sollten ca. 50cm über den Leitungen Warnbänder verlegt werden sowie eine genaue Lageskizze und eine laufende Fotodokumentation angefertigt werden. [28]

Die Anordnung kann in Serienschaltung oder in Parallelschaltung erfolgen (siehe dazu Abb. 8 sowie Abb. 9). Die gängigsten Verlegeformen sind Flächen- und Grabenkollektoren.

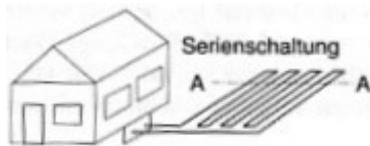


Abb. 8: Prinzipskizze Serienschaltung [19]



Abb. 9: Prinzipskizze Parallelschaltung[19]

(2) Grabenkollektor

Eine platzsparende Alternative zu Flächenkollektoren stellen Grabenkollektoren dar. Die wesentlichen Unterschiede liegen neben der geringeren verbrauchten Grundfläche vor allem in der Verlegetiefe und dem Rohrabstand. Grabenkollektoren sind in der Regel lediglich 3,0 m breit, aber 2,5 (-5,0) m tief. Die Länge richtet sich nach der erforderlichen Heizleistung. Als Richtwert kann eine spezifische Grabenlänge von 2,0 m pro kW Heizleistung angegeben werden. [19] Der Abstand der einzelnen Rohrleitungen zueinander beträgt in der Regel nur wenige Zentimeter, wie in Abb. 11 deutlich zu sehen ist.

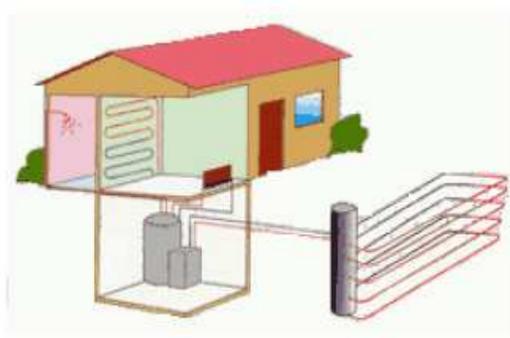


Abb. 10: Schema Grabenkollektor [57]



Abb. 11: Herstellung eines Grabenkollektors [59]

(3) kompakte Kollektoren

Da oft die erforderliche Fläche für Absorberleitungen nicht zur Verfügung steht, wurden weitere Systeme entwickelt, die es ermöglichen, bei wesentlich geringerem Platzverbrauch vergleichbare Leistungen zu erzielen. Alle folgenden Systeme haben gemein, dass die Leitungen spiralförmig verlegt werden. Exemplarisch werden hier drei Bauarten von Spiralkollektoren beschrieben, diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

- Slinky- bzw. Künettenkollektor:
Beim Künettenkollektor werden Kunststoffrohre in einem Sandbett in einer Künette verlegt. Dazu werden die Kunststoffrohre senkrecht zur Wickelachse so weit auseinander gezogen, bis sich die Windungen gerade noch etwas überlappen. (siehe Abb. 12). [19]

Ebenso möglich ist die Erweiterung der einzelnen Künette auf eine flächenhafte Verlegung.



Abb. 12: Künettenkollektor [43]

- Svec- Kollektor
Der Svec- Kollektor besteht aus vorgefertigten Elementen, die aus ca. 40-50 lfm zweiadrig gegensinnig gewickelten Kunststoffrohren bestehen, d.h. eine Windung des Vorlaufs wechselt sich mit einer Windung des Rücklaufs ab. Je nach Grabentiefe können diese Elemente (z.B. „Tornadosonde“) auf 1-3 m wie eine Schraubenfeder ausgezogen und fixiert werden (siehe Abb. 13). Die Verlegung ist sowohl horizontal als auch vertikal möglich.



Abb. 13: Einbau eines Svec-Kollektors [67]

- Korbkollektoren („Energiekorb“)

Korbkollektoren sind besonders geeignet für Anwendungen mit geringem Energie- und Platzbedarf, wenn Tiefenbohrungen aus rechtlichen oder wirtschaftlichen Gründen ausgeschlossen sind. Die Energiekörbe sind konisch geformt und reichen in Tiefen von 1-4 m. Der Abstand zwischen den einzelnen Körben muss 4 m betragen. Im Vergleich zu Flächenkollektoren beträgt der Platzbedarf so nur etwa 50- 60%.



Abb. 14: Korbkollektor [44])

2.4.2 Erdwärmesonde

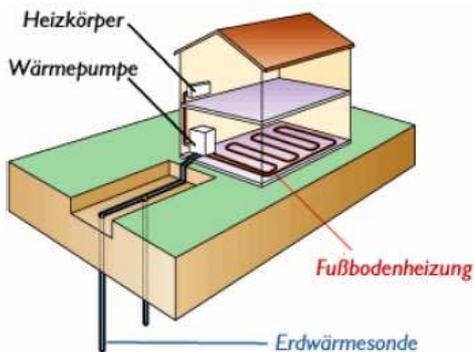


Abb. 15: Schema Erdwärmesonde [41]

Erdwärmesonden sind vertikale Absorberleitungen, die abhängig von den vorhandenen Bodenverhältnissen sowie der erforderlichen Leistung von mehreren 10 m bis in über 100 m Tiefe reichen können. Eingbracht werden diese Leitungen entweder in Bohrlöcher oder sie werden in den Boden eingerammt. Neben der meist höheren Arbeitszahl hat dieses System zusätzlich den Vorteil eines besonders geringen Flächenbedarfs, was ein Grund dafür ist, dass bei beengten Platzverhältnissen oft Erdwärmesonden eingesetzt werden.

Abhängig von der Art der Einbringung kommen verschiedene Anordnungsvarianten der Erdwärmesonden zur Anwendung. Beim Rammen sind nur Metall-Koaxialsonden verwendbar, während in Bohrlöcher für gewöhnlich U-Sonden oder Doppel-U-Sonden, die meist aus HDPE (High Density Polyethylen), aber auch aus kunststoffbeschichteten Edelstahl- oder Kupferrohren bestehen, eingebracht werden (siehe Abb. 16).

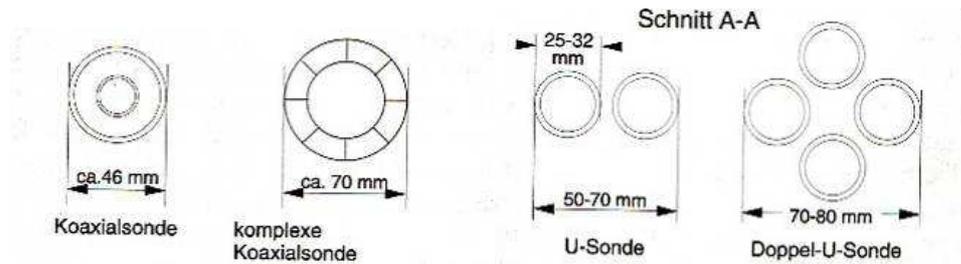


Abb. 16: Anordnungsvarianten von Erdwärmesonden [19]

Richtwerte für spezifische Wärmeentzugsleistungen sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Wichtig ist neben dem anstehenden Boden vor allem auch eine satte Verbindung zwischen Sondenrohr und umgebendem Boden, um einen ausreichend guten Wärmeübergang sicherstellen zu können. Dies ist beim Einbringen durch Rammen ohnehin gegeben, beim Einbringen in ein Bohrloch muss dieses anschließend mit Injektionsgut verpresst werden.

Bei zu geringer Dimensionierung besteht auch bei tiefen Erdwärmesonden die Gefahr, dass dem Boden zu viel Wärme entzogen wird. Neben der gesunkenen Effizienz stellt die Regenerierung das größere Problem dar. Anders als bei seicht liegenden Kollektoren, bei denen der „ausgelaugte“ und übermäßig abgekühlte Boden durch den solaren Eintrag über die Sommermonate hinweg wieder vollständig regeneriert wird, ist dies bei den tief liegenden Sonden nicht möglich. Hier muss der Boden quasi „wieder aufgeladen“ werden. Dies kann zum Beispiel durch Sonnenkollektoren oder einen Kühlbetrieb des Gebäudes im Sommer, bei dem die Abwärme in den Boden eingebracht wird, erfolgen. Bei Anlagen, bei der die Regeneration ausschließlich durch den solaren Eintrag von der Erdoberfläche sowie von aus der Tiefe nachströmender Erdwärme bewerkstelligt wird, sollte die jährlich entzogene Wärmemenge nicht mehr als 180- 650 MJ/(ma) betragen, um einen langfristigen Gleichgewichtszustand sicherzustellen. Eine eventuell vorhandene Grundwasserströmung unterstützt den Prozess des „Wiederaufladens“ stark, in gleichem Maße behindert er jedoch eine sinnvolle Bewirtschaftung des Untergrunds durch wechselnden Heiz- und Kühlbetrieb als Wärmespeicher. [19]

Wichtig bei der Herstellung von Tiefensonden ist weiters, dass der Grundwasserhaushalt nicht gestört wird. Eine Verbindung unterschiedlicher Wasserhorizonte, also ein hydraulischer Kurzschluss, ist jedenfalls zu vermeiden. Ein gut verpresstes Bohrloch ist also nicht nur wegen des Wärmeübergangs des Bodens auf das Rohr und somit das Wärmeträgermedium wichtig, sondern auch um einen dichten Verschluss des Bohrlochs gegen den Grundwasserstrom zu bilden.

Um die Auswirkungen von Tiefensonden auf den Untergrund und den Grundwasserkörper möglichst gering zu halten, sollte beim Heizbetrieb die mittlere Temperatur des Wärmeträgermediums nach Erreichen eines neuen Gleichgewichtszustandes $-1,5^{\circ}\text{C}$ nicht unterschreiten, was bei beispielsweise -3°C Vorlauf-

und 0°C Rücklauftemperatur gegeben wäre. Im Kühlbetrieb sollte eine Temperatur von + 35°C vom Wärmeträgermedium, meist Sole, nicht überschritten werden. [5]

2.4.3 „Energiebrunnen“

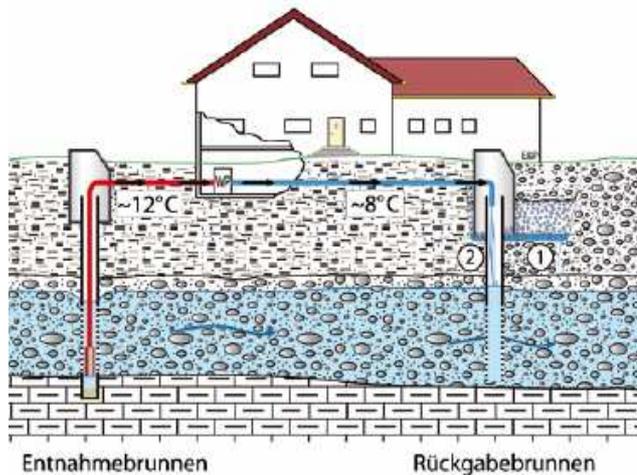


Abb. 17: Schema „Energiebrunnen“ [26]

Grundwasser ist infolge seines relativ konstanten Temperaturniveaus von 8 bis 12°C, was in etwa der Jahresdurchschnittstemperatur der Luft an der Oberfläche entspricht, und seiner guten Wärmeleitfähigkeit sehr gut als Energiequelle für Wärmepumpen geeignet. Da es sich bei diesem Verfahren der Energiegewinnung um ein offenes System handelt, ist eine Anwendung nicht in allen Gebieten möglich. Weiters unterliegt eine solche Anlage einer wasserrechtlichen Bewilligungspflicht.

Vor Errichtung einer solchen Anlage muss unbedingt die Ergiebigkeit des Entnahmebrunnens geprüft werden. Dies kann in einem meist dreitägigen Dauerpumpversuch erfolgen. Des Weiteren ist eine gründliche Wasseranalyse unabdingbar, da es bei nicht passender Wasserchemie zur Korrosion von Brunnenbauteilen, Versinterung durch Bildung von carbonatischen Ablagerungen in der Kiesschüttung und den Filterrohrschlitzen sowie zur Verockerung durch Ablagerung von unlöslichen Eisen- und Manganverbindungen kommen kann. Dadurch wären entweder die Förder- oder die Schluckleistung beeinträchtigt und das gesamte System würde nicht die erforderliche Leistung erbringen können. Um eine Versandung des Förderbrunnens zu vermeiden, muss auf einen entsprechend filterstabilen Aufbau des Brunnens geachtet werden. Darüber hinaus muss bedacht werden, dass es zu Schwankungen sowohl in der Grundwasserqualität (verursacht zum Beispiel durch Auswaschung von Düngemitteln) als auch in der Grundwasserquantität (jahreszeitliche Schwankungen oder langfristige Veränderungen durch Kanalisationserneuerung, Bauprojekte, Flusslaufverlegungen u.v.m.) kommen kann.

Eine unverbindliche Empfehlung stellen die folgenden Richtwerte in Tabelle 6 dar.

Tabelle 6: Eignungsgrenzen bezüglich Wasserqualität [28]

Elektr. Leitfähigkeit μ-Siemens / cm *)	> 600	-
pH-Wert	< 6	0
	6 - 8	+
	> 8	-
Chlorid (mg / l)	< 10	+
	10 - 100	+
	100 - 1000	0
	> 1000	-
Sulfat (mg / l)	< 50	+
	50 - 200	0
	> 200	-
Nitrat (mg / l)	< 100	+
Kohlensäure (mg / l) (freie aggressive)	< 5	+
	5 - 20	0
	> 20	-
Sauerstoff (mg / l)	< 1	+
	1 - 8	0
	> 8	-
Ammonium (mg / l)	< 2	+
	2 - 20	0
	> 20	-
Eisen und Mangan (mg. / l)	> 0,2	0
Sulfid (mg / l)	< 5	-
Chlor (freies) (mg / l)	< 0,5	+
absetzbare Stoffe		0

*) bei 20 °C

+ = Der Werkstoff ist normalerweise gut beständig.

0 = Korrosionen Verschlammung und Verockerung können entstehen, wenn mehrere Faktoren mit 0 bewertet werden.

- = Von der Verwendung wird abgeraten.

2.4.4 Massivabsorber

Massivabsorber sind von wirtschaftlicher Seite her betrachtet äußerst effiziente Erdwärmegewinnungssysteme, da folgende Synergie genutzt werden kann: Massive, erdberührte Bauteile wie z.B. Pfähle (Ortbeton, Rammpfähle), Schlitzwände, Bodenplatten oder Tunnelschalen, die ohnehin aus konstruktiven Gründen für das Bauwerk erforderlich sind, sei es nun als Fundierung eines Bauwerks oder als Bauwerk selbst, werden als Träger für Absorberleitungen verwendet, um so Erdwärme bzw. bei umgekehrter Beschickung „Erdkühle“ zu gewinnen. Außer den an die Bewehrung befestigten Rohren ist kaum ein Zusatzaufwand zu tätigen. Auch die Verarbeitung bzw. der Herstellungsvorgang verändern sich nur minimal.

Eine Amortisation der Investitionskosten stellt sich bei diesen Systemen nach besonders kurzer Zeit ein. Diese Anlagentypen eignen sich besonders für die saisonale Speicherung, das heißt, dass die thermodynamische Trägheit des Bodens genutzt wird, in dem im Winter für Heizzwecke Wärme aus dem Boden entzogen wird und dieser dann über die Sommermonate durch Einleiten (Einspeichern) von Wärme und Entzug von Kühle wieder „aufgeladen“ bzw. regeneriert wird.

Untersuchungen an Energiepfählen des Rehabilitationszentrums Bad Schallabach, welches in einem Kriechhang errichtet wurde, zeigen, dass bei einem sachgemäßen geothermischen Betrieb der Temperatureinfluss auf das Trag-Verformungsverhalten, besonders auf die Mantelreibung, aus statisch-bodenmechanischer Sicht vernachlässigbar ist. [6], [8]

Die Qualitätssicherung und Prüfung ist für sämtliche Massivabsorbersysteme identisch. Während der Herstellung werden sämtliche Rohre unter Druck gehalten, die Prüfung selbst erfolgt mehrstufig:

- Sichtkontrolle: Beim Einbau ist auf offensichtliche Fehlstellen sowie mögliche Schadstellen zu achten und die Rohrleitungen sind so zu befestigen, dass sie nicht nur während der Montage, sondern auch während des Betoniervorganges vor Beschädigungen geschützt sind.
- Ständige Druckkontrolle: Während des gesamten Herstellungsvorganges werden die Rohrregister unter Druck gehalten und dieser mit Manometern beobachtet. Kommt es zum Beispiel noch während der Montage an der Bewehrung zu einem Druckabfall, kann die Schadstelle schnell lokalisiert und repariert werden. Sind die Absorberleitungen erst einmal einbetoniert, ist eine Beschädigung äußerst unwahrscheinlich, da der Beton einen hervorragenden Schutz für die Leitungen darstellt.

(1) Energietunnel, Tunnelthermie

Auf Grund der großen Flächen der Tunnelschalen sowie der relativ konstanten Temperatur durch die tiefe Lage eignen sich Tunnelbauwerke besonders für die Nutzung dieser Wärme- und Energiequelle. Im Falle sehr tief liegender Tunnel sind auch hohe geothermische Gradienten erschließbar. Zusätzlich erhöhen noch innere Wärmequellen wie Fahrzeuge oder Beleuchtungselemente die Tunneltemperatur. Neben der Deckung des Eigenbedarfs des Tunnels bzw. der Betriebsräume an Energie bietet sich vor allem im innerstädtischen Raum, wo die Tunnel eher seicht liegen und die möglichen Nutzer in großer Anzahl und Nähe vorhanden sind, die Möglichkeit von Energieabgabe an Dritte. Objekte mit großem Kühlbedarf sind besonders prädestiniert zur Nutzung von Tunnelthermie.

Prinzipiell ist zwischen offenen und geschlossenen, also bergmännischen Tunnelbauweisen zu unterscheiden. Bei Tunneln in offener Bauweise können je nach Anwendung Pfähle bzw. Schlitzwände sowie die Bodenplatte mit Absorberrohren belegt werden. (siehe dazu Kapitel (2) Energiepfähle, Kapitel (3) Energieschlitzwände sowie Kapitel (6) Energiebodenplatte).

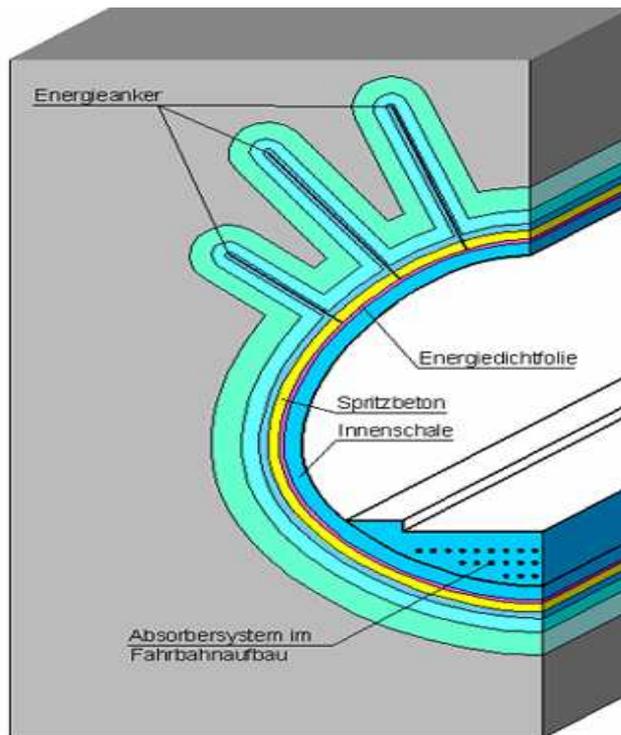


Abb. 18: Energietunnel [Archiv Inst. f. Geotechnik, TU Wien]

Im bergmännischen Tunnelbau stehen zwar Pfähle und Schlitzwände nicht zur Verfügung, statt dessen können aber folgende, in der nebenstehenden Abbildung dargestellten Bauteile für die Erdwärmegewinnung herangezogen werden: [29]

- Tunnelschale
- Tunnelanker
- Tunnelsohle

(2) Energiepfähle

Energiepfähle können prinzipiell in Ortbetonausführung hergestellt werden, aber auch gerammt werden. Beide Systeme haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile, auf die im Folgenden eingegangen wird.

- Ortbetonpfähle

Ortbetonpfähle sind sicherlich die gängigste Variante von Sondergründungen und dadurch auch bei der Erdwärmenutzung die gängigste Ausführungsweise. Dieses Bauverfahren bietet große Flexibilität was den Untergrund angeht. Wirtschaftlich und vor allem sinnvoll ist der Einbau von Absorberleitungen, aber erst ab einem Pfahldurchmesser von 60 cm. [19]

Die Kunststoffrohre aus HDPE werden am Bewehrungskorb befestigt (siehe Abb. 19). Beim Einbau ist mit größter Vorsicht und Sorgfalt vorzugehen, um eine Beschädigung der Leitungen auf alle Fälle zu vermeiden und die Dichtheit des Systems nicht zu gefährden. Zur Kontrolle wird während der gesamten Herstellung das System unter Druck gesetzt und so die Dichtheit kontrolliert (siehe Abb. 20). Die Druckprüfung erfolgt dreistufig: Die erste Druckprüfung erfolgt vor dem Einbau, die zweite nach dem Einbau vor dem Betonieren und die dritte nach Fertigstellung der Energiepfähle. Sind die Leitungen erst einbetoniert, ist eine Beschädigung ab diesem Zeitpunkt beinahe auszuschließen und die Dauerhaftigkeit der Anlage gewährleistet.



Abb. 19: am Bewehrungskorb befestigte Absorberrohre [2]



Abb. 20: Druckprüfung während der gesamten Herstellung [2]

- Rammpfähle

Rammpfähle können in einem Fertigteilwerk einfach und kontrolliert hergestellt werden. Unterschieden wird dabei in Vollpfähle und Hohlpfähle. Vollpfähle können über den gesamten Umfang genutzt werden, allerdings ist der kritische Punkt das schadfreie Einrammen des Pfahles in den Untergrund. Es ist daher ein ausreichender Schutz der Anschlussleitungen im Bereich des Pfahlkopfes erforderlich.

Bei Hohlpfählen entfällt die Problematik des Einrammens, da die Wärmetauscherrohre erst später in den Pfahl eingesetzt und der verbleibende Hohlraum mit Beton vergossen wird. Nachteilig ist hier allerdings der geringere verfügbare Durchmesser für die Leitungen. Des Weiteren können Erdwärmesonden in Injektionspfählen, Soilcrete-Säulen sowie in Betonrüttelsäulen eingebaut werden. [19]

(3) Energieschlitzwand

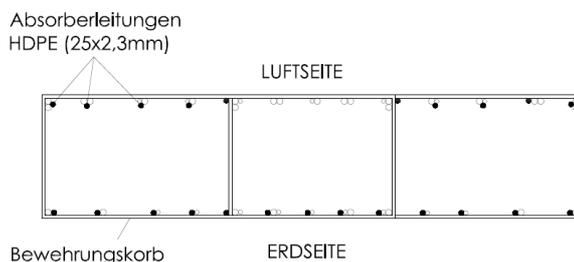


Abb. 21: Grundriss Energieschlitzwand [34]

Das Prinzip der Energieschlitzwand ist dem eines Ortbeton-Energiepfahles sehr ähnlich. Die Absorberleitungen werden am Bewehrungskorb befestigt und auf diese Art kann die Erdwärme auch in tiefer liegenden Bereichen erschlossen und ein noch größeres Energiepotential genutzt werden.

Außerdem fallen bei diesen Tiefen die saisonalen Temperaturschwankungen im oberflächennahen Bereich weg. Durch die großen Tiefen müssen sowohl Bewehrung als auch Wärmetauscherrohre zwei- bis drei Mal gestoßen werden. Ein solcher Stoß (Koppelstelle) ist im mittleren Bildbereich von Abb. 23 zu erkennen. Im Unterschied dazu ist im rechten oberen Quadranten der Abb. 22 eine Anschlussstelle dargestellt, an die später eine Bodenplatte oder Decke mit

entsprechenden Rohrleitungen angeschlossen wird. Die Verbindung erfolgt mittels Schweißung oder Patentkupplung. Die zur Anwendung kommenden Rohre weisen üblicherweise einen Durchmesser von 20 bis 25 mm auf. Als Rohrmaterial wird HDPE, PE oder Kupfer (eher selten) verwendet. [6]

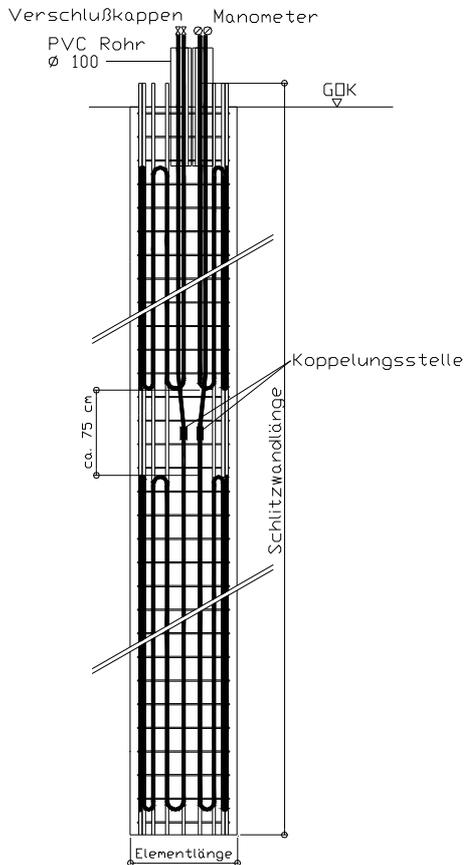


Abb. 22(oben): Schlitzwandkorb mit Absorberleitungen [7]

Abb. 23 (links): Schema Absorberleitungen eines Schlitzwandbewehrungskorbes [34]

(4) Energieanker

Energieanker sind ein noch in Entwicklung befindliches System, können im Tunnelbau eingesetzt werden und so die - besonders bei Tunneln mit großen Überlagerungshöhen und damit auch Überlagerungsdrücken - höheren und vor allem auch konstanten Temperaturen im Berg hervorragend nutzen. Durch ein koaxiales, offenes Zuleitungsrohr wird das Kühlmittel in den Anker gepumpt, wo dieses durch die höhere Umgebungstemperatur erwärmt wird und durch den Restquerschnitt im Anker zurückströmt und schließlich bei einem Anschlussstück an den Rücklauf zur Wärmenutzung abgeleitet wird.

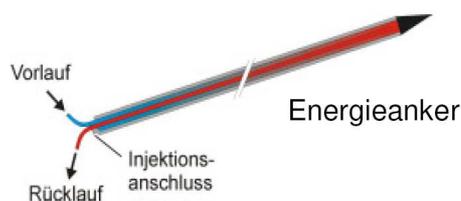


Abb. 24: Energieanker [74]

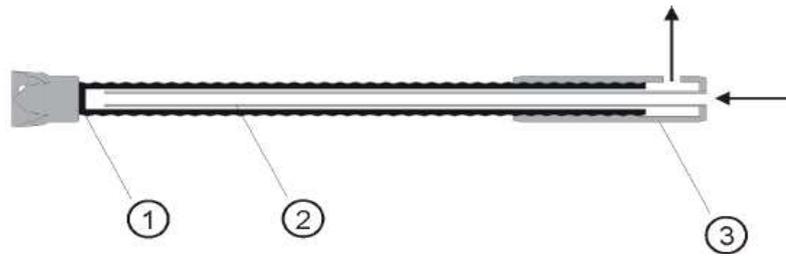


Abb. 25: Beispiel Energieanker[2]

- 1 ... Ankerstange
- 2 ... Koaxiales Zuleitungsrohr (offen)
- 3 ... Anschlussstück

(5) Energievlies

Das zugrunde liegende Prinzip ist ähnlich dem der bereits bekannten Massivabsorber. Über eine Sammelleitung werden Absorberleitungen, die im Schutz- und Drainagevlies eingearbeitet sind, gespeist und entziehen so dem umliegenden Boden Wärme. Auch dieses System ist noch in der Entwicklungsphase.

Die Einbettung in das Vlies bringt zwei wesentliche Vorteile: Erstens ist das Vlies ein ohnehin erforderlicher Bauteil, sodass keine zusätzlichen Kosten für etwaige Trägerbahnen entstehen und zweitens werden die Wärmetauscherrohre durch das Vlies beim Betonieren geschützt. Wird dieses mit Absorberleitungen belegte Vlies bereits vorgefertigt auf die Baustelle geliefert, so kommt es auch im Bauablauf kaum zu Änderungen und daher nur zu einer geringfügigen Betriebsverzögerung.

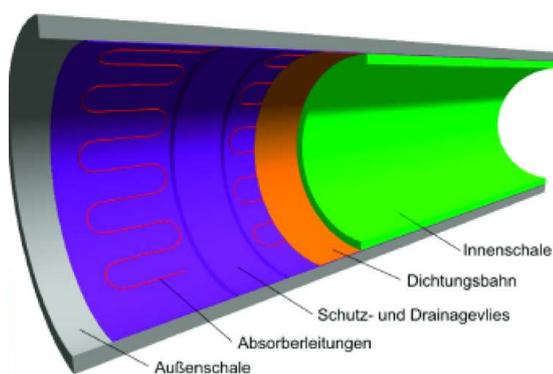


Abb. 26: Energievlies [7]



Abb. 27: eingebautes Energievlies [7]

Versuche, die im Zuge der Dissertation von Markiewicz [25] durchgeführt wurden, zeigen, dass sich das Vlies nicht dämmend auf die Wärmeübertragung zwischen Beton der Tunnelschale und Absorberleitung auswirkt, da die Öffnungsweite des Vlieses groß genug ist, um von der Zementschlempe durchdrungen zu werden. Ein

guter Verbund zwischen Beton und Rohrleitung ist somit gegeben und eine günstige Wärmeübertragung sichergestellt.

Anders als in Abb. 26 dargestellt hat sich eine serielle Verlegung in Vlieslängsrichtung (wie auf dem Foto in Abb. 27 ersichtlich) als günstig erwiesen.

Die Versuchsanlage „LT22- Bierhäuselberg“ hat gezeigt, dass die Verbindung der Absorberrohre mit Rohrmuffen hergestellt werden sollte, um Wulstbildungen durch eine Fusionschweißung und damit verbunden einen reduzierten Rohrquerschnitt zu vermeiden. Außerdem hat sich herausgestellt, dass zur Reduktion der Rohrkosten auch steifere und somit billigere Rohre verwendet werden können, wobei aber auf den minimalen Biegeradius zu achten ist. Zur Beschleunigung des Einbauvorganges reicht es außerdem aus, dass das Energievlies wie ein herkömmliches Vlies lediglich mit den handelsüblichen Hilti- Nägeln an der Außenschale befestigt wird. Die Anzahl der Rohrdurchführungen durch die Innenschale sollte möglichst gering gehalten werden, weshalb Markiewicz eine Verlegung der Sammelleitung nicht im Tunnelinneren, sondern beispielsweise im Sohlbeton empfiehlt und vorschlägt, die Sammelleitung zum Beispiel im Bereich eines Notausstieges durch die Innenschale zu führen.

(6) Energiebodenplatte

Bei der Energiebodenplatte werden die riesigen Flächen unter großen Bauwerken ebenso genutzt wie die nicht unbeträchtliche Speichermasse der Bodenplatte und des anstehenden Untergrunds. Wie auf Abb. 28 zu sehen ist, werden die Absorberleitungen gebündelt auf der Sauberkeitsschicht verlegt und so in die Bodenplatte einbetoniert. Eventuell vorhandene Pfähle werden ebenso mit eingebunden.



Abb. 28: Energiebodenplatte (in Kombination mit Energiepfählen), Absorberleitungen [7]

2.4.5 Abschätzung der Auslegung von oberflächennahen Erdwärmekollektoren

Mit Hilfe der Tabellen der VDI 4640 lassen sich schnell Richtwerte für Kollektorflächen bzw. Sondentiefen ermitteln. Beispielsweise würden sich für ein Einfamilienhaus mit 170 m² Wohnnutzfläche und einer Energiekennzahl von 50 kWh/(m²*a) folgende Abschätzungen treffen lassen:

Die spezifische Heizlast ergibt sich für dieses gut gedämmte Gebäude mit 50 W/m² Heizleistung in etwa zu

$$170 \text{ m}^2 * 50 \text{ W/m}^2 = 8.500 \text{ W} = 8,5 \text{ kW}$$

In unseren Breiten kann bei Wohngebäuden üblicherweise mit 1.600 bis 2.400 Betriebsstunden der Heizanlage pro Jahr ausgegangen werden. In der VDI 4640 wird zwischen 1.800 und 2.400 Volllaststunden unterschieden. Bei 8,5 kW Heizlast würde sich folgender Heizwärmebedarf ergeben:

$$\text{Bei } 1.800\text{h: } Q_{h,a} = 8,5 \text{ kW} * 1.800 \text{ h/a} = 15.300 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Bei } 2.400\text{h: } Q_{h,a} = 8,5 \text{ kW} * 2.400 \text{ h/a} = 20.400 \text{ kWh/a}$$

Der Heizwärmebedarf für das in Kapitel 5.6 angeführte Gebäude beträgt 13.400 kWh/a. Die erste Abschätzung kommt der Wahrheit also schon recht nahe. Für eine erste überschlägige Berechnung ist diese Methode also durchaus geeignet.

Zur Abschätzung der notwendigen Kollektorflächen bzw. Sondentiefe wird ein bindiger, feuchter Boden und einer Arbeitszahl von $\beta = 4$ angenommen.

Gemäß Tabelle 1 ergibt sich folgende erforderliche Kollektorfläche:

$$A_{\text{Kollektor}} = (38 + 25)/2 \text{ m}^2/\text{kW} * 8,5 \text{ kW} = \text{ca. } 270 \text{ m}^2$$

Gemäß Tabelle 3 ergibt sich folgende erforderliche Sondentiefe:

$$T_{\text{Sonde}} = 14\text{m/kW} * 8,5 \text{ kW} = \text{ca. } 120 \text{ m}$$

2.5 Technologische Möglichkeiten der tiefen Geothermie

2.5.1 Warme Tunnel- bzw. Bergwässer

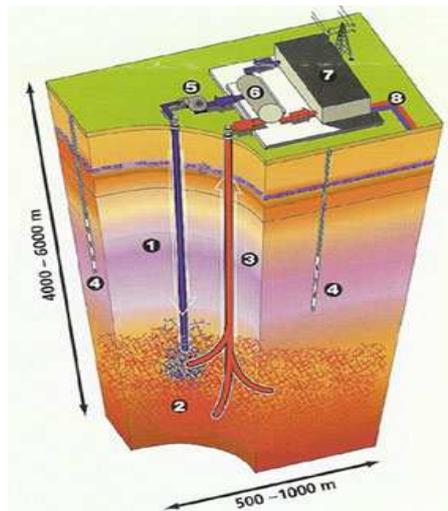
Vor allem bei alpenquerenden Tunnelbauten mit großen Überlagerungshöhen und somit auch hohen Temperaturen bietet sich die Nutzung der warmen Tunnel- bzw. Bergwässer an. Diese können durchaus Temperaturen zwischen 15°C und 24°C aufweisen und wurden bislang nur in Verdunstungsbecken abgekühlt, um dann einer Vorflut zugeführt werden zu können. Anstelle dieser Energievernichtung könnte - sofern Abnehmer in annehmbarer Entfernung vorhanden sind - dieses warme Wasser für Heizzwecke genutzt werden. [1]

2.5.2 Deep Heat Mining bzw. Hot-Dry-Rock Prinzip

Beim Hot-Dry-Rock Verfahren wird die geothermische Energie zur Stromerzeugung herangezogen. Dazu wird Wasser unter hohem Druck in ein tiefes Bohrloch injiziert, um bereits vorhandene Klüfte aufzuweiten und neue Klüfte herzustellen. Das Gestein weist in diesen Tiefenstufen Temperaturen um 200 Grad Celsius auf. Von der Injektionsbohrung aus wird nun kaltes Wasser unter Druck durch die aufgesprengten Klüfte gepresst und durch eine oder mehrere Produktionsbohrungen wieder nach oben gefördert. Der beaufschlagte Druck muss dabei so hoch sein, dass das Wasser bei den vorherrschenden Temperaturen nicht zu sieden beginnt, andererseits muss der Druck niedrig genug sein, um die Klüfte nicht noch weiter aufzusprengen.

Im Kraftwerk wird das erwärmte Wasser mittels Dampfturbine und Generator in Strom umgewandelt oder in ein Fernwärmenetz abgegeben. Das abgekühlte Wasser wird via Injektionsbohrung wieder in das Reservoir gepumpt und erwärmt sich von neuem; es handelt sich also um einen geschlossenen Wasserkreislauf, der aber im Boden sehr wohl als „offenes“ System zu bezeichnen ist, da das Anlagenwasser direkt mit dem Boden in Berührung kommt und nicht in Rohren geführt wird.

Problematisch sind allerdings die im Wasser gelösten Minerale. Durch die veränderten Druck- und Temperaturverhältnisse kann es zur Störung des Lösungsgleichgewichtes und somit zu Ausfällungen bei der Förderung kommen. Um das zu verhindern und die Leitungen intakt zu halten, müssen Maßnahmen gegen das Ausfallen getroffen werden. Zum Beispiel müssen die Druckverluste durch Reibung möglichst gering gehalten werden, um zumindest beim Druck konstante Verhältnisse schaffen zu können.



- 1 Injektionsbohrung
- 2 Stimuliertes Kluftsystem
- 3 Produktionsbohrung
- 4 Beobachtungsbohrung
- 5 Förderpumpe
- 6 Wärmetauscher
- 7 Zentrale
- 8 Fernwärmenetz

Abb. 29: Schema Hot- Dry- Rock- Prinzip [26]

2.5.3 Hydrothermale Energienutzung

Die hydrothermale Energienutzung basiert auf einem ähnlichen Prinzip wie das Deep Heat Mining – bzw. auch Hot-Dry-Rock Verfahren. Wesentlicher Unterschied ist, dass das Wasser nicht künstlich in aufgesprengte Kluft Räume eingepresst werden muss, sondern dass warmes Thermalwasser natürlich vorkommt und lediglich Produktionsbohrungen erforderlich sind.

2.6 Vergleich der Absorberelemente

Tabelle 7: Vergleich der Nutzungszwecke verschiedener Absorberelemente

		Nutzung für....				Flächenbedarf	Investitionskosten
		Heizzwecke	Kühlzwecke	Saisonale Speicherung	Stromerzeugung		
Oberflächennahe Geothermie	Flachkollektoren	+	o	o	X	-	+
	Grabenkollektoren	+	o	o	X	-	+
	Kompakte Kollektoren	+	o	o	X	o	o
	Erdwärmesonden	+	+	+	X	+	-
	Energiebrunnen	+	+	+	X	+	o
	Energiepfahl	+	+	+	X	++	++
	Energieschlitzwand	+	+	+	X	++	++
	Energieanker	+	+	+	X	++	++
	Energievlies	+	+	+	X	++	++
	Energiebodenplatte	+	+	+	X	++	++
Tiefe Geothermie	Warme Tunnelwässer	+	X	X	X	+	+
	Hot Dry Rock	o	X	X	+	o	
	Hydrothermale Energienutzung	+	X	X	+	o	

++	sehr günstig	+	günstig	o	bedingt	-	ungünstig	X	ungeeignet
----	--------------	---	---------	---	---------	---	-----------	---	------------

Deutlich zu erkennen ist die äußerst günstige Ausgangslage bei Massivabsorberrn. Da diese Elemente allesamt aus statischen Gründen benötigt werden, ist kein zusätzlicher Flächenbedarf gegeben. Aus demselben Grund fallen auch die Investitionskosten extrem niedrig aus, da darin lediglich die Belegung der

Elemente mit Rohrregistern enthalten sind. Daraus ist auch ersichtlich, dass zur Stromerzeugung nur jene Anlagen geeignet sind, die mit Wasser mit ausreichend hohen Temperaturen arbeiten, das dann die Turbinen zur Stromerzeugung antreibt.

Was den Flächenbedarf anbelangt, sind Flächenkollektoren etwas ungünstiger, da diese einen hohen Flächenbedarf haben und darüber hinaus diese Flächen auch nur bedingt genutzt werden dürfen. Gleiches gilt für Grabenkollektoren. Kompakte Kollektoren sind die Antwort der Herstellerfirmen auf diese Problematik. Durch kompaktere Anordnung soll auf geringeren Flächen dieselbe Energie gewonnen werden können. Erdwärmesonden sind nach dem Einbau nur durch einen Sammelschacht von der Oberfläche aus erkennbar und schränken die Nachnutzung des Bereichs, in dem sie sich befinden, kaum ein.

Für Kühlzwecke sowie saisonale Speicherung sind Flach-, Graben- und kompakte Kollektoren nur bei Betrieb als Sole/Wasser-System geeignet. Bei Direktverdampfung ist ein Kühlbetrieb nicht möglich.

Bei Energiebrunnen sind die Investitionskosten unter anderem auch von der Art der Brunnenherstellung abhängig. Ist in geringen Tiefen bereits ein ergiebiger Grundwasserstrom vorhanden, kann der Brunnen gebaggert werden, bei tief liegendem Grundwasser muss der Brunnen gebohrt werden. Darüber hinaus sind zwei Brunnen – ein Gewinnungs- und ein Versickerungsbrunnen – notwendig.

3 Wärmepumpen

3.1 Funktionsweise

Wärmepumpen heben die auf verschiedene Art und Weise gewonnene Energie bzw. Wärme auf ein höheres Energie- und somit auch Temperaturniveau. So kann mit einer Niedertemperaturheizung ein Gebäude beheizt und/oder gekühlt werden.

Das Prinzip ist dabei auf einen einfachen physikalischen Prozess zurückzuführen: den Wechsel des Aggregatzustandes und die damit verbundenen Energiezu- und abfuhr. Unabhängig von der Art der Wärmegewinnung ist das grundlegende Funktionsprinzip (siehe dazu Abb. 30): Eine Trägerflüssigkeit (1), die Umweltwärme aufgenommen hat, erwärmt ein Kältemittel, das einen besonders tiefen Siedepunkt und eine hohe innere Wärme besitzt, so weit, dass es verdampft (2). Ein Kompressor (3) verdichtet unter Energiezufuhr dieses Gas, was nicht nur zu einer Drucksteigerung, sondern auch zu einer Temperatursteigerung führt. Im Verflüssiger (4) oder auch Kondensator wird diesem Gas die Wärme entzogen und dem Vorlauf des Niedertemperaturheizkreises (5) zugeführt. Das nunmehr wieder flüssige Kältemittel wird über ein Expansionsventil (6) geführt und kann anschließend wieder verdampft werden, der Kreislauf schließt sich. [4]

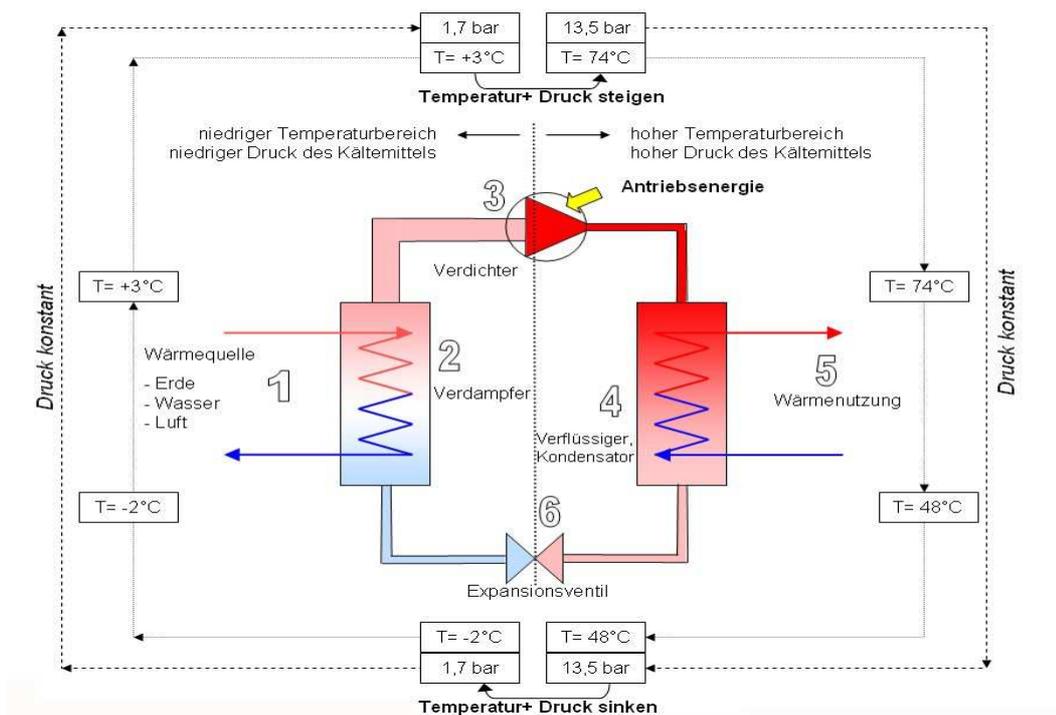


Abb. 30: Funktionsprinzip einer Kompressionswärmepumpe

3.2 Kennzahlen

Folgende Kennzahlen beschreiben die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe [19]

- **Leistungszahl (ε), engl. COP (coefficient of performance)**

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{Heiz}}}{P_{\text{Antrieb}}} = \frac{Q_{\text{Verd}} + P_{\text{Antrieb}}}{P_{\text{Antrieb}}} = 1 + \frac{Q_{\text{Verd}}}{P_{\text{Antrieb}}}$$

ε ... Leistungszahl

Q_{Heiz} ... Heizleistung

Q_{Verd} ... verdampferseitige Wärmeleistung

P_{Antrieb} ... Antriebsleistung des Prozesses (Verdichter)

Definition laut VDI 4640: „Die Leistungszahl ε einer Elektrowärmepumpe für einen bestimmten Arbeitspunkt ist das momentane Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung zu aufgenommener elektrischer Antriebsleistung, bezogen auf einen bestimmten Anlagenumfang.“

Die Leistung elektrischer Hilfsaggregate (z.B. Pumpen, Abtau-Energie,...) bleibt aber unberücksichtigt. Die Ermittlung der Leistungszahl erfolgt unter vorgegebenen Betriebsbedingungen. Die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmenutzungsanlage hat dabei einen großen Einfluss auf die Leistungszahl und somit auf die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der gesamten Anlage. Je größer diese Differenz nämlich ist, desto geringer ist die Leistungszahl. Daher ist die Erdwärmennutzung nur in Verbindung mit niedrigen Vorlauftemperaturen, wie sie bei einem Niedertemperaturheizsystem wie Fußboden- oder Wandheizung vorliegen, sinnvoll.

- **Jahresarbeitszahl (β), engl. SPF (seasonal performance Factor)**

$$\beta = \frac{Q_{\text{Heiz}}}{P_{\text{Antrieb}}}$$

β ... Jahresarbeitszahl

Q_{Heiz} ... innerhalb eines Jahres abgegebene Wärmemenge

P_{Antrieb} ... Antrieb des Prozesses (Verdichter) innerhalb desselben Jahres

Definition laut VDI 4640: „Die Jahresarbeitszahl β_a einer Elektrowärmepumpe ist das Verhältnis aus jährlich gelieferter Wärme zu jährlich aufgenommener elektrischer Antriebsenergie, bezogen auf einen bestimmten Anlagenumfang.“

Mit Hilfe der Jahresarbeitszahl kann die gesamte Anlage energetisch bewertet werden. Im Gegensatz zur Leistungszahl wird die Arbeitszahl im tatsächlichen Betrieb ermittelt und stellt somit eine **aussagekräftigere Größe** zur Beschreibung der Effizienz einer Anlage dar. Auch nicht optimale Bedingungen (Teillast, hohe Vorlauftemperaturen,...) werden berücksichtigt.

- **Heizzahl (ζ)**

Definition laut VDI 4640: „Die Heizzahl ζ einer verbrennungsmotorisch betriebenen Wärmepumpe oder einer mit Primärenergie betriebenen Absorptionswärmepumpe für einen bestimmten Arbeitspunkt ist das momentane Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung zu aufgenommener Brennstoffleistung, bezogen auf einen bestimmten Anlagenumfang.“

Die Heizzahl wird statt der Arbeitszahl angegeben, wenn es sich um Absorptionswärmepumpen oder Wärmepumpen mit Verbrennungsmotorantrieb handelt. Die Antriebsenergie für solche Wärmepumpen liefert Erdgas, Propan oder Diesel.

- **Nutzungsgrad**

Gibt die tatsächlich verwendete Energiemenge an und wird über die gesamte Heizperiode ermittelt.

- **Wirkungsgrad:**

Gibt die tatsächlich verwendete Energiemenge an und wird zu einem Zeitpunkt gemessen, ist daher etwas höher als der Nutzungsgrad, da er unter optimalen Bedingungen bestimmt wird.

3.3 Wärmepumpentypen

Wärmepumpen können auf vielerlei Art und Weise eingeteilt und unterschieden werden, die da beispielsweise wären:

- Einsatz
Heizung, Warmwasserbereitung, Wohnraumlüftung, Kühlung, ...
- Wärmequelle
Erdwärme, Grund-, Oberflächenwasser, Außenluft, Abluft, Abwasser, ...
- Bauart
Elektrischer/gasmotorischer Antrieb, Kompression, Absorption, Adsorption, ...
- Medium Wärmequelle/ Wärmenutzungsanlage
Direktverdampfung, Direktverdampfung/Wasser, Sole/Wasser, Wasser/Wasser, Luft/Wasser, Luft/Luft, ... (siehe Abb. 31- Abb. 33) [40]

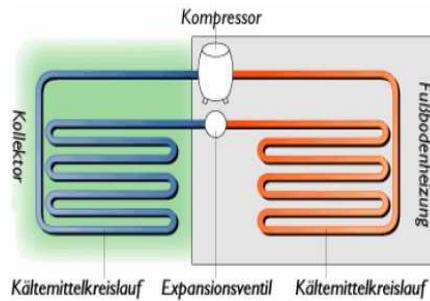


Abb. 31: Direktverdampfung [41]

Direktverdampfung

Der Trägerflüssigkeitskreislauf umfasst sowohl die erdverlegten Kollektoren als auch jene im Gebäude. Da es nur einen einzigen Kreislauf gibt, können Raumtemperaturen nicht getrennt eingestellt werden. Eine Systemumkehr zur Kühlung ist ebenfalls nicht möglich.

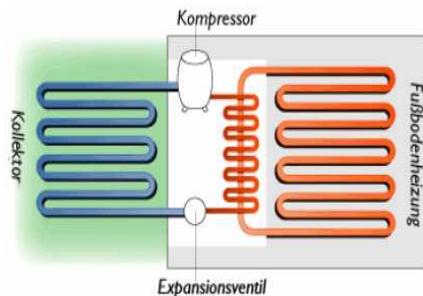


Abb. 32: Kombiniertes System [41]

Direktverdampfung/Wasser.

Erdwärmekollektor und Heizkreislauf sind getrennt angeordnet. Die Wärmepumpe stellt die Schnittstelle dar. Im Vergleich zum System Sole/Wasser weist dieses kombinierte System aber eine Tauscherstufe weniger auf und muss somit auch weniger Verluste hinnehmen, kann also wirtschaftlicher arbeiten.

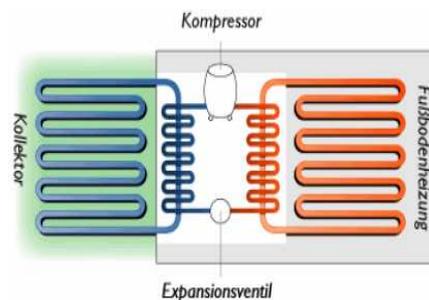


Abb. 33: System Sole- Wasser [41]

System Sole/ Wasser

Dieses System weist drei voneinander getrennte Kreisläufe auf: den Solekreislauf (Sole= Wasser+ Frostschutz, z.B. Glykol) zur Wärmeabgabe im Gebäude, den Kältemittelkreislauf in der Wärmepumpe und den Wasserkreislauf zur Wärmeabgabe im Gebäude. An jeder Schnittstelle der Kreisläufe kommt es zu Wärmeverlusten.

3.4 Kältemittel

Kältemittel, in der Literatur auch Arbeitsmittel genannt, sind Stoffe, die einen niedrigen Siedepunkt und hohe innere Wärme besitzen. Sie verdampfen bei niedrigen Temperaturen und niedrigem Druck und nehmen dabei Wärme auf. Durch Verflüssigen bei höheren Temperaturen und höherem Druck können Kältemittel wieder Wärme abgeben.

Heute werden nur noch chlorfreie Arbeitsmittel zugelassen. Ozonschädliche FCKW- Arbeitsmittel wurden durch HFKW- Arbeitsmittel ersetzt, die keinerlei ozonschädigende Wirkung mehr haben.

In der folgenden Tabelle sind die umweltrelevanten Eigenschaften von Wärmepumpen- Arbeitsmitteln dargestellt.

Tabelle 8: umweltrelevante Eigenschaften von Wärmepumpen- Arbeitsmitteln [Datenquelle: 35]

	Name	Formel	Siede- temperatur [°C]	WGK ¹	ODP ²	GWP ³
HFKW: R134a	Tetrafluorethan	CF ₃ CH ₂ F	-26	1	0	1300
HFKW- Gemische: R407C	R32/R125 ⁴ /R134a im Verhältnis 23/25/52		-44	1	0	1610
R410A	R32/ R32/R125 ⁴ a im Verhältnis 50/50		-51	1	0	1890
Halogenfreie Arbeitsmittel						
R290	Propan	C ₃ H ₈	-42	n.w. ⁵	0	3
R1270	Propen	C ₃ H ₆	-48	n.w. ⁵	0	3
R717	Ammoniak	NH ₃	-33	2	0	0
R744	Kohlendioxid	CO ₂	-57	n.w. ⁵	0	1

¹Wassergefährungsklasse

²Ozonabbaupotenzial (relativ, R11=1,0)

³GWP (Global Warming Potenzial) Treibhauspotenzial (relativ, CO₂=1,0, Zeithorizont 100 Jahre)

⁴R32= Difluormethan (CH₂F₂); R125= Pentafluorethan (C₂HF₅)

⁵nicht wassergefährdend

Zum Schutz der Umwelt vor Leckagen muss der Kältemittelkreislauf mit Sicherheitsschaltern für Hoch- und Niederdruck, stromlos schließenden Magnetventilen für die Sperre der Kollektorzuleitung, einem Kompressorsicherheitsventil sowie einer Temperaturmess- und Temperaturkontrollleinrichtung ausgestattet sein.

3.5 Anlagenformen

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels kurz erläutert wurde, sind mehrere Anlagenformen bei der Anwendung von geothermischer Energie möglich. Diese werden nun genauer beschrieben.

Prinzipiell ist zwischen den drei grundlegenden Betriebsformen monovalent, monoenergetisch und bivalent zu unterscheiden. Bei dieser Unterscheidung ist die Wärmequelle bzw. die Anzahl der Wärmequellen das Kriterium. Weiters kann die Betriebsform nach Heizen und Kühlen unterschieden werden. Zusätzlich erfolgt noch eine Differenzierung nach aktivem und passivem Betrieb bei Heizung und Kühlung sowie saisonaler Speicherung. Beim besonders günstigen passiven Betrieb

ist lediglich die Antriebsenergie für eine Umwälzpumpe erforderlich, da aus dem Erdreich die erforderliche Temperatur und somit auch die Energie für die notwendige Heizung und Kühlung gewonnen werden kann.

3.5.1 Monovalenter Betrieb

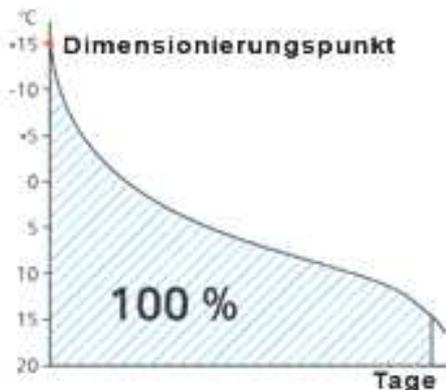


Abb. 34: monovalenter Betrieb [50]

Im monovalenten Betrieb wird der gesamte Heizwärmebedarf eines Gebäudes mit einer Wärme- bzw. Energiequelle abgedeckt. Ist das nicht mehr möglich, weil z.B. die Wärme- bzw. Energiequelle den Bedarf nicht decken kann, muss ein zweites Heizsystem herangezogen werden, man spricht dann vom bivalenten Heizbetrieb. Bei Erdwärmennutzung liefert der Boden bzw. das Grundwasser in der Regel ausreichend viel Energie, um den Heizwärmebedarf eines Gebäudes zu decken.

Da darüber hinaus das Temperaturniveau dieser Energiequelle nur sehr geringen Schwankungen ausgeliefert ist und von der Außentemperatur nur in sehr geringem Maße beeinflusst wird, sind beide Wärmequellen - Erdreich und Wasser - ideal für einen monovalenten Betrieb geeignet.

Nachteilig, vor allem bei Gebäuden mit sehr großer Heizlast, ist, dass der Dimensionierungspunkt gleich dem Maximum ist, die Anlage daher auf die wenigen Tage unter Volllast dimensioniert werden muss, was aus wirtschaftlicher Sicht eher als ungünstig bezeichnet werden kann. [52]

3.5.2 Monoenergetischer Betrieb

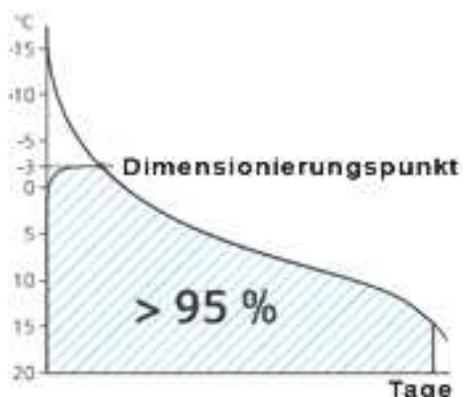


Abb. 35: monoenerget. Betrieb [50]

Bei Wärmepumpen im monoenergetischen Betrieb erfolgt der Betrieb - ähnlich dem bivalenten Heizbetrieb - zwar mit mehreren Heizungen, Energieträger ist jedoch in allen Fällen derselbe - im Fall der Wärmepumpe der elektrische Strom. Das ergänzende Heizsystem ist meist ein kostengünstiger Elektroheizstab im Pufferspeicher. Dieser unterstützt die Wärmepumpe nur an sehr kalten Tagen zur Deckung des gesamten Wärmebedarfs. Der Dimensionierungs- oder Bivalenzpunkt einer monoenergetisch

betriebenen Anlage liegt, wie in Abb. 35 ersichtlich, bei mehr als 95 % der Jahresheizarbeit, also äußerst hoch. Umgekehrt bedeutet das, dass nur etwa 5 % der Heizenergie mit dem zusätzlichen Heizstab erzeugt werden müssen. Generell sollte die Wärmepumpenleistung so gewählt werden, dass sich ein Dimensionierungspunkt von etwas kleiner als -5°C Außentemperatur ergibt. Diese Betriebsform bietet sich besonders bei Luft/ Wasser- Wärmepumpen an, weil sie nicht überdimensioniert werden muss und damit die Investitionskosten geringer sind. [52]

3.5.3 Bivalenter Betrieb

Die Wärmepumpe wird im bivalenten Betrieb bei tieferen Außentemperaturen durch eine Zusatzheizung, die mit einem anderen Energieträger als die Wärmepumpe betrieben wird, bei der Beheizung des Gebäudes unterstützt. Der Dimensionierungs- oder auch Bivalenzpunkt hängt dabei von der Heizanlage und der Wärmequelle ab. In der Regel liegt dieser Punkt zwischen $+3^{\circ}\text{C}$ und -3°C . Die Steuerung regelt die Zusatzheizung dabei so, dass sie nie länger als unbedingt erforderlich in Betrieb ist.

Es wird unterschieden zwischen bivalent parallelem und bivalent alternativem Betrieb. Abb. 36 zeigt einen bivalent parallelen Betrieb. Die Wärmepumpe und die Zusatzheizung sind ab einer festgelegten Außentemperatur (z. B. $+3^{\circ}\text{C}$) gemeinsam, also parallel, in Betrieb.

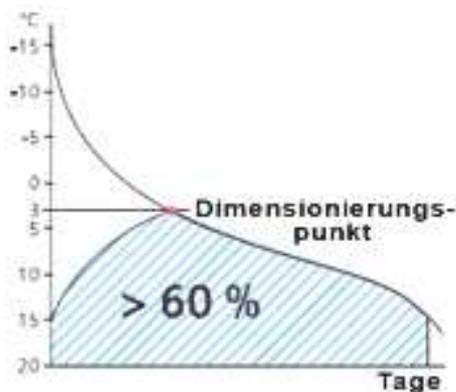


Abb. 36: bivalenter, paralleler Betrieb [50]

Sind hohe Vorlauftemperaturen erforderlich oder wird hohe Heizenergie benötigt, so bietet sich diese Betriebsform besonders an. Dies ist beispielsweise im Altbaubereich in Verbindung mit Radiatoren oder bei besonders großen Gebäuden, wie zum Beispiel Büro- oder Geschäftsgebäuden, der Fall. Im Altbaubereich könnte eventuell auch die vorhandene Heizung als Zusatzheizung weiterverwendet werden. [52]

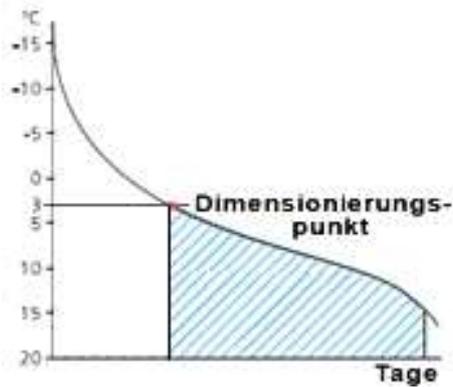


Abb. 37: bivalenter, alternativer Betrieb

Bei einer bivalent- alternativen Betriebsweise, wie sie in der nebenstehenden Abb. 37 ersichtlich ist, wird die Wärmepumpe ab einer gewissen Außentemperatur durch die Zusatzheizung gänzlich ersetzt. Wärmeerzeuger ist dann entweder die Wärmepumpe oder - eben alternativ - die Zusatzheizung. Diese Betriebsform wird meist dann gewählt, wenn hohe Vorlauftemperaturen erforderlich sind oder wenn die Wärmequelle „Umweltenergie“ nur bis zu einem bestimmten Grad ausreicht und den Wärmebedarf nicht allein decken kann. [52]

3.6 Betriebsformen

Folgende Betriebsformen werden unterschieden [2]

- Heizanwendungen
 - Heizen (mit Wärmepumpe)
 - „Free Heating“ (ohne Wärmepumpe)
 - Kühlanwendungen
 - Kühlen (mit Kühlmaschine)
 - „Free Cooling“ (ohne Kühlmaschine)
 - Kombinierte Heiz- und Kühlanwendungen
 - Heizen und Kühlen
 - „Free Heating“ und „Free Cooling“
- } Entzug von Wärme
 ODER Kälte aus Boden

 } Saisonale Speicherung
 von Wärme UND Kälte

3.6.1 Heizen mit Wärmepumpen

Stehen nicht ausreichend große Temperaturen in erreichbarer Tiefe zur Verfügung, so müssen die gewonnenen Energien mit Hilfe von Wärmepumpen und durch Zufuhr von Energie in Form von elektrischem Strom auf ein ausreichend hohes Energie- und somit auch Temperaturniveau gebracht werden, bevor diese in den Heizkreislauf eingebracht werden können.

Diese Betriebsform stellt für den Heizbetrieb den Standard dar, da nur bei Nutzung von hydrothermalen Wässern ausreichend hohe Temperaturen vorhanden sind, was im Kapitel 3.6.2 Free Heating beschrieben wird.

Die Abb. 38 zeigt das Schema der Klimatechnik eines Einkaufszentrums (Atrio, siehe Kapitel Ausgeführte Beispiele). Zu sehen ist der Heizbetrieb über Erdwärmesonden. Eine zusätzliche Wärmequelle gibt es bei dieser Betriebsform nicht.

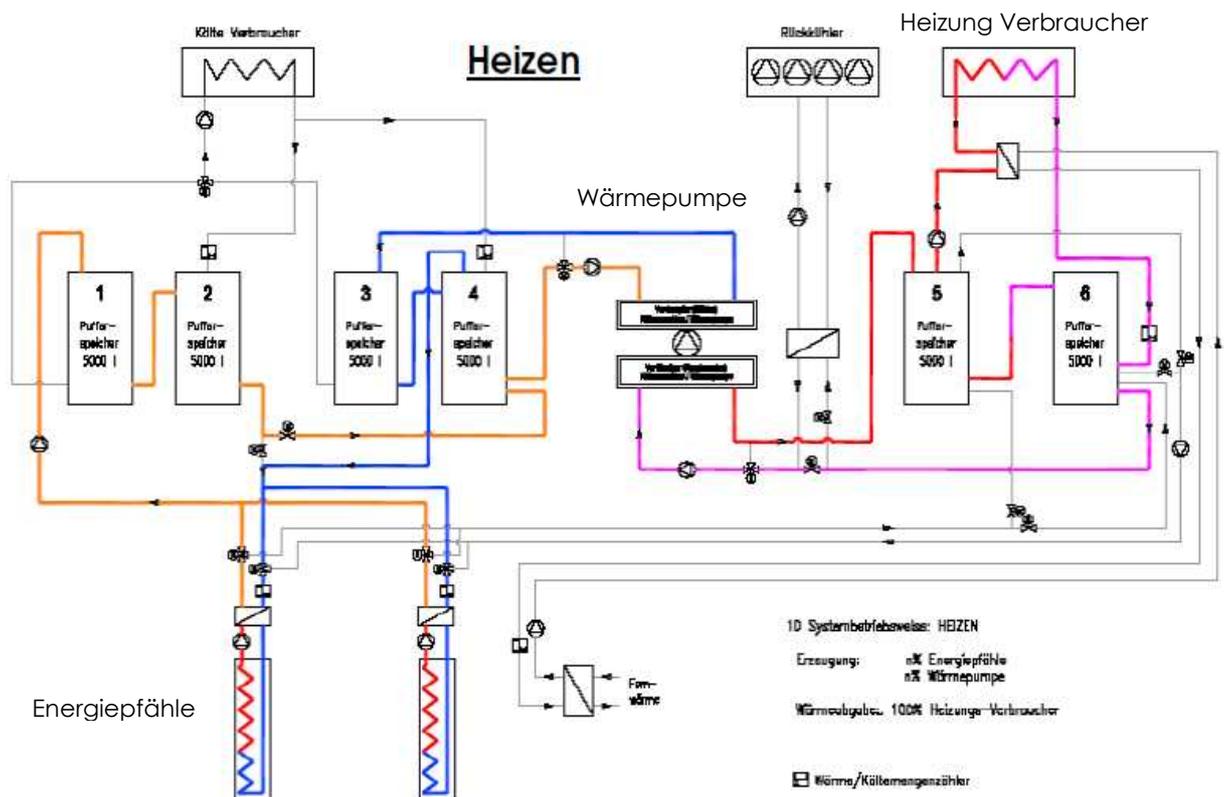


Abb. 38: Schema Heizung [20]

3.6.2 Free Heating

Bei Vorhandensein von entsprechend heißen Wässern aus tiefen Aquiferen ist eine Temperatursteigerung mit Hilfe von Wärmepumpen nicht mehr notwendig. In diesem Fall ist lediglich eine Umwälzpumpe erforderlich, die die Zirkulation des Trägermediums in den Leitungen sicherstellt. In den meisten Fällen werden diese Thermalwässer über Fernwärmeleitungen großflächig genutzt und versorgen so mehrere Gebäude oder Hotels bis hin zu ganzen Ortschaften mit Heizenergie.

Ein weiteres Einsatzgebiet für Free Heating Anlagen - allerdings in einem Bereich mit niedrigeren Temperaturen - ist die Freiflächenheizung. Dabei werden zur Eisfreiheit der Flächen ähnlich wie im Gebäude Rohrleitungen (Heizleiter, siehe Abb. 39) möglichst oberflächennah verlegt.

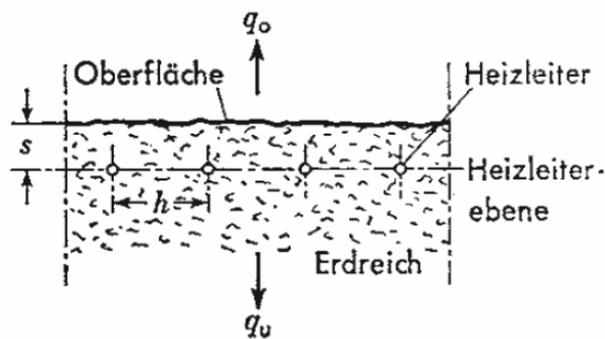


Abb. 39: Schnitt durch eine Bodenfläche mit Freiflächenheizung [18]

Hauptanwendungsbereich ist dabei der Verkehrswegebau im Allgemeinen, Flugbetriebsflächen und Brückentragwerke im Speziellen. Die Freiflächenheizung wird aber auch an für Räumfahrzeuge räumlich und/oder zeitlich schwer zugänglichen Bereichen angewendet. Bahnsteige, Fußgängerbrücken oder Freiflächen von Sportanlagen sind weitere Einsatzbereiche.

Die möglichst geringe Einbautiefe hat Einfluss auf die Statik und den Verschleißwiderstand des Untergrunds. Je nach Anwendung muss dementsprechend durch Variation des Verlegeabstands reagiert werden, was wiederum Auswirkungen auf die Wärmeflussresultate hat. Es muss also bei jedem einzelnen Projekt neu abgewogen werden, welchem Kriterium der Vorzug zu geben ist.

Abhängig vom umgebenden Material werden Kunststoffrohre (PE-X, bei Einbau in Beton) oder hitzebeständigere Stahl- bzw. Kupferrohre (bei Einbau in Asphalt) verwendet. [18]

3.6.3 Kühlen mit Kühlmaschine

Können aus den Absorberelementen nicht ausreichend niedrige Temperaturen zur Kühlung eines Bauwerks gewonnen werden, so muss mit Hilfe einer Kühlmaschine die Temperatur des Trägermediums herabgesetzt werden. Als Kühlmaschine kann dieselbe Wärmepumpe verwendet werden, die für den Heizbetrieb eingerichtet ist. Dies erfordert lediglich eine Umkopplung der Sole- und Verbrauchskreisläufe.

Die nachfolgende Abb. 40 zeigt das Kühlschema eines Einkaufszentrums (Atrio, siehe Kapitel Ausgeführte Beispiele). Die Kühlung erfolgt unter Zuhilfenahme der Wärmepumpe.

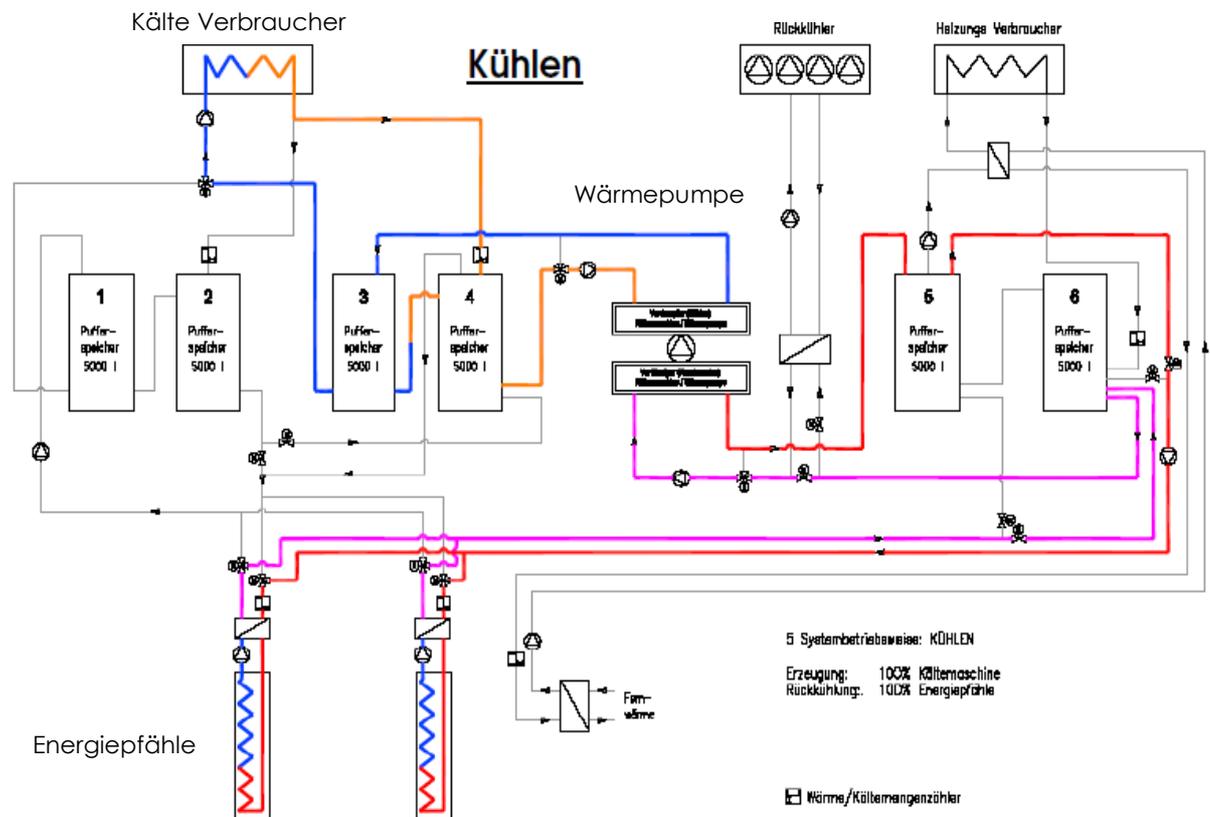


Abb. 40: Schema Kühlung [20]

3.6.4 Free Cooling

Bei der „Free Cooling“ Anwendung kann der Boden die zirkulierende Trägerflüssigkeit so weit abkühlen, dass diese direkt in den Kühlkreislauf des Bauwerks ein- und durchgeleitet werden kann, sodass wie beim „Free Heating“ Verfahren lediglich eine Umwälzpumpe im System erforderlich ist.

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist – ähnlich wie bei Free Heating – die Freiflächenheizung. Es wird überschüssige Wärme über die eingelegten Rohrleitungen in den Boden geleitet und dort gespeichert. Auf diese Weise kann die Spurrinnenbildung in Asphaltfahrbahnen an besonders heißen Tagen reduziert werden. Besonders wichtig ist, dass in den Rohrleitungen ausreichend Bereiche angeordnet werden, die die schadfreie Aufnahme von Dehnungen gewährleisten. [18]

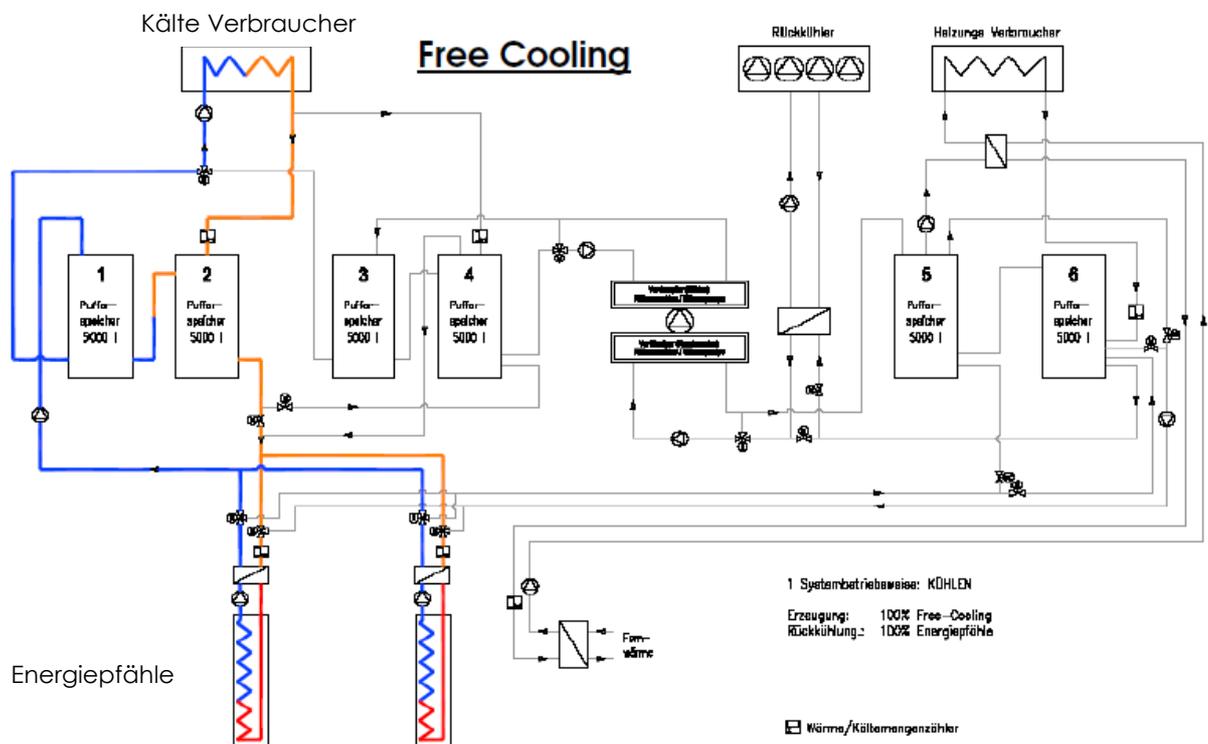


Abb. 41: Schema Free Cooling [20]

3.6.5 Saisonale Speicherung

Bei der saisonalen Speicherung wird über den Jahreszyklus sowohl Wärme aus dem Boden entzogen wie auch Wärme in den Boden eingespeichert, also Kälte entzogen. Wesentlicher Unterschied zum reinen Entzug von Wärme oder Kälte stellt die Anordnung der Absorberelemente dar.

Während bei saisonaler Speicherung eine möglichst kompakte Anordnung der Absorberelemente zielführend ist, sollten bei reinem Entzug von Wärme oder Kälte die Sonden, Pfähle od. Schlitzwände eine möglichst gestreckte Anordnung aufweisen. (siehe Abb. 42)

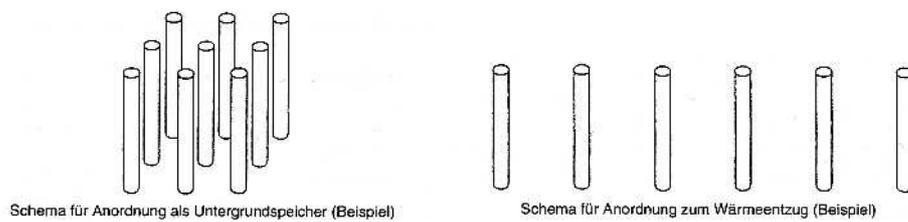


Abb. 42: Anordnungsschema [35]

4 Nutzungskreislauf

Im Kapitel Nutzungskreislauf werden die Wärmeabgabesysteme sowie die Definition von Behaglichkeitsgefühl erörtert. Zu den genannten Abgabesystemen gehört neben der bereits bekannten Fußboden- und Wandheizung auch die Bauteilaktivierung, die sowohl zur Heizung als auch zur Kühlung herangezogen werden kann.

4.1 Wärmeabgabesystem und Kühlflächen

Sämtliche Systeme haben gemein, dass sie bevorzugterweise auf flächenhaften Niedertemperatur- Heiz- bzw. -Kühlsystemen beruhen. Die drei raumabschließenden Elemente eines Zimmers, nämlich Fußboden, Wand und Decke sind Bauteile, die dabei zur Temperierung des Raumes herangezogen werden. Niedrige Abgabetemperatur stellen eine optimale Behaglichkeit durch Strahlungswärme sicher. Abb. 43 zeigt einen Vergleich der Temperaturverteilung bei Wärmeverteilung durch Flächenheizung und durch Radiatoren.

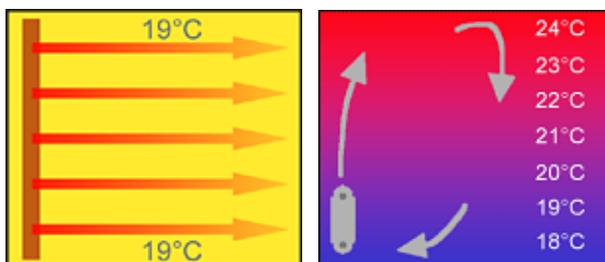


Abb. 43: Vergleich Strahlung und Konvektion[49]

Durch die gleichmäßige Temperaturverteilung kommt es im Gegensatz zu Radiatoren nicht oder nur in sehr geringem Maße zur Bildung von thermischen Luftwalzen. Dadurch herrscht eine geringere Luftgeschwindigkeit vor und es kommt zu weniger Staubverwirbelungen.

Behaglichkeit ist ein subjektiv empfundenes Gefühl. Um sich in einem Raum wohl zu fühlen, sind mehrere Parameter von Bedeutung. Die wichtigsten sind:

- **Raumtemperatur:** Diese sollte möglichst gleichmäßig über den Raum verteilt sein. Richtwerte für die optimale Raumtemperatur sind abhängig von der Jahreszeit und der stattfindenden Aktivität. Für den unbedeckten Menschen werden 28°C, für sitzende Menschen ohne körperliche Arbeit im Winter 22°C, im Sommer 22-24°C als optimal angesehen, für Räume, in denen sich Frauen und alte Menschen aufhalten 23-24°C.

- **Temperaturschichtung:** Um dem idealen Temperaturprofil möglichst nahe zu kommen, sollte die Wärmeabgabe an den Raum in vertikaler und horizontaler Richtung gleichmäßig sowie zeitlich konstant sein. Es besteht neben der Abhängigkeit von der Wärmequelle weiters noch eine Abhängigkeit von der Bauphysik, also den U-Werten der Wände und Fenster sowie von der Luftbewegung im Raum.
- **Mittlere Wandflächentemperatur:** (siehe dazu Abb. 44) Damit der menschliche Körper allseitig gleichmäßig Wärme abstrahlen kann, sollten die Temperaturunterschiede der einzelnen Umgebungsflächen so gering wie möglich sein. Dabei gibt es allerdings einige Präferenzen: kühle Decken und warme Wände wirken behaglicher als Umgekehrtes. Um Fuß- und Unterschenkelbeschwerden verbunden mit Kreislaufstörungen zu vermeiden, darf die Fußbodentemperatur bei Raumtemperaturen von 20°C nicht über 26°C liegen. In nicht begangenen Randzonen können ohne weiteres Temperaturen von 35°C angestrebt werden, um die Aufenthaltszonen zu entlasten

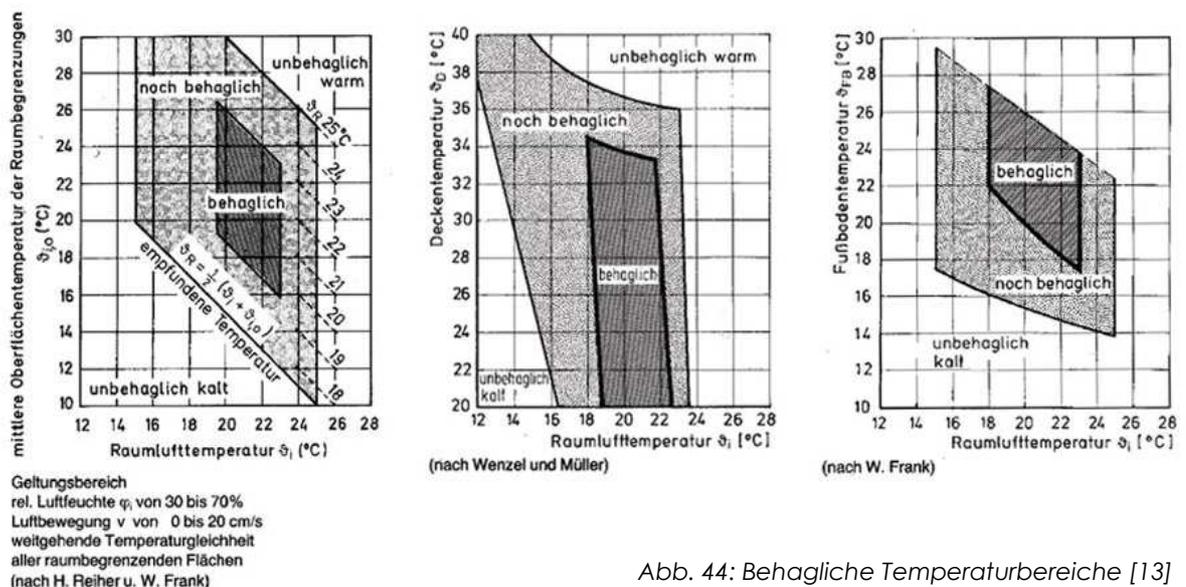
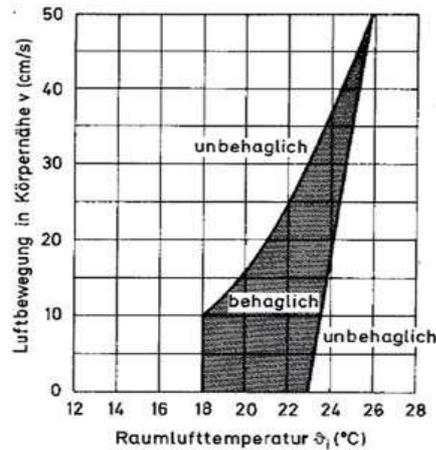


Abb. 44: Behagliche Temperaturbereiche [13]

- **Luftfeuchtigkeit:** Die Luftfeuchtigkeit hat insofern einen Einfluss auf das Behaglichkeitsempfinden, als dass ca. 15% der Wärmeabgabe des menschlichen Körpers durch Verdunstung an der Hautoberfläche erfolgt. In der Heizperiode spielt dieser menschliche Kühlmechanismus aber eher eine untergeordnete Rolle. Vielmehr kann eine zu geringe Luftfeuchtigkeit zu Staubbildung, elektrischer Aufladung der Luft und Austrocknung der Schleimhäute führen. Das Kratzen im Hals steht meist nicht in direktem Zusammenhang mit trockener Luft, sondern ist durch Mikrostaub verursacht, der vom Heizsystem aufgewirbelt wird. Abhilfe schaffen hier großflächige

Niedertemperaturheizungen, z.B. Wand- und Deckenheizungen. Ein optimaler Bereich der relativen Luftfeuchtigkeit liegt zwischen 35-65%.

Luftgeschwindigkeit: Da der Wärmehaushalt des Menschen durch die Luft-



Geltungsbereich
mittlere Oberflächentemperatur
der Raumbegrenzungen θ_{sm} von 19,5 bis 23 °C
relative Luftfeuchte φ_1 von 30 bis 70%
(nach Rietschel-Raiß)

Abb. 45: Behaglichkeitsbereich
bezüglich Luftbewegung [13]

geschwindigkeit in seiner unmittelbaren Umgebung beeinflusst wird, können höhere Luftgeschwindigkeiten (für sitzende Personen sind das bereits Geschwindigkeiten von 10 bis 20 cm/s), die man als Luftzug spürt, zu einem größeren Wärmeverlust führen, was als unbehaglich empfunden wird. Daher sind stärkere Luftbewegungen in bewohnten Räumen nach Möglichkeit zu vermeiden. In Abb. 45 ist der Zusammenhang zwischen Raumtemperatur und Luftbewegung in unmittelbarer Körpernähe in Bezug auf die Behaglichkeit dargestellt.

Die tatsächlich empfundene Temperatur und damit verbunden das persönliche Wohlbefinden einer Person wird von den oben beschriebenen Parametern beeinflusst. Den größten Einfluss haben jedoch die Raumlufttemperatur (T_{Luft}) und die mittlere Temperatur der umgebenden Wandflächen (T_{Wand}), da sie Einfluss auf die Abkühlung des menschlichen Körpers (und zwar in etwa gleichem Ausmaß) haben. Die empfundene Temperatur (T_E) ist der Mittelwert aus Raumlufttemperatur und Wandflächentemperatur und ist daher eine, für das menschliche Behaglichkeitsempfinden maßgebliche Größe und errechnet sich zu:

$$T_E = (T_{Luft} + T_{Wand})/2$$

Je geringer die Abweichung der beiden Temperaturen T_{Luft} und T_{Wand} ist ($\max < 3^\circ\text{C}$) und je mehr sich die empfundene Temperatur dem Wert von 21 – 22°C nähert, desto gleichmäßiger erfolgt die Abkühlung bzw. Entwärmung des menschlichen Körpers und umso behaglicher wird das Raumklima empfunden. Ist diese Gleichmäßigkeit gestört, das heißt, erfolgt die thermische Belastung des Körpers asymmetrisch, beispielsweise durch die Nähe zu einer kalten oder heißen Oberfläche (z.B. kaltes Fenster oder heißer Radiator) so bewirkt dies Unbehagen. Abhängig von der Jahreszeit wird jedoch trotzdem eine geringfügige Differenz zwischen Raumluft- und Wandflächentemperatur als besonders behaglich empfunden. Allgemein gilt, dass die Wandtemperatur kleiner als die Lufttemperatur sein soll. Im Sommer wirken kühlere Wandflächen angenehm kühlend, im Winter wird die Luft von den warmen Wandflächen gewärmt. [13]

Neben den oben angeführten Vorteilen der Wärmeverteilung über Wärmestrahlung ist zusätzlich noch ein wesentlicher energetischer und damit auch wirtschaftlicher Aspekt anzuführen: Auf Grund der warmen, umgebenden Oberflächen kann die Raumtemperatur bei Niedertemperaturheizungen um etwa 2°C geringer sein als bei konventionellen Heizsystemen mit Radiatoren und es stellt sich beim Bewohner dasselbe Behaglichkeitsgefühl ein. Diese Absenkung der Raumtemperatur um lediglich 2°C kann pro Jahr immerhin bis zu 10% der Heizkosten einsparen. Außerdem ist der Sauerstoffgehalt in kühlerer Luft höher als in warmer Luft. [28]

Im Folgenden werden die verschiedenen Verlegemöglichkeiten exemplarisch und ohne Anspruch auf Vollständigkeit kurz beschrieben.

4.1.1 Fußbodenheizung

Fußbodenheizungen eignen sich in erster Linie für die Beheizung der Räume, da im Kühlfall kalte Fußböden auch im Sommer als unangenehm empfunden werden.

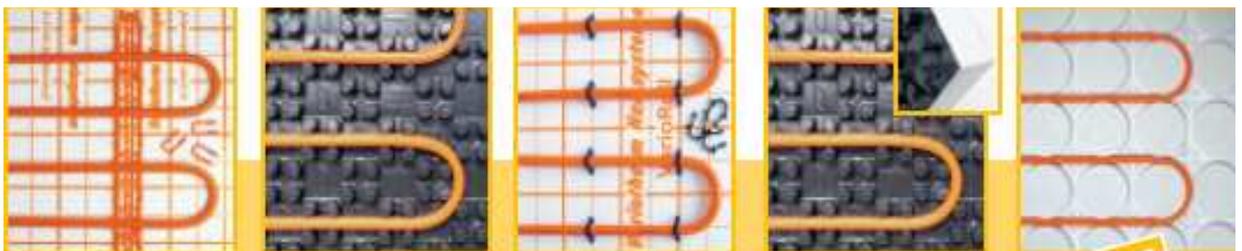


Abb. 46: Verschiedenste Verlegesysteme [71]



Abb. 47: Verlegung mit Klippleisten [54]

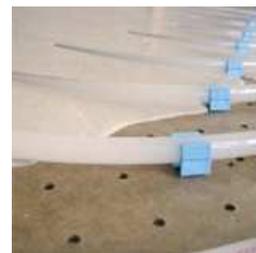


Abb. 48: Verlegung auf Lochplatten [66]

Die Heizungsrohre werden entweder mit Klemmschienen, Noppenbahnen ohne Dämmung, auf Dämmung mit Fixierklammern, auf Noppenbahnen mit Dämmung, auf Gipsfaserplatten oder einfach auf einer Estrichbewehrungsmatte befestigt und dann mit Estrich bedeckt.

Die Verlegung kann in Einfach-Mäander-, Doppel-Mäander- oder Schneckenform erfolgen, in den Randbereichen sind auch Mischformen möglich. Vorteil der Doppelmäander- und schneckenförmigen Verlegung ist ein konstanter Oberflächentemperaturverlauf, wie er in Abb. 49 und Abb. 50 ersichtlich ist. [28]

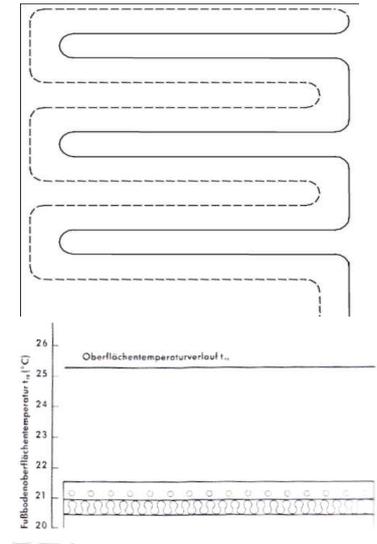
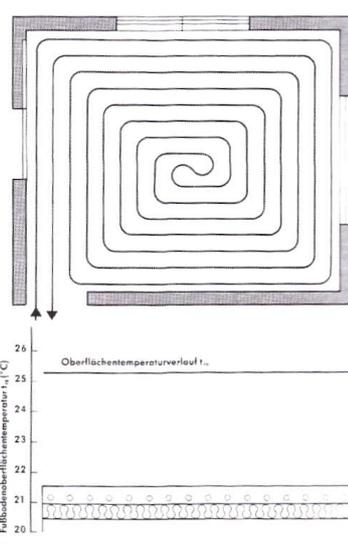
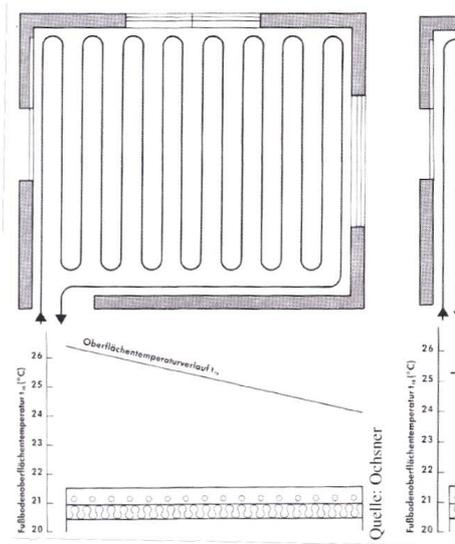


Abb. 49: mäander- und schneckenförmige Verlegeform sowie darunter dargestellt der jeweilige Oberflächentemperaturverlauf [28]

Abb. 50: Doppelmäander-Verlegung [69] und Temperaturverlauf [28]

4.1.2 Wandheizung



Abb. 51: Wandheizungsregister [Archiv Zauner]

Bei Wandheizungen werden die Rohrregister meist auf Klemmschienen befestigt und so eingeputzt (siehe Abb. 51). Dadurch ergeben sich größere Putzdicken. Die Besonderheit von Wandheizungen ist, dass sie sich auch zum Umkehrbetrieb eignen, das heißt, dass die Register im Sommer zur Kühlung, im Winter als Heizung verwendet werden können. Wandheizung und Fußbodenheizung können beliebig miteinander kombiniert werden. In manchen Fällen, wie zum Beispiel kleinen Bädern,

ist eine Kombination sogar notwendig, um die erforderlichen Heizflächen zu erreichen. Im Trockenbau ist eine Anwendung als vorgefertigtes Element möglich, allerdings fehlt in diesem Fall die Speichermasse komplett. Bei Althausanierungen können die Rohre in gefräste Wandschlitze gelegt werden.

4.1.3 Bauteilaktivierung, Heizen und Kühlen mit Beton

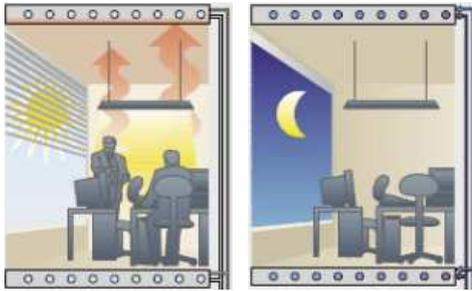


Abb. 52: Funktionsweise Bauteilaktivierung[48]

Das Prinzip des Energiespeichers Beton beruht auf der Nutzung der Speichermasse von Bauteilen, wie es aus historischen Bauwerken wie Burgen und Kirchen bekannt ist. Die Bauteilaktivierung unterstützt das Speicherhalten der massiven Betonbauteile durch die von Kühl- bzw. Heizwasser durchströmten Rohre. Diese stellen eine quasi unendliche Speichermasse dar.

Wie auf Abb. 52 dargestellt nimmt die vorgekühlte Decke (oder auch Wand, Säule etc.) die überschüssige Wärme auf und speichert diese so lange, bis sie von der Wärmeträgerflüssigkeit in den Rohrregistern abtransportiert und ins Erdreich über beispielsweise Massivabsorber eingespeichert wird. Über Nacht kann die Wärme so weit abtransportiert werden, dass am nächsten Morgen wieder vorgekühlte Bauteile zur Verfügung stehen und die Wärme wieder aufnehmen und auf diese Art und Weise die Spitzen der Hitzebelastung in den Räumen dämpfen können.

Der Unterschied in der Temperaturverteilung eines Raumes ist in der unten stehenden Grafik dargestellt. Das linke Bild zeigt das Ergebnis einer Simulation mit Bauteilaktivierung, das rechte Bild jenes ohne Bauteilaktivierung. Die Farben zeigen die Wärmequellen Computer und die aufsteigende Wärmefahne darüber auf. Während im rechten Bild auch die Personen reichlich Wärme abgeben, bleiben die Personen im linken Bild „cool“.

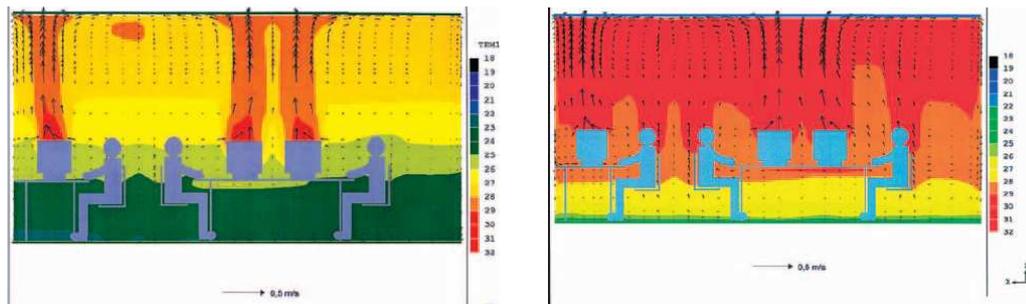


Abb. 53: Simulation der Temperaturverteilung im Raum – links mit, rechts ohne Bauteilaktivierung

Auch hier kann unterschieden werden zwischen Ortbetonsystemen (siehe Abb. 55) und Fertigteilsystemen (Abb. 54)

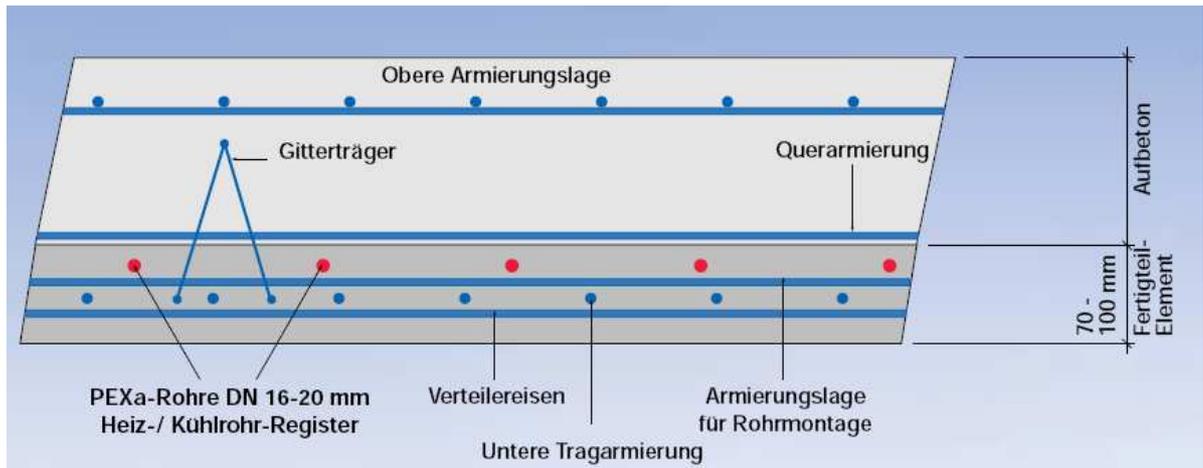


Abb. 54: thermoaktive Elementdecke [42]

Besonders die modernen Bürogebäude mit ihren riesigen Glasfassaden und damit verbunden den großen Wärmeeinträgen, den vielen Mitarbeitern und noch mehr Computern, Kopiergeräten sowie einer Unzahl weiterer Wärmeproduzenten müssen klimatisiert werden. Durch die Anwendung von Flächenkühlung durch Bauteilaktivierung kommt es zu einer „sanften“ Kühlung und somit zu einer Vermeidung von unerwünschten Zugerscheinungen. Die Grundlast der Kühlenergie kann durch die Betonkernaktivierung abgedeckt werden, sodass lediglich die Spitzen des Kühlbedarfs durch zusätzliche Klimageräte gedeckt werden müssen. Dadurch ist eine wesentlich geringere Dimensionierung dieser Geräte möglich. Äquivalent zu Kapitel 3.5.3 Bivalenter Betrieb kann durch diese Kombination der Energiebedarf für die Kühlung wesentlich gesenkt werden.

Auf Abb. 54 ist eine thermoaktive Elementdecke dargestellt. Diese weist eine etwa doppelt so große Dicke des Fertigteilelements auf als herkömmliche Elementdeckenelemente. Auf die untere Bewehrungslage, die sich im Fertigteilelement befindet, werden PE-Xa-Rohrregister aufgebunden und einbetoniert. Auf der Baustelle ist die Handhabung kaum unterschiedlich zu herkömmlichen Elementdecken. Lediglich die Anschlussstücke der Rohrregister müssen mit besonderer Sorgfalt behandelt werden. Nach Aufbringen der Querbewehrung, der Zusatzstahlgitterträger und der oberen Bewehrungslage kann wie bei normalen Elementdecken betoniert werden.

Im Unterschied dazu ist auf Abb. 55 die Verlegung von Rohrmodulen für eine Ortbetondecke dargestellt. Die vorgefertigten Rohrregister werden wie bei den Fertigteilelementen auf die untere Bewehrungslage aufgebunden. Beim Betoniervorgang ist besonders auf die Anschlussstücke zu achten. Auf Grund der Variabilität der Rohranordnung können sämtliche Grundrissformen mit solchen Registern belegt werden. Neben der Verlegung vor Ort sind vorgefertigte Module mit ebenfalls variablen Abmessungen in Standard- und Sondergeometrien erhältlich. Diese

Module vereinfachen die Montage und ermöglichen eine noch schnellere und regelmäßige Verlegung.



Abb. 55: Verlegung von Rohrmodulen [64]

Die Rohre können in Form von Einfach- oder Doppelmäandern verlegt werden. Die Doppelmäander-Verlegung weist meist eine homogenere Temperaturverteilung über dem gesamten Modul auf als jene in Form von Einzelmäandern. Dieses homogenere Temperaturprofil im Modul hat wiederum eine gleichmäßigere Bauteiloberflächentemperatur zur Folge, was die Behaglichkeit steigert.

5 Statuserhebung

Dieses Kapitel befasst sich mit der Statuserhebung der Erdwärmeanlagen in Österreich. Der Vielfältigkeit des Wortes „Status“ wird in diesem Kapitel Rechnung getragen, indem sich das Kapitel Statuserhebung nicht nur auf die Anzahl der bestehenden Anlagen beschränkt, sondern auch die unterschiedlichen Fördermodalitäten der Bundesländer, die Wirtschaftlichkeit sowie die Leistungsbereiche der momentan am Markt erhältlichen Anlagen beleuchtet.

5.1 Bestehende Anlagen

Eine flächendeckende und exakte Erhebung der tatsächlich bestehenden und neu installierten Erdwärmenutzungsanlagen ist in Österreich praktisch nicht möglich. Dies hat viele Gründe, einer davon ist, dass es keine zentrale Stelle gibt, die solche Anlagen bewilligt oder bei der die Errichtung von Erdwärmegewinnungsanlagen zumindest gemeldet werden muss. Auf der Seite des Erbringers der Dienstleistung, nämlich beim Installateur, einzuhaken, hatte auch wenig Erfolg, da viele der angefragten Installateure keine genauen Aufzeichnungen führen oder diese aus Datenschutzgründen nicht weitergeben wollen und können. Auch die Innung der Installateure kann auf solche Daten nicht zurückgreifen. Selbst die Leistungsgemeinschaft Wärmepumpe Austria (LGWA) und der Bundesverband Wärmepumpen (BWP) verfügen über keine exakten Bestandsdaten, sondern verweisen auf die Marktstatistik erneuerbare Energien 2007. Diese ist eine Kooperation des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), der LGWA und des BWP mit dem der arsenal research, AEE INTEC sowie der TU Wien. Darin berücksichtigt sind die Datenmeldungen von 31 österreichischen Hersteller- und Vertriebsfirmen von elektrisch angetriebenen Wärmepumpen, was im Wesentlichen den österreichischen Markt abdeckt und somit ein brauchbarer Spiegel der aktuellen Lage in Österreich ist.

Abb. 56 zeigt die Entwicklung des Wärmepumpeninlandsmarktes der Jahre 2000 bis 2007. Deutlich zu erkennen ist die Steigerung gesamt, insbesondere aber der Anstieg bei den Heizungswärmepumpen. Im Vergleich zum Jahr 2006 gab es am Sektor der Heizungswärmepumpen eine Steigerung des Absatzes um 22,1 %. Auch bei den Brauchwasserwärmepumpen konnte ein Wachstum von 8,2 % verzeichnet werden.

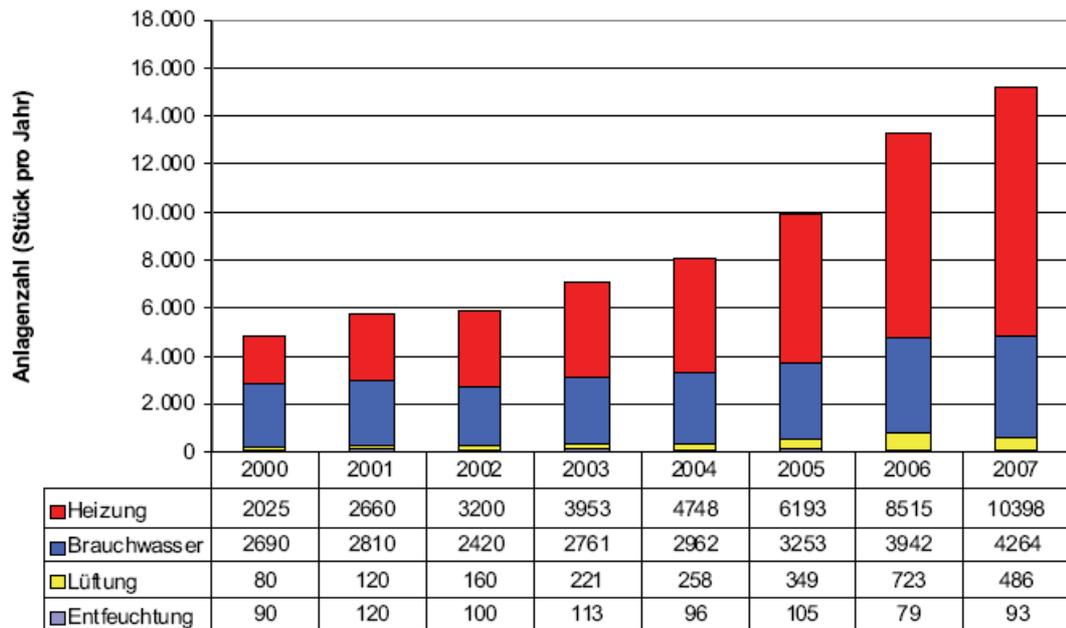


Abb. 56: installierte Anlagen in Österreich [10]

Der Abb. 57 können die Wärmequellen für Heizungswärmepumpen und deren Entwicklung über die Jahre 1989 bis 2006 entnommen werden. Die Wärmequellen Erdreich und Wasser halten sich relativ konstant. Etwa drei Viertel der Heizungswärmepumpenanlagen beziehen die Umweltenergie aus dem Erdreich. Die Wärmequelle Wasser bzw. auch Grundwasser wird von etwa 15% der Wärmepumpenanlagen genutzt. Ein gewisser Aufwärtstrend ist bei Luft/ Wasser Wärmepumpen zu erkennen. Dies ist wahrscheinlich auf die steigende Anzahl an Sanierungsprojekten zurückzuführen, die sich eher die Wärmequelle Luft zu Nutze machen, da in vielen Fällen keine andere Energiequelle zur Verfügung steht. Abb. 58 zeigt, dass sich seit Ende der neunziger Jahre ein Trend weg von den Direkt-Verdampferwärmepumpen hin zu den Sole/Wasser- Wärmepumpen durchsetzt. Das ist sehr wahrscheinlich auf den zunehmenden Anteil der Erdsondenanlagen zurückzuführen.

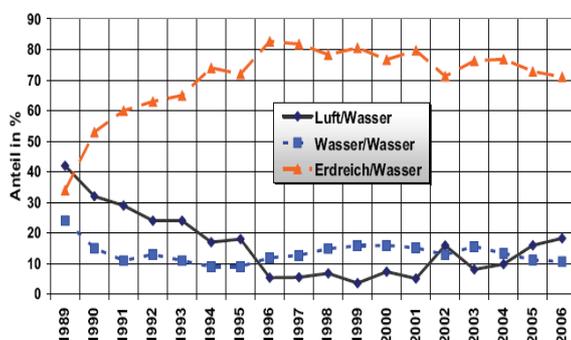


Abb. 57: Anteile der Wärmequellen für Heizungswärmepumpen in Österreich [10]

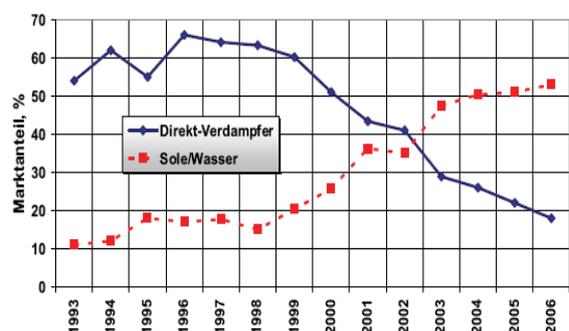


Abb. 58: Anteile Direkt-Verdampfer und Sole/Wasser bei erdreich-gekoppelten Heizungswärmepumpen [10]

Neben dem vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) in Auftrag gegebenen Bericht über den Wärmepumpenmarkt in Österreich [10] wurde auch auf europäischer Ebene eine solche Statuserhebung durchgeführt. Diese wurde von der european heat pump association (epha) veröffentlicht [36]. Die etwas abweichenden Ergebnisse werden in der folgenden Abb. 59 bis dargestellt.

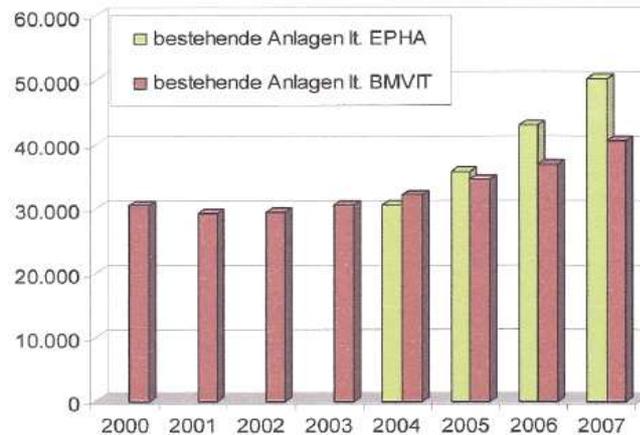


Abb. 59: Vergleich Werte epha und BMVIT für bestehende Wärmepumpen- Anlagen in Österreich [Datenquelle: 12 und 10]

Da die Daten der european heat pump association (epha, [36]) erst ab 2004 vorhanden sind, fehlen längerfristige Vergleiche. Der in Abb. 59 dargestellte Vergleich der Daten von BMVIT und epha und die immer größer werdenden Abweichungen der beiden Werte lassen vermuten, dass die außer Betrieb genommenen, alten Wärmepumpen in den Daten der epha auch weiter mitgerechnet werden, was die Differenz erklären könnte.

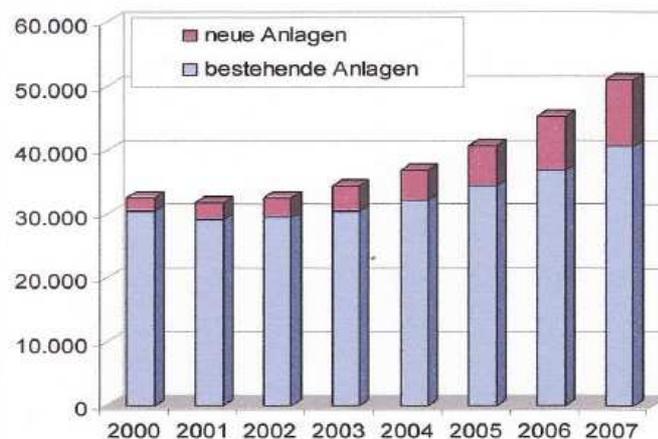


Abb. 60: neue und bestehende Wärmepumpenanlagen in Österreich [Datenquelle: 10]

Die Gesamtzahl der bestehenden Wärmepumpen in Österreich ist in Abb. 60 ersichtlich. Die Datengrundlage ist dabei der Bericht über den Wärmepumpenmarkt in Österreich 2007 von G. Faninger, beauftragt vom BMVIT. Zu beachten ist, dass dieser das gesamte Spektrum der Wärmepumpenanlagen darstellt und nicht nur die Erdwärmewärmepumpen, die aber bereits seit den neunziger Jahren den Großteil ausmachen.

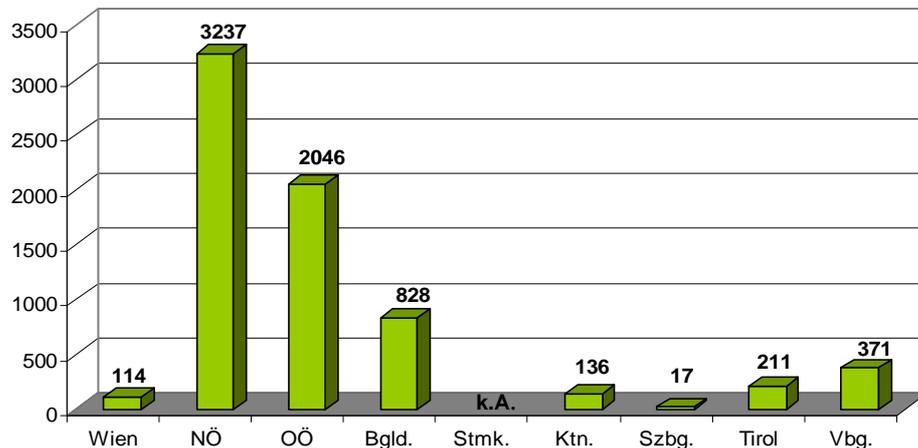


Abb. 61: Anzahl der 2007 von den Förderstellen geförderte Wärmepumpenanlagen, keine Angaben für Steiermark [Datenquelle: 10]

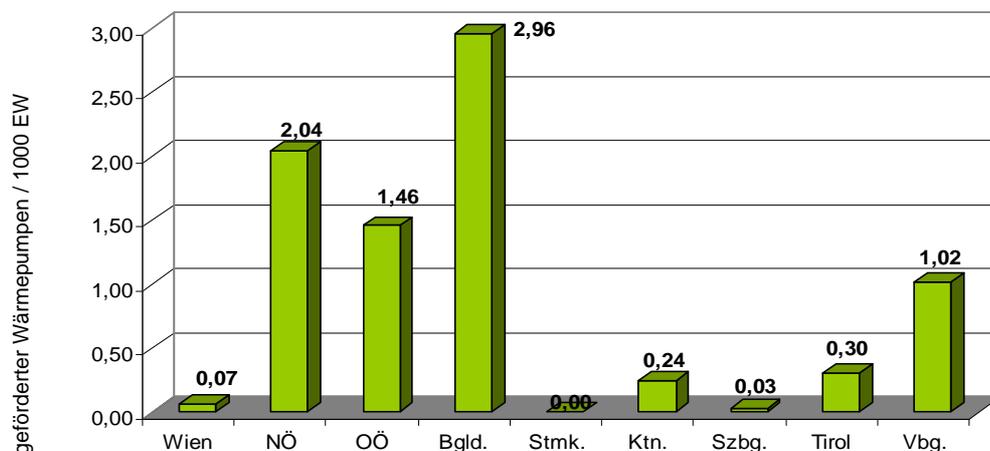


Abb. 62: Anzahl der geförderten Wärmepumpen je 1.000 Einwohner für 2007 [Datenquelle: 68 und 10]

Aus Abb. 61 geht der absolute Spitzenreiter in Sachen geförderten neuen Wärmepumpenanlagen hervor. Es ist dies das Bundesland Niederösterreich mit über 3.200 geförderten neuen Wärmepumpenanlagen im Jahr 2007. Vergleicht man diese Aussage mit Abb. 61, so erkennt man, dass Niederösterreich zwar in absoluten Zahlen die meisten Förderungen vergeben hat, bezogen auf die Einwohnerzahl erkennt man aber, dass im Burgenland knapp drei Wärmepumpen auf 1.000 Einwohner kommen, während es in Niederösterreich etwas mehr als zwei sind. Weiters ist ersichtlich, dass auch in den Bundesländern Oberösterreich und Vorarlberg häufiger Förderungen ausbezahlt werden.

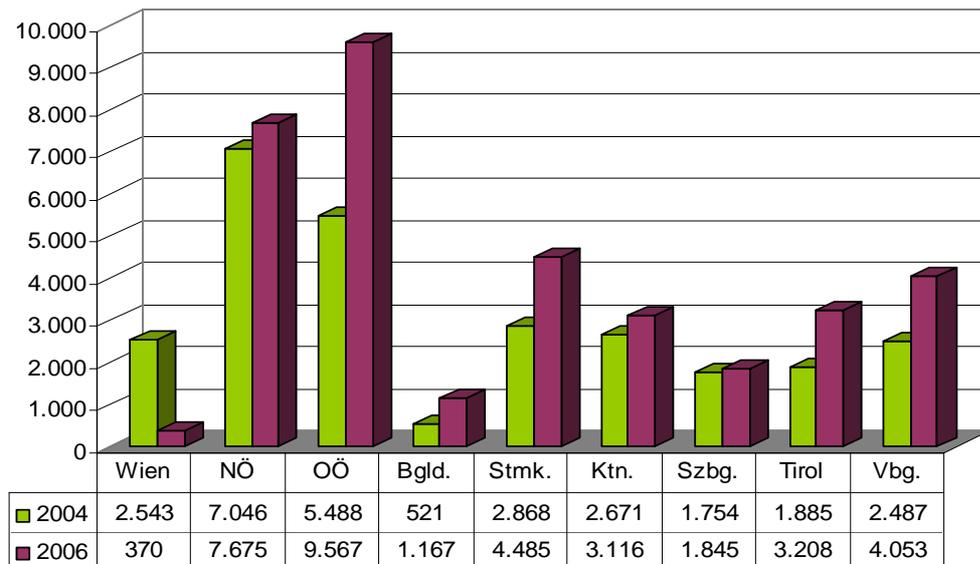


Abb. 63: Vergleich Mikrozensen 2004 und 2006 in den Bundesländern, Art der Heizung (Solar, Wärmepumpen) [Datenquelle: 68]

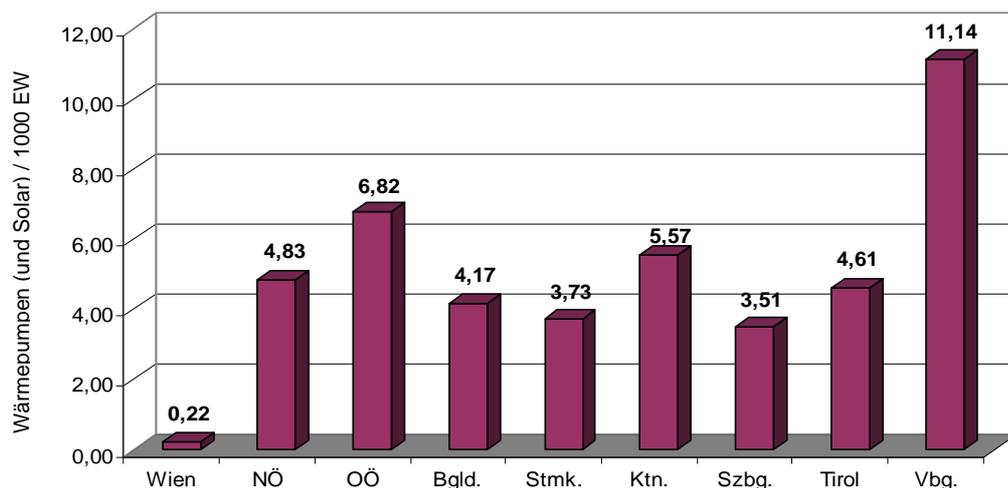


Abb. 64: Anzahl der Wärmepumpen (und Solar) je 1.000 Einwohner für 2006 [Datenquelle: 68]

Wie Abb. 64 zeigt, ist Wien jenes Bundesland, das die wenigsten Wärmepumpen je 1.000 Einwohner hat. Das ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass es einen enormen Altbestand an Gebäuden gibt. Weiters ist das natürlich auf die große Wohndichte und die sehr wenigen Einfamilienhäuser, die ja das Hauptanwendungsgebiet von Wärmepumpenanlagen darstellen, zurückzuführen. Noch ein Grund ist sicherlich auch die relativ gute Versorgung mit Fernwärme. Gut 11 Wärmepumpen gibt es pro 1.000 Einwohner in Vorarlberg. Damit ist Vorarlberg das Land mit den meisten Wärmepumpen bezogen auf die Einwohner. Dies bestätigt sich im Vergleich mit Abb. 63. Dort weist die Grafik dem Bundesland Vorarlberg etwa gleich viele Wärmepumpen (und Solaranlagen) aus wie den Bundesländern Steiermark und Tirol. Dabei ist die Bevölkerungszahl Vorarlbergs lediglich halb so groß wie jene Tirols und gar nur ein Viertel der Bevölkerungszahl der Steiermark.

Zurückzuführen könnte dieses Ergebnis auf die Topografie der jeweiligen Bundesländer sein. Im Flachland ist ausreichend Platz um günstigere Flächenkollektoren anzuordnen, während im Bergland auf Grund der eher beengten Raumverhältnisse oft nicht genügend Fläche für horizontale Absorber zur Verfügung steht, sodass nur teurere Erdwärmesonden möglich sind. In Vorarlberg wiederum sind die Untergrundverhältnisse teilweise derart schlecht, dass selbst Einfamilienhäuser tief gegründet werden müssen, wodurch die in der Anschaffung enorm günstigen Massivabsorber möglich sind. Auch die diversen Direktförderungen vom Land und Sondertarife der jeweiligen Energieversorgungsunternehmen sowie deren Marketing und Werbung für derartige Anlagen können Einfluss auf die Anzahl der Wärmepumpenanlagen im entsprechenden Bundesland haben.

Des Weiteren wurden die erhobenen Verkaufszahlen von Heizungs- Wärmepumpen von 2006 und 2007 nach Leistungsklassen unterteilt. Neben den allgemeinen steigenden Verkaufszahlen von Heizungs-Wärmepumpen zeigt sich, dass besonders der Markt in der Leistungsklasse >80kW sehr starkes Wachstum verzeichnen konnte. In der nachstehenden Tabelle 9 ist diese Entwicklung dargestellt.

Tabelle 9: Verkaufszahlen Heizungswärmepumpe österreichischer Inlandsmarkt

	2006	2007	Änderung
Leistungsklasse bis 20kW	7219	8551	+18,5 %
Leistungsklasse 20 - 80kW	1253	1698	+35,3 %
Leistungsklasse > 80kW	43	149	+ 246,5 %

Dieses extreme Wachstum in der Leistungsklasse > 80kW ist wahrscheinlich auf die wachsende Zahl an großen und größeren Gebäuden, die mittels Erdwärme klimatisiert, also geheizt und gekühlt, werden. Im Kapitel 6.4 Sonderbauten sind einige Beispiele für solche Gebäude angeführt. Ähnlich sieht die Entwicklung am Exportmarkt aus, welcher im Jahr 2007 ebenfalls gute Wachstumsraten verzeichnen konnte.

Brauchwasserwärmepumpen konnten im Jahr 2007 ein Wachstum von 8,2% verzeichnen. Damit ist der Zuwachs zwar bei weitem nicht so groß wie bei den Heizungs-Wärmepumpen, jedoch dennoch nicht zu vernachlässigen. Der Exportmarkt der Brauchwasserwärmepumpen stieg mit 53,2% sogar noch viel stärker.

Zu den Ländern, die Anlagen oder Anlagenkomponenten nach Österreich importieren, zählen, gereiht nach der Anzahl: Deutschland, Schweden, Italien und weiters Holland, Frankreich, Belgien, Schweiz, Dänemark und die USA. Umgekehrt sind die Länder, in die Anlagen oder Anlagenkomponenten aus Österreich exportiert werden, gereiht nach der Anzahl: Deutschland, Schweiz, Italien und weiters Irland, Holland, Ungarn, Slowenien und noch einige mehr.

Beispielhaft wird im Folgenden eine Referenzliste der Qualitätsgemeinschaft Wärmepumpe aus Vorarlberg angeführt.

Tabelle 10: Einfamilienhäuser mit Energiebrunnen (Vorarlberg)

Bezeichnung	Baujahr	Wohnfläche	Gebäudeheizlast [kW]	Heizwärmebedarf	Heizleistung [kW]	Brunnen	Brunnenleistung	Fußbodenheizung	Wandheizung	Radiator	Vorlauftemperatur	Warmwasser
		[m ²]	[kW]	[kWh/a]	[kW]	[lfm]	[l/s]				[°]	
EFH Götzis	1978	160	14			27				X	42	WP, Holz, Solar
EFH Koblach	2003	146	7,4	12373	9,7		0,65	X			35	WP, Solar, E-Garnitur
EFH Altach	2002	157	8,1	13848	9,7		0,65	X			35	WP, E- Garnitur
EFH Mäder	2002	140	7,5		8,7		0,42	X			35	WP
EFH Götzis	1972	270	24		21,5	28		X		X	55	WP, Solar
EFH Mäder	2004	130	8,5		8,4	14		X		X	45	WP
EFH Lauterach	2002	168	8,4	13650	8,4		0,65	X			35	WP, Solar, E-Garnitur
EFH Schruns	2003	146	8	10576	7,5		0,89	X			35	Solar
Mittelwert	1996	165	11	12612	11	23	0,65				40	

Tabelle 11: Einfamilienhäuser mit Flächenkollektoren (Vorarlberg)

Bezeichnung	Baujahr	beheizte Fläche	Gebäudeheizlast	Heizwärmebedarf	Heizleistung	Flächenkollektor	Fußbodenheizung	Wandheizung	Radiator	Vorlauftemperatur	Warmwasserbereitung
		[m ²]	[kW]	[kWh/a]	[kW]	[m ²]				[°]	
EFH Göfis	2004	151	8,1	13753		280	X			35	WP, Solar, W-Garnitur
EFH Götzis	2004	145	7,9	13300	7,5	240	X			35	WP, E-Garnitur
EFH Altach	2001	164	9,5	16390	8,4	240	X			35	WP, Solar, E-Garnitur
EFH Altach	2001	125	7,5	12540	8,4	240	X			35	WP, Solar, E-Garnitur
EFH Göfis	2002	169	9,7	14875	8	240	X			35	WP, Solar, E-Garnitur
EFH Mäder	2001	145	7,9	10448	8,4	240	X			35	WP, E-Garnitur
EFH Koblach	2003	144	6,7	10482	8	240	X			35	WP, Solar, E-Garnitur
EFH Neuhofen/	2000	153	12,1		14,2		X	X			
EFH Galspach	1998	130	7		7	390	X				WP
Mittelwert	2002	147	8	13113	9	264				35	

Tabelle 12: Einfamilienhäuser mit Erdwärmesonden (Vorarlberg)

Bezeichnung	Baujahr	Wohnfläche	Gebäudeheizlast [kW]	Heizwärmebedarf	Heizleistung [kW]	Sonde	Fußbodenheizung	Wandheizung	Radiator	Vorlauftemperatur	Warmwasser
		[m ²]	[kW]	[kWh/a]	[kW]	[lfm]				[°C]	
EFH Dornbirn	2001	230	21,1			140	X			35	WP, Solar
EFH Thüringen	2002	230	10,5		9,4	148	X			35	WP
EFH Rankweil	2005	130	6		6,4	110	X			35	WP
EFH Vandans	2004	150	8,2		10,8	170	X			40	WP, Solar
EFH Batschuns	2002	182	8,2		8,4	125	X			40	WP
EFH+Arztpraxis St. Gallenkirch	2005	211+363	38		14	328	X		X	40	WP
EFH Raggal	2004	144	7,5	10627	8	140	X			35	WP, E-Garnitur
EFH Altach	2004	150	8		8,3	150	X			35	WP, E-Heizung
EFH Altach	2003	167	9,6	16040	8	137	X			35	WP, E-Garnitur
EFH Hohenems	2005	130	6		6	100	X			40	
EFH Frastanz	2005	120	6		6,4	110	X			35	WP, Solar
EFH Mellau	2003	295	11		11,4	170	X			35	WP
EFH Göfis	2005	182	8,2		8,3	130	X			43	WP, Solar, E-Heizung
EFH Dornbirn	2003					148	X			35	Wasserpumpe 54kW
EFH Götzis	2002	140	12		11,8	180	X			40	WP
EFH Feldkirch	2003	125	6,9	7877	8	130	X			35	WP
EFH Frastanz	2005	130	6		6,4	110	X			35	WP, Solar
EFH Bregenz	2002	175	10,4	17285	10	160	X			35	WP, E-Garnitur
EFH Dornbirn	2005	220	11		14	200					
EFH Muntlix	2005	140	8		8,3	138	X			35	WP, E-Garnitur
EFH Egg	2001	142	5,8		6,9	110	X			35	WP
EFH Höchst	2004	130	6,3	7500	7,8	125	X			35	WP
EFH Bürserberg	2003	136	9,8	12959	8	120	X			35	WP, E-Garnitur
EFH Kblach	2003	165	8		8,4	110	X			35	250l Brauchwasserspeicher
EFH Götzis	2002	140	8,1		8,4	120	X			35	250l Brauchwasserspeicher
EFH Mellau	2004	184	7		6,9	110	X			35	WP
EFH+Geschäft Schnepfau	1984	350	21		21,5	360	X		X	43	WP
EFH Marchtrenk	2002	125	6		6	140	X	X			
Mittelwert	2003	171	10	12048	9	151				37	

Aus den drei oben stehenden Tabellen lassen sich folgende Mittelwerte ablesen:

Die Energiebrunnen haben im Mittel eine Brunnenleistung von 0,65 l/s und decken damit eine Heizleistung von 11 kW ab, mit denen eine mittlere Wohnfläche von 165 m² beheizt wird.

Einfamilienhäuser, die mittels Flächenkollektoren beheizt werden, weisen eine mittlere Wohnfläche von etwa 140 m² auf. Die Gebäudeheizlast beträgt im Mittel 8 kW. Die gänzlich mit Fußbodenheizung beheizten Gebäude gewinnen die Umweltwärme im Mittel über 264 m² Flächenkollektoren. Bezogen auf die Wohnfläche ist die Kollektorfläche etwa doppelt so groß. Ein Vergleich mit den in Kapitel 2.2 genannten Richtwerten ergibt bei Annahme eines feuchten, bindigen Bodens gemäß Tabelle 2 bei $\beta = 4,0$ und 25 m² erforderlicher Kollektorfläche je kW Folgendes:

$$8 \text{ kW} * 25 \text{ m}^2/\text{kW} = 200 \text{ m}^2 > 164 \text{ m}^2$$

Erdwärmesonden gewinnen ihre Energie aus im Mittel 151 lfm Erdwärmesonden, die einen durchschnittlichen Heizwärmebedarf von 9,0 kW für 171 m² beheizte Fläche decken. Bei Vergleich mit den Richtwerten aus Kapitel 2.2, Tabelle 4 und Annahme eines wassergesättigten Gesteins, $\beta = 4,0$, 1.800 Betriebsstunden pro Jahr und 12,5 m erforderlicher Sondenlänge je kW Heizleistung ergibt sich folgendes Bild:

$$9,0 \text{ kW} * 12,5 \text{ lfm/kW} = 112,5 \text{ lfm} > 151 \text{ lfm}$$

Die soeben angeführten Vergleiche zeigen, dass man mit den Richtwerten auf größenordnungsmäßig richtige Werte kommt, aber eben nur Anhaltswerte, die eine detaillierte Dimensionierung keinesfalls ersetzen können.

5.2 Förderungen für Erdwärmeanlagen

Förderungen sind bundesweit unterschiedlich geregelt. Jedes Bundesland hat andere Förderbestimmungen für Neubauten und Sanierungen. Unter Umständen werden auch von den Energieversorgern besonders günstige Tarife für Wärmepumpen angeboten, die aber in der Regel auf bestimmte Tageszeiten beschränkt sind.

Die folgende Tabelle 13 gibt einen Überblick über die Fördermodalitäten der neun Bundesländer für Wärmepumpenanlagen bei Neubauten.

Tabelle 13: Übersicht über die Förderbestimmungen für Wärmepumpen bei Neubauten[55]

		Förderbedingung	Förderhöhe
Wien		Wärmeabgabe über Medium Wasser, Mindestwerte für COP: Luft/Luft >3,0 Luft/ Wasser > 3,0 Sole/ Wasser > 3,7 Direktverdampfer > 3,7 Wasser/ Wasser > 4,5	Warmwasser: € 1.600,- Heizung+ WW: € 4.500,- Tiefenbohrung (Heizung+ WW): € 8.000,- nicht rückzahlbarer Zuschuss
Nieder- österreich		Dauernde Bewohnung, Anlage technisch richtig ausgeführt Bestätigung von Anlagenbauer und Gemeinde	Nicht rückzahlbarer Zuschuss: 30% maximal aber € 1.100,- für WW € 2.200,- für WW+ Heizung
Burgen- land		Hauptwohnsitz im Burgenland, Rechnung nicht älter als 1 Jahr, Neubau nicht älter als 5 Jahre, kein COP, keine Bindung an Wohnbauförderung	15% der anerkannten Kosten, maximal aber € 750,- für WW € 1.800,- für WW+ Heizung, bei zwei Geräten beides

Ober- österreich		Häuser mit bis zu 3 Wohnungen, unabhängig von allgemeiner Wohnbauförderung	Erdwärme + WW COP > 4,0: € 1.500,- Erdwärme COP > 4,5: € 2.200,-
Steiermark		Bedingungen für Wohnbauförderung müssen erfüllt sein, COP > 4,0	€ 3.500,- Zuschlag zu Wohnbauförderung
Kärnten		Einhaltung Richtlinien Wohnbauförderung, Energieausweis, nur für Wohngebäude, COP > 3,5 bzw. 2,8 bei Luft- WP	Nicht rückzahlbarer Baukostenzuschuss für Heizungswärmepumpen: ≤ 60 kWh/m²: €1.500,- ≥ 60 kWh/m²: €2.000,-
Salzburg		Kein Direktzuschuss, Förderung im Rahmen der Wohnbauförderung	
Tirol		Nur in Verbindung mit Grundförderung, Darlehen oder Wohnbauscheck, max. 150 m², Energiestandard 15A Vereinbarung Person: Kriterien Einkommensgrenze und Wohnbedarf, EU-Bürger Erdreich, Grundwasser: COP > 4,0	3 Pers.: € 1.520,- 4 Pers.: € 1.760,-
Vorarlberg		Einhaltung Richtlinien Wohnbauförderung, technische und qualitative Voraussetzungen, COP > 4,1 für Heizung bzw. 3,6 für Heizung + WW	30% der Investitionskosten, maximal aber für EFH: € 1.000,- MFH: € 800,- + 600,- pro Wohneinheit

Auch für Sanierungen gewähren die Länder Förderungen für Wärmepumpenanlagen. Tabelle 14 soll eine Übersicht über die verschiedenen Förderbedingungen und auch über die möglichen Förderhöhen liefern.

Tabelle 14: Übersicht über die Förderbestimmungen für Wärmepumpen bei Sanierungen[55]

		Förderbedingung	Förderhöhe
Wien		Eigenes Wohnbedürfnis, Nutzfläche mind. 22 m ² 20-jährige Bestandsdauer alleinige Heizung nicht im Fernwärme- Versorgungs- gebiet	30% der förderbaren Sanierungskosten, nicht rückzahlbarer Zuschuss
Nieder- österreich		Dauernde Bewohnung, Anlage technisch richtig ausgeführt Bestätigung von Anlagenbauer und Gemeinde	Nicht rückzahlbarer Zuschuss: 30%, maximal aber € 1.100,- für WW € 2.200,- für WW+ Heizung
Burgen- land		Hauptwohnsitz im Burgenland, Rechnung nicht älter als 1 Jahr, Neubau nicht älter als 5 Jahre, kein COP, keine Bindung an Wohnbauförderung	15% der anerkannten Kosten, maximal aber € 750,- für WW € 1.800,- für WW+ Heizung, bei zwei Geräten beides
Ober- österreich		Keine Förderung	
Steiermark		COP >4,0	Zuschuss 15% nicht rück- zahlbar zu Darlehen
Kärnten		Keine Förderung	
Salzburg		Keine Förderung	
Tirol		Nur in Verbindung mit Grund- förderung, Darlehen oder Wohn- bauscheck, max. 150 m ² Person: Kriterien Einkommens- grenze und Wohnbedarf, EU Bürger Erdreich, Grundwasser: COP >4,0 Zusätzlich: Haus mind. 10 Jahre alt Keine Anforderungen an Gebäudehülle	20% der Anlagenkosten oder 30% der Zinsen + Rückzahlung eines Darlehens
Vorarlberg		Keine Förderung	

Im Folgenden werden beispielhaft für die Fördermodalitäten des westlichsten Bundeslandes, Vorarlberg, die geförderten Anlagen vom Jahr 2007 beschrieben. Zu beachten ist, dass im Vorarlberger Rheintal auf Grund der vorherrschenden Geologie teilweise äußerst ungünstige Bodenverhältnisse anzutreffen sind und in weiterer Folge auch bei kleineren Bauwerken wie Einfamilienhäusern auf Pfählen zu gründen sind, was den beachtlichen Anteil an Energiepfählen auch bei Einfamilienhäusern begründet.

Tabelle 15: Übersicht Förderungen Land Vorarlberg 2003 – 2008 [36]

Auszahlungen	2003	2004	2005	2006	2007	2008
EFH-Grundwasser	4	16	20	41	42	31
EFH-Energiepfahl	1		2	8	8	17
EFH-Erdkollektor	7	16	15	19	19	26
EFH-Erdsonde	10	52	85	181	248	249
MFH-Grundwasser		3	5	14	8	7
MFH-Energiepfahl	1		2		6	8
MFH-Erdkollektor			3	2	7	2
MFH-Erdsonde	2	3	8	13	27	26
Summe	25	99	142	280	371	370

Grafisch aufbereitet stellt sich die Tabelle 15 wie folgt dar:

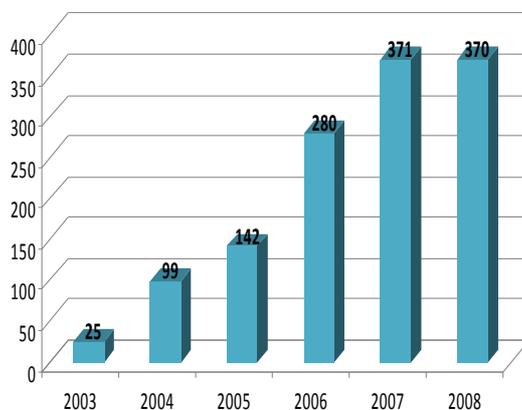


Abb. 65: Förderungen Vorarlberg 2003-2007
[Datenquelle: 36]

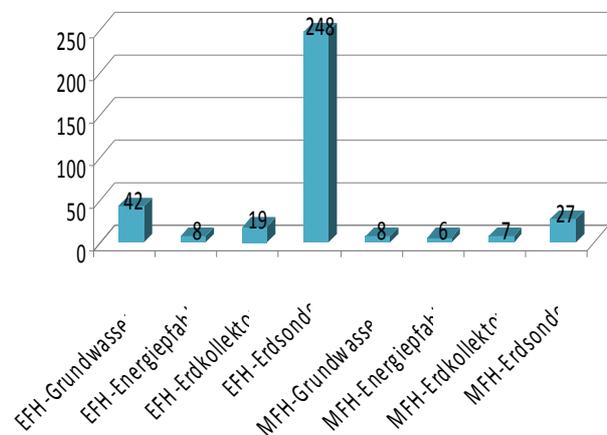


Abb. 66: Förderungen 2007 nach Wärmequelle
[Datenquelle: 36]

Abb. 65 zeigt, dass nach einem rasanten Anstieg der Anzahl der geförderten Anlagen in den Jahren 2003 bis 2007 es im vorigen Jahr zu einer Stagnation der Anzahl der geförderten Erdwärmeanlagen gekommen ist. In Abb. 66 ist sehr deutlich zu erkennen, dass die meisten Förderungen an Bauherren von Einfamilienhäusern mit Erdwärmesonden als Wärmequellen ausbezahlt wurden.

Selbiges Bild ergibt sich auch bei Betrachtung der ausbezahlten Fördersummen. In Abb. 67 stellt sich ein ähnliches Verhältnis dar wie in Abb. 66. Mit insgesamt 362.900 € ausbezahlter Fördermittel wurden Erdwärmeanlagen, die ihre Energie

über Erdsonden gewinnen, am häufigsten gefördert- sowohl bei Einfamilien- wie auch bei Mehrfamilienhäusern, bei denen die Fördersumme mit 95.500 € aber wesentlich geringer ausfällt.

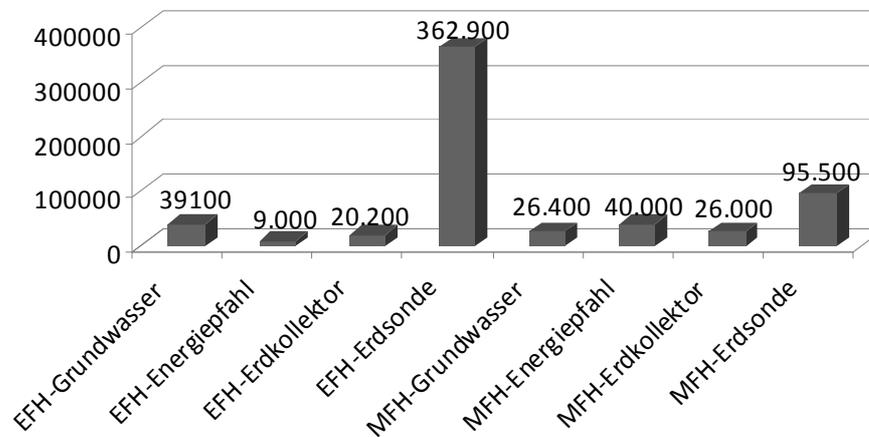


Abb. 67: Ausbezahlte Förderungen 2007 nach Wärmequelle [Datenquelle: 36]

Bezogen auf die Anzahl der geförderten Anlagen, wie sie in Tabelle 15 angeführt sind, ergeben sich folgende, in der Abb. 68 dargestellten mittleren Förderhöhen pro Anlage.

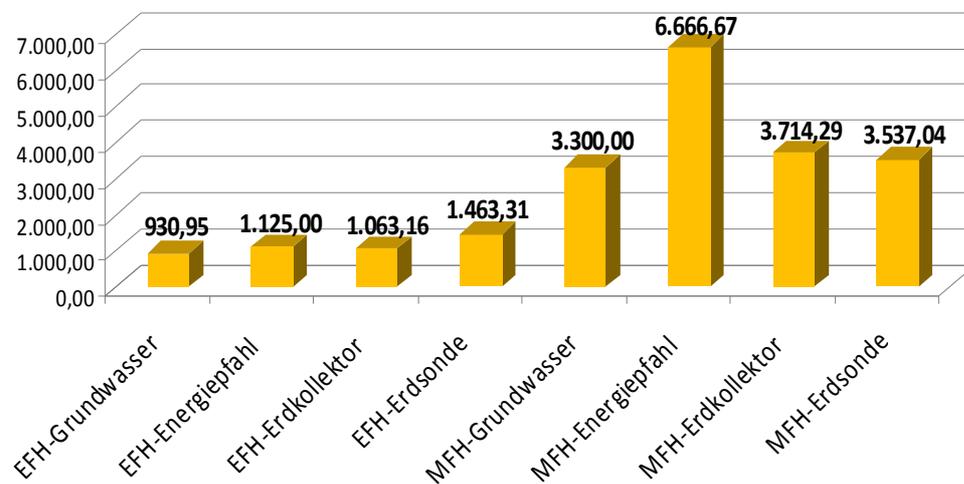


Abb. 68: mittlere Förderhöhe pro Anlage, nach Wärmequelle [Datenquelle: 36]

Auf selbe Art und Weise ergeben sich die mittleren Investitionskosten für Erdwärmeanlagen, die beim Ansuchen um Förderung bei der zuständigen Stelle angegeben wurde wie in der unten stehenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 16: mittlere Investitionskosten pro Anlage, nach Wärmequelle [Datenquelle: 36]

Einfamilienhaus-Grundwasser	€ 17.080,68
Einfamilienhaus -Energiepfahl	€ 16.717,16
Einfamilienhaus -Erdkollektor	€ 16.959,45
Einfamilienhaus -Erdsonde	€ 24.378,21
Mehrfamilienhaus-Grundwasser	€ 26.786,03
Mehrfamilienhaus -Energiepfahl	€ 65.089,14
Mehrfamilienhaus -Erdkollektor	€ 19.195,89
Mehrfamilienhaus -Erdsonde	€ 38.044,54

Abb. 69 stellt eine Kombination von Abb. 68 und Tabelle 16 dar. Sie zeigt den durchschnittlichen Anteil der Förderung an den gesamten mittleren Investitionskosten. Aus der nachfolgenden Abb. 69 kann entnommen werden, dass Wärmepumpenanlagen bei Einfamilienhäusern grundsätzlich besser gefördert werden als bei Mehrfamilienhäusern. Weiters zeigt sich, dass Grundwasserwärmepumpen bei Einfamilienhäusern mit durchschnittlich 18,3% am stärksten gefördert werden, gefolgt von Erdwärmesonden und Erdkollektoren, welche in etwa im selben Verhältnis mit öffentlicher Unterstützung bedacht werden.

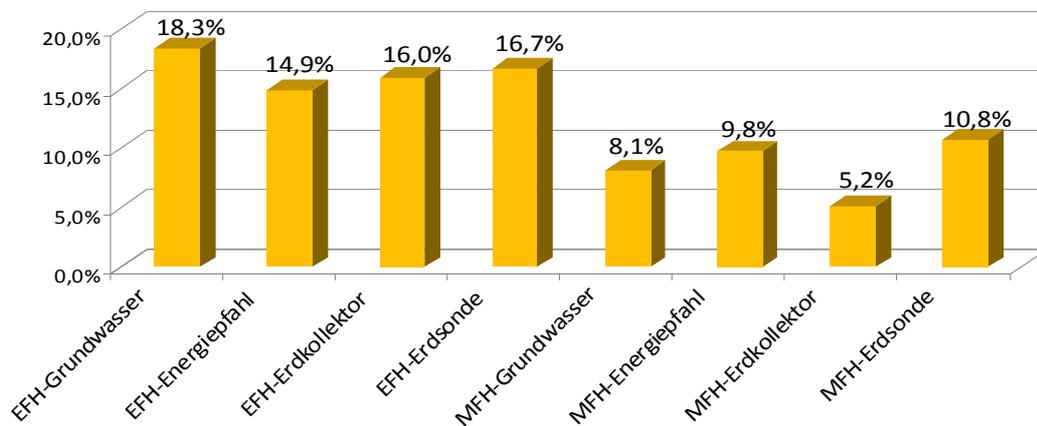


Abb. 69: mittlere Anteile der Förderung an den Gesamtinvestitionskosten [Datenquelle: 36]

5.3 Leistungsbereich

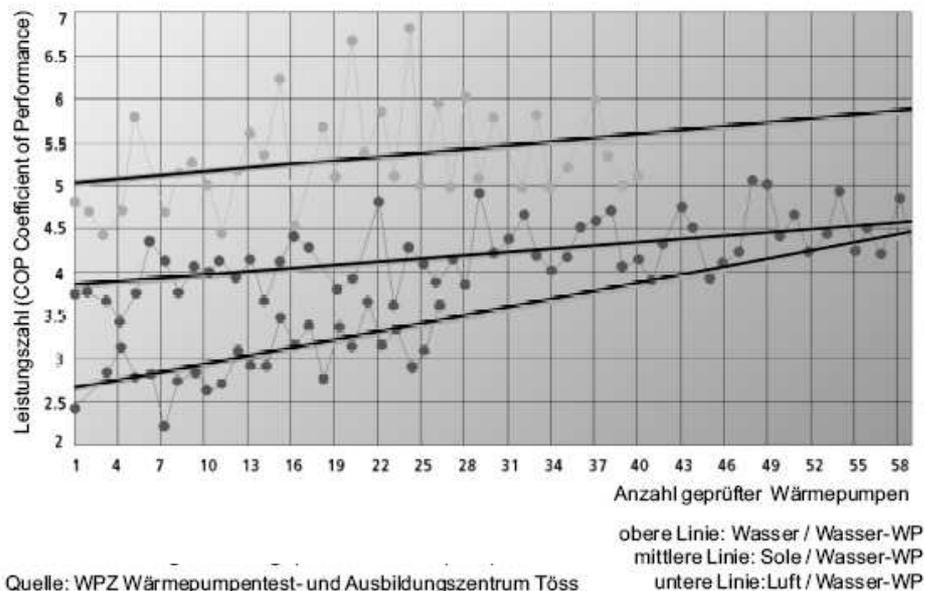


Abb. 70: Vergleich der Leistungszahlen verschiedener Wärmepumpentypen [53]

Die Abb. 70 zeigt die Leistungszahlen von Wasser/Wasser-, Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen. Anzunehmen ist, dass die Darstellung chronologisch ist und den Entwicklungstrend der Wärmepumpen wiedergibt. Vergleicht man die Leistungszahlen der aktuell von den Marktführern erhältlichen Wärmepumpen, so ergibt sich folgendes Bild:

Bei den Direktverdampfungsanlagen ergibt sich im Mittel eine Leistungszahl von 5,6 (siehe dazu Abb. 71). Diese ist umgekehrt proportional zur Anlagengröße. Je größer die erzielbare Heizleistung, desto geringer die Leistungszahl, wobei sich dieser Trend lediglich im Nachkommabereich abspielt. Als Vorlauftemperatur werden lediglich 35°C angegeben. Höhere Temperaturen sind also nicht möglich.

An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass es sich bei der Leistungszahl lediglich um einen Laborwert handelt, der unter optimalen, genau definierten Bedingungen ermittelt wird und daher bestenfalls nur kurzzeitig die Realität widerspiegelt. Bei der Jahresarbeitszahl fließt hingegen auch stark das tatsächliche Nutzerverhalten in den Wert ein. Auch ungünstige Konstellationen im realen Betrieb, wie zum Beispiel große Temperaturspreizungen zwischen Primär- und Sekundärkreislauf, sind berücksichtigt, weshalb die Jahresarbeitszahl einen geringeren, aber auch realistischeren Wert ergibt.

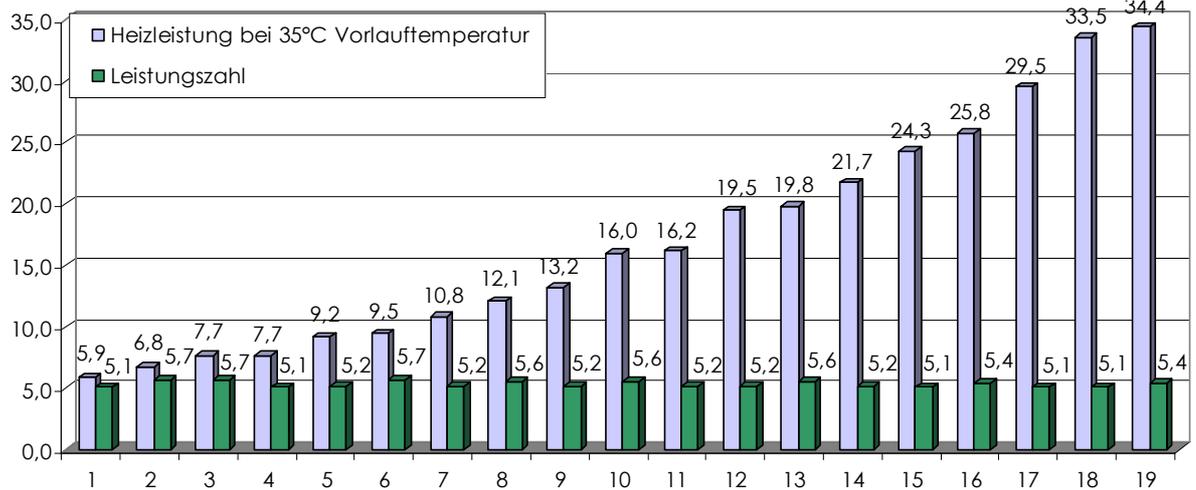


Abb. 71: Vergleich Heizleistung zu Leistungszahl bei Direktverdampfungswärmepumpen

Ähnliches lässt sich über die Sole-Anlagen sagen, wobei die mittlere Leistungszahl bei 4,73 bei 35°C Vorlauftemperatur und bei 3,01 bei 50°C Vorlauftemperatur beträgt. (siehe Abb. 72 und Abb. 73) Bei einer Steigerung der Vorlauftemperatur von 60% verringert sich die Leistungszahl also um 64%.

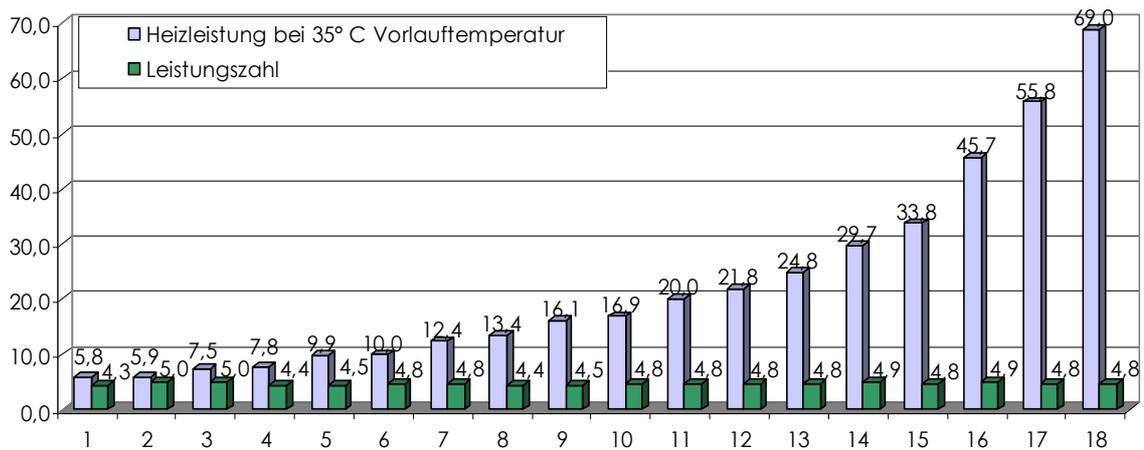


Abb. 72: Vergleich Heizleistung zu Leistungszahl bei Solewärmepumpen und 35°C Vorlauftemp.

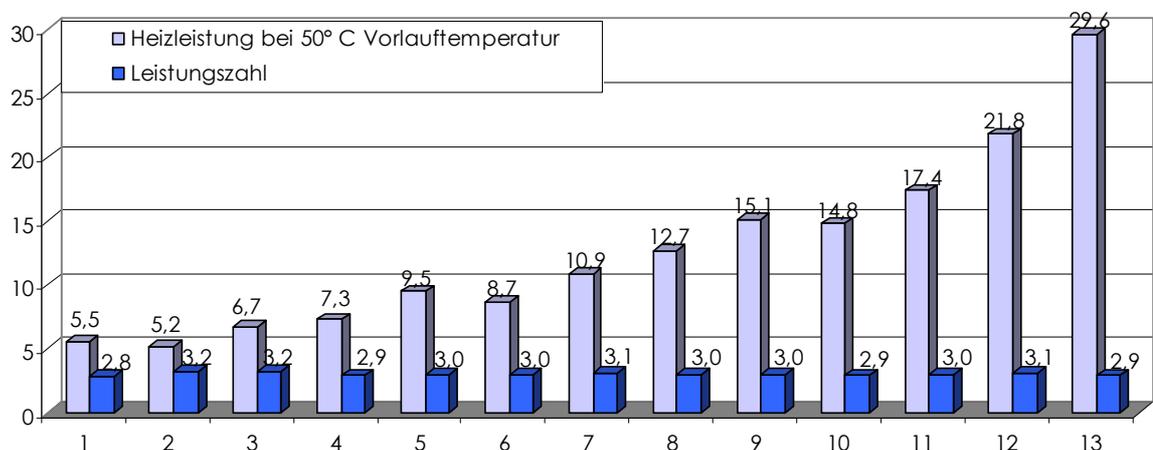


Abb. 73: Vergleich Heizleistung zu Leistungszahl bei Solewärmepumpen und 50°C Vorlauftemp.

Die besten Leistungszahlen werden von Grundwasserwärmepumpen (Energiebrunnen) erreicht. Bei diesen Anlagen werden Leistungszahlen von im Mittel 6,05 für 35°C Vorlauftemperatur und 3,89 bei 50°C Vorlauftemperatur angegeben. (siehe Abb. 74) Bei einer Steigerung der Vorlauftemperatur um 60% verringert sich auch hier die Leistungszahl um 64%.

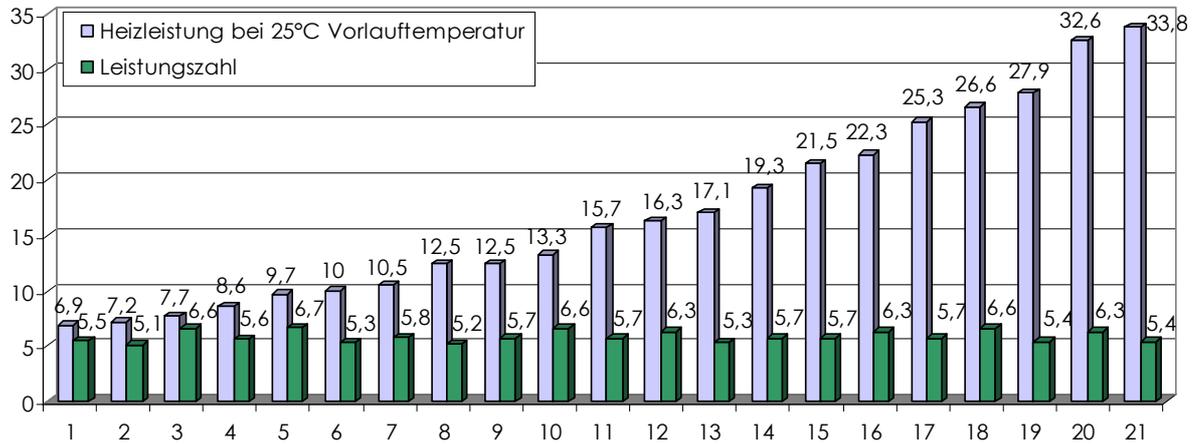


Abb. 74: Vergleich Heizleistung zu Leistungszahl bei Grundwasserwärmepumpen und 35°C Vorlauftemperatur

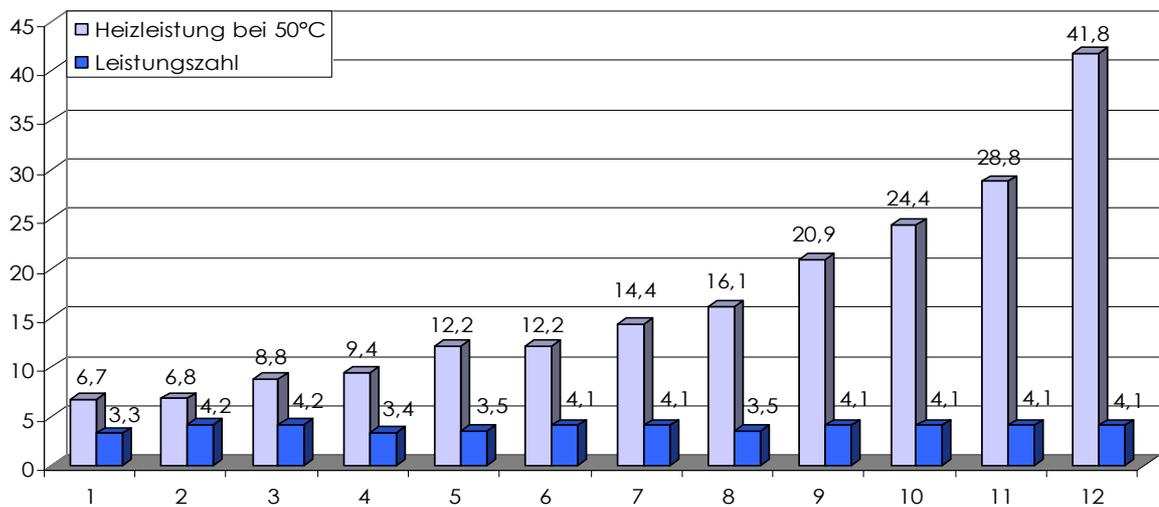


Abb. 75: Vergleich Heizleistung zu Leistungszahl bei Grundwasserwärmepumpen und 50°C Vorlauftemperatur

5.4 Energieverbrauch

Eine gute Methode, um den Energieverbrauch verschiedener Heizsysteme miteinander zu vergleichen ist die Darstellung in Energieflussbildern. Im Folgenden wird eine Ölzentralheizung mit einer monovalenten Elektrowärmepumpe verglichen. Es werden dabei der Energiebedarf sowie die Energieverluste der gesamten Brennstoffkette – von der Primärenergiegewinnung bis zur Nutzenergieabgabe – berücksichtigt. Auf die Angabe von konkreten Zahlenwerten wird verzichtet, da diese immer nur für einen bestimmten Anwendungsfall ihre Gültigkeit haben und es in der vorliegenden Arbeit allein um die Größenordnung geht, die sich an praktischen Erfahrungen orientiert und sich auf den Energieverbrauch eines Jahres bezieht. [30]

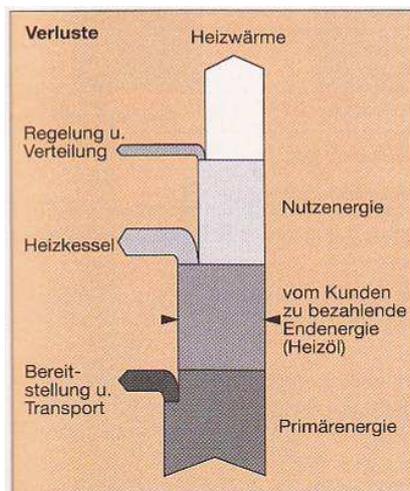


Abb. 76: Energiefluss einer Ölzentralheizung [30]

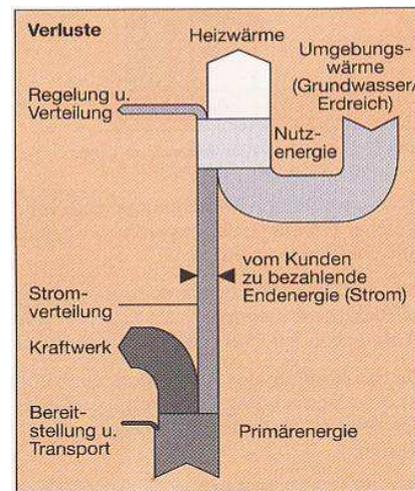


Abb. 77: Energiefluss einer Elektrowärmepumpe (monovalent, Grundwasser, Fußbodenheizung) [30]

Deutlich abzulesen ist der geringere Anteil der zu bezahlenden Endenergie der Elektrowärmepumpe im Vergleich zur Ölzentralheizung bei gleich viel produzierter Heizwärme. Außerdem entfallen bei der Wärmepumpe die Verluste am Heizkessel. Zudem wird der wesentliche Anteil der Nutzenergie kostenlos aus der Umwelt entnommen. Dieser Anteil ist je nach System zwischen $\frac{2}{3}$ und $\frac{3}{4}$, was bedeutet, dass zum Beispiel $\frac{1}{4}$ der benötigten Heizenergie zu bezahlen ist, während die restlichen $\frac{3}{4}$ gratis aus der Umgebung entnommen werden können. Bei der Ölzentralheizung muss die gesamte benötigte Energie in Form von Heizöl gekauft werden. Für einen korrekten Vergleich müssen die vom Kunden zu bezahlenden Energiemengen mit den jeweiligen Einheitspreisen multipliziert werden. Die so berechneten Energiekosten unterliegen ihrerseits wiederum unterschiedlich starken Schwankungen.

5.5 Emissionsausstoß

Bevor auf Emissionen, hier im Besonderen die CO_2 - Emissionen, beim Betrieb einer Wärmepumpenanlage eingegangen wird, sollten die Auswirkungen des ausgestoßenen Kohlendioxids beschrieben werden. Kohlendioxid (CO_2) ist wesentlich am Treibhauseffekt beteiligt. Grundsätzlich muss zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen Treibhauseffekt unterschieden werden.

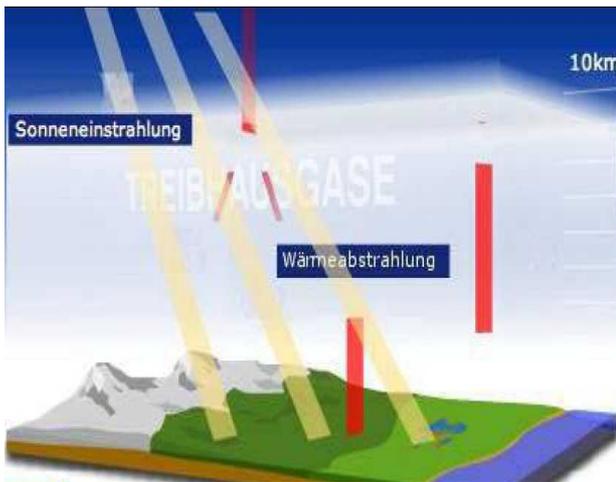


Abb. 78: Treibhauseffekt [25]

Ohne den **natürlichen Treibhauseffekt** würde die Temperatur auf der Erde etwa 30°C weniger betragen und ein frostiges Klima würde vorherrschen. Die Treibhausgase wirken in der Atmosphäre wie eine Glasscheibe- kurzwellige Sonnenstrahlen gehen nahezu ungehindert durch, langwellige, von der Erdoberfläche zurückreflektierte Wärmestrahlen werden durch die Gasmoleküle erneut reflektiert und heizen so die Atmosphäre auf.

Zu den natürlichen Treibhausgasen zählen:

- *Kohlendioxid CO_2* : wird bei Vulkanausbrüchen sowie beim Stoffwechsel von Lebewesen freigesetzt und kann in Biomasse gebunden werden. Der größte CO_2 - Speicher sind jedoch die Ozeane.
- *Distickstoffoxid N_2O (Lachgas)*: entsteht bei mikrobiellen Bodenprozessen in der tropischen und gemäßigten Zone sowie in den Ozeanen und wird durch Photolyse oder durch Reaktion mit atomarem Sauerstoff abgebaut.
- *Ozon O_3* : ist eine besondere Form von Sauerstoff und entsteht in der oberen Atmosphäre durch Spaltung von Sauerstoff durch UV- Licht. In der unteren Atmosphäre entsteht es aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen. Ozon absorbiert Wärmestrahlung, die an der Erdoberfläche reflektiert wird. Die Wirkung ist umso größer, je näher das Gas dem Boden ist, daher trägt vor allem bodennahes Ozon zum Treibhauseffekt bei.
- *Methan CH_4* : entsteht durch mikrobielle Prozesse beim Abbau von organischem Material ohne Sauerstoffzufuhr, in der Natur ist das bei Sümpfe, Seen und Ozeanen der Fall, aber auch Wiederkäuer stoßen bei der Verdauung Methan aus.
- *Wasserdampf H_2O* : Je mehr sich die Erde erwärmt, desto mehr Wasser kann verdampft werden. Wasser ist allerdings auch der Hauptverursacher des natürlichen Treibhauseffekts. [75]

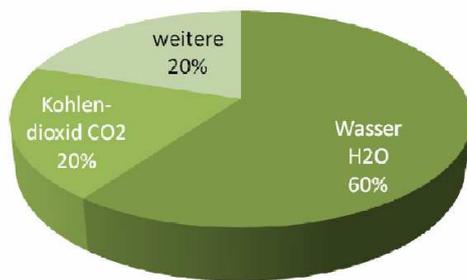


Abb. 79: Anteile am natürlichen Treibhauseffekt [Datenquelle: 75]

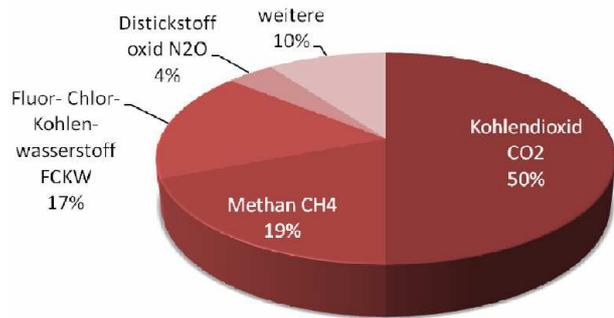


Abb. 80: Anteile am anthropogenen Treibhauseffekt [Datenquelle: 75]

Seit der Industrialisierung vor ca. 150 Jahren kann auch vom **anthropogenen Treibhauseffekt** gesprochen werden. Durch die veränderten Lebensbedingungen erhöht der Mensch den Ausstoß von Treibhausgasen und verstärkt so den natürlichen Treibhauseffekt.

Anthropogene, also vom Menschen verursachte Treibhausgase sind:

- *Kohlendioxid CO₂*: durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen für Energie- und Heizzwecke, die Abholzung von Wäldern sowie durch den immer steigenden Kraftverkehr gelangt tonnenweise CO₂ in die Atmosphäre.
- *Methan CH₄* : beim Überfluten von Feldern für die Reisproduktion, bei der intensiven Rinderhaltung sowie bei Deponien mit organischen Abfällen wird Methan produziert und in die Atmosphäre gebracht.
- *Fluor- Chlor- Kohlenwasserstoffe FCKW*: Jahrzehntlang wurden diese stabilen Gase als Kältemittel, als Treibmittel sowie als Reinigungs-, Lösch- und Lösemittel eingesetzt. Sie tragen zur Zerstörung der Ozonschicht bei und können nur schwer in der Atmosphäre abgebaut werden.

Die Industriestaaten verpflichteten sich im Jahr 1997 mit der Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls zur Reduzierung des Ausstoßes von sechs der Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O, FCKW- Ersatzstoffe HFC, PFC und SF₆). Mit dem Beitritt Russlands im November 2004 wurde das Protokoll verbindlich. Obwohl sich 169 Staaten, die etwa zwei Drittel des Kohlendioxidausstoßes verursachen, bereits zum Kyoto-Protokoll bekannt haben, ist die Erreichung des Zieles, nämlich einer Senkung des CO₂- Ausstoßes bis 2012 um 5,2% unter die Menge von 1990 nicht nur äußerst fraglich sondern unmöglich. Anstatt den Ausstoß zu senken, stieg dieser in der EU seit 1990 um 27% an.

Etwa 84% des österreichischen Strombedarfs wird durch eigene Produktion gedeckt. Knapp 60% des Stroms werden durch erneuerbare Energieträger, 24% aus fossilen Energieträgern erzeugt. Die restlichen 16% des Gesamtbedarfs werden durch Stromimporte aus dem europäischen Ausland gedeckt. Rechnet man

diesen mit dem UCTE- Mix (Union für die Koordinierung des Transportes elektrischer Energie) in die Bilanz ein, ergibt sich folgender näherungsweise Strom- Mix im österreichischen Energienetz, der in Abb. 81 dargestellt ist. Für den Anteil an importiertem Strom zeigt sich eine ähnliche Verteilung der Anteile der Energiequellen mit dem Unterschied, dass – anders als bei dem in Österreich produzierten Strom- etwas mehr als die Hälfte des importierten Stroms in kalorischen Kraftwerken aus fossilen Brennstoffen gewonnen wurde. Der zweite wesentliche Anteil ist jener der nuklear erzeugten Energie. Lediglich knapp 12 % des importierten Stroms kommen aus Wasserkraftwerken, nicht einmal 4 % des importierten Stroms wird aus erneuerbaren Energien gewonnen. Umgelegt auf die insgesamt 16 % importierten Strom ergibt sich laut Bericht über den österreichischen Strommix von 2007 der tatsächliche Strommix, der in Abb. 81 dargestellt ist. Der nachfolgenden Tabelle 17 kann die detaillierte Aufgliederung des österreichischen Strommix von 2007 entnommen werden. [75]

Tabelle 17: detaillierte Aufgliederung des österreichischen Strommix 2007, [Datenquelle: 9]

Produktion Österreich	bekannte erneuerbare Energieträger	58,33 %
	<i>Wasserkraft</i>	53,21 %
	<i>Biomasse</i>	2,18 %
	<i>Windenergie</i>	2,94 %
	<i>sonst. Ökoenergie</i>	1,1 %
	bekannte fossile Energieträger	23,99 %
	<i>Erdgas</i>	14,95 %
	<i>Erdöl und dessen Produkte</i>	1,17 %
	<i>Kohle</i>	7,87 %
	bekannte sonstige Primärenergieträger	0,42 %
Import EU	UCTE- Mix	16,16 %
	<i>Der UCTE- Mix setzt sich zusammen aus:</i>	
	<i>Wasserkraft</i>	11,74 %
	<i>fossile Brennstoffe</i>	52,78 %
	<i>nukleare Energie</i>	30,82 %
	<i>sonstige erneuerbare Energieträger</i>	3,56 %
	<i>Sonstige</i>	0,37 %
	<i>umgelegt auf die 16,16% am Gesamtmix ergibt das:</i>	
	<i>Wasserkraft</i>	1,91 %
	<i>fossile Brennstoffe</i>	8,59 %
<i>nukleare Energie</i>	5,02 %	
<i>sonstige erneuerbare Energieträger</i>	0,58 %	
<i>Sonstige</i>	0,06 %	

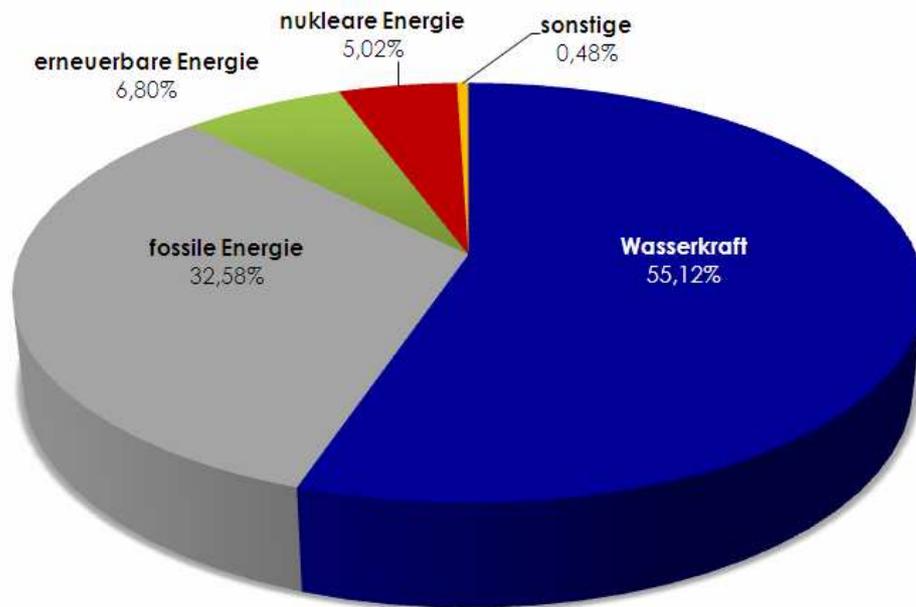


Abb. 81: Strommix in Österreich 2006, [Datenquelle: 9]

Deutlich zu erkennen ist der überwiegende Anteil von mehr als der Hälfte der Stromgewinnung aus Wasserkraft. Ein knappes Drittel des österreichischen Stroms wird aus fossilen Energieträgern erzeugt. Die Anteile der sonstigen erneuerbaren Energieträgern sowie der nuklearen Energie sind in etwa gleich groß.

Aus dem Bericht über die Stromkennzeichnung 2007 [9] geht hervor, dass beim österreichischen Stromverbrauch im Durchschnitt pro Kilowattstunde

**217,41 g CO₂ und
0,000134 g radioaktiver Abfall**

anfallen.

Um einen Vergleich des CO₂-Ausstoßes verschiedener Heizsysteme anzustellen und später auch einen wirtschaftlichen Vergleich dieser Systeme durchzuführen, wird ein Musterhaus beschrieben:

Standort:	Oberösterreich, durchschnittliche Klimabedingungen
Objekt:	Niedrigenergiehaus-Neubau, Energiekennzahl 50 kWh/(m ² *a)
Bruttogeschoßfläche:	200 m ²
Wohnnutzfläche:	170 m ²
Personenanzahl:	4
Wärmeabgabe:	Fußboden- /Wandheizung
Jahres- Nutzwärmebedarf:	13.400 kWh/a

Als durchschnittlichen CO₂-Ausstoß können folgende Werte für die jeweiligen Heizsysteme angeführt werden [30]:

Tabelle 18: durchschnittlicher CO₂- Ausstoß verschiedener Heizsysteme [30, 9]

Ölheizung:	ca. 350 g CO ₂ / kWh
Gasheizung:	ca. 250 g CO ₂ / kWh
Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl $\beta = 4,0$	$\frac{1}{4}$ kWh Strom + $\frac{3}{4}$ kWh gratis Umgebungswärme = 1 kWh Wärme $217,41 / 4 = 54 \text{ g CO}_2 / \text{kWh}$
Biomasseheizung	Alles CO ₂ , das beim Verbrennen freigesetzt wird, wurde während der Lebenszeit der Pflanze bereits aus der Atmosphäre gebunden, daher ist diese Verbrennung CO ₂ - neutral und wird nicht weiter berücksichtigt.

Anmerkung: Die mit 4,0 hoch erscheinende Jahresarbeitszahl kann als realistisch angesehen werden, wie einige Beispiele belegen (siehe Kapitel Ausgeführte Projekte)

Bei einem Bedarf von 13.400 kWh/a ergibt sich somit folgender CO₂-Ausstoß:

- Ölheizung: $13.400 \text{ kWh} * 0,350 \text{ kg/ kWh} = 4.690 \text{ kg CO}_2 / \text{a}$
- Gasheizung: $13.400 \text{ kWh} * 0,250 \text{ kg/ kWh} = 3.350 \text{ kg CO}_2 / \text{a}$
- Wärmepumpe: $13.400 \text{ kWh} * 0,217 \text{ kg/ kWh} : 4 = 728 \text{ kg CO}_2 / \text{a}$

Abb. 82 veranschaulicht sehr deutlich, dass die Wärmepumpenheizung ein enormes Einsparungspotential an CO₂ aufweist. So verhält sich der jährliche CO₂-Ausstoß einer Wärmepumpenheizung mit Wirkungsgrad 4,0 im Verhältnis zu Gas- und Ölheizung wie 1 : 4,6 : 6,4.

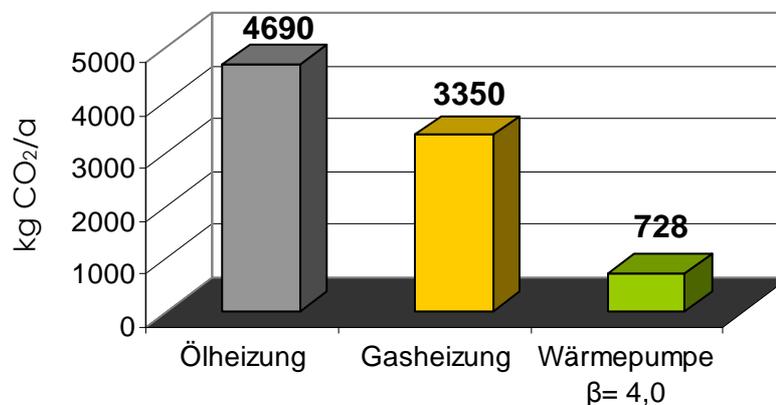


Abb. 82: Ergebnis der Vergleiches des CO₂-Ausstoßes der verschiedenen Heizsysteme

5.6 Wirtschaftlichkeit im Vergleich

Anschließend an den in den vorherigen Kapiteln behandelten energetischen Aspekt soll in diesem Kapitel die Wirtschaftlichkeit einer Erdwärmeanlage untersucht werden. Grundlage dessen ist eine Berechnung des Vereins Fair Energy Partner [46].

Als Basisdaten für die Berechnung kann Folgendes angegeben werden:

Standort:	Oberösterreich, durchschnittliche Klimabedingungen
Objekt:	Niedrigenergiehaus-Neubau, Energiekennzahl 50 kWh/(m ² *a)
Bruttogeschoßfläche:	200 m ²
Wohnnutzfläche:	170 m ²
Personenanzahl:	4
Wärmeabgabe:	Fußboden- /Wandheizung
Jahres- Nutzwärmebedarf:	13.400 kWh/a

Verglichen werden folgende Heizungsanlagen:

1. **Heizöl - Zentralheizung:** Brennwertheizkessel für Heizöl Extra Leicht inkl. 200l Registerspeicher für die ganzjährige Warmwasserbereitung
2. **Erdgas - Zentralheizung:** Erdgasheizkessel mit Brennwertnutzung inkl. 200l Registerspeicher für die ganzjährige Warmwasserbereitung
3. **Zentralheizung für Holzpellets** inkl. 200l Registerspeicher für die ganzjährige Warmwasserbereitung
4. **Biomasse Nahwärme:** Biomasse - Nahwärme versorgte Haus - Umformerstation, Warmwasserbereitung im Sommer mit elektrischem Strom
5. **Erdwärme:** Elektrische Wärmepumpe mit Erd- Flachkollektoren inkl. 300l Registerspeicher zur ganzjährigen Warmwasserbereitung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt nach der Annuitätenmethode, bei der als Leitgedanke die Umlegung der Investitionsauszahlung in der Weise verwendet wird, dass sich unter Berücksichtigung der Verzinsung auf das Jahr bezogene Auszahlungen (Annuitäten) ergeben. Die kleinsten Gesamtkosten kennzeichnen die wirtschaftlichste Systemalternative. [46]

Der Annuitätsfaktor errechnet sich wie folgt:

$$a = i * (1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$$

a ... Annuitätsfaktor

i ... Kalkulationszinssatz

n ... Nutzungsdauer

Tabelle 19: technische Basisdaten für die Berechnung [Datenquelle: 46]

Bruttogeschoßfläche	200	m ²
Wohnnutzfläche	170	m ²
Energiekennzahl	50	kWh/(m ² *a)
Nutzwärmebedarf - Raumwärme	10.000	kWh/a
Personenanzahl	4	P
Spezifischer Warmwasser - Nutzenergiebedarf in der Heizperiode	500	kWh/(P*a)
Spezifischer Warmwasser - Nutzenergiebedarf außerhalb der Heizperiode	350	kWh/(P*a)
Warmwasser - Nutzenergiebedarf in der Heizperiode	2.000	kWh/(P*a)
Warmwasser - Nutzenergiebedarf außerhalb der Heizperiode	1.400	kWh/(P*a)
Jahres - Nutzwärmebedarf des Objekts	13.400	kWh/a
Wärmeverlust - Faktor Warmwasserbereitung inkl. Speicherverlust	1,13	-
Warmwasser Energiebedarf inkl. Verteilerverluste in der Heizperiode	2.260	kWh/a
Warmwasser Energiebedarf inkl. Verteilerverluste außerhalb der Heizperiode	1.582	kWh/a
Verteilerverluste zw. Wärmeerzeuger im Haus und Wärmeabgabe	2,0	%

Tabelle 20: wirtschaftliche Basisdaten für die Berechnung [Datenquelle: 46]

Kalkulationszinssatz	4,10	%
Strompreis für Hilfs - und Nebenanlagen	0,1785	€/kWh
Eigenleistungs - Bewertung (fiktiver Stundenlohn)	10,00	€/h

Anmerkungen:

Die Wärmeabgabe erfolgt über eine kombinierte Fußboden- und Wandheizung.
Die angegebenen Preise verstehen sich als Listenpreise inklusive aller Steuern und Abgaben.

(1) Heizöl - Zentralheizung

Für die Berechnung der Heizöl- Zentralheizung wurden folgende Randbedingungen angenommen:

Tabelle 21: Randbedingungen Öl - Zentralheizung [Datenquelle:46]

Wirkungsgrad der Leitungen zw. Wärmeerzeuger im Haus und Wärmeabgabe	98,0	%
Kessel - Nutzungsgrad für Heizungsbetrieb und WW-Bereitung Winter (bez. auf Heizwert –Hu)	96,0	% (Hu)
Kessel - Nutzungsgrad für Heizungsbetrieb und WW-Bereitung Sommer (bez. auf Heizwert –Hu)	77,0	% (Hu)
Nutzwärmebedarf Raumwärme + Warmwasser	13.400	kWh/a
Brennstoffbedarf Heizung + ganzjährige WW-Bereitung	1.504,33	l/a
Heizwert (lt. OMV)	10	kWh/l
Energieträgerpreis (inkl. MwSt)	0,7584	€/l
Bedarf elektr. Strom (in % d. prod. Wärme, für Zubehör und Nebenaggregate)	1,5	%
Eigenleistung: Heizöl- Organisation, Befüll- Heizungs- und Verbrauchskontrolle	1,0	h/a

Bei der angenommenen Heizung handelt es sich um ein Öl- Brennwert- Gerät, welches zur Heizung des Gebäudes sowie zur ganzjährigen Warmwasserbereitung herangezogen wird. Energieträger ist Heizöl Extra Leicht.

Die Verbrauchskosten berücksichtigen die verbrauchte Menge an Heizöl Extraleicht, sowie die Abfüllpauschale, die bei der Anlieferung in Rechnung gestellt wird. In den Betriebsnebenkosten gehen die Kosten für Rauchfangkehrer und Kesselreinigung, Wartungsdienst, Lagerzinsen für Heizöl, die Stromkosten für Nebenanlagen sowie Eigenleistungen wie Rechnungskontrolle oder Bestellung, bewertet mit 10 €/h ein.

In den Investitions- und Instandsetzungskosten finden sich schlussendlich sämtliche Posten für die Anschaffung, Montage und Installation der Heiz- und Warmwasserbereitungsanlage inklusive Fußboden- und Wandheizung, Rauchfang sowie Heizöltanks und die dafür notwendige Stellfläche.

Tabelle 22: Gesamtkostenrechnung Öl-Zentralheizung [Datenquelle: 46]

	Verbrauchs-	Betriebs-	Investitions-	Nutz-	Annui-	Kapital-	Instand-	Instand-	Investitions-
	kosten	neben-	kosten	ungs-	täten-	kosten	setz-	setzungs-	und Instand-
	€/a	kosten	€/a	dauer	faktor	€/a	kosten	kosten	kosten
	€/a	€/a	€/a	a		€/a	€/a	€/a	€/a
Heizöl Extra- Leicht	€ 1.137,60								
Abfüllpauschale	€ 26,00								
Verbrauchs-kosten	€ 1.163,60								
Kesselreinigung		€ 30,90							
Wartungsdienst		€ 154,50							
Rauchfangkehrer (3x Fangreinigung, 1x Abgasmessung)		€ 71,30							
Stromkosten für Nebenanlagen		€ 40,00							
Lagerzinsen Heizöl EL (für 1/2 Jahr)		€ 23,39							
Eigenleistung (Kontrolle, Angebote, Bestellung)		€ 10,00							
Betriebsnebenkosten		€ 330,09							
8-25 kW Öl- Brennwärtekessel inkl. Brenner, Steuerung, Regelung, Zubehör			€ 5.700,00	18	8,22%	€ 468,75	1,5	€ 85,50	€ 554,25
Sicherheitseinrichtungen, Zusatz- und Kleinmaterial			€ 650,00	15	9,31%	€ 60,52	2	€ 13,00	€ 73,52
Kunststoffbatterietanks (2000l, Zubehör, Olzuleitung, Montage)			€ 1.100,00	20	7,69%	€ 84,56	1	€ 11,00	€ 95,56
Montage, Installation (elektr.+hydr.), Inbetriebnahme d. Anlage			€ 1.350,00	20	7,69%	€ 103,78	0	€ -	€ 103,78
Wärmeverteilung, Wärmeabgabe inkl. Montage u. Installation			€ 6.500,00	30	6,14%	€ 399,05	1	€ 65,00	€ 464,05
feuchtigkeitsunempfindlicher Isolierkamin (1Zug, D=12cm,L=11m) inkl. Aufstel			€ 1.800,00	50	5,06%	€ 91,08	1	€ 18,00	€ 109,08
200l Registerspeicher f. Warmwasser inkl. Isolation			€ 1.100,00	15	9,31%	€ 102,43	2	€ 22,00	€ 124,43
Raumbedarf für Heizung und WWB: 2m2 x 320 €/m2			€ 640,00	50	5,06%	€ 32,39	1	€ 6,40	€ 38,79
Raumbedarf Öltanks: 4m2 x 355 €/m2			€ 1.420,00	50	5,06%	€ 71,86	1	€ 14,20	€ 86,06
Summe Investitions- und Instandsetzungskosten:			€ 20.260,00						€ 1.649,52

spezifische Kosten [€/kWh*a)
 € 0,087 € 0,025
 = 1163,6/ = 330,09/
 13.400 13.400

€ 0,087 € 0,025
 = 1163,6/ = 330,09/
 13.400 13.400

Gesamtkosten: 1163,6 + 330,09 + 1649,52 = 3.143,205 €/a bzw. 0,235 €/kWh*a)

Anmerkungen:

- Investitionskosten: Annahme, Listenpreise
- Nutzungsdauer: Annahme
- Annuitätenfaktor: Berechnung mit oben angeführter Formel
- Kapitalkosten = Investitionskosten * Annuitätenfaktor
- Instandsetzungskosten [%] : Annahme
- Instandsetzungskosten [€/a] = Investitionskosten * Instandsetzungskosten [%]
- Investitions- und Instandsetzungskosten = Kapitalkosten + Instandsetzungskosten [€/a]

(2) Erdgas - Zentralheizung

Für die Berechnung der Erdgas - Zentralheizung wurden folgende Randbedingungen angenommen:

Tabelle 23: Randbedingungen Erdgas - Zentralheizung [Datenquelle: 46]

Wirkungsgrad der Leitungen zw. Wärmeerzeuger im Haus und Wärmeabgabe	98,0	%
Kessel - Nutzungsgrad für Heizungsbetrieb und WW-Bereitung Winter (bez. auf Brennwert-Ho bzw. Heizwert –Hu)	94,0	% (Hu)
Kessel - Nutzungsgrad für Heizungsbetrieb und WW-Bereitung Sommer (bez. Auf Brennwert-Ho bzw. Heizwert –Hu)	75,0	% (Hu)
Nutzwärmebedarf Raumwärme + Warmwasser	13.400	kWh/a
Energiebedarf (=Nutzwärme + Wärmeverluste Anlage)	15.413,61	kWh/a
	1.387,36	Nm ³
Energieträgerpreis (inkl. MwSt)	0,060801	€/kWh
Bedarf elektr. Strom (in % d. prod. Wärme, für Zubehör und Nebenaggregate)	1,0	%
Eigenleistung: Heizungs-, Verbrauchs-, Abrechnungskontrolle	0,5	h/a

Auch bei der angenommenen Gas- Zentralheizung handelt es sich um ein modernes Brennwert-Gerät, welches zur Heizung des Gebäudes sowie zur ganzjährigen Warmwasserbereitung herangezogen wird. Energieträger ist in diesem Fall Erdgas.

In den Verbrauchskosten wird die verbrauchte Menge Erdgas sowie ein monatliches Messentgelt berücksichtigt. Die Betriebsnebenkosten umfassen die Kosten für Rauchfangkehrer und Wartungsdienst, die Stromkosten für Nebenanlagen sowie Eigenleistungen wie Rechnungskontrolle oder Heizungskontrolle, bewertet mit 10 €/h. In den Investitions- und Instandsetzungskosten finden sich schließlich sämtliche Kosten für die Anschaffung, Montage und fachmännische Installation der Heiz- und Warmwasserbereitungsanlage inklusive Fußboden- und Wandheizung, Rauchfang sowie den dafür notwendigen Raumbedarf.

Die Gesamtkostenrechnung wird tabellarisch dargestellt und ergibt folgendes:

Tabelle 24: Gesamtkostenrechnung Erdgas - Zentralheizung [Datenquelle: 46]

	Verbrauchs- kosten €/a	Betriebs- neben- kosten €/a	Investitions- kosten €/a	Nutz- ungs- dauer a	Annui- täten- faktor	Kapital- kosten €/a	Instand- setz- ungs- kosten %	Instand- setzungs- kosten €/a	Investitions- und Instand- setzungs- kosten €/a
Gesamtkostenermittlung für Erdgas- Zentralheizung									
Erdgas	€ 937,16								
Messentgelt 1,37€/Mo x 12 Mo	€ 16,44								
Verbrauchs-kosten	€ 953,60								
Kesselreinigung (nicht notwendig)	€ -								
Wartungsdienst		€ 133,90							
Rauchfangkehrer (1x Fang, 1x Objekt, 1x Abgasmessung)		€ 41,20							
Stromkosten für Nebenanlagen		€ 28,00							
Eigenleistung (Rechnungs- und Heizungskontrolle)		€ 5,00							
Betriebsnebenkosten		€ 208,10							
10-18 kW BW- Wandheizkessel inkl. Brenner, Steuerung, Regelung, Zubehör			€ 2.400,00	18	8,22%	€ 197,37	1,50%	€ 36,00	€ 233,37
Gas- Anschlusspauschale mit Eigenleistungsanteil			€ 1.236,00	50	5,06%	€ 62,54	0,00%	€ -	€ 62,54
Sicherheitseinrichtungen, Zusatz- und Kleinmaterial			€ 650,00	15	9,31%	€ 60,52	2,00%	€ 13,00	€ 73,52
Montage, Installation (elektr.+hydr.), Inbetriebnahme d. Anlage			€ 900,00	18	8,22%	€ 74,01	0,00%	€ -	€ 74,01
Wärmeverteilung, Wärmeabgabe inkl. Montage u. Installation			€ 6.500,00	30	6,14%	€ 399,05	1,00%	€ 65,00	€ 464,05
feuchtigkeitsunempfindlicher Isolierkamin (1Zug, D=12cm,L=11m) inkl. Aufstel			€ 1.800,00	50	5,06%	€ 91,08	1,00%	€ 18,00	€ 109,08
200l Registerspeicher f. Warmwasser inkl. Isolation			€ 1.100,00	15	9,31%	€ 102,43	2,00%	€ 22,00	€ 124,43
Raumbedarf für Heizung und WWB: 2m2 x 320 €/m2			€ 640,00	50	5,06%	€ 32,39	1,00%	€ 6,40	€ 38,79
Summe Investitions- und Instandsetzungskosten:			€ 15.226,00						€ 1.179,79
spezifische Kosten [€/(kWh*a)]	€ 0,070 = 953,6/ 13.400	€ 0,016 = 208,1/ 13.400							€ 0,088 = 1179,79/ 13.400
Gesamtkosten:	953,6 +	208,1 +	1179,79 =			2.341,489 C/a	bzw.	0,175 C/(kWh*a)	

Anmerkungen:
 Investitionskosten: Annahme, Listenpreise
 Nutzungsdauer: Annahme
 Annuitätenfaktor: Berechnung mit oben angeführter Formel
 Kapitalkosten = Investitionskosten * Annuitätenfaktor
 Instandsetzungskosten [%] : Annahme
 Instandsetzungskosten [€/a] = Investitionskosten * Instandsetzungskosten [%]
 Investitions- und Instandsetzungskosten = Kapitalkosten + Instandsetzungskosten [C/a]

(3) Zentralheizung für Holzpellets

Für die Berechnung der Holzpellets-Zentralheizung wurden folgende Randbedingungen angenommen:

Tabelle 25: Randbedingungen Holzpellets- Zentralheizung [Datenquelle: 46]

Wirkungsgrad der Leitungen zw. Wärmeerzeuger im Haus und Wärmeabgabe	98,0	%
Kessel - Nutzungsgrad für Heizungsbetrieb und WW-Bereitung Winter (bez. auf Heizwert –Hu)	85,0	% (Hu)
Kessel - Nutzungsgrad für Heizungsbetrieb und WW-Bereitung Sommer (bez. auf Heizwert –Hu)	64,0	% (Hu)
Nutzwärmebedarf Raumwärme + Warmwasser	13.400	kWh/a
Brennstoffbedarf Heizung + ganzjährige WW-Bereitung	3.571,92	kg/a
Heizwert	4,8	kWh/kg
Energieträgerpreis (inkl. MwSt)	0,20	€/kg
Bedarf elektr. Strom (in % d. prod. Wärme, für Zubehör und Nebenaggregate)	3,0	%
Eigenleistung: Pellets - Organisation, Befüll-, Heizungs- und Verbrauchskontrolle, kleine Wartungen	5,0	h/a

Bei der angenommenen Pellets-Zentralheizung handelt es sich um einen ganzjährigen Raumwärme- und Warmwasserproduzenten. Der Energieträger ist Holz in Pelletsform.

Die Verbrauchskosten umfassen den jährlichen Holzpelletsverbrauch sowie die Abfüllpauschale, die bei der Anlieferung anfällt. In den Betriebsnebenkosten finden sich neben den Kosten für Rauchfangkehrer, Kesselreinigung und Wartungsdienst auch die Stromkosten für Nebenanlagen sowie die Lagerzinsen für die Holzpellets für ein halbes Jahr. Eigenleistungen wie Rechnungskontrolle, Einholung von Angeboten sowie Bestellung wurden ebenfalls berücksichtigt und mit 10 €/h bewertet. Die Investitions- und Instandsetzungskosten enthalten die Kosten für die Anschaffung, Montage und fachmännische Installation der Heizungs-, Lager- und Fördervorrichtungen sowie die Warmwasserbereitungsanlage, die Fußboden- und Wandheizung inklusive Rauchfang sowie den dafür notwendigen Raumbedarf. Weiters berücksichtigt wurde eine durchschnittliche Gemeindeförderung sowie die Landesförderung des Landes Oberösterreich.

Tabelle 26: Gesamtkostenrechnung Holzpellets- Zentralheizung [Datenquelle: 46]

	Verbrauchs- kosten €/a	Betriebs- neben- kosten €/a	Investitions- kosten €/a	Nutz- ungs- dauer a	Annui- täten- faktor	Kapital- kosten €/a	Instand- setz- ungs- kosten %	Instand- setzungs- kosten €/a	Investitions- und Instand- setzungs- kosten €/a
Holz Pellets	€ 714,38								
Abfüllpauschale	€ 25,00								
Verbrauchs-kosten	€ 739,38								
Kesselreinigung		€ 41,20							
Wartungsdienst		€ 164,80							
Rauchfangkehrer (4x Fangreinigung, 1x Abgasmessung)		€ 80,00							
Stromkosten für Nebenanlagen		€ 92,00							
Lagerzinsen Holz Pellets (für 1/2 Jahr)		€ 15,00							
Eigenleistung (Kontrolle, Angebote, Bestellung)		€ 50,00							
Betriebsnebenkosten		€ 443,00							
10 kW Pellets- Zentralheizkessel inkl. Steuerung, Regelung, Zubehör			€ 7.500,00	20	7,69%	€ 576,57	2	€ 150,00	€ 726,57
Pelletsfördevorrichtung (Lagerraum > Heizkessel)			€ 1.300,00	10	12,64%	€ 164,29	3	€ 39,00	€ 203,29
Sicherheitseinrichtungen, Zusatz- und Kleinmaterial			€ 650,00	15	9,31%	€ 60,52	2	€ 13,00	€ 73,52
Montage, Installation (elektr.+hydr.), Inbetriebnahme d. Anlage			€ 1.350,00	20	7,69%	€ 103,78	0	€ -	€ 103,78
Wärmeverteilung, Wärmeabgabe inkl. Montage u. Installation			€ 6.500,00	30	6,14%	€ 399,05	1	€ 65,00	€ 464,05
feuchtigkeitsunempfindlicher Isolierkamin (1Zug, D=14cm,L=11m) inkl Aufste			€ 1.900,00	50	5,06%	€ 96,14	1	€ 19,00	€ 115,14
200l Registerspeicher f. Warmwasser inkl. Isolation			€ 1.100,00	15	9,31%	€ 102,43	2	€ 22,00	€ 124,43
Raumbedarf für Heizung und WWB: 5m2 x 320 €/m2			€ 1.600,00	50	5,06%	€ 80,96	1	€ 16,00	€ 96,96
Raumbedarf Pelletslagerung: 5m2 x 355 €/m2			€ 1.775,00	50	5,06%	€ 89,82	1	€ 17,75	€ 107,57
Durchschnitt Gemeindeförderung			-€ 300,00	20	7,69%	-€ 23,06	0	€ -	-€ 23,06
Landesförderung 30% Nettoinvestition (max. €2200,-)			-€ 2.200,00	20	7,69%	-€ 169,13	0	€ -	-€ 169,13
Summe Investitions- und Instandsetzungskosten:			€ 23.675,00						€ 1.823,13

spezifische Kosten [€/(kWh*a)]
 € 0,055 € 0,033
 = 739,38/ = 443/
 13.400 13.400

Gesamtkosten: 739,38 + 443 + 1823,13 = 3.005,506 €/a bzw. 0,224 €/(kWh*a)

Ohne Berücksichtigung der diversen Förderungen ergibt sich folgendes Bild:

Gesamtkosten: 739,38 + 443 + 2015,32 = 3.197,697 €/a bzw. 0,239 €/(kWh*a)

Anmerkungen:

Investitionskosten: Annahme, Listenpreise
 Nutzungsdauer: Annahme
 Annuitätenfaktor: Berechnung mit oben angeführter Formel
 Kapitalkosten = Investitionskosten * Annuitätenfaktor
 Instandsetzungskosten [%] : Annahme
 Instandsetzungskosten [€/a] = Investitionskosten * Instandsetzungskosten [%]
 Investitions- und Instandsetzungskosten = Kapitalkosten + Instandsetzungskosten [€/a]

(4) Biomasse - Nahwärme

Für die Berechnung der Biomasse-Nahwärme wurden folgende Randbedingungen angenommen:

Tabelle 27: Randbedingungen Biomasse - Nahwärme [Datenquelle: 46]

Wirkungsgrad der Leitungen zw. Wärmeerzeuger im Haus und Wärmeabgabe	98,0	%
Nutzungsgrad der Hausumformerstation	95,0	% (Hu)
Warmwasser im Winter über Nahwärme, im Sommer über Speicher mit E-Patrone		
Nutzwärmebedarf Raumwärme + Warmwasser	13.400	kWh/a
Energiebedarf f. Heizung + Warmwasser über Biomasse-Nahwärme im Winter	12.214,82	kWh/a
Energiebedarf f. Warmwasser über E-Patrone im Speicher im Sommer	1.400,00	kWh/a
Energieträgerpreis (inkl. MwSt)	0,078	€/kWh
Strompreis	0,1786	€/kWh
Bedarf elektr. Strom (in % d. prod. Wärme, für Zubehör und Nebenaggregate)	0,5	%
Eigenleistung: Umformer-, Verbrauchs- und Abrechnungskontrolle	1,0	h/a

Mit der Biomasse- Nahwärmeheizung wird während der Heizsaison die Wärme für Raumheizung und Warmwasser erzeugt. Während der Sommermonate wird das Warmwasser mit Strom erzeugt. Energieträger ist in diesem Fall Holz.

Die Kosten für die abgenommene Menge an Nahwärme, die Messgebühr dafür sowie die Kosten für die Warmwasserbereitung über eine Elektro-Patrone über die Sommermonate werden in den Verbrauchskosten berücksichtigt. In den Betriebsnebenkosten finden der Leistungspreis für Nahwärme, die Stromkosten für Nebenanlagen und Eigenleistungen für Rechnungs- und Heizungskontrolle, bewertet mit 10 €/h Eingang. Die Investitions- und Instandsetzungskosten beinhalten dann noch die Herstellung und Anschaffung einer Hausumformerstation und Warmwasserbereitungsanlage, die Installation der Fußboden- und Wandheizung sowie einen Notkamin, und den Raumbedarf für diese Anlagenteile. Weiters wird die Förderung des Landes Oberösterreich berücksichtigt.

Tabelle 28: Gesamtkostenrechnung Biomasse - Nahwärme [Datenquelle: 46]

Gesamtkostenermittlung für Biomasse- Nahwärme	Verbrauchs-	Betriebs-	Investitions-	Nutz-	Annui-	Kapital-	Instand-	Instand-	Investitions-
	kosten	neben-	kosten	ungs-	täten-	kosten	setzungs-	setzungs-	kosten
	€/a	€/a	€/a	a	faktor	€/a	kosten	kosten	€/a
	€/a	€/a	€/a		%	€/a	€/a	€/a	€/a
Nahwärme	€ 956,42								
Messgebühr	€ 74,12								
WW-Bereitung mit Strom	€ 203,88								
Verbrauchs-kosten	€ 1.234,42								
Leistungspreis 23€/kW x 8kW		€ 184,00							
Stromkosten für Nebenanlagen		€ 11,00							
Eigenleistung (Rechnungs- und Heizungskontrolle)		€ 10,00							
Betriebsnebenkosten		€ 205,00							
Hausumformerstation als Zentralheizung			€ 3.800,00	30	6,14%	€ 233,29	€ 76,00	€ 76,00	€ 309,29
Anschlusspauschale			€ 1.095,00	30	6,14%	€ 67,22	€ -	€ -	€ 67,22
Zusatz- und Kleinmaterial			€ 145,00	15	9,31%	€ 13,50	€ 2,90	€ 2,90	€ 16,40
Montage, Installation (elektr.+hydr.), Inbetriebnahme d. Anlage			€ 900,00	30	6,14%	€ 55,25	€ -	€ -	€ 55,25
Wärmeverteilung, Wärmeabgabe inkl. Montage u Installation			€ 6.500,00	30	6,14%	€ 399,05	€ 65,00	€ 65,00	€ 464,05
Notkamin			€ 1.000,00	50	5,06%	€ 50,60	€ 10,00	€ 10,00	€ 60,60
200l Registerspeicher f. Warmwasser inkl. Isolation			€ 1.100,00	15	9,31%	€ 102,43	€ 22,00	€ 22,00	€ 124,43
Raumbedarf für Heizung und WWB: 2m2 x 320 €/m2			€ 640,00	50	5,06%	€ 32,39	€ 6,40	€ 6,40	€ 38,79
Förderung Land OO f FW- Anschluss			-€ 1.200,00	30	6,14%	-€ 73,67	€ -	€ -	-€ 73,67
Summe Investitions- und Instandsetzungskosten:			€ 15.180,00						€ 1.062,35

spezifische Kosten [€/kWh*a] $\frac{€ 0,092}{1234,42/13.400} + \frac{€ 0,015}{205/13.400} = 1234,42/13.400 + 205/13.400 = 0,079 = 1062,35/13.400$

Gesamtkosten: 1234,42 + 205 + 1062,35 = 2.501,77 €/a bzw. 0,19 €/kWh*a

Ohne Berücksichtigung der diversen Förderungen ergibt sich folgendes Bild:

Gesamtkosten: 1234,42 + 205 + 1136,02 = 2.575,443 €/a bzw. 0,192 €/kWh*a

Anmerkungen:

- Investitionskosten: Annahme, Listenpreise
- Nutzungsdauer: Annahme
- Annuitätenfaktor: Berechnung mit oben angeführter Formel
- Kapitalkosten = Investitionskosten * Annuitätenfaktor
- Instandsetzungskosten [%] : Annahme
- Instandsetzungskosten [€/a] = Investitionskosten * Instandsetzungskosten [%]
- Investitions- und Instandsetzungskosten = Kapitalkosten + Instandsetzungskosten [€/a]

(5) Erdwärme Wärmepumpenheizung

Für die Berechnung der Erdwärme - Wärmepumpenheizung wurden folgende Randbedingungen angenommen:

Tabelle 29: Randbedingungen Erdwärme- Wärmepumpenheizung [Datenquelle: 46]

Wirkungsgrad der Leitungen zw. Wärmeerzeuger im Haus und Wärmeabgabe	98,0	%
Wärmepumpen-Arbeitszahl f. Erdreich-WP mit Flachkollektor (Mix aus HZG und WW-sh. OÖ WBF)	430,0	%
Nutzwärmebedarf Raumwärme + Warmwasser	13.400	kWh/a
Energiebedarf des Kompressors für Heizung und Warmwasser inkl. Verluste	3.179,88	kWh/a
Mischtarif (60 Tag mit 0,135 €/kWh und 40% Nacht mit 0,113 €/kWh)	0,1260	€/kWh
Bedarf elektr. Strom (in % d. prod. Wärme, für Zubehör und Nebenaggregate)	1,0	%
Eigenleistung: Heizungs-, Verbrauchs- und Abrechnungskontrolle	1,0	h/a

Die Erdwärme- Wärmepumpe erzeugt ganzjährig die Wärme für Raumheizung und Warmwasser. Energieträger ist elektrischer Strom bzw. das Erdreich.

Der verbrauchte elektrische Strom in einem Mischpreis sowie die Miete für Stromzähler und Rundsteuergerät ergeben die Verbrauchskosten. Die Betriebsnebenkosten ergeben sich aus den Stromkosten für Nebenanlagen und den angenommenen Eigenleistungen für Rechnungs- und Heizungskontrolle, bewertet mit 10 €/h. Die Investitions- und Instandsetzungskosten setzen sich aus den Kosten für die Anschaffung und Installation der Wärmepumpe und Warmwasserbereitungsanlage, der Fußboden- und Wandheizung sowie des Flächenkollektors zusammen. Weiters berücksichtigt wird ein Notkamin, der Raumbedarf für diese Anlagenteile und die Förderungen des Landes Oberösterreich, des Energieversorgungsunternehmens sowie die durchschnittliche Gemeindeförderung.

Die Gesamtkostenrechnung wird tabellarisch dargestellt und ergibt Folgendes:

Tabelle 30: Gesamtkostenrechnung Erdwärme- Wärmepumpenheizung [Datenquelle: 46]

Gesamtkostenermittlung für Erdwärmeheizung	Verbrauchs- kosten	Betriebs- neben- kosten	Investitions- kosten	Nutz- ungs- dauer	Annui- täten- faktor	Kapital- kosten	Instand- setz- ungs- kosten	Instand- setzungs- kosten	Investitions- und Instand- setzungs- kosten
	€/a	€/a	€/a	a		€/a	%	€/a	€/a
ALL IN Preis (Mischpreis) für el. Strom	€ 400,66								
Miete f. Zähler und Rundsteuergerät (4,8+1,2)€/Mo	€ 72,00								
Verbrauchs-kosten	€ 472,66								
Stromkosten für Nebenanlagen		€ 24,00							
Eigenleistung (Rechnungs- und Heizungskontrolle)		€ 10,00							
Betriebsnebenkosten		€ 34,00							
12kW Pth Kompressor			€ 1.500,00	15	9,31%	€ 139,67	2,00%	€ 30,00	€ 169,67
12kW Pth Wärmepumpe inkl. Steuerung, Regelung, Zubehör			€ 5.400,00	30	6,14%	€ 331,51	3,00%	€ 162,00	€ 493,51
Flächenkollektor mit Grabarbeiten			€ 3.500,00	30	6,14%	€ 214,87	0,00%	€ -	€ 214,87
Sicherheitseinrichtungen, Zusatz- und Kleinmaterial			€ 650,00	15	9,31%	€ 60,52	2,00%	€ 13,00	€ 73,52
Montage, Installation (elektr.+hydr.), Inbetriebnahme d. Anlage			€ 1.350,00	20	7,69%	€ 103,78	0,00%	€ -	€ 103,78
Wärmeverteilung, Wärmeabgabe inkl. Montage u Installation			€ 6.500,00	30	6,14%	€ 399,05	1,00%	€ 65,00	€ 464,05
Notkamin			€ 1.000,00	50	5,06%	€ 50,60	1,00%	€ 10,00	€ 60,60
300l Registerspeicher f. Warmwasser inkl. Isolation			€ 1.300,00	15	9,31%	€ 121,05	2,00%	€ 26,00	€ 147,05
Raumbedarf für Heizung und WWB: 2m2 x 320 €/m2			€ 640,00	50	5,06%	€ 32,39	1,00%	€ 6,40	€ 38,79
Förderung Land OÖ f. Erdwärmepumpen- Heizungen			-€ 2.200,00	20	7,69%	-€ 169,13	0,00%	€ -	-€ 169,13
Barzuschuss falls 8 Jahre Kunde bei Energie AG für 2,5 kWel			-€ 175,00	20	7,69%	-€ 13,45	0,00%	€ -	-€ 13,45
Durchschnittliche Gemeindeförderung			-€ 220,00	20	7,69%	-€ 16,91	0,00%	€ -	-€ 16,91
Summe Investitions- und Instandsetzungskosten:			€ 21.840,00						€ 1.566,35

spezifische Kosten [€/kWh*a])
 € 0,035 € 0,003
 = 472,66/ = 34/
 13.400 13.400

Gesamtkosten: 472,66 + 34 + 1566,35 = **2.073,009 C/a** bzw. **0,155 C/(kWh*a)**

Ohne Berücksichtigung der diversen Förderungen ergibt sich folgendes Bild:

Gesamtkosten: 472,66 + 34 + 1765,84 = **2.272,503 C/a** bzw. **0,170 C/(kWh*a)**

Anmerkungen:

- Instandsetzungskosten: Annahme, Listenpreise
- Nutzungsdauer: Annahme
- Annuitätenfaktor: Berechnung mit oben angeführter Formel
- Kapitalkosten = Investitionskosten * Annuitätenfaktor
- Instandsetzungskosten [%] : Annahme
- Instandsetzungskosten [€/a] = Investitionskosten * Instandsetzungskosten [%]
- Investitions- und Instandsetzungskosten = Kapitalkosten + Instandsetzungskosten [€/a]

Fasst man die soeben erlangten Ergebnisse zu einer Übersichtsgrafik zusammen, so ergibt sich folgendes, in Abb. 83 dargestelltes Bild:

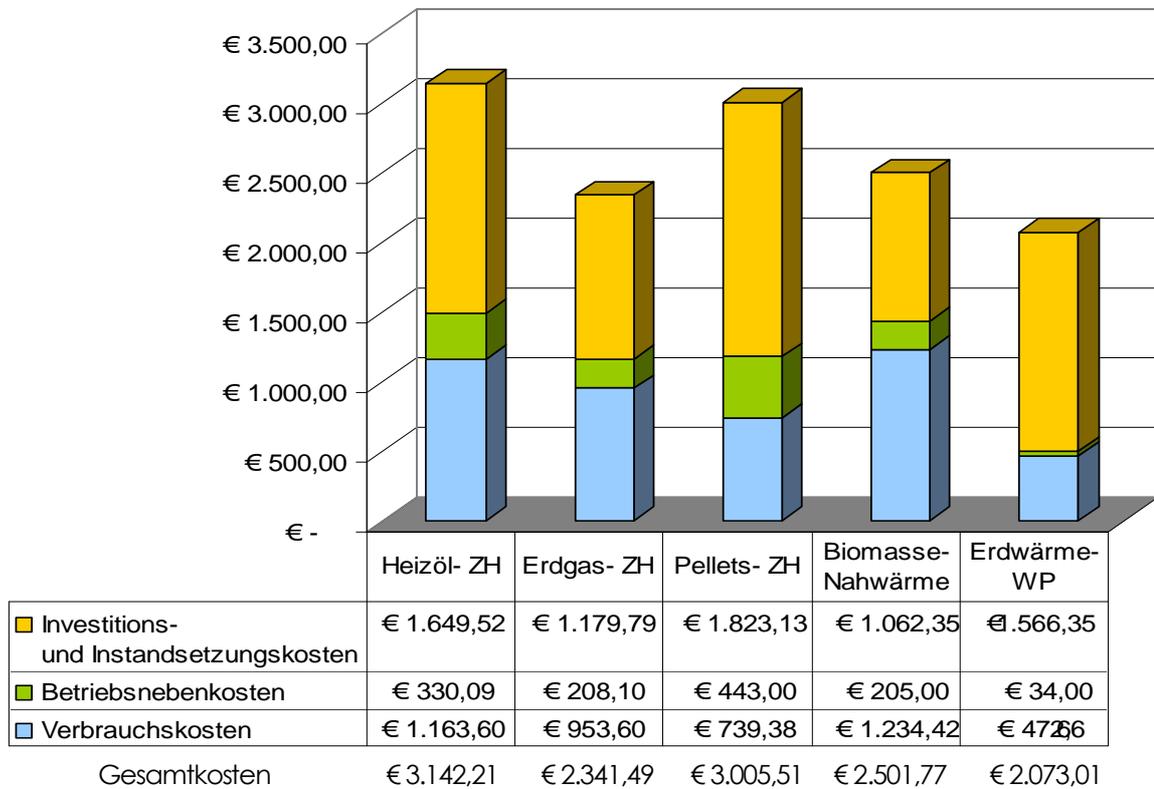


Abb. 83: Jahresgesamtkosten- Vergleich für Heizung und Warmwasser [Datenquelle: 46]

Umgerechnet auf den jährlichen Nutzwärmebedarf von 13.400 kWh ergeben sich folgende Kosten in €/kWh*a mit Berücksichtigung diverser Förderungen:

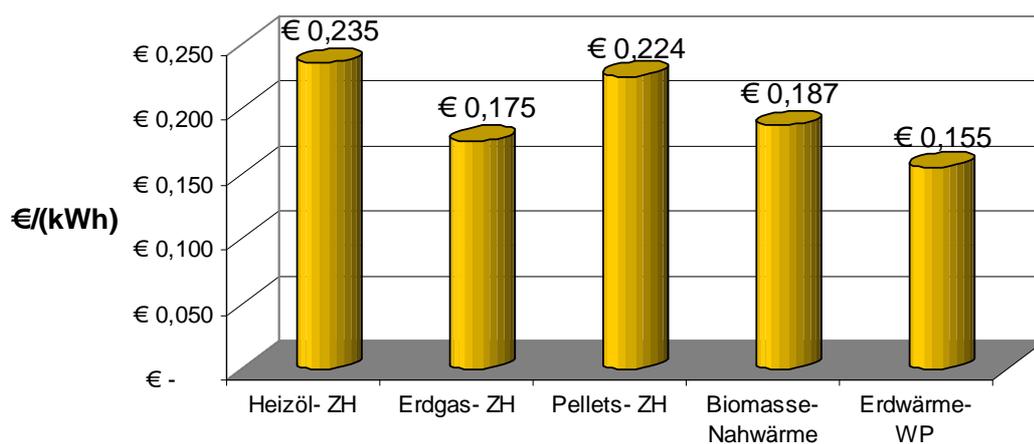


Abb. 84: Gegenüberstellung der Kosten in €/kWh*a, [Datenquelle: 46]

Förderungsbereinigt stellt sich das Bild aus Abb. 84 wie folgt dar:

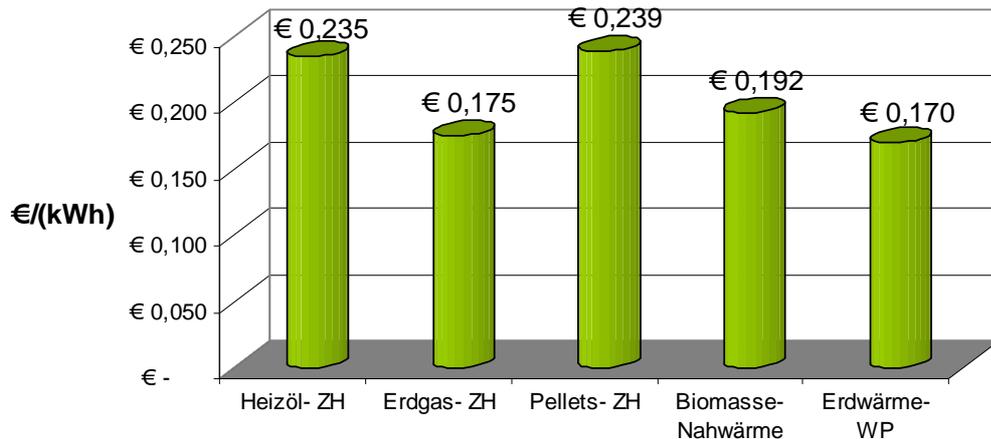


Abb. 85: Gegenüberstellung der förderungsbereinigten Kosten in $\text{€}/(\text{kWh}\cdot\text{a})$, [Datenquelle: 46]

Wie den Abb. 83 und Abb. 84 entnommen werden kann, ist der Heizbetrieb bei den angenommenen Kosten mit Heizöl wie erwartet am teuersten. Etwas überraschend ist, dass auch die Pellets-Zentralheizung mit $0,224 \text{ €}/(\text{kWh}\cdot\text{a})$ kräftig zu Buche schlägt. Verursacht werden diese hohen Kosten hauptsächlich durch die, wie in Abb. 83 deutlich ersichtlich, hohen Investitions- und Instandsetzungskosten. Im Vergleich zu den anderen vier betrachteten Heizanlagen fallen diese trotz üppig berücksichtigter Förderungen mit $1.823,13 \text{ €/a}$ am höchsten aus. Besonders teuer ist bei der Pellets Zentralheizung der Heizkessel selbst. Die Kosten für Biomasse- Nahwärme und Erdgas- Zentralheizung sind in etwa gleich. Bei beiden Heizanlagentypen halten sich die Investitions- und Instandsetzungskosten sowie die Verbrauchskosten in etwa die Waage.

In diesem Vergleich geht die Erdwärme- Wärmepumpe als günstigstes System hervor. Die Investitions- und Instandsetzungskosten machen, wie in Abb. 83 erkennbar, etwa drei Viertel der jährlichen Gesamtkosten aus. Die Betriebsnebenkosten sind mit lediglich 34 € vernachlässigbar gering. Mit etwas mehr als 470 € pro Jahr betragen die Verbrauchskosten einer Erdwärme- Wärmepumpenheizanlage lediglich die Hälfte der Verbrauchskosten einer Erdgas- Zentralheizung und gar nur ein gutes Drittel der Verbrauchskosten einer Biomasse- Nahwärme- Heizanlage. Die sehr hohen Investitionskosten zu Beginn rentieren sich also schon ab der ersten Betriebsstunde.

Der Abb. 85 kann entnommen werden, dass sämtliche, oben angeführten Behauptungen auch dann gelten, wenn die diversen Förderungen von Land, Gemeinden und Energieversorgern unberücksichtigt bleiben. Auch am Verhältnis der Werte zueinander gibt es nur geringfügige Änderungen, an der Reihung verändert sich nichts, nur die Heizung mit Pellets wird am teuersten.

6 Ausgeführte Projekte

Im folgenden Kapitel sollen einige ausgewählte Beispiele die vielen Anwendungsmöglichkeiten von Erdwärmenutzung illustrieren. Von wenig spektakulären und auch schon langjährig erprobten Anwendungen als Heizung in großen und kleinen Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern geht das Spektrum bis zu riesigen Einkaufszentren und Bürotürmen, die mit Erdwärme nicht nur heizen sondern auch einen großen Teil der sommerlichen Kühllast abdecken. Auch weniger häufig vorkommende Haustypen wie ein Rettungsgebäude wird im Folgenden beschrieben. Eine Besonderheit ist die neue Firmenzentrale eines Betonfertigteilproduzenten, der das gesamte Gebäude in Fertigteilbauweise hergestellt hat und die Wand- und Deckenelemente mit Rohrregistern aktiviert hat und so die Heizung und Kühlung des Gebäudes bewerkstelligt. Mit dem neuen Hauptbahnhof Wien, der sich noch in der Bauphase befindet, wird dieses Kapitel mit einem Ausblick in die Zukunft abgeschlossen.

6.1 Einfamilienhäuser

6.1.1 Einfamilienhaus mit Flächenkollektor, Salzburg



Abb. 86: Einfamilienhaus in Salzburg [56]



Abb. 87: Wärmepumpe und Pufferspeicher [56]

Tabelle 31: Eckdaten Einfamilienhaus in Salzburg [Datenquelle: 56]

Gebäudetyp:	Einfamilienhaus
Standort:	Salzburg
Fertigstellung:	2002
Heizwärmebedarf:	Nicht bekannt
Wärmeabgabe:	232 m ² Fußbodenheizung
Erdwärmegewinnung:	500 m ² Flächenkollektor, Sole/Wasser
Warmwasserbereitung:	500l Pufferspeicher mit Durchlaufwassererhitzer



Das Haus wurde im Jahr 2002 fertig gestellt und mit einer Erdwärmeheizung mit ca. 500 m² Flächenkollektoren ausgestattet. Die Anlage basiert auf dem Prinzip Sole/Wasser. Im Gebäude erfolgt die Wärmeverteilung über eine Fußbodenheizung auf einer Fläche von etwas mehr als 230 m². Die Vorlauftemperatur beträgt 30°C im Jahresdurchschnitt.

Der Hauseigentümer hat regelmäßige Aufzeichnungen über Stromaufnahme, Wärmeabgabe, Außentemperatur und einige andere Werte geführt. Daraus ergibt sich eine mittlere Arbeitszahl von 4,24. Das bedeutet, dass mit 1 kW elektrischem Strom 4,24 kW Wärmeenergie erzeugt werden können. Aus den Abbildungen Abb. 88 und Abb. 89 kann der Zusammenhang zwischen erreichter Arbeitszahl und Außentemperatur und somit der Temperaturdifferenz, die von der Wärmepumpe bewerkstelligt werden muss, recht deutlich abgelesen werden: je kälter es ist und je größer die zu überwindende Temperaturdifferenz ist, also je mehr Arbeit von der Wärmepumpe zu leisten ist, desto niedriger ist die Arbeitszahl.

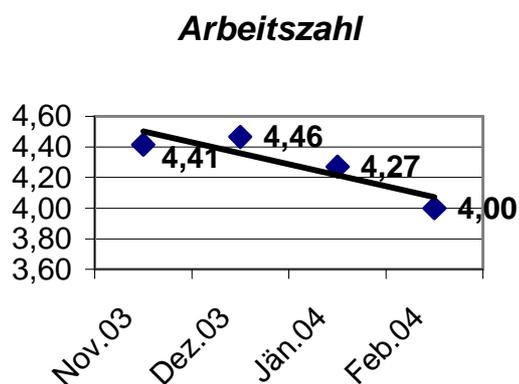


Abb. 88: Arbeitszahl, Werte und Trend, [Datenquelle: 56]

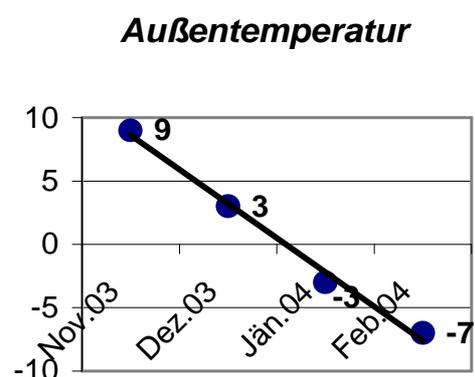


Abb. 89: Außentemperatur, Werte und Trend, [Datenquelle: 56]

6.1.2 Einfamilienhaus mit Tiefensonde, Neubau, Oberösterreich



Abb. 90: Einfamilienhaus in Oberösterreich [32]

Tabelle 32: Eckdaten Einfamilienhaus in Oberösterreich [Datenquelle: 32]

Gebäudetyp:	Einfamilienhaus
Standort:	Oberösterreich
Fertigstellung:	2004
Heizlast:	10kW
Wärmeabgabe:	224 m ² Fußbodenheizung
Erdwärmegewinnung:	Tiefensonde, 2x 75m
Warmwasserbereitung:	Separate Wärmepumpe



Vorab muss erwähnt werden, dass es sich bei dieser Anlage um eine Versuchsanlage mit einer besonders niedrigen Vorlauftemperatur und einem frequenzgeregelten Kompressor handelt. Die Warmwasserbereitung wird von einer separaten Wärmepumpe, die mit einer 50m tiefen CO₂- Erdwärmesonde arbeitet, bewerkstelligt und geht nicht in die weiteren Betrachtungen ein.

Im Untersuchungszeitraum von einem Jahr wurde das Einfamilienhaus mit 11.367 kWh Heizenergie versorgt, welche mit 1.749 kWh elektrischem Strom erzeugt wurde. Die Jahresarbeitszahl errechnet sich somit zu 6,5 (wobei die Heizkreis-pumpe, welche eine elektrische Leistung von 90W hat, unberücksichtigt bleibt). Die Wärmepumpe war im Messzeitraum insgesamt 1.856h in Betrieb. Somit ergibt sich mit den 11.367kWh Heizenergie und den 1.856 Betriebsstunden eine Heizleistung von 6,1 kW. Bezogen auf die 224 m² Wohnfläche ergibt sich eine flächenbezogene spezifische Heizleistung von 27 W/m² bzw. ein spezifischer Heizenergiebedarf von 51 kW/(m²*a).

Im Jahresdurchschnitt betrug die Vorlauftemperatur lediglich 24,8°C und die des Rücklaufs nur 22,5°C. Es wurde eine durchschnittliche Raumtemperatur von 22,7°C erreicht. An den Heiztagen lag die durchschnittliche Außentemperatur bei 5°C.

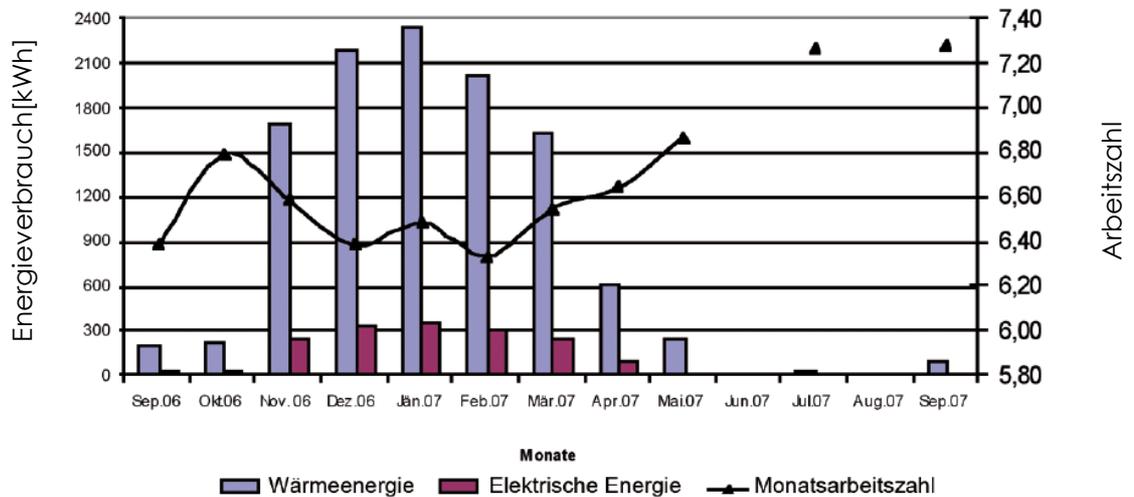


Abb. 91: Verlauf Energieverbrauch und Arbeitszahl [32]

Abb. 91 zeigt den Verlauf des Energieverbrauchs während des Messzeitraums sowie die zugehörige Monatsarbeitszahl. Die Jahresarbeitszahl beträgt 6,5, was einen außergewöhnlich hohen Wert darstellt.

Im Vergleich zu einem Gaskessel konnten 64%, im Vergleich zu einem Ölkessel sogar 73% CO₂ eingespart werden. Bei Annahme einer 20-jährigen Betriebsdauer wird durch diese Wärmepumpe im Vergleich zu einem Gaskessel um 41 Tonnen und im Vergleich zu einem Ölkessel um 62 Tonnen weniger CO₂ emittiert. [32]

6.1.3 Einfamilienhaus mit Tiefsonde, Sanierung, Niederösterreich



Abb. 92: Einfamilienhaus Niederösterreich[10]



Abb. 93: Heizungsanlage[10]

Tabelle 33: Eckdaten Einfamilienhaus Niederösterreich [Datenquelle: 10]

Gebäudetyp:	Einfamilienhaus
Standort:	Niederösterreich
Fertigstellung:	1987, 2007 Erdwärme
Heizlast:	17kW
Nutzfläche:	Ca. 300 m ²
Wärmeabgabe:	60 m ² Fußbodenheizung (28°C Vorlauftemp.), Radiatoren (max. 55°C Vorlauftemperatur)
Erdwärmegewinnung:	Tiefensonde, 3x 90m
Warmwasserbereitung:	Separate Wärmepumpe



Das Haus wurde im Jahr 1987 erbaut. Die Außenmauern bestehen aus 38 cm dicken Tonziegeln mit 5 cm Dämmputz. Ursprünglich erfolgte die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung mit einer Ölzentralheizung. Pro Jahr wurden etwa 3.800l Heizöl Extra- Leicht benötigt.

Im Jahr 2007 wurde die bestehende Ölheizung gegen eine Erdwärmeanlage getauscht. Die Erdwärmegewinnung erfolgt durch drei 90m tiefe Erdwärmesonden, die mit Sole befüllt sind. Diese Heizungsanlage versorgt das 300 m² große Haus mit der erforderlichen Heizenergie und dem notwendigen Warmwasser.

Vom Energieversorgungsunternehmen werden zwei unterschiedliche Stromtarife angeboten, außerdem gibt es zwei Mal täglich zwei Stunden Sperre, in der für die Wärmepumpe keine Energie zur Verfügung gestellt wird. Im Jahr 2008 haben sich die Kosten für Heizung und Warmwasser für dieses Gebäude auf 1.422,- € belaufen. (Früher wurden dafür 3.800 l Heizöl verbraucht, was bei einem Ölpreis von etwa 0,60 € insgesamt 2.280,- € ausgemacht hätte, also um 858,- € mehr)

In der unten stehenden Abb. 94 ist der Stromverbrauch, getrennt nach den einzelnen Tarifen und Gesamt, dargestellt. Deutlich ersichtlich sind die Sommermonate, in denen lediglich für die Warmwasserbereitung eine geringe Strommenge erforderlich ist. Den größten Anteil am Verbrauch hat der Heizbetrieb in den Monaten September bis April. [10]

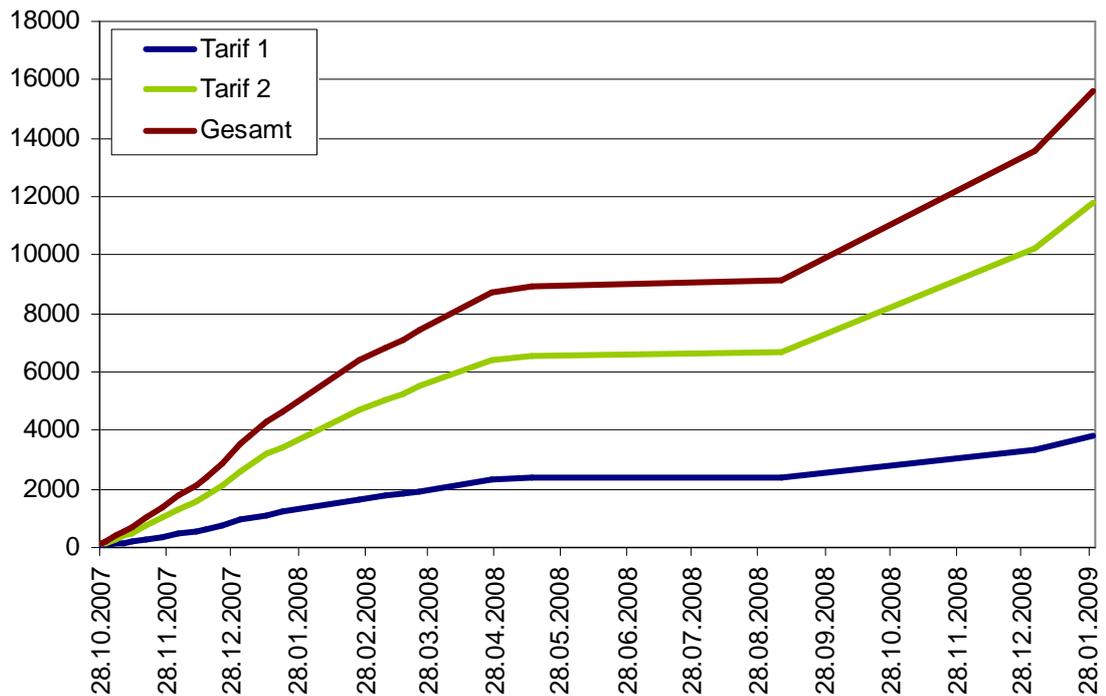


Abb. 94: Summenlinie Stromverbrauch 10/2007 bis 01/2009 [Datenquelle: 10]

6.2 Mehrfamilienhäuser



Abb. 95: Mehrfamilienhaus Bregenz [62]

Tabelle 34: Eckdaten Mehrfamilienhaus Bregenz [Datenquelle: 62]

Gebäudetyp:	Einfamilienhaus
Standort:	Vorarlberg
Fertigstellung:	1949
Heizlast:	14 kW
Nutzfläche:	359 m ²
Wärmeabgabe:	Radiatoren
Erdwärmegewinnung:	Tiefensonde, 2x 100m
Warmwasserbereitung:	E-Boiler



Das Mehrfamilienhaus wurde 1949 fertig gestellt und weist eine Nutzfläche von 359 m² auf. Die Wärmeabgabe erfolgt – wie in den meisten Altbauten – über Radiatoren mit einer Vorlauftemperatur von 45°C. Über dezentrale E-Boiler wird das Warmwasser für die einzelnen Wohnungen separat aufbereitet.

Ursprünglich erfolgte die Beheizung des Gebäudes mit einer Ölheizung. Im Zuge einer Sanierung wurde diese gegen eine Erdwärmeheizung getauscht. Die Heizlast des sanierten Gebäudes beträgt 14kW. Aus zwei je 100 m tiefen Erdwärmesonden kann die notwendige Energie zur Beheizung gewonnen werden. [62]

6.3 Öffentliche Bauten



Abb. 96: Kindergarten Gmür [27]



Abb. 97: Kindergarten Gmür Wärmepumpe [62]

Tabelle 35: Eckdaten Kindergarten Gmür

Gebäudetyp:	Kindergarten
Standort:	Vorarlberg
Fertigstellung:	1980
Heizlast:	40 kW
Nutzfläche:	490 m ²
Wärmeabgabe:	Fußbodenheizung und Radiatoren
Erdwärmegewinnung:	Saugbrunnen 12m, max 1,55 l/s
Warmwasserbereitung:	E-Boiler



Der Kindergarten einer Vorarlberger Gemeinde wurde 1980 erbaut. Das 490 m² große Gebäude weist nach der Sanierung eine Heizlast von 40 kW auf. Über eine Fußbodenheizung und einige Radiatoren erfolgt die Wärmeabgabe und damit eine angenehme Temperierung der Räume. Die Vorlauftemperatur für die

Fußbodenheizung beträgt 35°C. Aus dem Grundwasser wird die erforderliche Wärme zum Betrieb der Wärmepumpe gewonnen. Der Gewinnungsbrunnen weist eine Tiefe von 12 m auf. Die Entnahmemenge beträgt maximal 1,55 l/s bzw. 112 m³/Tag. Mit der Wärmepumpe wird dem im Durchschnitt 7°C warmen Grundwasser 1°C entzogen, sodass die Wasseraustrittstemperatur 6°C beträgt und der Einfluss auf das Grundwasser und sämtliche im Boden lebenden Mikroorganismen gering bleibt.

Die Energiekosten belaufen sich auf etwa 1.800 € pro Jahr. Bezogen auf die Nutzfläche sind das 3,6 €/m² und Jahr. [60]

Abb. 98 und Abb. 99 zeigen den Wärmeverbrauch in kWh sowie den Energieverbrauch, ebenfalls in kWh, für das Jahr 2008. Zusätzlich sind in Abb. 98 die Heizgradtage als blaue Linie dargestellt. 2008 war der Juli scheinbar außergewöhnlich kalt, sodass ein Heizeinsatz erforderlich wurde. Abb. 100 zeigt die zugehörige Wassermenge, die zum Betrieb der Wärmepumpe notwendig war.

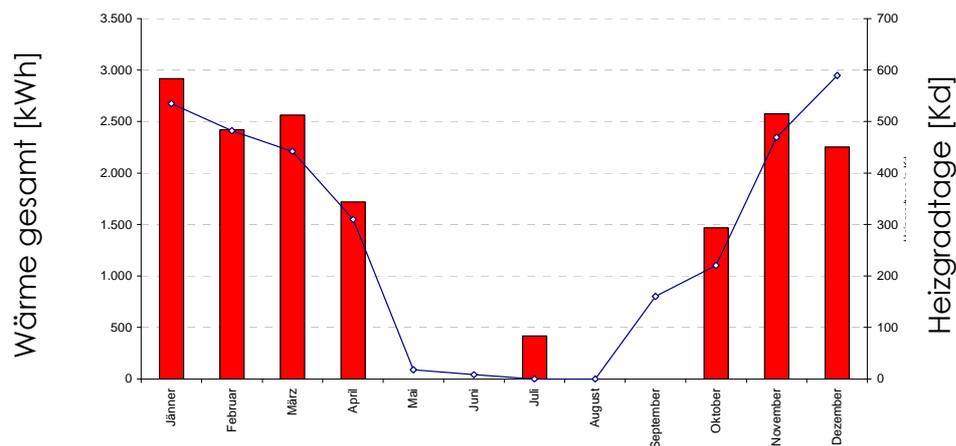


Abb. 98: Wärmeverbrauch in kWh für 2008 im Vergleich zu den Heizgradtagen[27]

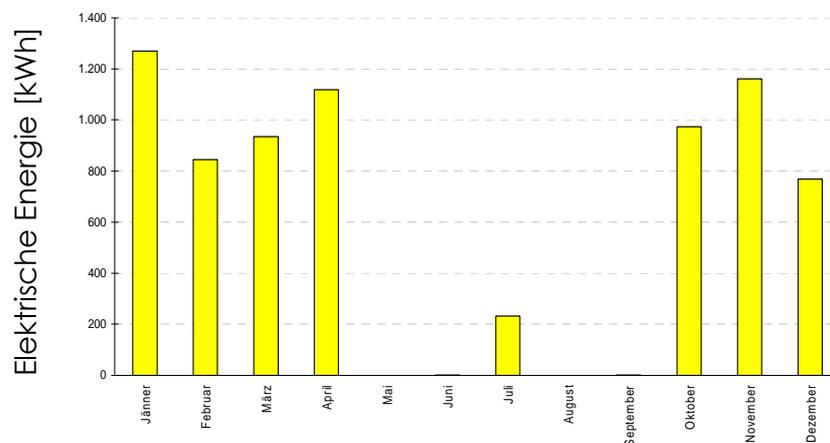


Abb. 99: Stromverbrauch 2008 [27]

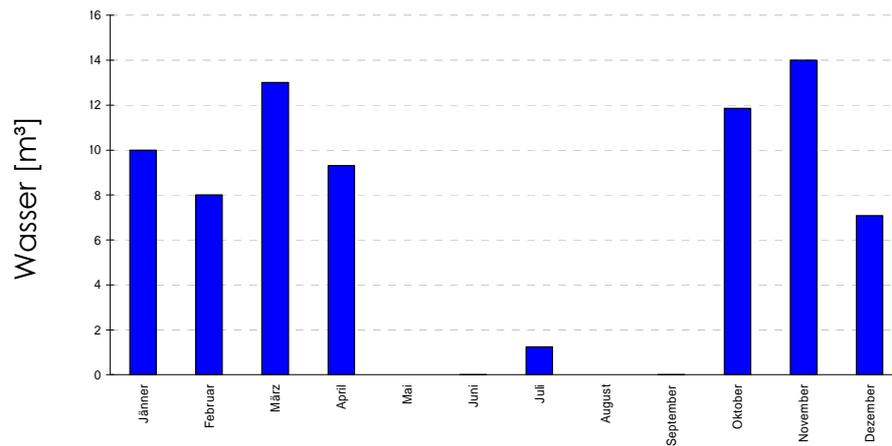


Abb. 100: Wasserverbrauch für Wärmepumpe im Jahr 2008 [27]

6.4 Sonderbauten

6.4.1 Büroturm Uniqa Tower (Wien)



Abb. 101: Uniqa Tower [73]



Abb. 102: LED- Beleuchtung

Tabelle 36: Eckdaten Uniqa Tower

Gebäudetyp:	Bürogebäude
Standort:	Wien
Fertigstellung:	2004
Bruttogeschoßfläche:	38.500 m ²
Erdwärmegewinnung:	Massivabsorber (44 km Absorberleitungen in 35 m tiefer Schlitzwand)
Heizlast:	880kW (nur WP)
Betriebsart:	bivalent



Der in den Jahren 2001 bis 2004 erbaute Uniqa Tower bietet auf seinen insgesamt 27 Etagen auf 38.500 m² neben den Büros einer Versicherung auch Platz für öffentliche Räume wie ein Café, ein Restaurant, eine Bankfiliale und ein Fitnesscenter. In den Untergeschoßen befindet sich überdies noch eine Tiefgarage für 197 PKW.

Der 75 m hohe Turm ist auf Schlitzwänden fundiert, die in eine Tiefe von 35 m abgeteuft wurden und mit Absorberleitungen belegt wurden. Die Verwendung von Massivabsorbern ist eine äußerst wirtschaftliche Möglichkeit, Erdwärme zu gewinnen, da die Schlitzwände ohnehin aus statischen Gründen zur Fundierung erforderlich sind und die Belegung der Bewehrungskörbe mit Absorberleitungen einen verschwindend kleinen Anteil an den Kosten ausmacht. Gleichzeitig erreicht man vernünftige Tiefen und kann so ausreichend Wärme gewinnen, um etwa ein Drittel des Wärmebedarfs des Gebäudes mit Erdwärme zu decken. Der restliche Wärmebedarf wird über Fernwärme abgedeckt. Mit diesem sinnvoll kombinierten Heizsystem können jährlich etwa 84 Tonnen CO₂ eingespart werden.

Zusätzlich dazu wird auch die Kühlung im Sommer zum Teil über die Erdwärme bewerkstelligt. Der Boden unter dem Gebäude dient somit als saisonaler Speicher: im Sommer wird Abwärme im Boden gespeichert auf die dann im Winter zu Heizzwecken wieder zugegriffen wird.

6.4.2 Einkaufszentrum Atrio (Villach, Kärnten)



Abb. 103: Einkaufszentrum Atrio [37]

Tabelle 37: Eckdaten Atrio

Gebäudetyp:	Einkaufszentrum
Standort:	Villach, Kärnten
Fertigstellung:	2007
Bruttogeschoßfläche:	107.000 m ²
Erdwärmegewinnung:	Bohrpfähle (25.200m)
Heizlast:	7.200 kW
Kühllast:	6.800 kW



Das Einkaufszentrum „Atrio“ ist etwa 240 m lang und 140 m breit, es befindet sich in Villach und musste auf Grund der schlechten Bodenverhältnisse auf bis zu 50 m tiefen Ortbetonpfählen gegründet werden. Diese statische Notwendigkeit wurde zur Tugend gemacht und ein Großteil dieser ohnehin erforderlichen Pfähle wurde thermisch aktiviert und so zur Erdwärmegewinnung herangezogen.

Grundwasser steht schon sehr bald an, die Bodenverhältnisse stellen sich wie folgt dar:

- 0- 5 m Deckschicht aus sandigen Kiesen
- 5– 40 m Seetone sowie tonig bis feinsandige Schluffe von breiiger bis weicher Konsistenz
- ab 40 m sandiger Kies bis kiesiger Sand

Die Ortbetonpfähle wurden mit Polyethylen- Röhren (PE-HD) belegt und auf ca. 11 m abgeteuft. Auf diese Art und Weise wird der Großteil der erforderlichen Heizenergie gewonnen. Der fehlende Anteil wird durch das örtliche Fernwärmenetz ergänzt. In den Sommermonaten wird der Untergrund durch die Abwärme aus der Kälteproduktion regeneriert. Die Darstellung der eben beschriebenen Betriebsschemata ist Abb. 38, Abb. 40 und Abb. 41 zu entnehmen.

Durch die Nutzung der Pfähle als Energiepfähle können folgende Energiemengen gespart werden:

ca. 4,1 Mio kWh/a fossile Primärenergie (ca. 500t CO₂- Ausstoß)

ca. 61.000 kWh/a elektrische Energie (ca. 40 t CO₂- Ausstoß) [4]

6.4.3 Mega BauMax Wels



Abb. 104: Mega BauMax Wels [30]

Tabelle 38: Eckdaten Mega BauMax Wels

Gebäudetyp:	Baumarkt
Standort:	Wels, Oberösterreich
Fertigstellung:	2007
Bruttogeschoßfläche:	> 10.000m ²
Erdwärmegewinnung:	Energiebodenplatte, Erdwärmesonden
Heizlast:	k.A.
Verteilssystem:	Fußbodenheizung



Mit dem Slogan „Energie sparen – Geld sparen“ wirbt der Klosterneuburger Baumarktriese für eine energiesparende Bauweise. Mit dem neuen Baumarkt in Wels, der der erste mit Erdwärme beheizte Baumarkt Zentraleuropas ist, zeigt das Unternehmen, dass dieser Spruch in keinsten Weise von der Größe des Bauwerks abhängt.

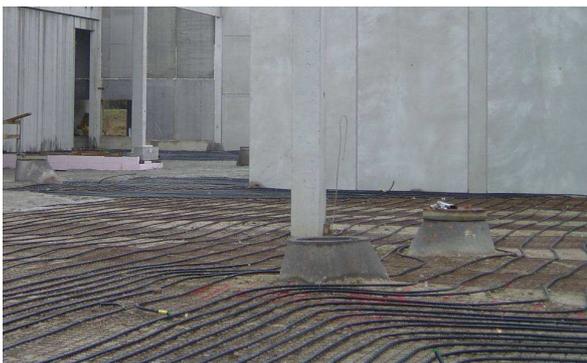


Abb. 105: Absorberleitungen Bodenplatte [30]

Die Heizenergie für die über 10.000m² Verkaufs- und Bürofläche wird direkt an Ort und Stelle, nämlich unter der Bodenplatte, die als Energiebodenplatte mit entsprechenden Absorberleitungen belegt wurde, gewonnen. Zusätzlich liefern noch 23 Erdwärmesonden, die unter dem Parkplatz angeordnet wurden, weitere Energie.

Insgesamt wurden rund 35km Absorberleitungen verlegt, um die erforderliche Heizlast gänzlich mit Erdwärme abdecken zu können. Der Markt wird während der Heizlast auf 18°C temperiert. Höhere Temperaturen sind nicht erforderlich, da die Angestellten kaum ruhende Arbeiten verrichten und die Kunden meist mit Winterkleidung im Markt sind und höhere Temperaturen als zu warm empfinden würden.

Mit dieser Wärmepumpenanlage wird der jährliche CO₂- Ausstoß im Vergleich zu einer herkömmlichen Gasheizung um rund 75% reduziert, was etwa 100 Tonnen weniger Treibhausgase pro Jahr in der Atmosphäre bedeutet. Aber auch die Betriebskosten verringern sich durch die Erdwärmenutzung jährlich um etwa € 20.000,- wodurch sich die Anlage bereits nach sieben Jahren amortisieren wird, was auch mit ein Grund ist, warum diese Anlagenkonzeption zum Konzernstatus erhoben wurde. [31]

6.4.4 Trepka - Zentrale in Betonfertigteilbauweise (Obergrafendorf, Niederösterreich)



Abb. 106: Bürogebäude Trepka in Betonfertigteilbauweise, Bauzustand [20]



Abb. 107: Bürogebäude Trepka [39]

Tabelle 39: Eckdaten Zentrale Trepka

Gebäudetyp:	Bürogebäude
Standort:	Ober Grafendorf, NÖ
Fertigstellung:	2008
Nutzfläche:	1.680 m ²
Erdwärmegewinnung:	Energiebrunnen
Heizlast:	ca. 34.00 kWh/a
Betriebsart:	Monovalente Heizung, monoenergetische Kühlung
Verteilssystem:	11.900 m Schlauch- leitungen, Betontempe- rierung in Wänden und Decken



Bei der neuen Zentrale der Betonfertigteile-Firma wird die hohe Wärmespeicherkapazität des Baustoffs Beton genutzt und mit der bewährten Fertigteil-Bauweise kombiniert. Dieses Gebäude verfügt über ein ausgeklügeltes Energiekonzept. Bei einer Energiekennzahl von lediglich 20 kWh/(m²*a) weist die neue Zentrale beinahe einen Passivhaus-Standard auf.

Zur Sicherstellung eines angenehmen Raumklimas wurden die Parapetwände sowie die Decken mit insgesamt knapp 12 km Schlauchleitungen belegt, um diese Betonmassen thermisch zu aktivieren und als Energiespeicher zu nutzen. Zusätzlich sind die Büroräume mit einer kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Die Zuluft wird aus der zentralen Halle abgesaugt, die als grüne Lunge auch passiv die Solarenergie nutzt.

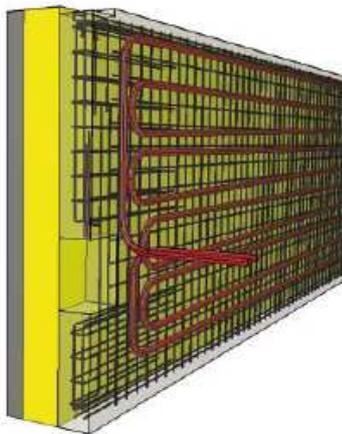


Abb. 108: Fertigteil- Sandwich Parapetwandenelement [20]

Gute Wärmedämmung und damit geringer Heiz- und Kühlenergiebedarf stellen die Basis für ein energieeffizientes Gebäude dar. Durch eine Optimierung der Materialstärken kann mit Fertigteilen zusätzlich auch äußerst ressourcenschonend gebaut werden. Die thermisch aktivierte Sandwichwand mit 8 cm Vorsatzschale, 16 cm Wärmedämmung und lediglich 14 cm Tragschale unterscheidet sich nur durch die an die Bewehrung gebundenen Schlauchleitungen von herkömmlichen Sandwichwandelementen. Der Mehraufwand bei der Produktion bewegt sich daher in einem sehr geringen Bereich. Die Dicke der

Tragschale ist auf das unbedingt erforderliche Maß reduziert. Trotzdem stellt sie auf Grund der Belegung mit Transportleitungen für Heiz- bzw. Kühlenergie einen ausgezeichneten Energiespeicher dar.

Die Sonderelementdecke weist eine trapezförmige Untersicht auf. Diese wird durch Einlegen von entsprechenden Holzteilen in die Schalung erreicht, was gemeinsam mit der Einarbeitung der Schlauchleitungen, welche an die untere Bewehrung gebunden wird, den einzigen Unterschied zu herkömmlichen Element-

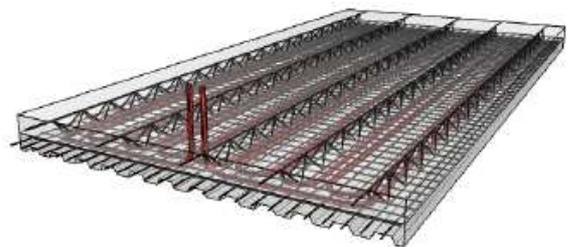


Abb. 109: Sonderelementdecke [20]

deckenelementen darstellt. Die trapezförmige Profilierung hat mehrere Gründe. Einerseits kann somit die Betonoberfläche erhöht werden, wodurch sich ähnlich einem Radiator, eine größere Fläche zur Abstrahlung von Wärme oder Kühle ergibt. Andererseits ergibt sich durch das Trapezprofil an den tiefen Stellen eine größere Materialstärke und somit auch ein größerer Abstand zur Bewehrung und den an der Bewehrung befestigten Schlauchleitungen. Beleuchtungskörper,

Einrichtungsgegenstände und Ähnliches können somit bedenkenlos in der Decke befestigt werden. Darüber hinaus hat eine derart strukturierte Deckenuntersicht auch positive Auswirkungen auf die Raumakustik.

Die Kupplungsstellen der einzelnen Fertigteilenelemente wurden so angeordnet, dass eine Zusammenführung im Bereich der Fußbodenkonstruktion, welche als Doppelboden ausgeführt wurde, einfach möglich ist. Dieser Fußbodenaufbau ermöglicht auch zu einem späteren Zeitpunkt den Zugang zu den Kupplungsstellen. Die gesamte Bauzeit für dieses, knapp 1.700m² große Bürogebäude betrug dank der Fertigteilbauweise lediglich 11 Monate. Es zeigte sich, dass sich bei der Montage der thermisch aktivierten Fertigteile kein zusätzlicher Aufwand ergibt. Lediglich beim Einbringen des Aufbetons bei den Elementdecken war darauf zu achten, dass die Anschlusschläuche nach oben gebunden wurden und vor einem Eindringen von Beton geschützt waren. [20]

6.4.5 Rotes Kreuz Gebäude (Hollenstein, Niederösterreich)



Abb. 110: Rotes Kreuz Gebäude, Hollenstein



Abb. 111: Wärmepumpe und Pufferspeicher

Tabelle 40: Eckdaten Rotes Kreuz Gebäude [14]

Gebäudetyp:	Ortsstelle Rotes Kreuz
Standort:	Hollenstein a.d.Ybbs, NÖ
Fertigstellung:	2007
Nutzfläche:	332 m ²
Erdwärmegewinnung:	Erdwärmesonden (3x 90m)
Heizlast:	14,7 kW
Betriebsart:	monovalent
Verteilssystem:	328,1 m ² Fußbodenheizung



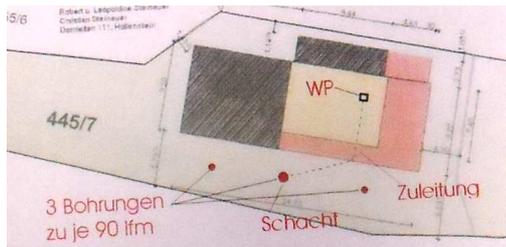


Abb. 112: Lageplan [14]

Das Gebäude der Ortsstelle des Roten Kreuzes Hollenstein im Bezirk Waidhofen an der Ybbs in Niederösterreich soll als Beispiel für eine erfolgreiche Sanierung sowie Erweiterung eines bestehenden Gebäudes angeführt werden.

Das Gebäude, welches ursprünglich eine etwas kleinere Garage und kein ausgebauten Dachgeschoß aufwies wurde in den Jahren 2006 bis 2007 um den in Abb. 112 rot schraffierten Bereich erweitert. Derselben Abbildung lässt sich auch die Lage der Erdwärmesonden, des Sammelschachtes sowie der Wärmepumpe entnehmen. Der Abstand der drei Sonden zueinander beträgt 6m. In Abb. 110 kann man deutlich erkennen, dass über den drei Sonden ein asphaltierter Vorplatz errichtet wurde.

Das Herz der Anlage, die Wärmepumpe, befindet sich in einem kleinen Raum im Keller des Gebäudes. Wie in Abb. 111 ersichtlich handelt es sich dabei um ein sehr kompaktes Gerät. Auch der daneben angeordnete 500l Pufferspeicher findet bequem Platz im Technikraum.

In den Bohrlöchern mit 120 mm Durchmesser sind Single EWS Sonden mit 40 mm Durchmesser angeordnet. Der verbleibende Ringraum wurde mit einer Bentonit- Injektion (Mischungsverhältnis 200 kg Bentonit, 400 kg Zement, 1700l Wasser) verpresst. Als Kältemittel sind 3,1kg R407C in Verwendung.

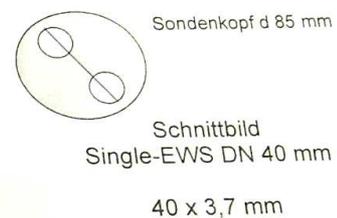


Abb. 113: Schnitt Erdwärmesonde[14]

Die Solevorlauftemperatur in den Sonden kann mit ca. 0°C angegeben werden, der Rücklauf weist ca. 7°C auf. Auf der Nutzungskreislaufseite können für die Vorlauftemperatur etwa 30°C und für den Rücklauf etwa 24°C angeführt werden. Die Temperaturpreizung zwischen Solerücklauf und Heizungsvorlauf beträgt somit 23°C, welche von der Wärmepumpe bewerkstelligt werden muss. Diese verfügt über eine Wärmeleistung von 16,9 kW und eine Leistungsaufnahme von 3,64 kW. Die Leistungszahl ergibt sich somit zu 4,6.

Beheizt werden die Räume in Erd- und Obergeschoß über eine Fußbodenheizung. Der Abstand der sauerstoffdichten 18x 2mm PEOC- Rohre beträgt lediglich 5-13 cm. Eine gleichmäßige Oberflächentemperatur wird durch die bifilare Verlegung gewährleistet. Zusätzlich zu den normal beheizten Aufenthalts-, Sanitär-, Schulungs- und Schlafräumen wird die Garage mittels 75m² Fußbodenheizung auf 15°C temperiert.

Aus dem Gutachten des Amtssachverständigen für Geohydrologie geht hervor, dass laut den geologischen Karten für den Standort in Hollenstein an der Ybbs unter einer geringmächtigen Humusbedeckung mit jungen Talablagerungen des Hammerbaches zu rechnen ist. Diese 10 bis 20 m mächtige Schichte besteht im Wesentlichen aus lehmig- sandig- kiesigen Sedimenten. Außerdem können auch Ablagerungen eines Schwemmkegels und Sedimente einer eiszeitlichen Hochterrasse angetroffen werden. Darunter ist bis zur Endtiefe von 90 m laut geologischer Karte mit Formationen der nördlichen Kalkalpen zu rechnen, im Speziellen mit Hauptdolomit bzw. mit Opponitzer Schichten (Kalke und Mergelkalke). Auf Grund der alpinen Gebirgsbildung und den damit verbundenen intensiven Verfaltungen ist auch mit stehenden Gesteinsschichten zu rechnen. Auf Grund der oben beschriebenen geologischen Verhältnisse war mit Verkarstungserscheinungen in Form von Hohlräumen zu rechnen, welche im Zuge des Sondereinbaues unbedingt verschlossen hätten werden müssen. Auch die Gefahr eines Gesteinsbruchs infolge einer Ablenkung des Bohrmeißels durch steil stehende Gesteinsschichten war gegeben. Tatsächlich gingen die Bohrungen rasch und problemlos von statten. Hohlräume oder steil stehende Gesteinsschichten wurden nicht angetroffen. Die Schichtung hat jedoch den Prognosen des Geohydrologen in etwa entsprochen.

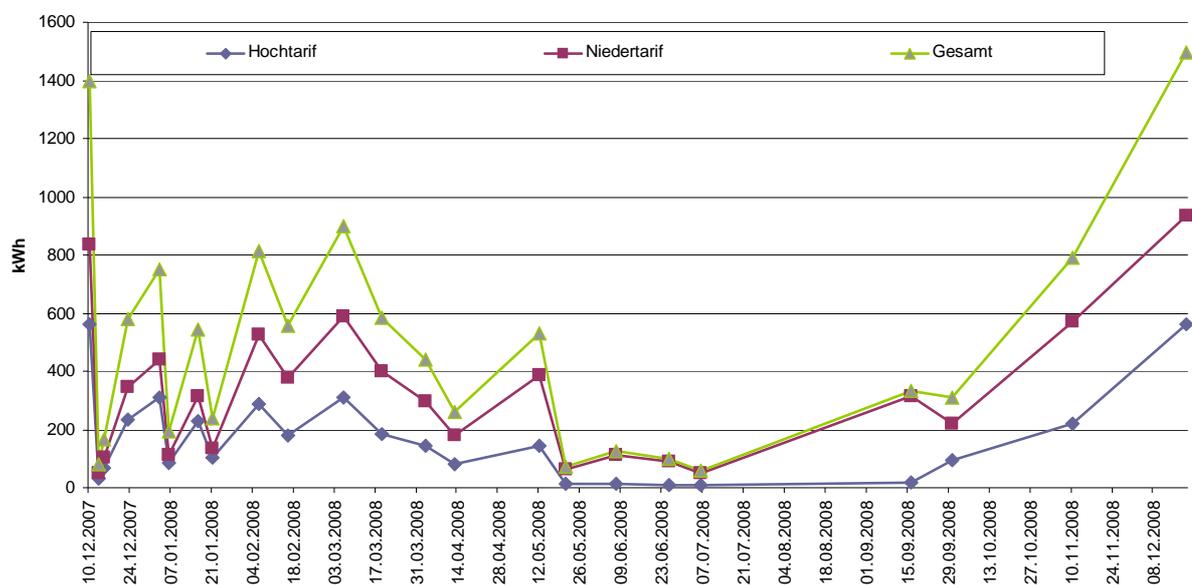


Abb. 114: Stromaufnahme zwischen Dezember 2007 und Dezember 2008 [Datenquelle: 14]

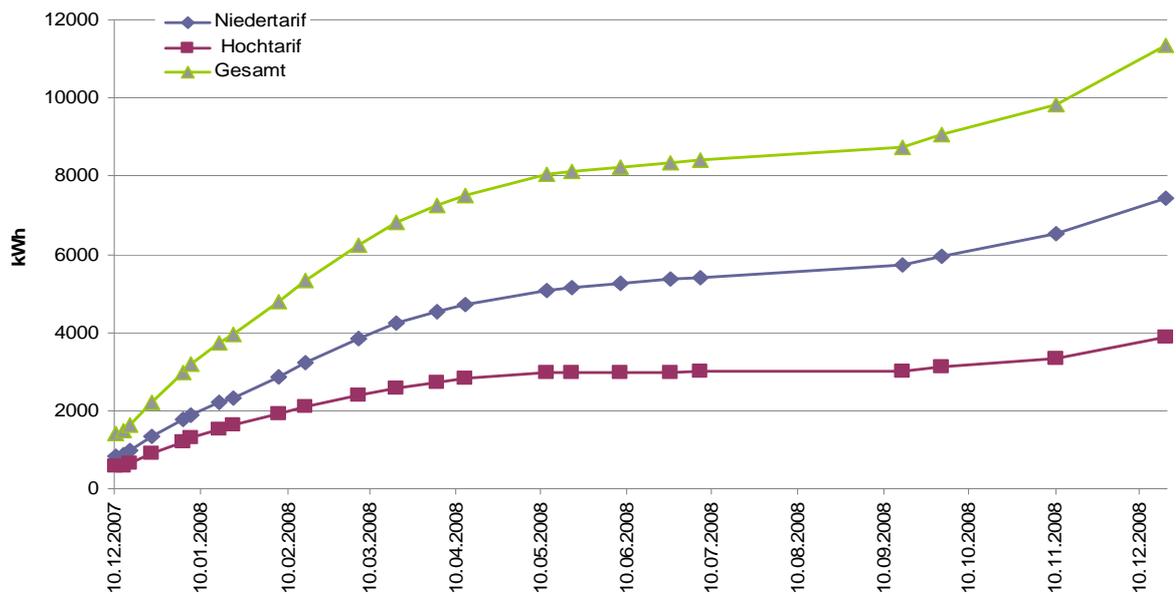


Abb. 115: Summenlinie Stromaufnahme [Datenquelle: 14]

Stromverbrauch früher: lt. Jahresabrechnung rund 43.000 kWh für Heizung (Elektrospeicherofen), Warmwasserbereitung und leider auch Beleuchtung. Stromverbrauch neu: 9.100 kWh für Heizung und Warmwasser und zusätzlich 9.200 kWh für Beleuchtung. Unter der Annahme, dass der Stromverbrauch für Licht und sonstige Elektrogeräte konstant geblieben ist, beträgt der Stromverbrauch für Heizung und Warmwasser vor der Sanierung 33.800 kWh. Somit ergibt sich eine Ersparnis von 24.700 kWh elektrischen Stroms!!! (bei einem mittleren Strompreis von 0,08 €/kWh ergibt das 1.976 €/Jahr!!!!) [14]

6.4.6 Neuer Hauptbahnhof (Wien)



Abb. 116: Darstellung Hauptbahnhof Wien [51]

Tabelle 41: Eckdaten Hauptbahnhof [Datenquelle: 24]

Gebäudetyp:	Bahnhof
Standort:	Wien
Fertigstellung:	2007
Nutzfläche:	332 m ²
Erdwärmegewinnung:	- 27.000 m ² Energie schlitzwand - 450 Energiebohrpfähle DN 90 und DN 120 - 22.500 m ² Energie bodenplatten
Heizlast:	1178 kW
Kühllast	846 kW
Verteilssystem:	328,1 m ² Fußbodenheizung



Der neue Hauptbahnhof in Wien stellt einen zentralen Durchgangsbahnhof dar und wird Knotenpunkt im europäischen Schienennetz sein. Dieser neue Bahnhof ersetzt den bisherigen Süd- und Ostbahnhof, die Kopfbahnhöfe sind bzw. bald waren. Die Züge können dann aus allen Richtungen und in alle Richtungen direkt am Zentralbahnhof verknüpft werden. Dadurch entstehen direkte Verbindungen und einfaches Umsteigen am selben Bahnsteig wird durch den Richtungsverkehr möglich.

Wie bereits erwähnt entsteht der neue Hauptbahnhof am Areal des bestehenden Süd- und Ostbahnhofs. Der Untergrund im Projektbereich gliedert sich in folgende Schichtkomplexe:

- A: Künstliche Anschüttungen
- B: Deckschichte
- C: Quartärer Kies
- D: Schluff-Ton mit Sandlagen (Neogen)

Um die thermischen Untergrundeigenschaften zu bestimmen, wurden zwei Thermal Response Tests durchgeführt. Bei diesem Test wird eine fertig ausgebaute Sonde mit einem definierten Wärmeeintrag über einen Zeitraum von meist 72h belastet. Der Untergrund wird so zu einer Temperaturantwort („response“) angeregt, was eine charakteristische Reaktion für das anstehende Gestein ist. Des Weiteren ist die Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit im Weiteren Umfeld möglich. Mit dem Thermal Response Test können außerdem die ungestörte Untergrundtemperatur und der thermische Bohrlochwiderstand bestimmt werden. Diese drei Werte sind charakteristisch für das thermische Verhalten des Unter-

grunds und Eingangsparameter für Simulationen. Für das Projektgebiet des neuen Hauptbahnhofs wurde mit Hilfe dieses Tests eine mittlere effektive Wärmeleitfähigkeit von 2,0 W/mK ermittelt.

Die Erdwärme wird in 27.000 m² Energieschlitzwand, 450 Energiebohrpfählen mit DN 90 und DN 120 sowie in 22.500 m² Energiebodenplatten gewonnen und zur teilweisen Deckung des Heiz- und Kühlbedarfs der Verkehrsstation herangezogen. Damit werden die Fußbodenkühlungen bzw. -heizungen im Bereich der Verteilerhalle 1 und der Bahnhofshalle sowie die Torluftschleier im Bereich der Bahnsteigabgänge versorgt.

Die folgende Abb. 117 zeigt ein Ergebnis der Simulationsberechnung. Sie stellt den Temperaturverlauf nach zehn Jahren in 15 m Tiefe dar. Deutlich zu erkennen sind die kühleren Bereiche nahe den Massivabsorbern, der Untergrund weiter entfernt zeigt relativ einheitliches Rot- Orange, was wärmere Verhältnisse darstellen soll.

Abb. 118 zeigt die Maximal- und Minimaltemperaturen der Absorberflüssigkeit in den Absorberelementen im Verlauf von 20 Jahren. Der gleichmäßige Wechsel zwischen Heiz- und Kühlperiode ist klar ersichtlich. [24]

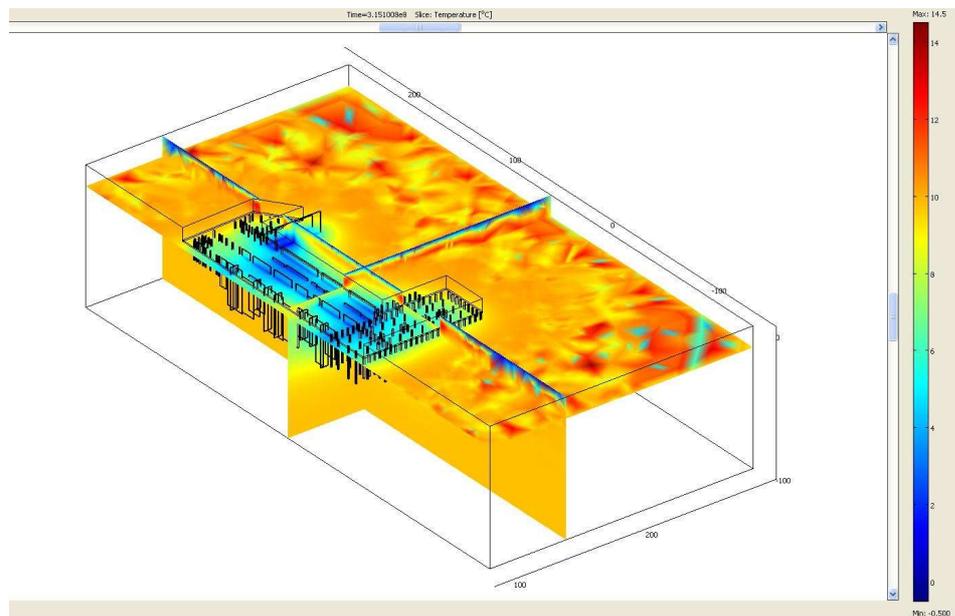


Abb. 117: Ergebnisse der Berechnung von Modellteil 3 nach 10 Jahren in einer Tiefe von 15 m.[24]

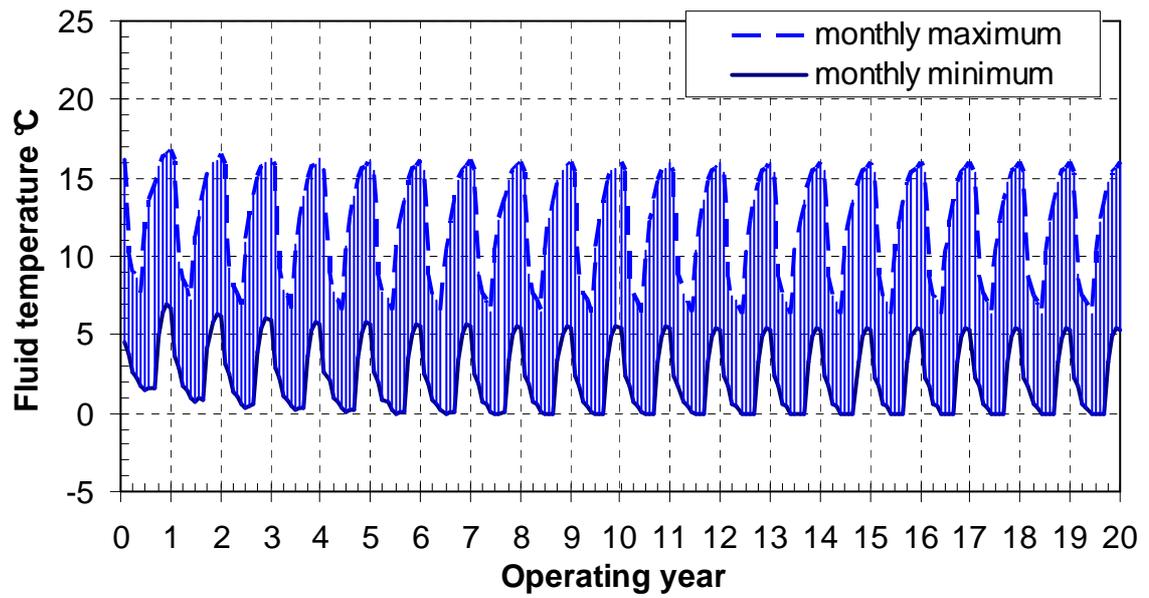


Abb. 118: Temperatur der Absorberflüssigkeit in den Absorberelementen. [24]

7 Zusammenfassung

Angesichts des drohenden Klimawandels und des aktuellen Spargebots in wirtschaftlich schwierigen Zeiten müssen umweltfreundliche Heiz- und Kühlsysteme, die auch betriebstechnisch besonders vorteilhaft sind, vermehrt in den Vordergrund gerückt werden. Diese Arbeit versucht dies zu tun, indem das Gesamtsystem „oberflächennahe Erdwärmenutzung“ beleuchtet wird und eine Statuserhebung für Österreich durchgeführt wird.

Erdwärme kann auf vielfältige Art und Weise gewonnen werden, sei es mit Flächenkollektoren, Erdwärmesonden, Energiebrunnen, Massivabsorbern oder mittels besonders tief reichender Systeme, die größere Temperaturniveaus erschließen können. Welches System für das jeweilige Projekt möglich und welches das optimale ist, kann pauschal nicht beantwortet werden. Parameter wie Gebäudetyp und dessen Fundierung, Wärme- oder Kältebedarf, anstehender Boden und dessen spezifische Wärmekapazität, Grundwasserqualität und –quantität aber auch eine etwaige Gartengestaltung oder –nutzung haben Einfluss auf die Wahl des jeweils besten Systems. Nur wenn eine Anlage korrekt dimensioniert ist, kann ein reibungsloser und wirtschaftlicher Betrieb gewährleistet sein. Erst dann können die günstigen Wirkungsgrade bzw. Arbeitszahlen erzielt werden, welche das enorme Einsparungspotential von Erdwärmeanlagen in finanzieller aber auch umwelttechnischer Sicht ermöglichen. Neben der richtigen Dimensionierung der Erdwärmegewinnungsanlage hat auch das Wärmeverteilsystem (bzw. im umgekehrten Fall der Kühlkreislauf) Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Niedertemperierte Flächenheizungen sind die optimale Lösung, da eine geringe Temperaturspreizung zwischen Gewinnungskreislauf und Nutzungskreislauf einen effizienten Betrieb der Wärmepumpe ermöglicht. Auf Grund der immer besseren Wärmepumpentechnik kann aber auch bei Heizanlagen mit Radiatoren und Vorlauftemperaturen von etwa 50°C auf ganz passable Leistungszahlen verwiesen werden.

Dass das System Erdwärmenutzung immer mehr private aber auch öffentliche Bauherrn überzeugt, zeigen die Zahlen der vorliegenden Statuserhebung. Auch die Bundesländer haben die Vorteile einer Erdwärmeheizung gegenüber erdölgebundenen Heizanlagen erkannt und fördern die Installation solcher Anlagen vermehrt.

Dass die umweltfreundliche und CO₂-sparende Temperierung von Gebäuden mittels Erdwärmenutzung nicht nur bei kleinen Einfamilienhäusern möglich ist, sondern dass mit dieser Technik auch die Grundlast für Heizung UND Kühlung ganzer Bürotürme und Einkaufszentren abgedeckt werden kann, wurde anhand von einigen Beispielen gezeigt.

8 Quellenverzeichnis

- [1] ADAM, DIETMAR: „Intelligente Systeme der Erdwärmenutzung- regenerative Energie aus dem Untergrund“ Expertenforum Beton 2006, hersg. Zement+ Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. i.A.d. Österreichischen Zement-industrie, 2006
- [2] ADAM, DIETMAR: Folien zur Ringvorlesung Ökologie, TU Wien, 2007 http://www.bpi.tuwien.ac.at/english/teaching/2008-04-17_Geothermie-TU-Wien.pdf
- [3] ADAM, D; MARKIEWICZ, R.; UNTERBERGER, W.; HOFINGER, J.: „Die Verwendung von Tiefgründungselementen als Erdwärmeabsorber bei der Verlängerung der Wiener U-Bahnlinie U2“, 19. Christian-Veder-Kolloquium, Graz, 2004
- [4] ANDREI, FLORIAN: „Atrio – ein Schiff auf Energiesparkurs“, Betontag 2008 Kongress mit Ausstellung, Tagungsband
- [5] BAUAkademie Wien: Seminarunterlagen zur Veranstaltung „Kleinanlagen zur Nutzung der Erdwärme“ Veranstalter: VÖBU, 2008
- [6] BRANDL, H.; MARKIEWICZ, R.: „Die Nutzung geothermischer Energie im Bauwesen“, Zement und Beton 4/02, 2002
- [7] BRANDL, HEINZ: „Energy foundations and other thermo-active ground structures“, 41st Rankine Lecture, British Geotechnical Association (ver- öffentlicht 2006: Geotechnique, London), 2001
- [8] BRANDL, HEINZ: „Energy piles and diaphragm walls für heat transfer from and into the ground“ 3rd int. Geotechnical Seminar “Deep Foundation on Bored and Auger Piles” (BAP III) Keynote Paper, Ghent, 1998 Proceedings A.A. Balkema, Rotterdam/Brookfield, 1998
- [9] E-CONTROL: „Bericht über die Stromkennzeichnung 2007“ www.e-control.at
- [10] FANINGER, GERHARD: „Der Wärmepumpenmarkt in Österreich 2007“, Studie i.A. des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, 2007 www.lgwa.at
- [11] FEICHTINGER, WALTER; Auskunft per E-Mail, 2009
- [12] FORSÈN, M.; NOWAK, T.; RANSQUIN, J.: „European Heat Pump Statistics, Outlook 2008“, ehpa european heat pump association, Brüssel, 2007 www.ephpa.org
- [13] GOTTSCHLING, ANDREAS: „Behaglichkeit- Der Mensch als Maßstab“ http://www4.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248,id_34,s_Papers.fb15
- [14] HAMPÖLTZ, SIEGFRIED; Bezirksstellenleiter Rotes Kreuz Waidhofen/Ybbs, persönliche Auskunft, 2008
- [15] HOFINGER, JOHANN: „Nutzung geothermischer Energie und Umweltwärme auf niedrigem Temperaturniveau mittels erdberührter Bauteile“, Diplomarbeit am Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Wien, 2000

- [16] HOFMANN, T.;SCHÖNLAUB, H. P.: „Geo- Atlas Österreich“ ein Projekt der Geologischen Bundesanstalt, Böhlau Verlag, Wien , 2007
- [17] IDM Energiesysteme GmbH: Informationsfolder „Terra Wärmepumpen“, Matrie in Osttirol, 2008
- [18] KALLER; RICHARD: “Wärmestrom bei Freiflächenheizungen, Eisfreihaltung von Verkehrsflächen – Untersuchung des Wärmestromverhaltens von Freiflächenheizungen“, Verlag Dr. Müller, 2007
- [19] KALTSCMITT, M.; HUEGES, E.; WOLFF, H.: „Energie aus Erdwärme: Geologie, Technik und Energiewirtschaft“, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart, 1999
- [20] KAMLEITNER, ROBERT: „Betonfertigteile liefern Heiz- und Kühlenergie – die neue Trepka-Zentrale“, Expertenforum Beton, Energiespeicher Beton, VÖZ 2008
- [21] KNOLL, JOHANN: „SC-Villach „ATRIO“ Energiekonzept“, Innsbruck, 2008
- [22] LOOSE, PETER: „Erdwärmenutzung- Versorgungstechnische Planung und Berechnung“, C. F. Müller Verlag, Heidelberg, 2006
- [23] LYSSOUDIS, ALEXANDER: Folien zum Fachvortrag Wärmepumpen, Veranstalter: Bundesverband Wärmepumpe, 2005
<http://www.iblyssoudis.de/Download/Gienger2.pdf>
- [24] MARKIEWICZ, ROMAN, Auskunft per E-Mail, 2009
- [25] MARKIEWICZ, ROMAN: „Numerische und experimentelle Untersuchungen zur Nutzung von geothermischer Energie mittels erdberührter Bauteile und Neuentwicklungen für den Tunnelbau“, Dissertation am Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Wien 2004
- [26] MINDER, R.; GORHAN, H.: „Nutzung der Erdwärme, Überblick, Technologien, Visionen“, Herausgegeben vom Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2006
www.bbl.admin.ch/bundespublikationen
- [27] OBERHAUSER, Hannes: Bauamt Gemeinde Koblach, Auskunft per E-Mail, 2009
- [28] OCHSNER, KARL: „Wärmepumpen in der Heizungstechnik“, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 2007
- [29] OSTERMANN, NORBERT: „Erdwärmenutzung im Verkehrstunnelbau“, Vortrag: Habilitationskolloquium für Glatzl, Graz (eingeladen); 2003; in: "Innovative Betonkonstruktionen für den modernen Verkehrswegebau", Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, 2003
- [30] PRIMUS, ILLO- FRANK: „Massivabsorber – Die Wärmequelle für die Wärmepumpe“, Beton- Verlag, Düsseldorf, 1995
- [31] SCHACH, THOMAS: Leiter Internationale Bauabteilung, Fritz Schömer GesmbH, Schömer - bauMax – Unternehmensgruppe, 2008
- [32] SCHNITZER, JOHANNES: Klima:aktiv Wärmepumpe Referenzprojekt, Langzeituntersuchung der Wärmepumpenheizungsanlage Arnreit, Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.
www.klimaaktiv.at/filemanager/download/35135/
- [33] STUDER H.; HAAGE, U.; STALLER, S.: „Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität“, Studie im Auftrag der NÖ Wohnbauforschung, Wien,

- 2006; www.noe-wohnbauforschung.at/dokumentation/kf2127.pdf
- [34] TU WIEN, Inst. f. Grundbau und Bodenmechanik, IC CONSULENTEN ZIVILTECHNIKER GMBH: „Machbarkeitsstudie Erdwärmennutzung Bauabschnitt U2/1 Schottenring, U2/2 Taborstraße, U2/3 Praterstern, U2/4 Messe“ (2002)
- [35] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: „VDI 4640: Thermische Nutzung des Untergrunds“, Richtlinie, Blatt 1 Entwurf (2008), Blatt 2 (2001), Blatt 3 (2001), Blatt 4 (2004)
- [36] VÖGEL, CHRISTIAN: Abteilung Allgemeine Wirtschaftsangelegenheiten (VIa), Amt der Vorarlberger Landesregierung, Auskunft per E-Mail, 2009
- [37] www.atp.ag
- [38] www.atrio.at
- [39] www.bauatelier.at
- [40] www.effiziento.de
- [41] www.elsner-hls.de
- [42] www.enercret.at
- [43] www.erdwaerme-lehrpfad.com
- [44] www.erdwaermepumpe.de
- [45] www.erdwaerme-zeitung.de/erdwaermeinfo/thermalresponsetest1200/index.html
- [46] www.fep.co.at (Fair Energy Partner) Heizkostenvergleich Stand: März 2008
- [47] www.gefga.de/geothermie.htm
- [48] www.h-47.de/images/au_big2.jpg
- [49] www.handwerksangebot.de
- [50] www.harzer-solarzentrum.de
- [51] www.hauptbahnhof-wien.at
- [52] www.hoenke.de
- [53] www.izw-online.de/waermepumpe/WP2_online.pdf
- [54] www.jaraflex.at
- [55] www.lgwa.at
- [56] www.members.aon.at/eep-technik, Energie& Elektrotechnik Pötzelsberger
- [57] www.nick-leonberg.de/grabenkollektor.htm
- [58] www.ots.at
- [59] www.pipelife.at
- [60] www.poweron.ch
- [61] www.qgw.at
- [62] www.qgw.at
- [63] www.raatschen-shop.de
- [64] www.rehau.at
- [65] www.rehau.com
- [66] www.schnauer.at
- [67] www.siblik.at
- [68] www.statistik.at; „Ergebnisse des Mikrozensus 2004 und 2006 nach Bundesländern, verwendetem Energieträger und Art der Heizung“
- [69] www.stoltenberg-energie.de

- [70] www.tower.uniqg.at
 [71] www.variotherm.at
 [72] www.werland-klaus.de
 [73] www.winkhaus.co.uk
 [74] www.woodtec.de
 [75] www.zdf.de/dpa-Infocom 2007 „Der Treibhauseffekt –Globale Bedrohung“

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Energieverbrauch im privaten Haushalt (Beispiel Deutschland)[28, überarbeitet]	6
Abb. 2: Energieschema einer geothermisch betriebenen Wärmepumpenanlage [28]	7
Abb. 3: Systembereiche der Erdwärmenutzung	7
Abb. 4: Temperaturverlauf im Boden für die Monate Februar, Mai, August und November [47]	9
Abb. 5: terrestrischer Wärmestrom in Österreich [16]	10
Abb. 6: Schema Flächenkollektor [40]	17
Abb. 7: Herstellung eines Flächenkollektor [71]	17
Abb. 8: Prinzipskizze Serienschaltung [19]	18
Abb. 9: Prinzipskizze Parallelschaltung[19]	18
Abb. 10: Schema Grabenkollektor [57]	19
Abb. 11: Herstellung eines Grabenkollektors [59]	19
Abb. 12: Künnettenkollektor [43]	19
Abb. 13: Einbau eines Svec-Kollektors [67]	19
Abb. 14: Korbkollektor [44])	20
Abb. 15: Schema Erdwärmesonde [41]	20
Abb. 16: Anordnungsvarianten von Erdwärmesonden [19]	21
Abb. 17: Schema „Energiebrunnen“ [26]	22
Abb. 18: Energietunnel [Archiv Inst. f. Geotechnik, TU Wien]	25
Abb. 19: am Bewehrungskorb befestigte Absorberrohre [2]	26
Abb. 20: Druckprüfung während der gesamten Herstellung [2]	26
Abb. 21: Grundriss Energieschlitzwand [34]	26
Abb. 22(oben): Schlitzwandkorb mit Absorberleitungen [7]	27
Abb. 23 (links): Schema Absorberleitungen eines Schlitzwandbewehrungskorbes [34]	27
Abb. 24: Energieanker [74]	27
Abb. 25: Beispiel Energieanker[2]	28

Abb. 26: Energievlies [7]	28
Abb. 27: eingebautes Energievlies [7]	28
Abb. 28: Energiebodenplatte (in Kombination mit Energiepfählen), Absorber- leitungen [7]	29
Abb. 29: Schema Hot- Dry- Rock- Prinzip [26]	32
Abb. 30: Funktionsprinzip einer Kompressionswärmepumpe	35
Abb. 31: Direktverdampfung [41]	38
Abb. 32: Kombiniertes System [41]	38
Abb. 33: System Sole- Wasser [41]	38
Abb. 34: monovalenter Betrieb [50]	40
Abb. 35: monoenerget. Betrieb [50]	40
Abb. 36: bivalenter, paralleler Betrieb [50]	41
Abb. 37: bivalenter, alternativer Betrieb	42
Abb. 38: Schema Heizung [20]	43
Abb. 39: Schnitt durch eine Bodenfläche mit Freiflächenheizung [18]	44
Abb. 40: Schema Kühlung [20]	45
Abb. 41: Schema Free Cooling [20]	46
Abb. 42: Anordnungsschema [35]	47
Abb. 43: Vergleich Strahlung und Konvektion [49]	48
Abb. 45: Behaglichkeitsbereich bezüglich Luftbewegung [13]	50
Abb. 46: Verschiedenste Verlegesysteme [71]	51
Abb. 47: Verlegung mit Klippleisten [54]	51
Abb. 48: Verlegung auf Lochplatten [66]	51
Abb. 49: mäander- und schneckenförmige Verlegeform sowie darunter darge- stellt der jeweilige Oberflächentemperaturverlauf [28]	52
Abb. 50: Doppelmäander- Verlegung [69] und Temperaturverlauf [28]	52
Abb. 51: Wandheizungsregister [Archiv Zauner]	52
Abb. 52: Funktionsweise Bauteilaktivierung [48]	53
Abb. 53: Simulation der Temperaturverteilung im Raum – links mit, rechts ohne Bauteilaktivierung	53
Abb. 54: thermoaktive Elementdecke [42]	54
Abb. 55: Verlegung von Rohrmodulen [64]	55
Abb. 56: installierte Anlagen in Österreich [10]	57
Abb. 57: Anteile der Wärmequellen für Heizungswärmepumpen in Österreich [10]	57
Abb. 58: Anteile Direkt-Verdampfer und Sole/Wasser bei erdreich-gekoppelten Heizungswärmepumpen [10]	57
Abb. 59: Vergleich Werte epha und BMVIT für bestehende Wärmepumpen- Anlagen in Österreich [Datenquelle: 12 und 10]	58
Abb. 60: neue und bestehende Wärmepumpenanlagen in Österreich [Datenquelle: 10]	58
Abb. 61: Anzahl der 2007 von den Förderstellen geförderte Wärmepumpenanlagen, keine Angaben für Steiermark [Datenquelle: 10]	59

Abb. 62: Anzahl der geförderten Wärmepumpen je 1.000 Einwohner für 2007 [Datenquelle: 68 und 10]	59
Abb. 63: Vergleich Mikrozinsen 2004 und 2006 in den Bundesländern, Art der Heizung (Solar, Wärmepumpen) [Datenquelle: 68]	60
Abb. 64: Anzahl der Wärmepumpen (und Solar) je 1.000 Einwohner für 2006 [Datenquelle: 68]	60
Abb. 65: Förderungen Vorarlberg 2003-2007 [Datenquelle: 36]	67
Abb. 66: Förderungen 2007 nach Wärmequelle [Datenquelle: 36]	67
Abb. 67: Ausbezahlte Förderungen 2007 nach Wärmequelle [Datenquelle: 36]	68
Abb. 68: mittlere Förderhöhe pro Anlage, nach Wärmequelle [Datenquelle: 36] ..	68
Abb. 69: mittlere Anteile der Förderung an den Gesamtinvestitionskosten [Datenquelle: 36]	69
Abb. 70: Vergleich der Leistungszahlen verschiedener Wärmepumpentypen [53]	70
Abb. 71: Vergleich Heizleistung zu Leistungszahl bei Direktverdampfungswärme- pumpen	71
Abb. 72: Vergleich Heizleistung zu Leistungszahl bei Solewärmepumpen und 35°C Vorlauftemp.	71
Abb. 73: Vergleich Heizleistung zu Leistungszahl bei Solewärmepumpen und 50°C Vorlauftemp.	71
Abb. 74: Vergleich Heizleistung zu Leistungszahl bei Grundwasserwärmepumpen und 35°C Vorlauftemperatur	72
Abb. 75: Vergleich Heizleistung zu Leistungszahl bei Grundwasserwärmepumpen und 50°C Vorlauftemperatur	72
Abb. 76: Energiefluss einer Ölzentralheizung [30]	73
Abb. 77: Energiefluss einer Elektrowärmepumpe (monovalent, Grundwasser, Fußbodenheizung) [30]	73
Abb. 78: Treibhauseffekt [25]	74
Abb. 79: Anteile am natürlichen Treibhauseffekt [Datenquelle: 75]	75
Abb. 80: Anteile am anthropogenen Treibhauseffekt [Datenquelle: 75]	75
Abb. 81: Strommix in Österreich 2006, [Datenquelle: 9]	77
Abb. 82: Ergebnis der Vergleiches des CO ₂ -Ausstoßes der verschiedenen Heizsysteme	78
Abb. 83: Jahresgesamtkosten- Vergleich für Heizung und Warmwasser [Daten- quelle: 46]	91
Abb. 84: Gegenüberstellung der Kosten in €/(kWh*a), [Datenquelle: 46]	91
Abb. 85: Gegenüberstellung der förderungsbereinigten Kosten in €/(kWh*a), [Datenquelle: 46]	92
Abb. 86: Einfamilienhaus in Salzburg [56]	93
Abb. 87: Wärmepumpe und Pufferspeicher [56]	93
Abb. 88: Arbeitszahl, Werte und Trend, [Datenquelle: 56]	94
Abb. 89: Außentemperatur, Werte und Trend, [Datenquelle: 56]	94
Abb. 90: Einfamilienhaus in Oberösterreich [32]	95
Abb. 91: Verlauf Energieverbrauch und Arbeitszahl [32]	96
Abb. 92: Einfamilienhaus Niederösterreich [10]	96

Abb. 93: Heizungsanlage[10]	96
Abb. 94: Summenlinie Stromverbrauch 10/2007 bis 01/2009 [Datenquelle: 10]	98
Abb. 95: Mehrfamilienhaus Bregenz [62].....	98
Abb. 96: Kindergarten Gmür [27]	99
Abb. 97: Kindergarten Gmür Wärmepumpe [62]	99
Abb. 98: Wärmeverbrauch in kWh für 2008 im Vergleich zu den Heizgradtagen[27]	100
Abb. 99: Stromverbrauch 2008 [27].....	100
Abb. 100: Wasserverbrauch für Wärmepumpe im Jahr 2008 [27]	101
Abb. 101: Uniqa Tower [73]	101
Abb. 102: LED- Beleuchtung.....	101
Abb. 103: Einkaufszentrum Atrio [37].....	102
Abb. 104: Mega BauMax Wels [30]	104
Abb. 105: Absorberleitungen Bodenplatte [30]	104
Abb. 106: Bürogebäude Trepka in Betonfertigteilbauweise, Bauzustand [20]	105
Abb. 107: Bürogebäude Trepka [39]	105
Abb. 108: Fertigteil- Sandwich Parapetwandelement [20]	106
Abb. 109: Sonderelementdecke [20]	106
Abb. 110: Rotes Kreuz Gebäude, Hollenstein.....	107
Abb. 111: Wärmepumpe und Pufferspeicher	107
Abb. 112: Lageplan [14]	108
Abb. 113: Schnitt Erdwärmesonde[14]	108
Abb. 114: Stromaufnahme zwischen Dezember 2007 und Dezember 2008 [Daten- quelle: 14]	109
Abb. 115: Summenlinie Stromaufnahme [Datenquelle: 14]	110
Abb. 116: Darstellung Hauptbahnhof Wien [51]	110
Abb. 117: Ergebnisse der Berechnung von Modellteil 3 nach 10 Jahren in einer Tiefe von 15 m.[24].....	112
Abb. 118: Temperatur der Absorberflüssigkeit in den Absorberelementen. [24] ...	113

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wärmeentzugsleistung für Flächenkollektoren bei 1800 Jahresbetriebsstd. [35]	11
Tabelle 2: Benötigte Kollektorfläche für 1800 bis 2400 Jahresbetriebsstunden in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl [in Anlehnung an 35]	11
Tabelle 3: Wärmeentzugsleistung für Tiefensonden für 1800 Jahresbetriebsstunden [in Anlehnung an 35]	12
Tabelle 4: Benötigte Sondenlänge für 1800 bis 2400 Jahresbetriebsstunden in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl [in Anlehnung an 35]	12
Tabelle 5: Wärmeentzugsleistung für Künettenkollektoren [in Anlehnung 35]	12
Tabelle 6: Eignungsgrenzen bezüglich Wasserqualität [28]	23
Tabelle 7: Vergleich der Nutzungszwecke verschiedener Absorberelemente	33
Tabelle 8: umweltrelevante Eigenschaften von Wärmepumpen- Arbeitsmitteln [Datenquelle: 35]	39
Tabelle 9: Verkaufszahlen Heizungswärmepumpe österreichischer Inlandsmarkt...61	
Tabelle 10: Einfamilienhäuser mit Energiebrunnen (Vorarlberg)	62
Tabelle 11: Einfamilienhäuser mit Flächenkollektoren (Vorarlberg)	62
Tabelle 12: Einfamilienhäuser mit Erdwärmesonden (Vorarlberg)	63
Tabelle 13: Übersicht über die Förderbestimmungen für Wärmepumpen bei Neubauten[55]	64
Tabelle 14: Übersicht über die Förderbestimmungen für Wärmepumpen bei Sanierungen[55]	66
Tabelle 15: Übersicht Förderungen Land Vorarlberg 2003 – 2008 [36]	67
Tabelle 16: mittlere Investitionskosten pro Anlage, nach Wärmequelle [Datenquelle: 36]	69
Tabelle 17: detaillierte Aufgliederung des österreichischen Strommix 2007, [Datenquelle: 9]	76
Tabelle 18: durchschnittlicher CO ₂ - Ausstoß verschiedener Heizsysteme [30, 9]	78
Tabelle 19: technische Basisdaten für die Berechnung [Datenquelle: 46]	80
Tabelle 20: wirtschaftliche Basisdaten für die Berechnung [Datenquelle: 46]	80
Tabelle 21: Randbedingungen Öl - Zentralheizung [Datenquelle:46]	81
Tabelle 22: Gesamtkostenrechnung Öl - Zentralheizung [Datenquelle: 46]	82
Tabelle 23: Randbedingungen Erdgas - Zentralheizung [Datenquelle: 46]	83
Tabelle 24: Gesamtkostenrechnung Erdgas - Zentralheizung [Datenquelle: 46]	84
Tabelle 25: Randbedingungen Holzpellets- Zentralheizung [Datenquelle: 46]	85
Tabelle 26: Gesamtkostenrechnung Holzpellets- Zentralheizung [Datenquelle: 46]	86
Tabelle 27: Randbedingungen Biomasse - Nahwärme [Datenquelle: 46]	87
Tabelle 28: Gesamtkostenrechnung Biomasse - Nahwärme [Datenquelle: 46]	88
Tabelle 29: Randbedingungen Erdwärme- Wärmepumpenheizung [Datenquelle: 46]	89

Tabelle 30: Gesamtkostenrechnung Erdwärme- Wärmepumpenheizung [Datenquelle: 46]	90
Tabelle 31: Eckdaten Einfamilienhaus in Salzburg [Datenquelle: 56]	94
Tabelle 32: Eckdaten Einfamilienhaus in Oberösterreich [Datenquelle: 32]	95
Tabelle 33: Eckdaten Einfamilienhaus Niederösterreich [Datenquelle: 10]	97
Tabelle 34: Eckdaten Mehrfamilienhaus Bregenz [Datenquelle: 62]	98
Tabelle 35: Eckdaten Kindergarten Gmür.....	99
Tabelle 36: Eckdaten Uniqa Tower.....	101
Tabelle 37: Eckdaten Atrio	103
Tabelle 38: Eckdaten Mega BauMax Wels	104
Tabelle 39: Eckdaten Zentrale Trepka	105
Tabelle 40: Eckdaten Rotes Kreuz Gebäude [14]	107
Tabelle 41: Eckdaten Hauptbahnhof [Datenquelle: 24].....	111