WOHNBAUFORSCHUNG
NIEDERÖSTERREICH;
WOHNBAUFORSCHUNGSERFASSUNG 2006

ERFASSUNGSNUMMER:	822127
SIGNATUR:	WBF2006 822127
KATALOG:	A, INDEX ST. PÖLTEN
STATUS:	22 2
BESTART:	E
LIEFERANT:	WOHNBAUFORSCHUNG DOKUMENTATION 2006, WBF2006, WBFNOE
ERWAR:	B
EXEMPLAR:	1
EINDAT:	2006-04-18ej
BDZAHL:	1 Mappe + CD-ROM
HAUPTEINTRAGUNG:	Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität
TYP:	1
VERFASSER – VORL:	DI Heide Studer, tilia mayrhofer.staller.studer oeg
NEBEN – PERSONEN:	arsenal research, Geschäftsfeld Nachhaltige Energiesysteme – Heinrich Huber, Christian Köfinger; Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik: René Rieberer, Gerhard Em Tilia mayrhofer.staller.studer oeg – Ute Haage Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Arbeitsgruppe Rhizosphärenökologie und Biogeochemie

– Gerlinde Wieshammer, Michael Zivkovic, Walter W. Wenzel

NEBEN – SACHTITEL:

ZUSÄTZE: F 2127

VERLAGSORT, BEARBEITERADRESSE: tilia mayrhofer.staller.studer oeg; Technisches Büro für Landschaftsplanung; Hofmühlgasse 10/18; 1060 Wien; T: 01/587 36 83 – 30; F: 01/587 36 83 -4; e-mail: tilia@tilia.at; www.tilia.at

VERLAG, HERAUSGEBER: Eigenverlag

E-Jahr: 2006

UMFANG: 3 Seiten Abstract + 9 Seiten Kurzfassung + 161 Seiten Endbericht + 22 Seiten Anhang

FUSSNOTEN HAUPTGRUPPEN ABGEKÜRZT: BOGL

SACHGEBIET(E)/ EINTEILUNG BMWA: Energie; Info + Demo

ARBEITSBEREICH (EINTEILUNG NACH F-971, BMWA): Planung

SW – SACHLICHE (ERGÄNZUNG) Erdwärme; Wohnqualität; Wärmetechnik

PERMUTATIONEN: S1 / S2

BEDEUTUNG FÜR NIEDERÖSTERREICH:

Im Rahmen der Gartenberatungen der Aktion „Natur im Garten“ des Landes Niederösterreich zeigte sich, dass durch Erdkollektoren spezielle Fragen an die Gartengestaltung entstehen. Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde der Einfluss von Erdkollektoren auf die Gestaltungsmöglichkeiten und Nutzungsmöglichkeiten von Gärten und die damit verbundene Garten- und Wohnqualität untersucht. In interdisziplinärer Zusammenarbeit wurden an acht ausgewählten

niederösterreichischen Beispielen natürliche, gärtnerische und technische Einflussfaktoren erforscht.

BEDEUTUNG FÜR DEN WOHNBAUSEKTOR:

Die Ergebnisse des soeben fertig gestellten Forschungsprojektes untermauern die Sinnhaftigkeit der Alternativenergie-Förderung und geben wertvolle Aufschlüsse für künftige Planungen.

Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität

Kurzfassung 3/2006

Kurzfassung

Einleitung

Mit Wärmepumpen kann erneuerbare Energie - aus Luft, Wasser oder Erdreich zur Beheizung von Gebäuden genutzt werden. Ihr Einsatz ist ein aktiver Beitrag zum Klimaschutz. Die Anlagen werden daher seit vielen Jahren im Rahmen der niederösterreichischen Wohnbauförderung gefördert. In Österreich werden vorwiegend horizontal verlegte Erdkollektoren eingesetzt, da diese eine hohe Anlageneffizienz bei relativ geringem Installationsaufwand ermöglichen.
Im Rahmen der Gartenberatungen der Aktion "Natur im Garten" des Landes Niederösterreich zeigte sich, dass durch Erdkollektoren spezielle Fragen an die Gartengestaltung entstehen. Diese betreffen die Pflanzenauswahl, die Pflanzengesundheit, die Länge der Vegetationsperiode und Fragen der Bodenversiegelung.

Das Forschungsprojekt wurde von der Wohnbauforschung des Landes Niederösterreich, der Leistungsgemeinschaft Wärmepumpe Austria und dem Verein für Konsumenteninformation gefördert. Es untersuchte den Einfluss von Erdkollektoren auf die Gestaltungs- und Nutzungsmöglichkeiten von Gärten und die damit verbundene Garten- und Wohnqualität. In interdisziplinärer Zusammenarbeit (vgl. Abbildung 1) erforschten die Technische Universität Graz (Institut für Wärmetechnik), arsenal research (Geschäftsfeld Nachhaltige Energiesysteme), tilia - technisches büro für landschaftsplanung und die Universität für Bodenkultur (Department für Wald- und Bodenwissenschaften - Arbeitsgruppe Rhizosphärenökologie und Biogeochemie) natürliche, gärtnerische und technischen Einflussfaktoren. Die Untersuchung war als qualitative Forschung mit einigen Beispielen, die vielseitig untersucht wurden, angelegt.
Die Untersuchungen umfassten eine Literaturrecherche zum Pflanzenstandort Erdkollektor, zu technischen Grundlagen von Wärmepumpenanlagen, zum aktuellen Stand der Technik und zu Grundlagen der Freiraumplanung.
An acht ausgewählten niederösterreichischen Beispielen (vgl. Tabelle 1 und Abbildung 2) wurden gärtnerische und technische Faktoren sowie die Bodenverhältnisse untersucht. Ein Laborversuch erforschte darüber hinaus den Einfluss kühler Bodentemperaturen auf das Wurzelwachstum von Pflanzen.

Abbildung 1: Versuchsanordnung des Forschungsprojekts

Wärmepumpentechnik

Besonders im Neubaubereich, aber auch bei der Sanierung von Altbauten, stellen Wärmepumpen heute eine ernst zu nehmende Alternative zur „konventionellen“ Heizung und Warmwasserbereitung dar. Wärmepumpen können Luft, Wasser und Erdreich als Energiequelle verwenden, wobei rund drei Viertel der Wärmepumpenanlagen in Österreich das Erdreich nutzen. Das Erdreich ist ein beachtlicher Wärmespeicher, der über Sonneneinstrahlung, Luftströmung und Regen Energie aus der Atmosphäre aufnimmt. Das Erdreich kann mittels horizontal verlegter Kollektoren oder vertikaler Tiefensonden als Wärmequelle für Wärmepumpen genutzt werden. Ein Kollektor ist eine horizontal in etwa 0,8-2 m Tiefe eingegrabene Rohrschlange, als Richtwert gilt eine Verlegungstiefe von 0,3 m unter der Frostgrenze. Durch den Kollektor strömt ein Wärmeträger, der dem umliegenden Erdreich Wärme entzieht und dieses abkühlt. Der Wärmeträger „transportiert“ die Energie zur Wärmepumpe, in der mit Hilfe eines elektrisch betriebenen Kompressors diese auf ein – für die Heizung oder Warmwasserbereitung benötigtes – höheres Temperaturniveau gebracht wird. Die Auslegung des Kollektors erfolgt in der Regel vom Anlagenbauer nach Erfahrung bzw. laut Richtlinien (z.B. VDI 4640) und nimmt auf die spezifische

Entzugsleistung, grob auf die Lage des Grundstücks und den vorhandenen Boden Rücksicht. Bei den untersuchten Anlagen entsprach die Kollektorfläche in kühlen Gegenden wie dem Waldviertel 2,3- bis 2,7-mal der Wohnfläche, in wärmeren Gegenden lagen die Werte zwischen 1,0 und 1,7. Der branchenübliche Richtwert für die Kollektorfläche liegt bei ca. 1,6- bis 2-mal der Wohnfläche.

	Grundstücks-fläche	Kollektor-fläche	Kollektortiefe	in Betrieb seit	Wärmepumpen-system	Wohnfläche	Heizlast Gebäude	Warmwasser-bereitung mit Wärmepumpe	
	m²	m²	cm	Jahr	WQA	m²	kW	ja	nein
Gr. Gerungs 1	5000	600	120	1997	DV	265	17,6	X	
Gr. Gerungs 2	920	350	145	1999	DV	130	12,9		X
Ziersdorf	660	400	155	2001	DV	320	13,5		X
Stollhofen	1200	240	100	1986	DV	159	11,0	X	
Katzelsdorf	1040	390	105	2000	DV	230	11,2		X
Gneixendorf	820	360	100	1999	DV	240	14,2	X	
Karlstetten	890	310	120	1994	Sole	180	11,4		X
Schönfeld	1400	300	120	1998	DV	180	15,0		X

Tabelle1: Kenndaten der Beispiele

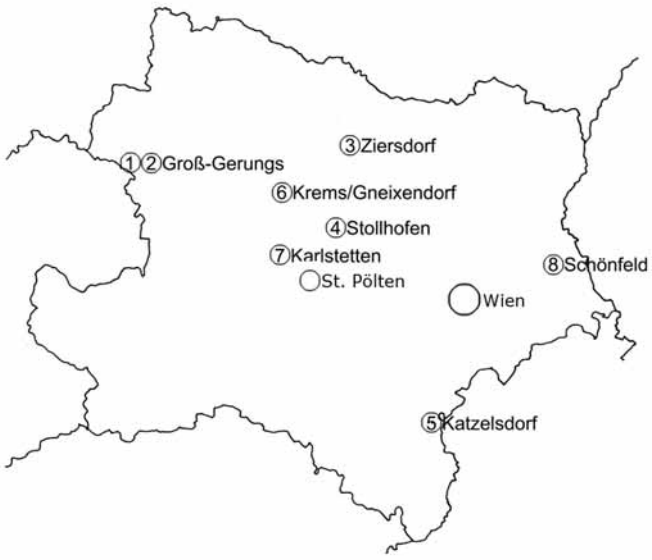


Abbildung 2: Lage der Beispiele

Witterungsverlauf

Der Witterungsverlauf im Untersuchungszeitraum 2004/2005 brachte keine extremen Verhältnisse. Der späte Wintereinbruch Ende Jänner 2005 und die lang andauernde Schneedecke bis Mitte März waren für den Betrieb der Erdkollektoren eher günstig. Der Frühlingsbeginn war etwas später als im Durchschnitt, die größeren Niederschlagsmengen im April und die Wärme im Frühling und Frühsommer waren eher positiv für die Erwärmung des Erdreichs.

Anlageneffizenz

Das Maß für die Effizienz ist die Jahresarbeitszahl JAZ, die das Verhältnis von abgegebener Wärme zu aufgenommener elektrischer Antriebsenergie innerhalb eines Jahres beschreibt. Bei den untersuchten Anlagen ergaben sich Werte zwischen 3,04 und 4,54 (vgl. Abbildung 3). Im Vergleich zu anderen Wärmepumpenanlagen sind die Jahresarbeitszahlen gut, wobei es sich bei der Anlage mit einer JAZ von 3,04 um eine Anlage handelt, die bereits seit 20 Jahren in Betrieb ist und dem damaligen Stand der Technik entspricht. Aus diesen Werten geht hervor, dass nur ein geringerer Teil der Energie für Heizung und fallweise auch Warmwasser in Form von elektrischer Energie aufgewendet werden muss.

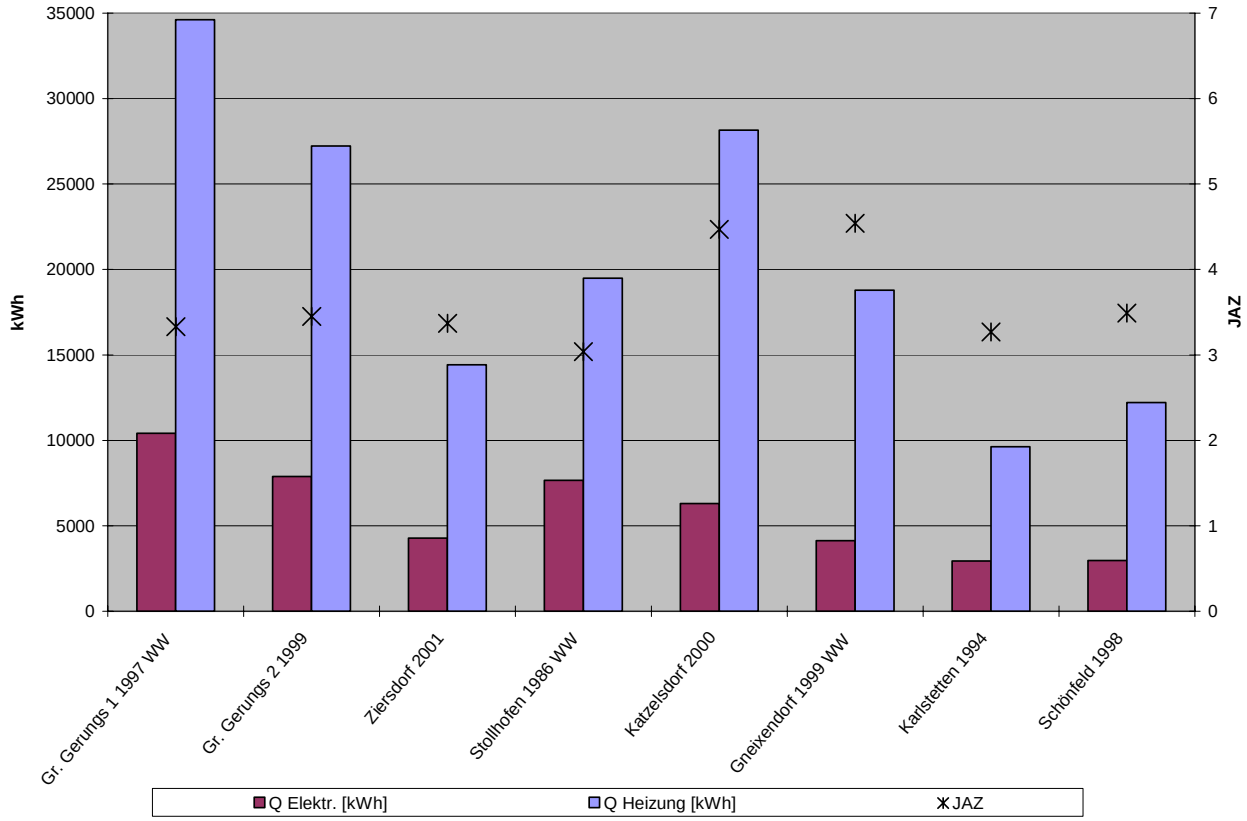


Abbildung 3: Vergleich von Energie-Input, -Output und der Jahresarbeitszahl

Einflüsse auf den Boden

Grundsätzlich ist ein fachgerechter Erdbau bei der Verlegung des Erdkollektors wichtig, damit keine Verdichtungen im Boden entstehen und ein gutes Pflanzenwachstum möglich ist.

Die Bodenart hat für die Auslegung der Anlage Bedeutung. Leichte, sandige Böden haben eine gute Temperaturleitfähigkeit und erwärmen sich demnach im Frühjahr rascher, kühlen aber im Herbst auch schneller aus. Schwere, tonige Böden haben eine schlechtere Temperaturleitfähigkeit und erwärmen sich langsamer, sind aber in der Lage, einmal absorbierte Wärme länger zu speichern als ein leichter Boden. Ein nicht zu schwerer, aber auch nicht zu leichter, feuchter

Boden, wie z.B. ein Lehmboden, stellt eine gute Grundlage für einen Erdkollektor dar. Alle acht untersuchten Beispiele haben leichte Böden.
Im Winter verhindert eine Schneedecke das Eindringen von Frost und konserviert die im Boden vorhandene Wärme, wodurch die Abkühlung des Bodens im Winter gebremst werden kann.

Erdkollektoren kühlen das Erdreich ab, indem sie dem Boden das Winterhalbjahr über Energie entziehen. Die mittlere Entzugsleistung je m² Bodenfläche lag bei den untersuchten Anlagen zwischen 23 und 43,5 W/m^2 und betrug im Mittel 27,2 W/m^2. Abbildung 4 zeigt an einem Beispiel die Temperaturverläufe des Erdreichs und der Luft über ein Jahr.

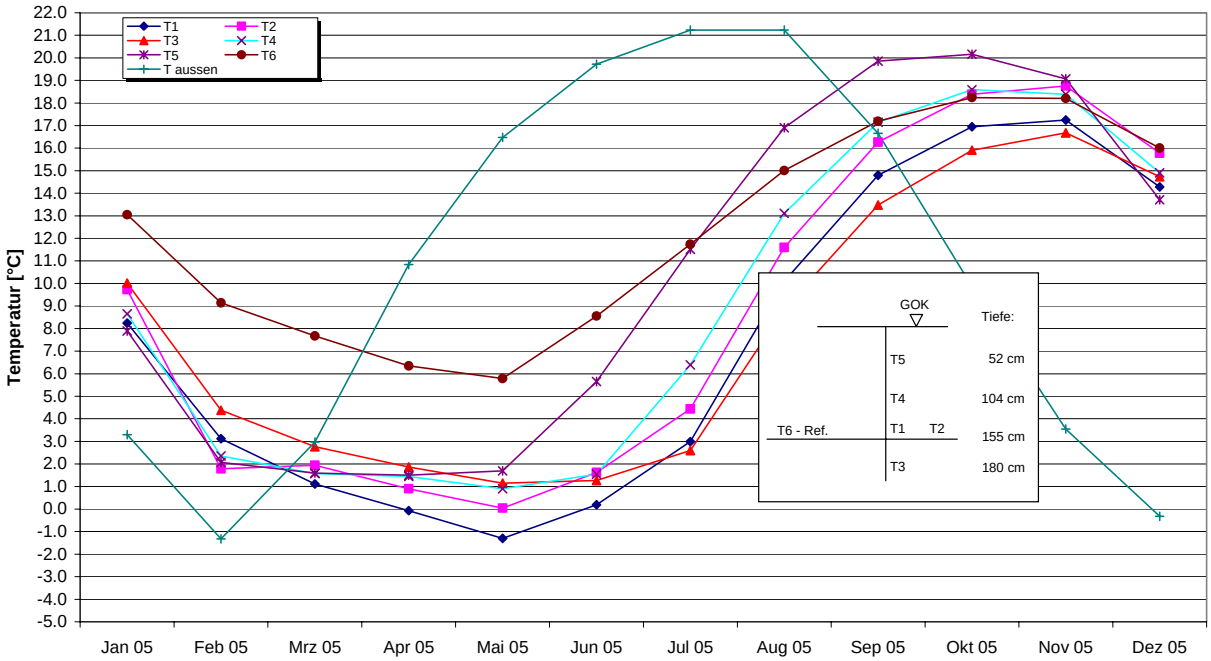


Abbildung 4: Monatsmittelwerte der Luft- und Erdreichtemperatur der Anlage Ziersdorf

Die gemessene Abkühlung war im Bereich des Kollektors am größten, die Temperaturdifferenz auf Kollektorebene lag im Winter bei 2-6 Grad im Vergleich zu Flächen ohne Erdkollektor. Die Temperaturen direkt bei den Leitungsrohren schwankten betriebsbedingt und konnten, während die Wärmepumpe in Betrieb war, mehrere Grad tiefer sein. Eine zusammenhängende Eisschicht auf Kollektorniveau mit Monatsmittelwerten deutlich unter 0°C kam bei richtig dimensionierten Anlagen nicht vor. Im Frühling und Frühsommer waren die Temperaturunterschiede zwischen den Böden mit und ohne Kollektor auf Kollektorebene mit 6-10 Grad im Monatsmittel am größten, im Hochsommer verringerte sich der Temperaturunterschied bis auf 1-2 Grad.
Beispiele aus der Literatur zeigen, dass in Bodentiefen bis zu 0,8 m der Boden im Winter kühler ist. Ab April erreichen Böden in dieser Tiefe mit und ohne Kollektor die gleichen Temperaturen.

Die niedrigere Bodentemperatur beeinflusste das Bodenleben – die Menge der mikrobiellen Biomasse war über den Erdkollektorflächen geringer als auf Vergleichsflächen. Die damit in Zusammenhang stehende geringere Umsetzung von organischem Material in der obersten Bodenschicht kann durch Düngung oder Mulchen, das auch die Wärmespeicherung an der Bodenoberfläche erhöht, ausgeglichen werden.

Einflüsse auf die Vegetation

Gemüse, Blumen und Stauden wurden ohne Probleme auf Erdkollektoren gezogen. Das Erdreich erwärmte sich im Frühjahr etwas langsamer, wie Untersuchungen zur Länge der Vegetationsperiode und Bodentemperaturmessungen zeigten. Der Verzögerung des Pflanzenwachstums von einigen Tagen bis zu 2,5 Wochen wurde in einigen Gärten durch Verbesserung des Kleinklimas, z.B. durch Windschutz oder Trockensteinmauern zur Wärmespeicherung entgegengewirkt. Bei einem Garten wurde besonders deutlich, dass es ist wichtig ist, die Lage des Grundstücks und das Kleinklima zu berücksichtigen, damit sich die Verzögerungen der Vegetationsperiode durch ein ungünstiges Kleinklima und durch den Erdkollektor nicht überlagern.

Die Erdkollektoren verzögerten das Wachstum des Rasens im Frühling, ohne allerdings den Rasen zu schädigen. Nach dem ersten Rasenschnitt war kein Unterschied zwischen Rasen über dem Kollektor und auf Flächen ohne Kollektor mehr sichtbar.

Bei Sträuchern und Bäumen ist es wichtig, auf standortgerechte Arten zu achten. Die Untersuchungen in den Gärten belegten, dass standortgerechte Pflanzen auf dem Kollektor gut wachsen. Die Wachstumsverzögerungen im Frühling bei Sträuchern und Bäumen waren nur geringfügig. Der Laborversuch mit einer Weide – Salix caprea (Kätzchenweide) – zeigte, dass diese Pflanzen sich trotz kühler Bodentemperaturen gesund entwickelten, aber die Biomasseentwicklung insgesamt verzögert wurde.

Obstbäume gediehen auf Kollektoren gut, die Frage des Ertrages konnte jedoch nicht geklärt werden, da die meisten Bäume zu jung waren und noch kaum Obst trugen. Sehr gut war der Ertrag bei Beerenobst wie Himbeere, Brombeere oder Ribisel.

Beim Einbau von Erdkollektoren wird oft empfohlen, keine „Tiefwurzler“ zu setzen. Grundsätzlich gibt es keine genauen Werte zur Wurzeltiefe von Gehölzen. Die Kollektoren liegen mit 1 bis 1,6 m in Bereichen, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass die Wurzeln vieler Gehölze diese Tiefe erreichen. Die Ergebnisse der Gartenuntersuchungen gaben keine Hinweise auf Schäden an den Wurzeln von Gehölzen auf den Kollektorflächen. Ob die Wurzeln durch Dickenwachstum die Kollektorleitungen verengen oder beschädigen, was ein Grund dafür sein könnte auf Bäume zu verzichten, ist nicht geklärt. Im Rahmen des Projektes wurden mehrere Spezialisten befragt, ob ihnen ein Fall einer Kollektorbeschädigung durch Wurzeln bekannt sei, und keiner konnte auf einen konkreten Fall verweisen. Auf jeden Fall ist es wichtig, bei der Fällung von

Bäumen den Wurzelstock durch Fräsen zu entfernen, um keine Schäden an den Rohren zu verursachen.

Einflüsse auf die Garten- und Wohnqualität

Das Forschungsprojekt machte deutlich, dass vor allem zwei Fragestellungen, die mit Erdkollektoren in Zusammenhang stehen, die Garten- und Wohnqualität beeinflussen und spezielle Voraussetzungen mit sich bringen: Bodenversiegelung und Baumpflanzungen.

Die technischen Richtlinien für Erdkollektoren (VDI 4640) empfehlen, dass keine versiegelten Flächen über Kollektoren liegen sollen. Das bedeutet, dass keine Gebäude, Schwimmbäder oder wasserundurchlässige Bodenbeläge (Asphalt, Stein/Beton/Klinker in Betonbett) über den Kollektoren sein sollten. Dadurch soll einerseits eine Unterdimensionierung des Kollektors vermieden werden und andererseits das über dem Kollektor befindliche Objekt vor Beschädigungen (Setzungen, Frost) geschützt werden. Daher ist es wichtig, vor der Anlage des Kollektors zu klären, wo noch Platz für diesbezügliche Veränderungen in den folgenden Jahrzehnten bleibt. Bei einigen der untersuchten Gärten wurde darauf geachtet und z.B. Platz für ein Schwimmbad freigelassen. Bei zwei Anlagen, die schon längere Zeit bestehen, wurden Schwimmbäder oder befestigte Sitzplätze auf der Kollektorfläche angelegt. Das zeigte, dass die Veränderbarkeit mit den sich ändernden Ansprüchen an den Garten ein wichtiger Aspekt der Qualität eines Gartens ist.

Wenn der/die GartenbesitzerIn sich an die Empfehlung, keine „Tiefwurzler“ zu setzen, hält, ist die Möglichkeit der Pflanzenwahl wesentlich eingeschränkt. Bäume sind im Garten wichtig als Schattenspender und Sichtschutz, sie bilden ein Dach, sie können Früchte tragen und durch Blüten und Herbstfärbung Farbe in den Garten bringen. In zwei Fällen führte die Empfehlung zum Verzicht auf größere Bäume über der Kollektorfläche. Die Interpretationen, welcher Baum ein „Tiefwurzler“ sei, waren sehr unterschiedlich und stimmten öfters auch nicht mit gärtnerischem Fachwissen überein. Darüber hinaus besteht für GartenplanerInnen, die KundInnen Bäume auf Kollektorflächen empfehlen, ein Haftungsproblem, falls Schäden an Rohrleitungen auftreten sollten. Ein Fehlen von Bäumen beeinträchtigt die Garten- und Wohnqualität wesentlich, daher sollte dieser umstrittene Punkt durch genauere Untersuchungen geklärt werden.

Beitrag zum Klimaschutz

Die Nutzung der Erde als Energielieferant führte bei den acht untersuchten Anlagen zu einem geringeren Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid. Der Total Equivalent Warming Impact (TEWI) ist ein anlagenspezifischer Wert für die Abschätzung des Einflusses auf die globale Erwärmung. Er beschreibt die durch das Kältemittel und den Betrieb der Wärmepumpenanlage hervorgerufenen Kohlendioxidemissionen und kann zum Vergleich mit anderen Heizsystemen (Gas- oder Ölkessel) herangezogen werden. Im Durchschnitt wurde bei den untersuchten Anlagen um 38 % weniger Kohlendioxid als bei Gasheizungen und

um 50 % weniger Kohlendioxid als bei Ölheizungen abgegeben. Bei Anlagen, die in den letzten Jahren errichtet wurden, lag der Kohlendioxidausstoß niedriger, bei älteren Anlagen höher. Diese Werte machen deutlich, dass Wärmepumpenanlagen einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Weiterer Forschungsbedarf

Im Laufe der Bearbeitung zeigten sich mehrere Fragestellungen, die für das Thema Erdkollektor und Gartennutzung von großer Bedeutung sind und zu denen noch Forschungsbedarf besteht:

Der Einfluss von Baumwurzeln auf Kollektorleitungen sollte über einen Laborlangzeitversuch geklärt werden. Die Ergebnisse würden Aufschluss darüber geben, ob sachlich fundierte Gründe bestehen, von einer Pflanzung von größeren Bäumen auf dem Kollektor abzusehen.

Die Reaktion von Wurzeln kälteempfindlicher Bäume auf Kältehorizonte sollte in einem Laborversuch untersucht werden. Im Rahmen dieses Projektes entschieden wir uns für ein robustes Gehölz, die Weide (Salix caprea), ein direktes Übertragen der Ergebnisse auf andere Gehölze ist nicht möglich.

Die Frage des Ertrages von Obstbäumen auf Kollektorflächen konnte aufgrund der Zusammensetzung der Beispiele nicht geklärt werden. Dafür müssten mehr Beispiele mit älteren Erdkollektoranlagen untersucht werden, da viele Obstbäume erst nach zehn und mehr Jahren ins Ertragsstadium kommen.

Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität

Endbericht 3/2006

Zum Gelingen des Forschungsprojektes war die Kooperation mit den acht Familien, deren Gärten und Wärmepumpenanlage untersucht werden konnten, und mit den Installateuren, die die Messeinrichtungen installierten, sehr wichtig. Danke für die gute Zusammenarbeit!
Bei Herrn O.Univ.-Prof. Dr. Halozan und Herrn DI Neudorfer bedanken wir uns für die wertvolle Unterstützung des Projektes.

Forschungsprojekt finanziert durch:
- Land Niederösterreich/Wohnbauforschung
- Verein für Konsumenteninformation
- Leistungsgemeinschaft Wärmepumpe Austria

AutorInnen:
- arsenal research, Geschäftsfeld Nachhaltige Energiesysteme: Heinrich Huber, Christian Köfinger
- Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik: René Rieberer, Gerhard Em
- tilia mayrhofer.staller.studer oeg, Technisches Büro für Landschaftsplanung: Heide Studer, Ute Haage
- Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Arbeitsgruppe Rhizosphärenökologie und Biogeochemie: Gerlinde Wieshammer, Michael Zivkovic, Walter W. Wenzel

Wien, März 2006

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 8

Teil A Wärmepumpen – Grundlagen und Kollektorauslegung

1. Einleitung 15

2. Funktionsweise und Typen von Wärmepumpen 17
2.1. Allgemeine Funktionsbeschreibung 17
2.2. Wärmequellen 19
2.2.1. Erdreich als Wärmequelle 20
2.2.2. Grundwasser als Wärmequelle 25
2.2.3. Luft als Wärmequelle 26
2.3. Kennzahlen zur Beschreibung der Wärmepumpeneffizienz 27
2.4. Umweltaspekte 30
2.4.1. Kältemittel 32
2.4.2. Wärmeträger 33
2.4.3. Öle 34

3. Auslegung von Erdreichkollektoren 35
3.1. Heizlast und Wärmeverbrauch 35
3.2. Auslegung des Kollektors lt. VDI 4640 38
3.3. Auslegung des Flächenkollektors nach SIA 41

4. Auswirkungen auf die Erdreichtemperatur (Vegetation) 43
4.1. Ergebnisse von Jansson & Lundin (1984) 43
4.2. Ergebnisse von Ginschel (1977) 45
4.3. Ergebnisse der Untersuchung von Specht (1979) 49
4.4. Ergebnisse von Bauer (1992) 52

5. Befragung von Wärmepumpeninstallateuren und –herstellern 54

6. Zusammenfassung 57

7. Literatur 59

Teil B Vergleich der Ergebnisse der Monitorings von acht Wärmepumpenanlagen

1. Kurzfassung 62

2. Aufgabenstellung 64

3. Rahmenbedingungen für das Monitoring von Wärmepumpenanlagen 64

4. Konzept des Monitorings von Wärmepumpenanlagen 65

5. Durchführung des Anlangenvergleichs 66
5.1. Messtechnik 66
5.2. Durchführung der Datenerfassung 69
5.3. Verwendete Messgeräte 69
5.4. Gegenüberstellung der Anlagen 72
5.5. Jahresarbeitszahl 73
5.6. Heizkosten 74
5.7. Total Equivalent Warming Impact 75
5.8. Vergleich der Erdreichtemperaturen 77

6. Beurteilung der Wärmepumpenanlagen 86

7. Literatur 87

Teil C Einflüsse von Erdkollektoren auf Garten- und Wohnqualität

1. Arbeitsweise und Methoden 88
1.1. Dokumentation der Beispiele 89
1.1.1. Freiraumplanerische Aufnahme 89
1.1.2. Beobachtung von Zeigern für die Länge der Vegetationsperiode 89
1.1.3. Visuelle Beurteilung der Pflanzengesundheit von Gehölzen 90
1.1.4. Vegetationsaufnahmen 91
1.1.5. Fokussierte Interviews 91
1.2. Zusammenführung der einzelnen Erhebungen 92
1.3. Forschungsergebnisse 93

2. Die Kurzbeschreibung der acht ausgewählten Gärten 94
2.1. Ausgewählte Anlagen 94
2.2. Übersichts-Karte 94
2.3. Eckdaten zu den naturbürtigen Rahmenbedingungen der Untersuchungsbeispiele 95
2.4. Gartenskizzen 98
2.5. Bodentemperaturen 99

3. Untersuchungsergebnisse der Feldforschung 101
3.1. Kurzer Exkurs zu Freiraumqualitäten 101
3.1.1. Gärten als tägliche Lebensräume 101
3.1.2. Gärten für die Wechselfälle des Lebens 102
3.2. Raumgliederung 103
3.2.1. Lage der Erdkollektoren im Garten 103
3.2.1. Vorgärten 103
3.2.3. Übergang Haus / Garten 104
3.2.4. Offene Aufenthaltsflächen 104
3.2.5. Wirtschaftsbereiche 105
3.2.6. Schwimmbecken 105
3.2.7. Grenzen 106
3.2.8. Übersichtstabelle 107
3.3. Nutzungen im Garten 108
3.3.1. Spielen 108
3.3.2. Erholen 108
3.3.3. Baden 108
3.3.4. Haustiere halten 109
3.3.5. Feiern 109
3.3.6. Gärtnern und Graben 109
3.3.7. Produzieren von Nahrung 109
3.4. Gartenwirtschaft und Pflanzengesundheit 109
3.4.1. Erdarbeiten vor der Anlage des Gartens 109
3.4.2. Bewirtschaftungsweise des Gartens 110
3.4.3. Pflanzengesundheit 110
3.5. Informationen zum Garten von den Anlagenbauern 112
3.5.1. Pflanzenauswahl 112
3.5.2. Kollektorlage und Abstände 112
3.5.3. Oberflächengestaltung 112
3.5.4. Geländemodellierung 113

3.6. Beobachtung der Länge der Vegetationsperiode 113
3.6.1. Auswertung der Beobachtungsbögen 113
3.6.2. Beobachtung des Wachstums im Frühling an Bäumen und Sträuchern 115
3.6.3. Beobachtung des Wachstums im Frühling am Rasen 116

4. Hinweise für die Gestaltung von Gärten mit Erdkollektoren 119
4.1. Kleinklima 119
4.1.1. Lage des Grundstückes und Länge der Vegetationsperiode 119
4.1.2. Gestaltung des Kleinklimas 120
4.2. Raum 121
4.2.1. Bepflanzung mit Bäumen 121
4.2.2. Sitzplätze 122
4.2.3. Veränderbarkeit 122
4.3. Boden 122
4.3.1. Bestimmung der Bodenart 122
4.3.2. Empfehlungen zum Einbau des Erdreiches 122
4.3.3. Wasserdurchlässigkeit von Bodenbelägen 123
4.4. Pflanzen 124
4.4.1. Gemüse, Blumen und Stauden 124
4.4.2. Gehölze 125
4.4.3. Rasen 128

5. Schlussfolgerungen 129

6. Literatur 131

Teil D Untersuchung des Einflusses von Veränderungen der Bodentemperatur durch Erdkollektorsysteme auf die Wurzelentwicklung von Pflanzen sowie auf die Quantiät der mikrobiellen Biomasse

1. Einleitung 135

2. Bodenbeprobung 135
2.1 Wärmehaushalt von Böden 137

3. Überprüfung der Homogenität von Kollektor- und Referenzflächen 142

4. Bestimmung der mikrobiellen Biomasse 145
4.1. Methode zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse im Boden 145

4.2. Ergebnisse und Diskussion 145

5. Rhizoboxversuche mit gekühlter Bodenschicht 149
5.1. Material und Methoden 149
5.2. Ergebnisse 151

6. Schlussfolgerungen 154

7. Literatur 155

Ergebnisse 157

Anhang Teil A
Fragenkatalog für Anlagenbauer/Wärmepumpenhersteller

Anhang Teil B
1. Berechnung der Energiekosten der Heizungsanlage
2. Berechnung des Primärenergieverbrauches
3. Berechnung der Schadstoffemissionen eines Ölkessels und Gaskessels
4. Berechnung der Schadstoffemissionen der Wärmepumpenanlage
5. Berechnung des TEWI
6. Tabellen
7. Literatur

Anhang Teil C
Interviewleitfaden GartenbesitzerInnen
Beobachtungsbogen für Zeiger für die Länge der Vegetationsperiode
Pflanzanleitung Blumenzwiebel
Beispiel einer Rasenaufnahme
Detaillierte Gartenskizzen

Einleitung

Themenstellung

Wärmepumpenanlagen nutzen erneuerbare Energie aus Luft, Wasser und Boden. Ihr Einsatz ist ein aktiver Beitrag zum Klimaschutz und sie werden daher seit vielen Jahren im Rahmen der niederösterreichischen Wohnbauförderung gefördert. Wärmepumpenanlagen werden oft mit Erdkollektoren ausgestattet, da diese eine hohe Effizienz aufweisen.
Im Rahmen der Gartenberatungen der Aktion "Natur im Garten" des Landes Niederösterreich und des Forschungsprojektes zeigte sich, dass durch Erdkollektoren spezielle Fragen an die Gartengestaltung entstehen. Diese betreffen die Pflanzenauswahl, -gesundheit, die Länge der Vegetationsperiode und Fragen der Bodenversiegelung. Das Forschungsprojekt untersuchte den Einfluss von Erdkollektoren auf die Gestaltungs- und Nutzungsmöglichkeiten von Gärten und die damit verbundene Garten- und Wohnqualität. Es wurden konkrete Hinweise für die Verlegung von Erdkollektoren und die Gartengestaltung ausgearbeitet und Themenbereiche aufgezeigt, wo noch Forschungsbedarf besteht.

In interdisziplinärer Zusammenarbeit wurden natürliche, gärtnerische und technischen Faktoren untersucht. Es arbeiteten erstmals Forschungsteams aus den Bereichen Gartenplanung/Gartenwirtschaft, Technologie/Energieversorgungssysteme und Naturwissenschaft/Boden zum Thema Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität zusammen.
Das Forschungsprojekt beinhaltete theoretische und empirische Untersuchungen. Die theoretischen Recherchen umfassten eine Literaturrecherche zum Standort Erdkollektor, technischen Grundlagen von Wärmepumpenanlagen, den aktuellen Stand der Technik und Grundlagen der Freiraumplanung.
Die empirischen Untersuchungen erfolgten an acht ausgewählten niederösterreichischen Beispielen, sie erfassten gärtnerische und technische Faktoren und die Bodenverhältnisse. Ein Laborversuch untersuchte darüber hinaus den Einfluss kühler Temperaturen auf das Wurzelwachstum von Pflanzen.

Das Forschungsprojekt verfolgte folgende Ziele:

- Leistung eines interdisziplinären Beitrages zum Klimaschutz
- Zusammenführung von Wissen zu Erdkollektoren in Wissenschaft, Technik und Praxis
- Entwicklung interdisziplinärer Erkenntnisse zur technischen Weiterentwicklung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen
- Aufzeigen von Zusammenhängen zwischen Haustechnik und Garten
- Darstellung von Einflüssen des Erdkollektors auf die Garten- und Wohnqualität
- Erkenntnisse zur gärtnerischen Behandlung von Erdkollektorflächen hinsichtlich Raumqualität des Gartens, Nachhaltigkeit und Ökologie im Garten
- Wissensvermittlung zwischen KonsumentInnen, Gartenfachleuten, TechnikerInnen, InstallateurInnen und WissenschaftlerInnen
- Hinweise für Installateure zur Verlegung der Kollektoren in Hinblick auf Gartenfragen
- Information für Personen und Einrichtungen, die private Haushalte beraten
- Unterstützung privater Haushalte durch seriöse Informationen zum Thema
- Innovativer Beitrag für ein positives Image von Wärmepumpenanlagen

Beiträge der Forschungsteams

Die folgende Graphik bietet eine Übersicht zur Versuchsanordnung und über die Beiträge der beteiligten Forschungsteams:

Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik – Teil A:

- Literaturrecherche zum Standort Erdkollektor
- Zusammenstellung der technischen Grundlagen von Wärmepumpenanlagen und des aktuellen Standes der Technik
- Interviews mit Wärmepumpenherstellern und Anlagenbauern

arsenal research, Geschäftsfeld Nachhaltige Energiesysteme – Teil B[1]:
- Technisches Monitoring der acht Wärmepumpenanlagen
- Messung der Jahrestemperaturkurven in unterschiedlichen Bodentiefen
- Beurteilung der Effizienz der acht Anlagen

tilia technisches büro für landschaftsplanung – Teil C:
- Untersuchung der Bedeutung von Erdkollektoren für die Garten- und Wohnqualität
- Dokumentation des gesamten Gartens, der Gartenstrukturen, -möblierung und der Vegetation (Bäume, Sträucher, Stauden, Wiese, Rasen), Verortung des Erdkollektors
- Beurteilung von Pflanzenwachstum und Pflanzengesundheit
- Vegetationsaufnahmen des Rasens
- Interviews mit den GartennutzerInnen
- Erarbeitung von Hinweisen für die Gartengestaltung

Universität für Bodenkultur, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Arbeitsgruppe Rhizosphärenökologie und Biogeochemie – Teil D:
- Entnahme und Untersuchung von Bodenproben
- Bestimmung der Quantität der mikrobiellen Biomasse
- Laboruntersuchung des Einflusses der Bodentemperatur auf die Biomasseentwicklung von Pflanzen

Die Untersuchungen und Erkenntnisse der einzelnen Teams wurden in regelmäßigen Treffen aller beteiligten ForscherInnen vorgestellt, diskutiert und zusammengeführt.

Die Projektleitung erfolgte durch das Landschaftsplanungsbüro tilia.

[1] Das (die) Prüfungsergebnis(se) bezieht(en) sich ausschließlich auf den (die) Prüfgegenstand(stände).
Im Falle einer Vervielfältigung oder Veröffentlichung dieser Ausfertigung darf der Inhalt nur wort- und formgetreu und ohne Auslassung oder Zusatz wiedergegeben werden. Die auszugsweise Vervielfältigung oder Veröffentlichung bedarf der schriftlichen Zustimmung des Forschungszentrums.

Auswahl der Untersuchungsbeispiele

Die Auswahl der Erdkollektoranlagen und Gärten erfolgte in Kooperation von arsenal research und dem Landschaftsplanungsbüro tilia im Sommer und Herbst 2004. Bei der Suche nach Beispielen griffen wir auf Anlagen der Mitglieder der Österreichischen Wärmepumpenverbände zurück, da das Projekt Partner für die Montage der Monitoringanlagen benötigte.

Auswahlkriterien:
- Einfamilienhaus mit Garten
- Betriebszeit der Wärmepumpenanlagen länger als 2 Jahre
- ganzjährige Nutzung des Hauses
- Grundstücksgröße über 800m2
- Referenzfläche mit Mindestabstand zum Kollektorfeld
- Möglichkeit zur Installation der Monitoringanlage

Bei folgenden Parametern wurde auf eine Streuung geachtet, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen:
- Wärmepumpenanlagen unterschiedlicher Herstellerfirmen
- Gärten in unterschiedlichen Landesteilen Niederösterreichs

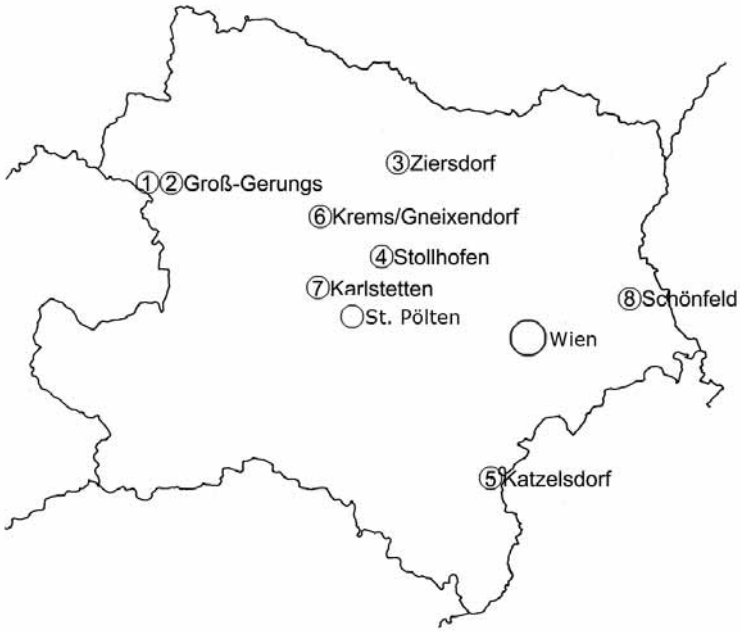
Telefonisch und per Mail wurde Kontakt mit Anlagenbauern der Österreichischen Wärmepumpenverbände aufgenommen, mit der Bitte um Nennung von geeigneten Anlagen in Niederösterreich. Insgesamt wurden 25 Anlagen genannt. Die EigentümerInnen wurden anschließend telefonisch kontaktiert, über das Forschungsprojekt informiert und gefragt, ob sie teilnehmen wollen, wenn ihre Wärmepumpenanlage und ihr Garten sich als Untersuchungsbeispiel eigneten. 15 Anlagen wurden als Grundlage für die Auswahl vor Ort von arsenal research und tilia besichtigt.
Einige gut geeignete Anlagen fielen dadurch weg, dass die EigentümerInnen die notwendigen Installationen als störend ablehnten. Andere Kollektoren lagen unter Äckern oder Wiesen oder die Gärten waren noch nicht angelegt und kamen daher nicht in Frage.

Folgende Anlagen wurden ausgewählt:

Nr.	Anlage	WP-System	In Betrieb seit	Grundstücks-fläche	Kollektor-tiefe
1	Groß Gerungs 1	Direktverdampfung	1997	5000 m²	120cm
2	Groß Gerungs 2	Direktverdampfung	1999	920 m²	145cm
3	Ziersdorf	Direktverdampfung	2001	660 m² *	155cm
4	Stollhofen	Direktverdampfung	1986	1200 m²	100cm
5	Katzelsdorf	Direktverdampfung	2000	1040 m²	105cm
6	Gneixendorf	Direktverdampfung	1999	820 m²	105cm
7	Karlstetten	Sole-Flachkollektor	1994	890 m²	100cm
8	Schönfeld	Direktverdampfung	1998	1400 m²	120cm

* Als Vergleichsfläche wurde das Nachbargrundstück herangezogen

Die Karte gibt einen Überblick über die Lage der Beispiele in Niederösterreich:



Witterungsverlauf

Für den Untersuchungszeitraum von Herbst 2004 bis Herbst 2005 werden die Witterungsverhältnisse in Anlehnung an Angaben der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien (vgl. www.zamg.ac.at) und Bezug nehmend auf Werte des Forschungsprojektes zu Schneedecke und Lufttemperatur zusammengefasst:

Herbst und Winteranfang waren vergleichsweise mild und trocken. Schnee fiel im November bzw. Dezember im Waldviertel und in Katzelsdorf und blieb nur über mehrere Tage liegen. Ende Jänner und Februar brachten Kälte und Schnee, der durch die kalten Temperaturen bis Mitte März liegen blieb. Diese Schneedecke verringerte den Frosteinfluss im Boden. Das Frühjahr war warm, mit deutlich überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen im April. Nach einem warmen Juni und Juli folgte ein kühler August mit viel Regen. September und Oktober waren mild, der Oktober trocken. Der Winterbeginn entsprach den üblichen Verhältnissen.

Insgesamt war das Jahr 2004 von den Temperaturverhältnissen her normal, im Weinviertel, Marchfeld und Wiener Becken um 0,2 bis 0,6 Grad wärmer als üblich (Beisp. 3,5,8). 2005 war im südlichen Waldviertel, dem Mostviertel und dem südlichen Industrieviertel um -0,2 bis -0,6 Grad kühler (Beisp. 1,2,5,6,7), im übrigen entsprachen die Temperaturverhältnisse den üblichen Verhältnissen.

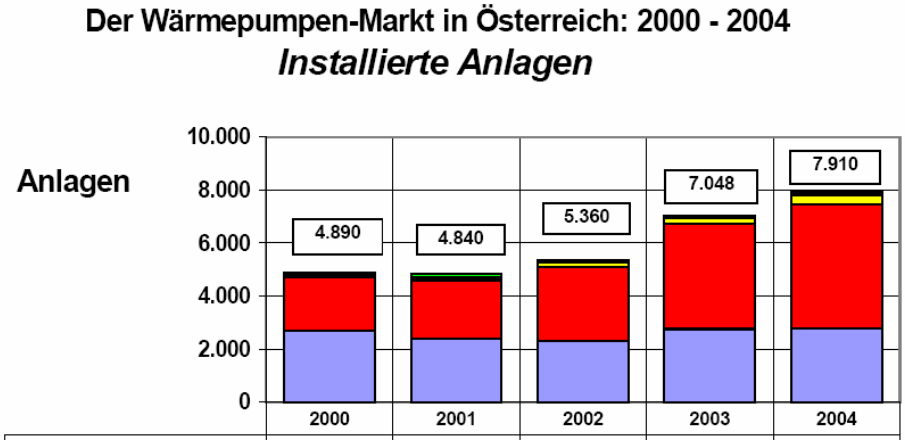
Der Witterungsverlauf bedeutete keine extremen Verhältnisse, sie waren mit dem späten Winterbeginn Ende Jänner und der lang andauernden Schneedecke bei Eintreten der Winterkälte für Erdkollektoren eher günstig. Der Frühlingsbeginn war später als üblich, die größeren Niederschlagsmengen im April und die Wärme im Frühling und Frühsommer günstig für die Aufwärmung der Erde.

A Wärmepumpen – Grundlagen und Kollektorauslegung

René Rieberer, Gerhard Em; Institut für Wärmetechnik,TU Graz

1. Einleitung

Die Verknappung der fossilen Brennstoffträger, wachsendes Umweltbewusstsein und nicht zuletzt ökonomische Gesichtspunkte haben in den letzten drei Jahrzehnten zu einer Vielfalt von Maßnahmen geführt, die vorhandenen Energiereserven so umweltschonend wie möglich zu nutzen. Dabei wurden in den letzten Jahren große Fortschritte bei der Nutzung regenerativer Energiequellen erzielt.
Neben der Solarenergie und Biomasse existiert am Eigenheimsektor eine weitere wichtige alternative Wärmebereitstellungstechnologie, welche regenerativ „Umgebungswärme" nutzt: die Wärmepumpe mit Luft, Grundwasser oder Erdreich als Wärmequelle.
Besonders im Neubaubereich, aber auch bei Sanierungen von Altbauten, stellen Wärmepumpen heute eine ernst zunehmende Alternative zu „konventionellen" Wärmebereitstellungstechniken für die Beheizung und Warmwasserbereitung dar (vgl. Abbildung 1-1).



	2000	2001	2002	2003	2004
Schwimmbadentfeuchtung	90	120	100	113	96
Wohnraumlüftung	80	120	160	221	362
Heizung	2.020	2.200	2.800	3.953	4.671
Brauchwasser	2.700	2.400	2.300	2.761	2.781

Abbildung 1-1 – Installierte Wärmepumpen in Österreich (Faninger, 2005)

Wärmepumpen haben sich in den letzten Jahren zu hocheffizienten High-tech-Produkten entwickelt und sind damit als Alternative zu fossil befeuerten Heizungssystemen bestens geeignet. Das Hauptargument für den Einsatz erdgekoppelter Wärmepumpen ist die positive Energie- und Umweltbilanz im Vergleich zur Öl- und Gasheizung (vgl. Gilli et al., 1999).

Um verschiedene Heizungstypen vergleichen zu können, muss jeweils die gesamte Prozesskette, von der Erschließung der Primärenergie (Abbau der Rohstoffe) bis zur Bereitstellung der Nutzenergie (Heizwärme), betrachtet werden. Die Wärmepumpe kann durch die Nutzung frei zur Verfügung stehender Umgebungswärme im Vergleich zu konventionellen Heizungsanlage einen wesentlichen Beitrag zur Primärenergieeinsparung leisten.

Beim gegenwärtigen Stand der Technik liegen die realisierbaren Einsparungen bei etwa 30 bis 45% gegenüber dem Ölkessel und bei 20 bis 35% im Vergleich zum Gasbrennwertkessel (lt. VDI 4640, Blatt 1; Basis: deutscher Stromerzeugungs-Mix).
Durch die Senkung des Einsatzes fossiler Brennstoffe im Bereich Raumheizung und Warmwasserbereitung wird ein wesentlicher Beitrag zur Reduzierung von CO_2-Emissionen, und damit des Treibhauseffektes, geleistet.

Zwei weitere Faktoren sprechen dafür, dass sich diese positiven Ergebnisse in Zukunft weiter zugunsten der Wärmepumpe entwickeln werden:
- Im Gegensatz zur Kesseltechnik hat die Wärmepumpe hinsichtlich Primärenergieeinsparung und CO_2-Minderung noch ein deutliches Entwicklungspotenzial.
- Die ständige Verbesserung der Stromerzeugungswirkungsgrade und der steigende Anteil der Stromerzeugung aus regenerativen Energien kommen sowohl bestehenden als auch zukünftigen Elektrowärmepumpen unmittelbar zugute.

Auf die viel diskutierten umweltrelevanten Eigenschaften der verwendeten Arbeitsmittel in Wärmepumpen (speziell der von Kältemittel) wird in Kapitel 2.4. eingegangen.
Durch zukunftsweisende Regelungssysteme, effiziente Verdichter und ausgereifte Serienfertigung erreichen moderne Wärmepumpenanlagen sehr hohe Jahresarbeitszahlen, in anderen Worten aus einem Teil Strom werden i.d.R. vier bis fünf Teile Wärme (vgl. Abbildung 1-2).

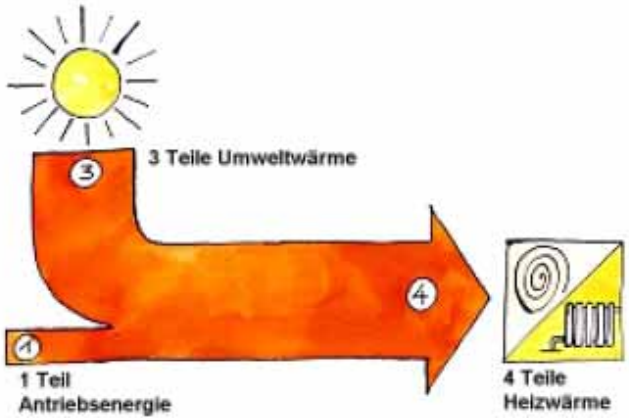


Abbildung 1-2 - Energiefluss in einer Wärmepumpe
(http://www.bwp.at/; 21.10.2005)

Wärmepumpen können ein Gebäude monovalent, das heißt ohne Zuhilfenahme eines zweiten Wärmeerzeugers vollständig mit Heizenergie und evtl. Warmwasser versorgen. Die Betriebskosten liegen unter den heutigen Rahmenbedingungen deutlich unter denen einer fossil befeuerten Heizungsanlage. Weiters werden in Bezug auf Zuverlässigkeit – im Vergleich zu früheren Jahren – höchste Anforderungen erfüllt.

In diesem Bericht werden die Funktionsweise von Wärmepumpen und die verschiedenen Wärmequellen (Kapitel 2), die Auslegungskriterien für Erdkollektoren (Kapitel 3) sowie deren Auswirkung auf die Erdreichtemperatur (Kapitel 4) und Ergebnisse einer Befragung von Wärmepumpenherstellern und -installateuren (Kapitel 5) beschrieben.

2. Funktionsweise und Typen von Wärmepumpen

In diesem Kapitel werden die Funktionsweise von elektrisch angetriebenen Wärmepumpen, die Eigenschaften der verschiedenen Wärmequellen, die Kennzahlen zur Beschreibung der Effizienz sowie Umweltaspekte behandelt.

2.1. Allgemeine Funktionsbeschreibung

Der prinzipielle Aufbau einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe ist in Abbildung 2-1 dargestellt: Die Wärmepumpe entzieht einer Wärmequelle (Erdreich, Wasser oder Luft) Wärme. Das geschieht dadurch, dass das

Arbeitsmedium im Wärmepumpenkreislauf (Kältemittel) bei relativ niedrigen Temperaturen zum Verdampfen gebracht wird (bei Wasser als Wärmequelle: im Bereich bis ca. 10°C, bei Erdreich und Luft als Wärmequelle: oft auch unter 0°C).

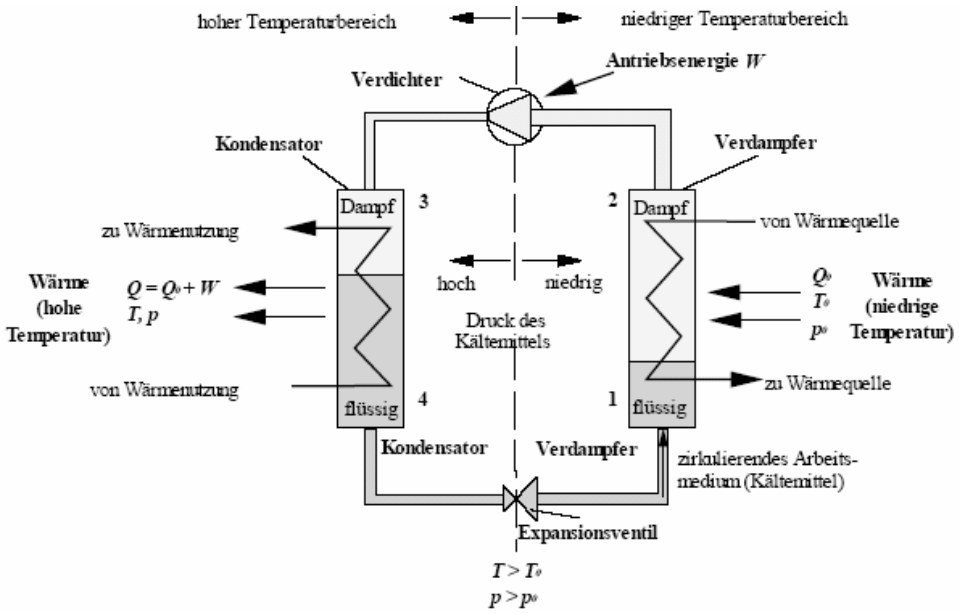


Abbildung 2-1 – Funktionsweise der Wärmepumpe (Leven et al., 2001)

Beim Verdampfungsprozess nimmt das Kältemittel Energie (= „Umgebungswärme"; vgl. 1 ⇒ 2 in Abbildung 2-1) auf. Daraus folgt, dass die Umgebung abkühlt (der Kühlschrank kühlt auf die gleiche Weise: der Luft im Inneren des Kühlschrankes wird Wärme entzogen, sie kühlt ab).
Der so entstandene Kältemitteldampf wird nun mit einem Verdichter durch den Arbeitskreislauf „gepumpt" (2 ⇒ 3). Durch den Verdichter steigt der Druck. Weil Druck und Temperatur des Kältemittels zusammenhängen, steigt mit dem Druck auch die Temperatur. Auf diese Weise wird auch die vom Verdichter aufgenommene elektrische Energie zum Großteil in Wärme umgewandelt.
Es erhöht sich auf diese Weise der Energieinhalt des vom Verdampfer kommenden Dampfes um die Energie aus dem Verdichter und das Kältemittel steht unter hohem Druck.

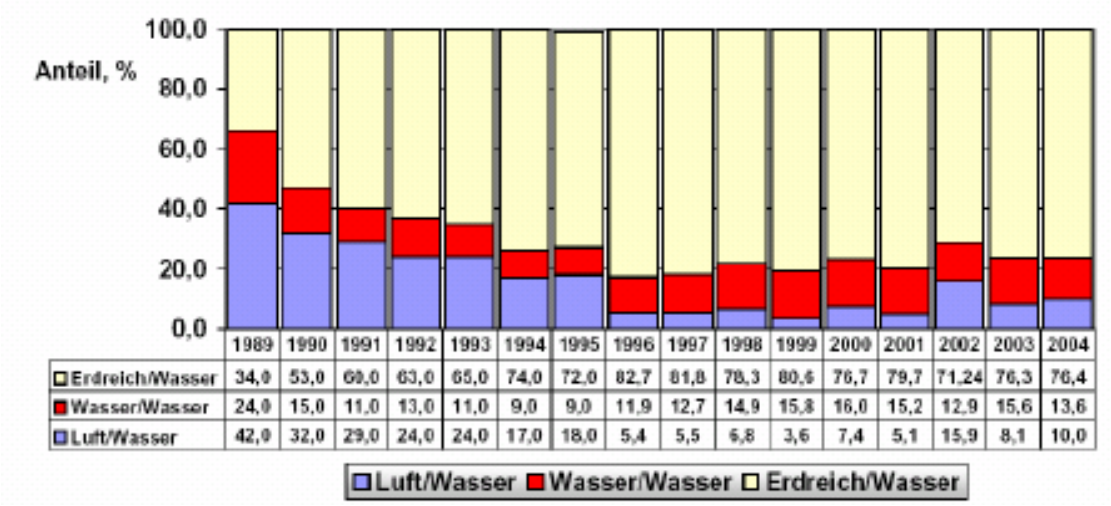
Im nächsten Schritt wird das Kältemittel wieder kondensiert (3 ⇒ 4), d.h. aus überhitztem Dampf wird wieder Flüssigkeit. Um zu kondensieren muss das Kältemittel die aufgenommene Energie an eine „Wärmesenke", also bei der Heizungswärmepumpe, i.d.R. das Wasser des Heizungssystems, abgeben. Diese Wärme steht nun für die Beheizung als Nutzenergie zur Verfügung.

Im nächsten Schritt (4 ⇒ 1) strömt das Kältemittel durch einen engen Querschnitt (Expansionsventil) und es wird dadurch vom hohen Druck im Kondensator auf den Niedrigen im Verdampfer entspannt. Das Kältemittel befindet sich nun wieder in seinem Ausgangszustand, und der Prozess beginnt von neuem.
Abbildung 1-2 zeigt schematisch den auf diese Weise erreichten Energiefluss in einer Wärmepumpe.

2.2. Wärmequellen

Als Wärmequelle wird der Energieträger (Medium) dem die Wärme entzogen wird bezeichnet: also Erde, Wasser oder (Außen-)Luft. Vermehrt wird auch Abwärme aus verschiedenen Prozessen, dem Abwasser oder der Abluft bei Lüftungssystemen genutzt.

Abbildung 2-2 zeigt die Verteilung der in Österreich verwendeten Wärmequellen. Dabei ist das Erdreich in den letzten Jahren mit ca. 70 bis 80% am stärksten vertreten. Im Jahr 2004 wurden ca. 4700 neue Heizungs- Wärmepumpen installiert und davon nutzen mehr als drei viertel (3570 Stück) das Erdreich als Wärmequelle.



	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Erdreich/Wasser	34,0	53,0	60,0	63,0	65,0	74,0	72,0	82,7	81,8	78,3	80,6	76,7	79,7	71,24	76,3	76,4
Wasser/Wasser	24,0	15,0	11,0	13,0	11,0	9,0	9,0	11,9	12,7	14,9	15,8	16,0	15,2	12,9	15,6	13,6
Luft/Wasser	42,0	32,0	29,0	24,0	24,0	17,0	18,0	5,4	5,5	6,8	3,6	7,4	5,1	15,9	8,1	10,0

Abbildung 2-2 - Wärmequellen für neue Heizungs-Wärmepumpen in Österreich (Faninger, 2005)

Erklärung zu Abbildung 2-2:
- Erdreich/Wasser: Wärmequelle = Erdreich, Wärmesenke = Wasser (Heizung)
- Wasser/Wasser: Wärmequelle = Wasser, Wärmesenke = Wasser
- Luft/Wasser bedeutet: Wärmequelle = Luft, Wärmesenke = Wasser

In den folgenden Abschnitten werden kurz die verschiedenen Wärmequellentypen charakterisiert.

2.2.1. Erdreich als Wärmequelle

Das Erdreich ist ein beachtlicher Wärmespeicher, der an seiner Oberfläche Sonnenstrahlung absorbiert und durch Konvektion (= „Luftzug") sowie Regen Energie aufnimmt. Die Wärmenachlieferung erfolgt überwiegend von oben (bis zu 1000 W/m^2 durch Sonneneinstrahlung, lt. VDI 4640) und nur zu einem sehr geringen Teil (kleiner 0,12 W/m^2, lt. VDI 4640) aus der Tiefe des Erdreichs. Dies wird durch den Temperaturverlauf im ungestörten Erdreich in Abbildung 2-3 veranschaulicht:

- In der obersten Schicht (ca. 0 bis 15 m) ist eine deutliche Beeinflussung der „ungestörten" Erdreichtemperatur durch die Außenlufttemperatur erkennbar. In 1 m Tiefe schwankt in Österreich (in „normalen" geografischen Lagen) die Erdreichtemperatur zwischen ca. 0°C (Frostgrenze im Winter) und ca. 15°C im Sommer.
- In einer Tiefe von ca. 15 bis 100 m ist die Erdreichtemperatur nahezu konstant (10 bis 13°C)
- und steigt dann um ca. 2 bis 4 Grad je 100 Meter Tiefe an.

Prinzipiell kann das Erdreich mittels horizontal verlegter Kollektoren oder vertikaler (Tiefen-) Sonden als Wärmequelle für Wärmepumpen genutzt werden.

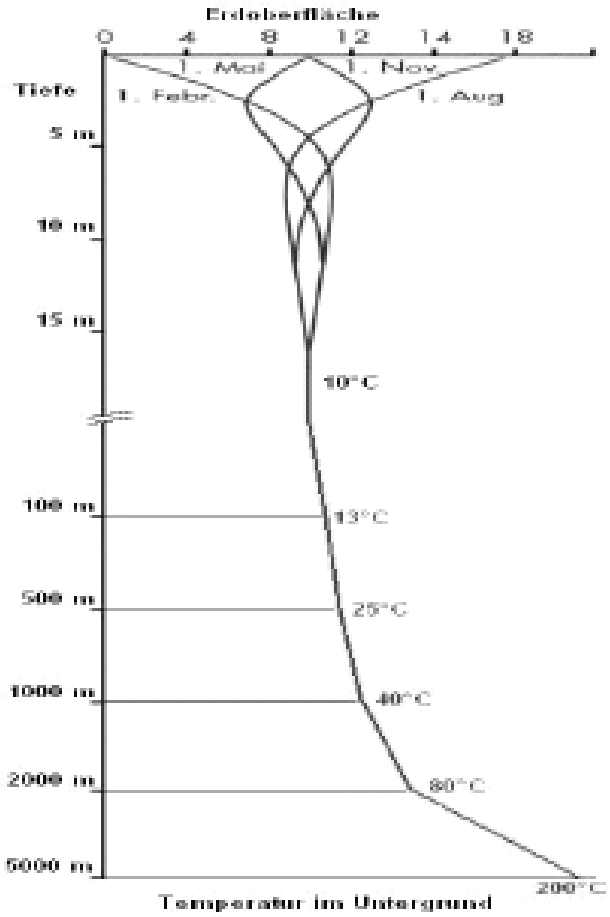


Abbildung 2-3 – Typischer Temperaturverlauf im ungestörten Boden
(http://www.gefga.de/frameseite.htm; 16. Juni 2005)

a) Kollektor

Ein "Kollektor" ist eine horizontal in etwa 0,8 bis 2 m Tiefe eingegrabene Rohrschlange durch die entweder ein Wärmeträger (Sole) bzw. direkt das Kältemittel der Wärmepumpe strömt (vgl. Abbildung 2-5). Während der Strömung durch den Kollektor nimmt der Wärmeträger bzw. das Kältemittel Wärme auf, und das umliegende Erdreich wird abgekühlt. Es gibt verschiedene Ausführungs- bzw. Verlegungsformen von Kollektoren (vgl. z.B. VDI 4640), schematisch ist ein Flächenkollektor in Abbildung 2-4 dargestellt.

Der Kollektor darf nicht unter einer versiegelten Oberfläche, z.B. unter Gebäuden, verlegt werden, da eine „Nachladung" mit Wärme von oben, also Luftströmung, Sonnenstrahlung und Regen gewährleistet sein muss, so dass die Erdreichtemperatur vor Beginn der Heizsaison auf „normales" Niveau ansteigen kann.

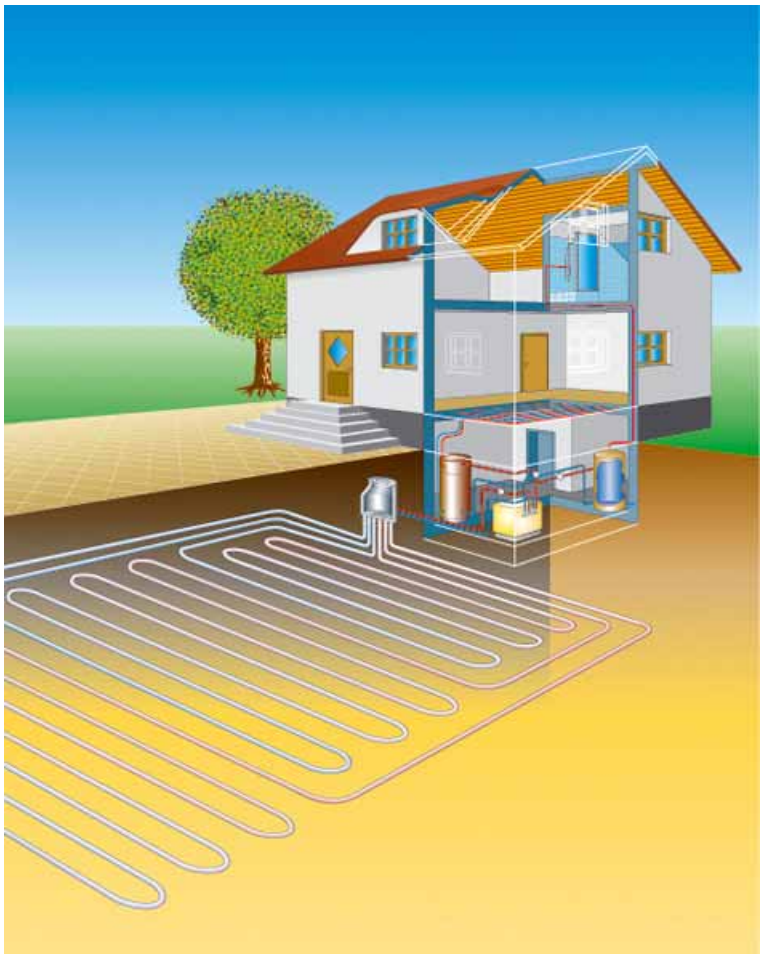


Abbildung 2-4 - Wärmepumpe mit Erdreichkollektor
(http://www.waermepumpe-bwp.de/index.php?entryid=137&entry=11; 6. Dez.. 2005)

Wie eingangs erwähnt, kann zwischen Anlagen mit Wärmeträgerkreislauf und Direktverdampfungs-Anlagen unterschieden werden (vgl. VDI 4640; Rieberer und Halozan, 2005):

- Bei einer Anlage mit Wärmeträgerkreislauf strömt in den – meist aus Kunststoff (z.B. Polyethylen-Rohre) gefertigten Rohren – ein Wärmeträger (Sole), mit der die Wärme vom Erdreich zum eigentlichen Wärmepumpenkreislauf (Kältemittel) transportiert wird. Dazu wird eine Sole-Umwälzpumpe benötigt.
- In einer Anlage mit Direktverdampfung wird auch der Kollektor vom Kältemittel des Wärmepumpenkreislaufs durchströmt, das Kältemittel dient hier zugleich als Wärmeträger. Die Kollektorrohre sind meist aus Kupfer und haben eine Polyethylen-Beschichtung zum Schutz vor Korrosion.

Den prinzipiellen Aufbau dieser Systeme zeigt Abbildung 2-5. Hier ist anzumerken, dass der Kollektor bei Heizungswärmepumpen aus mehreren

parallel geschalteten Kollektorkreisen besteht, um den Strömungswiderstand durch den Kollektor zu minimieren.

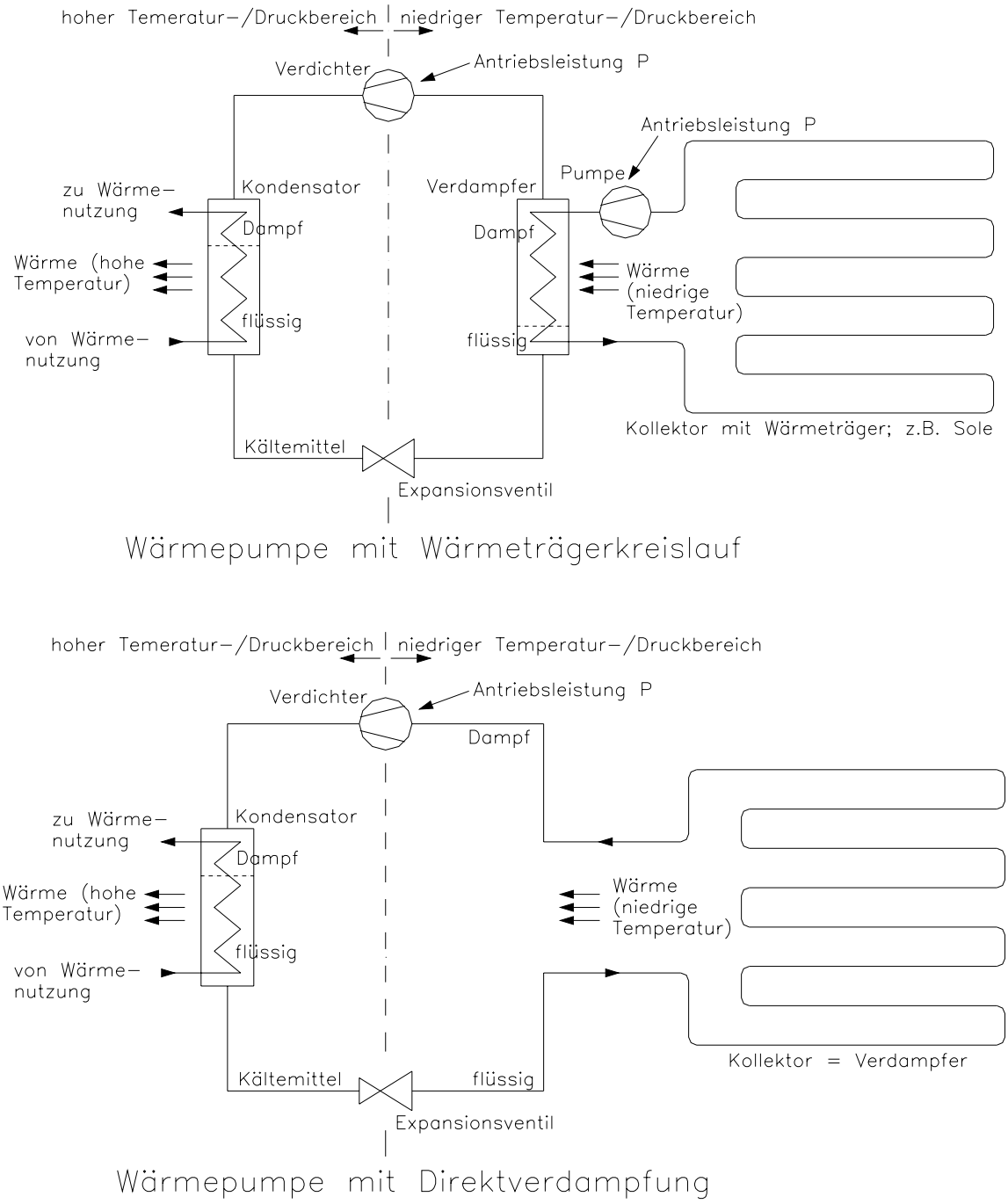


Abbildung 2-5 – Aufbau einer Wärmepumpe mit Sole als Wärmeträger (oben) und mit Direktverdampfung

Anmerkung zur Genehmigung von Erdreich-Wärmepumpen: Es sei auf das Bundesgesetzblatt aus dem Jahre 2001 (109. Bundesgesetz: Agrarrechtsänderungsgesetz 2001, Nr.: GP XXI RV 642 AB 700) verwiesen. Dieses Gesetz beinhaltet u.a. die Änderung des Wasserrechtsgesetzes 1959. Darin ist angeführt, dass Flachkollektoren i.A. nicht wasserrechtlich genehmigt werden müssen, es sei denn, sie werden in Wasser-Schutz- bzw. –Schongebieten errichtet. Empfehlung: Vor der Errichtung einer Erdkollektoranlage bei der Behörde (Gemeinde) erkundigen, ob eine Genehmigung benötigt wird.

b) Tiefensonde

Bei der (Tiefen-)Sonde handelt es sich um vertikal in den Boden getriebene Rohre oder in ein Bohrloch eingebrachte Rohrschlange(n). Durch diese Rohrschlange(n) strömt der Wärmeträger (z.B. Sole, s.u.) der – wie beim Kollektor – dem Erreich die Wärme entzieht und zur Wärmepumpe transportiert. Eine schematische Darstellung einer Sondenanlage zeigt Abbildung 2-6.

Durch die vertikale Einbringart ist der Platzbedarf weitaus geringer als beim Kollektor und die Temperatureinflüsse der Außenluft sind geringer (vgl. Abbildung 2-32-3). Jedoch sind mit der Installation höhere Investitionskosten als bei Kollektoren verbunden.

In Österreich werden meist ca. 20 bis 100 Meter tiefe Sonden installiert. Wird die Sonde in ein Bohrloch eingebracht, so muss der Hohlraum mit gut wärmeleitendem Material hinterfüllt werden, um einen guten Wärmetransport vom Erdreich zur Sonde zu gewährleisten.

Abbildung 2-6 - Wärmepumpe mit Tiefensonde
(http://www.waermepumpe-bwp.de/index.php?entryid=137&entry=10; 6. Dez. 2005)

2.2.2. Grundwasser als Wärmequelle

Von Grundwasser-Wärmepumpen wird gesprochen, wenn Wärme dem unterirdischen Wasserstrom entnommen wird. Abbildung 2-7 zeigt den schematischen Aufbau einer Grundwasser-Wärmepumpe.

Dazu sind zwei Bohrungen nötig: aus der ersten Bohrung (Förderbrunnen) wird Grundwasser abgezogen, in die Zweite (Schluckbrunnen) wird das entnommene Grundwasser wieder ins Erdreich eingespeist. Oberirdisch liegt dazwischen ein Wärmetauscher, mit dem Wärme vom Grundwasser auf den Kältemittelkreislauf übertragen wird. Das Wasser wird dabei abgekühlt.

Die Grundwassertemperaturen bleiben über das Jahr relativ konstant und bewegen sich zwischen 8 und 10°C. In dicht verbauten Gebieten (Städten) kann der Grundwasserstrom aber Temperaturen von bis zu 20°C erreichen (vgl. Messungen in Deutschland von 1982 bis 1984

http://www.muenchen.de/Rathaus/rgu/vorsorge_schutz/grundwasser/gw_situation/isothermen/88674/; 22.Juni 2005). Die Temperaturabsenkung kann daher in besonders dicht verbautem Gebiet durchaus erwünscht sein.

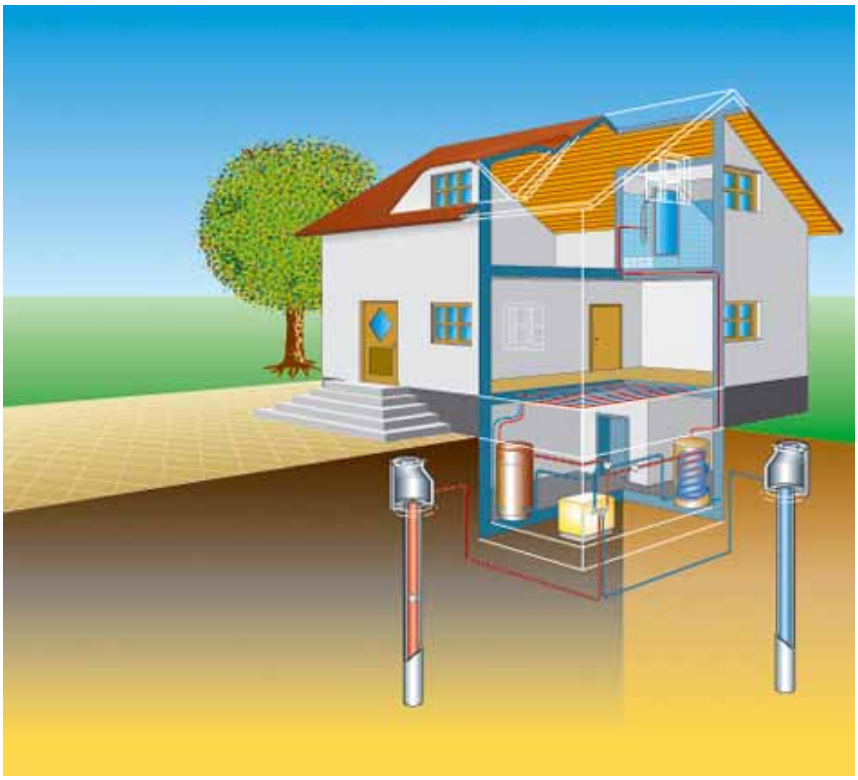


Abbildung 2-7 - Grundwasser-Wärmepumpe
(http://www.waermepumpe-bwp.de/index.php?entryid=137&entry=12; 6. Dez. 2005)

Da das in das Erdreich eingeleitete Wasser eine niedrigere Temperatur als das abgezogene Wasser hat, muss die Einspeisebohrung in Strömungsrichtung des Grundwassers liegen und von der Wasserentnahmebohrung ca. 15 bis 20 m entfernt sein.

2.2.3. Luft als Wärmequelle

Bei Außenluft-Wärmepumpen „spendet" die Außenluft (Umgebungsluft), bei Abluft-Wärmepumpen die Abluft aus den Wohnräumen die Wärme für den Wärmepumpenprozess. Der Wärmeentzug erfolgt dabei meist direkt aus der Luft, d.h. ohne Wärmeträger, mittels eines Luft/Kältemittel-Wärmetauschers (Verdampfer). Schematische Darstellung siehe Abbildung 2-8.

Wenn Außenluft als Wärmequelle genutzt wird, muss bei der Auslegung darauf geachtet werden, dass diese im Vergleich zu den vorher beschriebenen Wärmequellen einen sehr stark schwankenden Temperaturverlauf aufweist, was

sich auf die Leistung und Effizienz nachteilig auswirkt. Ein wesentlicher Vorteil dieser Anlagen liegt in den niedrigeren Investitionskosten.

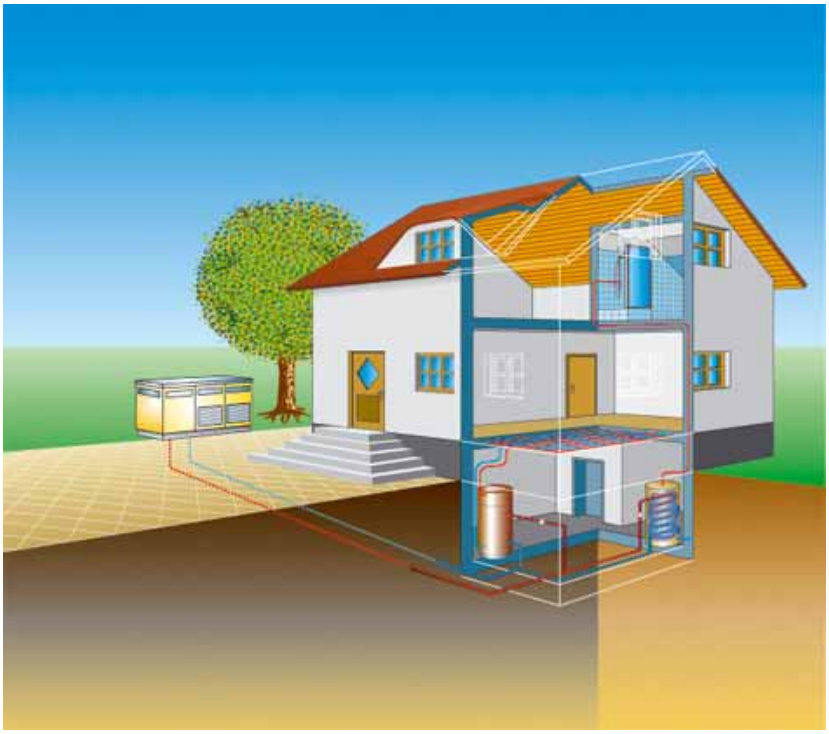


Abbildung 2-8 - Außenluft-Wärmepumpe (http://www.waermepumpe-bwp.de/index.php?entryid=137&entry=13; 6. Dez. 2005)

2.3. Kennzahlen zur Beschreibung der Wärmepumpeneffizienz

In Tabelle 2-1 sind die wichtigen Kennziffern „Leistungszahl" und „Arbeitszahl" definiert, die zur Beschreibung der Effizienz einer Wärmepumpe verwendet werden. Die Effizienz von Elektrowärmepumpen über ein Jahr hinweg wird durch die Jahresarbeitszahl β_a (= SPF) beschrieben, bei der die abgegebene Nutzarbeit zur aufgewendeten Antriebsarbeit ins Verhältnis gesetzt wird. Mit dieser Kennzahl wird die Effizienz während eines Jahres (oder bestimmten Zeitraums z.B. Heizperiode) der Anlage gemessen. Zusätzlich zur Antriebsarbeit des Kompressors geht dabei auch der Energieverbrauch peripherer Komponenten ein, wie z. B. Pumpen auf der Wärmequellenseite zur Zirkulation des Wärmeträgers.

Während die Leistungszahl ε (COP) unter vorgegebenen Betriebsbedingungen (Temperaturen) ermittelt wird, stellen sich die für die Arbeitszahl maßgebenden Größen durch den praktischen Betrieb in der Anlage ein. Die Arbeitszahl (meist

Jahresarbeitszahl) ist daher eine aussagekräftigere Beschreibung der Effizienz für beispielsweise eine Wärmepumpenanlage mit Flachkollektor.

Die Leistungszahlen moderner Elektrowärmepumpen sind in den vergangenen Jahren stetig gestiegen, wie auch die Evaluierung der Niederösterreichischen Wärmepumpenförderung gezeigt hat (vgl. Ferenczy, 2003). Dazu beigetragen haben vor allem bessere Komponenten und Fortschritte bei der Auslegung und Installation der Anlage.
Verdeutlicht wird dies auch durch die – normierten – Messungen der Leistungszahl, wie sie beispielsweise bei Arsenal Research in Wien oder im Wärmepumpentestzentrum Töss (Ch) durchgeführt werden. Abbildung 2 zeigt den Anstieg der Leistungszahlen durch Verbesserungen in der Wärmepumpentechnik.

Hierbei ist anzumerken, dass für die Bestimmung der Leistungszahlen bei den unterschiedlichen Wärmequellen – der Realität entsprechend – auch unterschiedliche Wärmequellentemperaturen angesetzt werden. Da diese Temperatur wesentlich die Effizienz der Anlage bestimmt, werden auch unterschiedlich hohe Leistungszahlen erreicht.

Tabelle 2-1 - Kennzahlen von Wärmepumpen
(in Anlehnung an http://www.erdwaerme-systeme.de/Literatur/literatur.html)

Name	Berechnung / Bedeutung	Aussage
Leistungszahl ε (engl.: COP)	Das momentane Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung zu aufgenommener elektrischer Antriebsleistung, bezogen auf einen bestimmten Anlagenumfang gemäß Norm *), für einen bestimmten Arbeitspunkt (Temperaturverhältnis); im englischen Sprachgebrauch COP (Coefficient of Performance) $\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{P}$ $\dot{Q}$ ...abgegebene (Wärme-)Leistung in [kW] P...aufgenommene el. Leistung in [kW]	Momentane Effizienz einer Elektro-Wärmepumpe bei bestimmter Wärmequellen/ -senkentemperatur
Jahresarbeitszahl β_a (engl.: SPF)	Das Verhältnis aus jährlich gelieferter Wärme zu jährlich aufgenommener elektrischer Antriebsenergie, bezogen auf einen bestimmten Anlagenumfang **); im englischen Sprachgebrauch SPF (Seasonal Performance Factor) $\beta_a = \frac{Q_a}{W_a}$ Q_a ....jährlich abgegebene Wärme; in [kWh] W_a ....jährlich aufgenommene el. Antriebsenergie;in [kWh]	Effizienz einer Wärmepumpen-anlage während eines Jahres (Heizperiode)

*) vgl. ÖNORM EN 14511; **) vgl. VDI 2067

Bei Grundwasserwärmepumpen liegen die Jahresarbeitszahlen von Neuanlagen im Bereich von etwa β = 4,0 bis ggf. etwas über β = 4,5. Bei der Nutzung von Erdreich als Wärmequelle werden Jahresarbeitszahlen von etwa β = 3,8 bis 4,3 erreicht. Bei Direktverdampfung kann die Arbeitszahl der Anlage rund 10 bis 15% höher liegen (lt. http://www.ews-erdwaerme.de/uploads/wp.pdf, Stand 04.01.2006).

Maßgeblich für hohe Arbeitszahlen der Wärmepumpenanlagen sind dabei eine ausreichende Dimensionierung der Wärmequellenanlagen und eine möglichst niedrige Temperatur auf der Wärmesenkenseite, d.h. eine niedrige Vorlauftemperatur des Heizungssystems (z.B. bei Fußbodenheizung 35°C am kältesten Tag).

Bzgl. des Anteils der mittels Wärmepumpe genutzten Umweltwärme ist festzuhalten, dass bei steigender Leistungs- bzw. Jahresarbeitszahl, die der Wärmequelle entzogene Leistung bzw. Energie ansteigt. Dies muss bei der Auslegung der Anlage, z.B. bei der Größe des Erdkollektors, berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 3.2.).

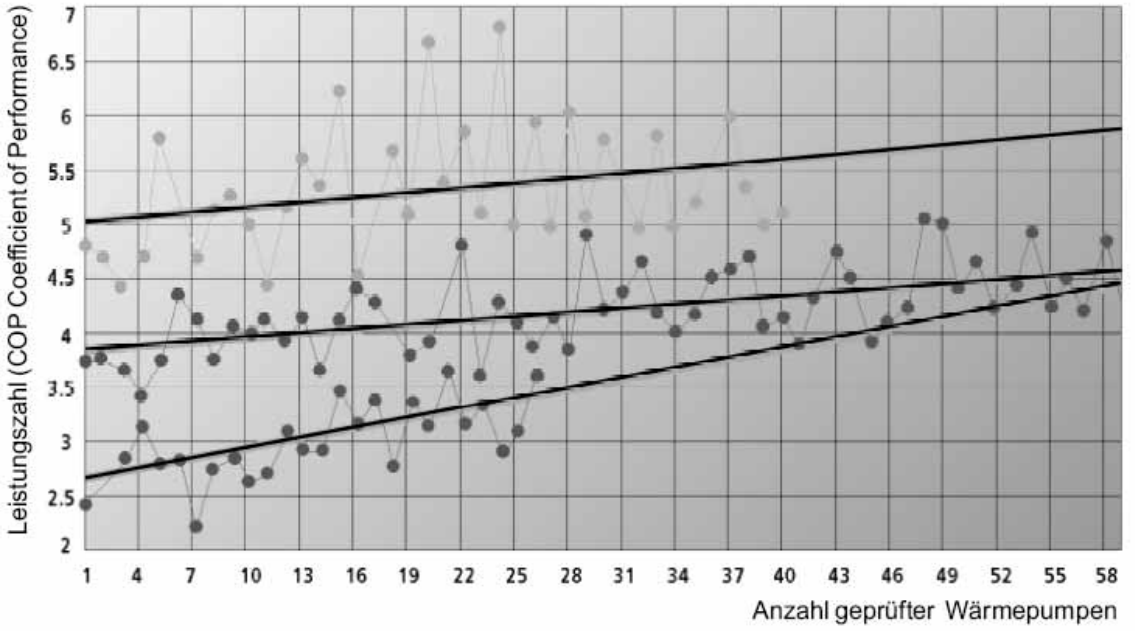


Abb. 2: Leistungszahlen geprüfter Wärmepumpen
Quelle: WPZ Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum Töss

Abbildung 2-9 - Leistungszahlen verschiedener Wärmepumpentypen (http://www.izw-online.de/warmepumpe/WP2_online.pdf; 6.12.2005)

2.4. Umweltaspekte

Prinzipiell kann zwischen lokalen (Wasser-/Bodengefährdung) und globalen (Treibhauseffekt) Auswirkungen bei der Wärmepumpennutzung unterschieden werden. (Umweltaspekte vgl. auch Teil B, Kap. 5.7.)

Umweltrelevante Auswirkungen können durch die verwendeten Betriebsmittel bzw. Arbeitsstoffe in der Wärmepumpe entstehen (Wärmeträger, Kältemittel, Öl) und andererseits durch den Energieverbrauch (Strom) verursacht werden. Bei den Betriebsmitteln muss ausdrücklich betont werden, dass diese im Normalbetrieb keine umweltrelevanten Auswirkungen mit sich bringen, da sie sich in einem geschlossenen System befinden; nur im Schadensfall (z.B. Leck bei durchtrennen der Kollektorrohre bei Grabungsarbeiten) oder beim unsachgemäßen Hantieren können relevante Mengen freigesetzt werden.

Im Folgenden werden grundlegende Begriffe und die – potentielle – Gefährdung durch die verschiedenen Betriebsmittel erläutert.

Wichtige Kennwerte zur Beschreibung der umweltrelevanten Auswirkungen von Wärmepumpenanlagen sind:

a) die Wassergefährdungsklasse (WGK)
b) das Treibhauspotential (GWP)
c) der Gesamttreibhauseffekt (TEWI)

ad a) Wassergefährdungsklasse (WGK)
Die Beurteilung der Grundwassergefährdung im potentiellen Schadensfall, d.h. bei einem Kältemittel- oder Soleaustritt, kann mit der WGK (Wassergefährdungsklasse) erfolgen. Prinzipiell hat die WGK von gefährdenden Stoffen einen Wert von 1 (schwach) bis 3 (starke Gefährdung). WGK-Werte sind für bestimmte Stoffe beispielsweise unter www.gefahrstoffdaten.de zu finden. Für die Betriebsmittel in einer Wärmepumpenanlage (Kältemittel, Sole) sind Werte in den nachfolgenden Abschnitten angegeben.

ad b) Treibhauspotential (GWP)
Der Heutzutage wohl wichtigste Begriff ist der des Treibhauspotentials „GWP" (Global Warming Potential): Er dient zur Beurteilung des Treibhauseffektes eines Kilogramms eines Stoffes (Kältemittel) und ist auf CO_2 (= 1) bezogen.
Je höher der GWP-Wert eines Kältemittels (zwischen null und einigen Tausend) desto größer ist sein Treibhauspotential wobei allerdings die „Lebensdauer" des Kältemittels in der Atmosphäre eine entscheidende Rolle spielt: üblicherweise wird ein Betrachtungszeitraum von 100 Jahren herangezogen. Beispielsweise bedeutet ein $GWP_{(100)}$-Wert von 1300, dass die Freisetzung eines Kilogramms dieses Stoffes den gleichen Beitrag zum Treibhauseffekt liefert wie die Freisetzung von 1300 kg CO_2. GWP-Werte ausgewählter Kältemittel sind in Kapitel 2.4.1. angegeben.

ad c) Gesamttreibhauseffekt (TEWI)
Ein weiterer wichtiger Kennwert ist der TEWI-Wert („Total equivalent warming impact"), also der Gesamttreibhauseffekt. Der TEWI-Wert wird einerseits durch das direkte Treibhauspotential (GWP, s.o.) und andererseits durch das indirekte Treibhauspotential durch Freisetzung von treibhausrelevanten Stoffen (CO_2-Emission bei der Strombereitstellung für die el. Aggregate, wie Kompressor und Pumpe) beeinflusst. Er hängt außerdem von der Leckrate, der Betriebszeit der Anlage, dem Anlagenfüllgewicht, einem Recycling-Faktor für das verwendete Kältemittel und dem Jahresenergiebedarf (Stromverbrauch) der el. Geräte ab.

Die genaue Berechnung des TEWI-Wertes kann einschlägiger Fachliteratur entnommen werden, z.B. ÖNORM EN 378 oder Bitzer (2004). Ganz generell kann festgehalten werden, dass – aus Sicht der Umwelt – die Jahresarbeitszahl (β_a) einer Wärmepumpenanlage maximal sein soll, da dies einen minimalen Stromverbrauch gleich kommt und dadurch minimale indirekte Emissionen verursacht werden, was sich in einem minimalen TEWI-Wert widerspiegelt. Beim Vergleich zweier Anlagen mit unterschiedlichen Kältemitteln muss noch der GWP-Wert des Kältemittels und die – zu erwartende – freigesetzte Menge berücksichtigt werden.

2.4.1. Kältemittel
Als Kältemittel bezeichnet man den in Wärmepumpen umlaufenden Arbeitsstoff, dessen Zustandsänderungen (flüssig – gasförmig - flüssig) den Arbeitsprozess bestimmen. Ein Kältemittel muss chemisch und physikalisch rein und stabil sein sowie vorteilhafte thermische Eigenschaften aufweisen (z.B. für Erdreichwärmepumpen: gute Eignung zum Einsatz bei Verdampfungstemperaturen unter 0°C).

Die zu Beginn der Wärmepumpennutzung eingesetzten FCKW und HFCKW (chlorhältige Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe) sind wegen der Ozongefährdung für Neuanlagen verboten. Stattdessen werden chlorfreie Kältemittel (HFKW) oder „natürliche" Kältemittel verwendet.

HFKW sind fluorierte Kohlenwasserstoffe ohne Chlor und sind daher für die Ozonschicht unbedenklich. Unter „Natürlichen" Kältemittel versteht man Stoffe, die in der Biosphäre vorkommen, z.B. Propan, Ammoniak, Kohlendioxid (CO_2). Diese Stoffe schädigen die Ozonschicht nicht und tragen wenig bis gar nicht zum Treibhauseffekt bei (GWP vernachlässigbar klein). Zum Teil haben diese – im Vergleich zu den sehr weit verbreiteten HFKW – sehr spezielle Eigenschaften

(tlw. brennbar oder hoher Druck), die einen besonderen Anlagenaufbau bedingen.

Kältemittel werden gekennzeichnet durch ein vorangestelltes „R" (Refrigerant; engl.: Kältemittel) und einer nachfolgenden Zahlenkombination die Aufschluss über die chemische Zusammensetzung gibt (vgl. ÖNORM EN 378). Einige in der Wärmepumpentechnik verwendete Kältemittel und deren umweltrelevanten Eigenschaften sind in Tabelle 2-2 zusammengefasst.

Tabelle 2-2 – Eigenschaften ausgewählter Kältemittel
(Auszug aus http://www.erdwaerme-systeme.de/Literatur/literatur.html; 16.Juni 2005)

R-Nummer	Name	chem. Formel	t [°C]	WGK	GWP
HFCKW:					
R22	Monochlordifluormethan	$CHClF_2$	-41	2	1700
HFKW und HFKW-Gemische:					
R134a	Tetrafluorethan	$C_2H_2F_4$	-26	1 - 2	1300
R407C	Mischung aus R32/R125/R134a im Verhältnis 23/25/52%	siehe Erläuterung	-44	1	1610
R410A	R32/R125 im Verhältnis 50/50%	siehe Erläuterung	-51	1	1890
Natürliche Kältemittel:					
R290	Propan	C_3H_8	-42	-	3
R1270	Propen	C_3H_6	-48	-	3

Erläuterungen zu Tabelle 2-2: R32… Difluormethan (CH_2F_2), R125… Pentafluorethan (C_2HF_5), t… Siedetemperatur, GWP… Treibhauspotential (relativ zu CO_2, Zeithorizont 100 Jahre), WGK… Wassergefährdungsklasse

2.4.2. Wärmeträger

Als Wärmeträger bezeichnet man das Fluid (= gasförmiges oder flüssiges Medium; z.B. Wasser oder Luft), welche die Wärme von der Wärmequelle (Erdreich, Wasser) zum Verdampfer der Wärmepumpe transportiert.

Liegen die Wärmequellentemperaturen über ca. +4°C, kann prinzipiell Wasser als Wärmeträger verwendet werden. Es besitzt gute Eigenschaften hinsichtlich Wärmeübertragung und Viskosität weshalb es für diesen Temperaturbereich bestens geeignet ist.

Liegen die Wärmequellentemperaturen unter +4°C, kann Wasser wegen der Eisbildung nicht mehr verwendet werden. Daher muss dem Wasser ein Frostschutzmittel beigemengt werden. Je größer der Anteil des Frostschutzmittels, desto niedriger liegt der Gefrierpunkt. Früher wurden dazu Salze verwendet, wegen der Korrosionsprobleme ("Rost") werden aber heute vorwiegend Glykole (höhersiedende Alkohole) mit Zusätzen verwendet. Diese Mischungen werden als Sole bezeichnet und werden in Wärmepumpen sehr häufig als Wärmeträger verwendet. Das Frostschutz/Wasser-Gemisch hat bei Erdreich-Wärmepumpen i.A. eine Konzentration von ca. 25% (1 Teil Glykol und 3 Teile Wasser) und stellt so eine Frostsicherheit von bis zu -14 °C sicher (vgl. http://energieberatung.ibs-hlk.de/glossar.htm#Sekundärenergieträger).

Die Wassergefährdungsklasse (WGK) von häufig verwendeten Wasser/Frostschutz-Gemischen auf Polypropylenglykol-Basis beträgt 1 (schwach wassergefährdend).

2.4.3. Öle

Öle dienen im Wärmepumpenkreislauf zur Schmierung der bewegten Bauteile, insbesondere der Lager der Verdichter, und gelangen in kleinen Mengen auch in den Kältemittelkreislauf. Es gibt verschiedenste Ölsorten mit unterschiedlichsten Eigenschaften bzw. Einsatzgebieten: Prinzipiell kann zwischen traditionellen Ölen (Mineralöl, AB) und „neuen Schmierstoffen" (PAO, PAE, …) unterschieden werden. Für HFKW-Kältemittel eignet sich beispielsweise ein Schmierstoff vom Typ POE und für Kohlenwasserstoffe können auch mineralische Öle und ebenfalls POE eingesetzt werden (vgl. Bitzer, 2004). Eine generelle Angabe der WGK ist nicht möglich.

Lt. VDI 4640 sollten bei Erdreich-Direktverdampfungsanlagen vollsynthetische Öle (Esteröle) und keine Mineralöle eingesetzt werden.

3. Auslegung von Erdreichkollektoren

Die Auslegung von Erdreichkollektoren für Heizungswärmepumpen, d.h. die Bestimmung der benötigten Fläche, basiert i.W. auf den Daten für die Heizlast bzw. des Wärmeverbrauchs des zu beheizenden Gebäudes. Je nach Wärmebedarf, Bodenaufbau und Effizienz (Jahresarbeitszahl) der Wärmepumpenanlage kann nach einschlägiger Literatur die Größe des horizontal verlegten Erdkollektors bestimmt werden. Nachfolgend werden die Begriffe Heizlast und Wärmebedarf erörtert und Richtlinien zur Auslegung des Kollektors diskutiert.

3.1. Heizlast und Wärmeverbrauch

Der Heizwärmebedarf eines Gebäudes, d.h. der Energiebedarf der durch das Heizungssystem während einer Heizperiode bereitgestellt werden muss, lässt sich aufgrund variabler Randbedingungen nicht pauschal beziffern. Zu unterschiedlich sind die wichtigen Einflussgrößen der Dämmung, der Anteil der Fensterflächen und die individuellen Gewohnheiten der Bewohner hinsichtlich Beheizung (Raumtemperatur, Lüftung).
Abbildung 3-1 zeigt – stark vereinfacht – die prinzipiellen Energieströme über die Gebäudehülle mit „Wärmegewinnung" durch eine Wärmepumpe mittels Kollektor.

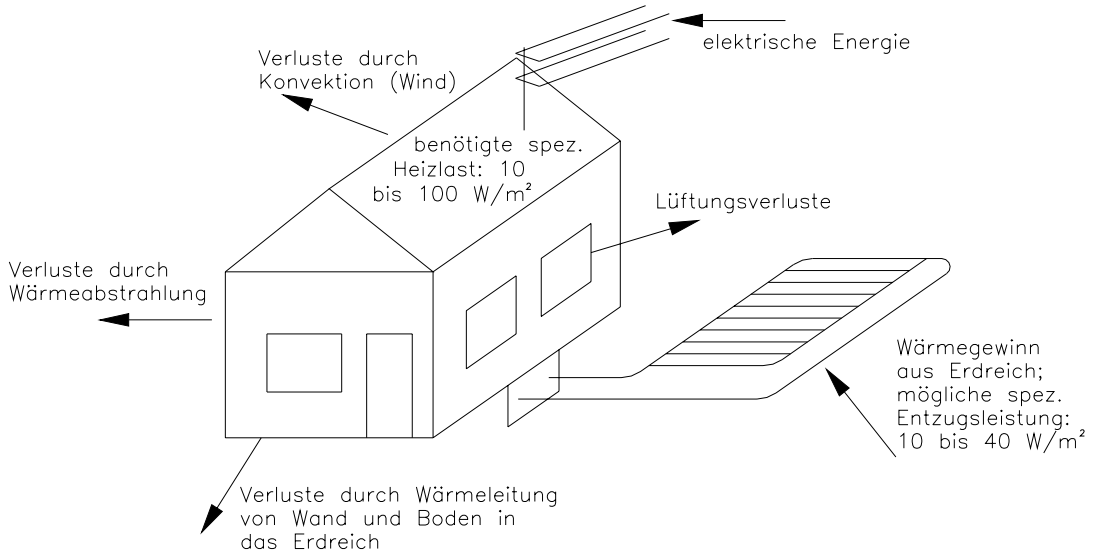


Abbildung 3-1 – Energieströme eines Gebäudes

Die Heizlast des zu beheizenden (Wohn-)Gebäudes bildet – unabhängig vom Heizungssystem - die Grundlage bei der Auswahl der Geräteleistung (z.B.

Wärmepumpenleistung). Sie ist jene Wärmeleistung, die unter Normwitterungszuständen zugeführt werden muss, damit die benötigte Raumtemperatur erreicht oder aufrechterhalten werden kann. Bei der Ermittlung der Heizlast werden Innenwärmen (Sonne, Bewohner, Beleuchtung, Maschinen usw.) nicht explizit berücksichtigt, d.h. die Heizlast - berechnet nach Norm - wird sicherheitshalber auf unbewohnte Räume ohne „interne" Wärmegewinn bezogen. Sie wird für eine mittlere Tagestemperatur "am kältesten Tag" ermittelt (richtiger: es wird eine Unterschreitungshäufigkeit der minimalen mittleren Zweitagestemperatur definiert, z.B. 20-mal in 10 Jahren erreicht oder unterschritten). Sie ist somit vom Standort des Gebäudes abhängig. Weiters ist die Heizlast auf normierte Innentemperaturen bezogen (z.B. Wohnräume 20°C). Sollten höhere Innentemperaturen erreicht werden, so erhöht sich naturgemäß der Leistungsbedarf.

An dieser Stelle sei auf die einschlägigen Normen zur Berechnung der Heizlast hingewiesen: ÖNORM H 7500 und EN 12831 (früher ÖNORM M 7500).

In Tabelle 3-1 sind Richtwerte für die spezifische Heizlast, d.h. bezogen auf die beheizte Wohnfläche, für verschiedene „Baustandards" angegeben.

Anmerkung: Bei diesen Werten ist die Warmwasserbereitung nicht inkludiert. Da es prinzipiell aber möglich ist, mit Wärmepumpen auch die Warmwasserbereitung zu bewerkstelligen, muss diese bei der Auslegung des Kollektors ggf. berücksichtigt werden. Der Leistungsbedarf für die Warmwasserbereitung hängt in erster Linie von der Anzahl der im Gebäude lebenden Personen und deren Gewohnheiten ab, und kann durchaus – bei gut gedämmten Gebäuden – die gleiche Größenordnung wie die Heizleistung erreichen. Bei durchschnittlich gedämmten Gebäuden kann von ca. 10 bis 30% Leistungsbedarf für die Warmwasserbereitung ausgegangen werden.

Tabelle 3-1 – Richtwerte für die spezifische Heizlast
(lt. http://www.viessmann.de/web/germany/de_publish.nsf/AttachmentsByTitle/frwaermepumpen.pdf/$FILE/fr-waermepumpen.pdf; 16.Juni 2005)

Bauart	spezifische Heizlast je m^2 beheizter Wohnfläche
Passivhaus	10 W/m^2
Niedrigenergiehaus	40 W/m^2
Neubau (gute Wärmedämmung)	50 W/m^2
Haus (normale Wärmedämmung)	80 -100 W/m^2
Älteres Haus (ohne besondere Wärmedämmung)	120 – 200 W/m^2

Beispiel zur überschlägigen Berechnung der Gebäudeheizlast:

Neubau mit „guter" Wärmedämmung und einer beheizten Wohnfläche von 180 m^2

⇒ Spezifische Heizlast lt. Tabelle 3-1: 50 W/m^2

Gesamtheizlast: 50 W/m^2 . 180 m^2 = 9000 W = 9 kW

D.h., dass am „kältesten" Tag (s.o.) eine Leistung von 9 kW benötigt wird, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen.

Ist die Heizlast bekannt, kann mithilfe der Anzahl der Volllaststunden der Heizwärmebedarf eines Gebäudes abgeschätzt werden. Die Anzahl der Volllaststunden ergibt sich aus Simulationsrechnungen oder Erfahrung. Sie ist wesentlich von Innenwärmen (Abwärme beim Kochen und von Personen, Beleuchtung, …), passive Nutzung von Sonnenenergie (Fensterflächen) usw. abhängig. Üblicherweise kann bei Wohngebäuden in unseren Breiten von ca. 1600 bis 2400 Vollbetriebsstunden pro Jahr (h/a) ausgegangen werden. (Anm: Eine genaue Bestimmung der Volllaststunden bzw. des Heizwärmebedarfs erfordert einen erheblichen Rechenaufwand und muss viele „Unsicherheiten" berücksichtigen; vgl. ÖNORM EN 832).

Für 1800 bzw. 2400 Volllaststunden ergibt sich ein Heizwärmebedarf für das o.a. Beispiel (Heizlast von 9 kW) von

- $Q_{h,a}$ = 9 kW · 1800 h/a = 16 200 kWh/a

- $Q_{h,a}$ = 9 kW · 2400 h/a = 21 600 kWh/a

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um Richtwerte für den Heizwärmebedarf (exkl. Warmwasserbereitung) handelt!

Ist der Heizwärmebedarf bzw. die Anzahl der Volllaststunden bekannt, kann der Kollektor ausgelegt werden. Dazu stehen verschiedene Informationsquellen zur Verfügung:
- VDI 4640 (Verein Deutscher Ingenieure; Berufsverband der deutschen Ingenieure)
- SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein)
- The International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA), Installation Guide
- Nordic - System selection and installation requirements (http://www.nordicghp.com/mg/pdfsystemselection.pdf)

Weil zur Auslegung von Kollektoren keine entsprechende österreichische Richtlinie oder ÖNORM vorhanden ist, wird hier auf die VDI 4640 – die als „Stand der Technik" anzusehen ist – näher eingegangen und ein Nomogramm nach SIA vorgestellt.

3.2. Auslegung des Kollektors lt. VDI 4640

Einleitende Anmerkung: die VDI 4640 wird tlw. zur Auslegung des Kollektors herangezogen. Leider ist sie diese Richtlinie einigen Stellen nicht präzise formuliert: so werden z.B. Böden nicht näher definiert und Datenquellen nicht näher angeführt. Jedenfalls ist lt. VDI 4640 eine Unterdimensionierung des Kollektors zu vermeiden, da es sonst zu einer örtlich begrenzten Auswirkung auf die Vegetation kommen kann (Verlängerung der Kälteperiode).

Die Auslegung des Erdkollektors erfolgt in einfachen Fällen, wie z.B. bei Einfamilienhäusern mit Wärmepumpen-Volllaststunden von 1800 bis 2400 h/a und reinem Heizbetrieb, mittels Angaben für spezifische Wärmeentzugsleistungen aus dem Erdreich in W/m^2 (Watt pro Quadratmeter Kollektorfläche) in Abhängigkeit des Untergrundes („Bodentyps"). Spezielle Formen von Kollektoren wie Grabenkollektor, Spiralkollektor etc. müssen gesondert betrachtet werden.

Die zulässigen spezifischen Entzugsleistungen aus dem Erdreich für Kollektoranlagen sind in Tabelle 3-2 angegeben. Die Entzugsleistung gibt an, welche Leistung dem Boden entzogen werden darf.

Tabelle 3-2 – Mögliche spezifische Entzugsleistungen für Erdwärmekollektoren für 1800 bis 2400 Jahresbetriebsstunden (VDI 4640 Blatt 2)

Untergrund	Spezifische Entzugsleistung	
	bei 1800 h/a	bei 2400 h/a
Trockener, nichtbindender Boden	10 W/m^2	8 W/m^2
Bindiger Boden, feucht	20 - 30 W/m^2	16 - 24 W/m^2
Wassergesättigter Sand / Kies	40 W/m^2	32 W/m^2

Tabelle 3-2 gilt unter folgenden Bedingungen:
- Nur Wärmeentzug aus dem Erdreich (d.h. nur Heizung mittels Wärmepumpe),
- 1800 bis 2400 Volllaststunden pro Jahr und
- bei Warmwasserbereitung durch die Wärmepumpe ist die dadurch erhöhte Volllaststundenanzahl zu berücksichtigen.

Bei längeren Laufzeiten ist neben der vorgenannten spezifischen Entzugsleistung auch die spezifische jährliche Entzugsarbeit zu berücksichtigen, die den langfristigen Einfluss bestimmt. Sie kann in kWh/(m^{2}a) (Kilowattstunden pro Quadratmeter Kollektorfläche und Jahr) für Erdwärmekollektoren angegeben werden und sollte zwischen 50 bis 70 kWh/(m^2 a) liegen. Dies gilt wieder für den reinen Heizbetrieb, bei Wärmeeinleitung im Sommer (Gebäudekühlung, gezielte Nachladung) kann davon abgewichen werden. Die Beschaffenheit des Untergrundes spielt hierbei eine geringere Rolle als bei der spezifischen Entzugsleistung.

In Tabelle 3-3 sind die von Tabelle 3-2 abgeleiteten notwendigen Kollektorflächen für eine Heizleistung von 1 kW in Abhängigkeit der Wärmepumpen-Jahresarbeitszahl (β_a, vgl. Kapitel 2.3.) angeführt.

Tabelle 3-3 – Benötigte Kollektorfläche für 1800 bis 2400 Jahresbetriebsstunden in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (in Anlehnung an VDI 4640)

Untergrund	Benötigte Fläche pro kW Heizleistung in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (β_a)					
	bei 1800 h/a			bei 2400 h/a		
	β_a = 3,5	β_a = 4,0	β_a = 4,5	β_a = 3,5	β_a = 4,0	β_a = 4,5
Trockener, nichtbindender Boden	71,4 m²	75,0 m²	77,8 m²	89,3 m²	93,8 m²	97,2 m²
Bindiger Boden, feucht	35,7 m² bis 23,8 m²	37,5 m² bis 25,0 m²	38,9 m² bis 25,9 m²	44,6 m² bis 29,8 m²	46,9 m² bis 31,3 m²	48,6 m² bis 32,4 m²
Wassergesättigter Sand / Kies	17,9 m²	18,8 m²	19,4 m²	22,3 m²	23,4 m²	24,3 m²

Für das in Kapitel 3.1. angeführte Gebäude (Heizlast 9 kW), einer angenommenen Wärmepumpen-Jahresarbeitszahl von β_a = 4 und 1800 Volllastsunden pro Jahr ergibt sich für einen „bindigen Boden" (Annahme: mittlere spez. Entzugsleistung (20 + 30) / 2 = 25 W/m², vgl. Tabelle 3-2) eine notwendige Kollektorfläche von ca.

$$A_{Kollektor} = (37{,}5 + 25)/2 \text{ m}^2/\text{kW} \cdot 9 \text{ kW} = \text{ca. } 280 \text{ m}^2$$

Bezieht man diese Kollektorfläche auf die beheizte Wohnfläche (180 m²), dann ergibt sich ein Verhältnis von knapp 280 / 180 = 1,6. D.h., dass für dieses Beispiel ungefähr die 1,6-fache Wohnfläche als Kollektorfläche genutzt werden muss.

Aus Tabelle ist gut zu erkennen, dass bei steigender Jahresarbeitszahl die benötigte Kollektorfläche- bei gleicher Heizleistung – ansteigt (vgl. Kapitel 2.3.).

Weitere Hinweise zur Kollektorverlegung / Verlegetiefe

Um eine „Nachladung" des Bodens – d.h. eine Regenerierung – durch Sonnenstrahlung, Konvektion und Regen zu gewährleisten, darf
- die Fläche über dem Erdwärmekollektor nicht überbaut oder
- versiegelt werden (es muss Wasser eintreten können).

Wird ein Teil überbaut oder versiegelt, so muss eine entsprechend größere Fläche genutzt werden.

Die Bodentemperaturen können in 1 m Tiefe auch ohne Wärmenutzung den Gefrierpunkt erreichen. In 2 m Tiefe liegt die minimale Temperatur bei ca. 5°C. Mit zunehmender Tiefe nimmt diese Temperatur zu (vgl. Abbildung 2-3); allerdings nimmt auch die von der Erdoberfläche zufließende Wärmemenge ab. Im Frühjahr ist daher ein schnelles Auftauen einer eventuellen Vereisung rund um die Kollektorohre in tieferen Erdschichten (1,5 bis 2 m) nicht sichergestellt. Daher sollte die Verlegetiefe ca. 1,2 m bis 1,5 m betragen. Anhaltswert: der Kollektor sollte ca. 30 cm unterhalb der Frostgrenze (in Österreich im Bereich von ca. 80 - 100cm) installiert werden. Dadurch ist sichergestellt, dass eventuelle Vereisungen im Kollektorbereich während der warmen Jahreszeit wieder relativ schnell auftauen können.

Bei der Bestimmung des Verlegeabstands (üblicherweise zwischen 0,3 und 0,8 m) ist zu berücksichtigen, dass die sich um die Entzugsrohre bildenden Eisradien nicht zusammenwachsen. Die Verlegedichte hängt von der Dimension der verwendeten Rohre ab und muss so gewählt werden, dass die vorher genannten spezifischen Entzugsleistungen nicht überschritten werden.

Kalte Anlagenteile (Verdampfer- bzw. Solerohre) im Untergrund müssen zu Ver- und Entsorgungsleitungen (Wasser, Kanal) in einem Abstand von mindestens 70 cm installiert sein, so dass z.B. das Abwasser nicht einfriert.

3.3. Auslegung des Flächenkollektors nach SIA

Anmerkung: Der SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein) ist ein privatrechtlicher Verein und befasst sich mit der Erarbeitung und Aktualisierung des schweizerischen Normenwerks und der Vertretung im Rahmen der europäischen Normung.

In SIA (1996) wird eine Methode zur Dimensionierung eines Erdwärmekollektors an Hand eines Nomogramms vorgeschlagen (Abbildung 3-2). Die Verhältnisse des Untergrundes werden darin wie folgt angegeben (vgl. Reuß und Sanner):

- Normale Verhältnisse: Feuchter, siltig-sandiger Boden bei normaler Sonneneinstrahlung; spez. Entzugsleistung 20 - 30 W/m² (Bodenklasse 2 und 3 in Abbildung 3-2).

- Ungünstige Verhältnisse: Steiniger Boden, trocken und schattig; spez. Entzugsleistung 8 – 12 W/m² (Bodenklasse 4).
- Überdurchschnittliche Verhältnisse: Sandiger, wassergesättigter Boden mit überdurchschnittlicher Sonneneinstrahlung; spez. Entzugsleistung 35 - 40 W/m² (Bodenklasse 1).

Mit der notwendigen Heizleistung kann mit dem Nomogramm (Abbildung 3-2) die, je nach Bodentyp unterschiedliche, benötigte Fläche für eine Wärmepumpe mit Flächenkollektor und die Rohrlänge für den Kollektor ermittelt werden.

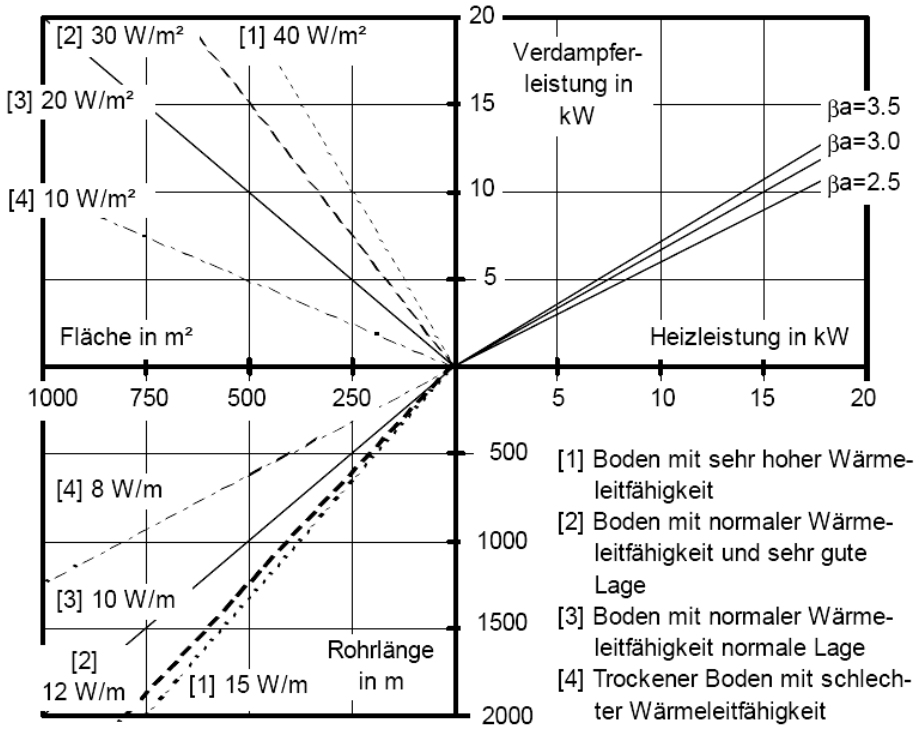


Abbildung 3-2 Nomogramm zur Dimensionierung eines Erdwärmekollektors nach SIA (1996)
(**http://www.erdwaerme-systeme.de/Literatur/literatur.html**; 16. Juni 2005)

Beispiel zur Dimensionierung eines Erdwärmekollektors mittels Nomogramm lt. SIA (1996):

Bei einer Heizleistung von z.B. 9 kW und einer Jahresarbeitszahl von 3,5 beträgt die Verdampferleistung 6,4 kW. Für einen Untergrund mit 30 W/m^2 spezifischer Entzugsleistung (vgl. [2] im Nomogramm: Boden mit normaler Wärmeleitfähigkeit und sehr gute Lage) ergibt sich eine Kollektorfläche von ca. 210 m^2 und eine Gesamtrohrlänge von 530 m. Daraus kann auch der zu Grund liegende Rohrabstand abgeschätzt werden: 210 m^2 / 530 m = 0,4 m Rohrabstand.

4. Auswirkungen auf die Erdreichtemperatur (Vegetation)

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse einer Literaturrecherche zusammengefasst. Die Suche nach einschlägiger Literatur bzgl. der Auswirkung auf die Vegetation hat leider keine umfassenden Ergebnisse gebracht. Beispielsweise ist in der VDI 4640 folgende Aussage zu finden:

Wenn Erdwärmekollektoren korrekt dimensioniert sind, dann sind die Einflüsse auf die Vegetation gering. UND *Bei einer Unterdimensionierung des Kollektors kann es zu einer örtlich begrenzten Auswirkung auf die Vegetation kommen (Verlängerung der Kälteperiode)*.

Ein Verweis auf eine entsprechende Referenz ist jedoch nicht angegeben.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf drei Studien bzgl. der Auswirkung eines Wärmeentzugs auf die Erdreichtemperatur (Jansson & Lundin, 1984; Ginschel, 1977; Specht, 1979) und eine Publikation die eine Auswirkung auf die Vegetation anspricht (Bauer, 1992).

4.1. Ergebnisse von Jansson & Lundin (1984)

Anmerkung: Bei den hier folgenden Ausführungen ist zu beachten, dass die klimatischen Gegebenheiten in Schweden nicht mit jenen in Österreich direkt vergleichbar sind; d.h. dass die Ergebnisse der Studie von Jansson und Lundin (1984) quantitativ nicht übertragbar sind. Die qualitativen Aussagen bzw. Tendenzen werden aber auch für Österreich Gültigkeit haben.

Bei der in Schweden durchgeführten Studie wurde die Abhängigkeit der Bodentemperatur, der Frosttiefe und der damit zusammenhängenden Änderung in der Vegetationsperiodenlänge in Verbindung mit dem Wärmeentzug aus der Erde in verschiedenen Böden und an drei verschiedenen Standorten (Kristianstad, Uppsala, Luleå) mittels Simulation untersucht. Die Tests haben eine gute Übereinstimmung bei bekannten Eigenschaften des Bodens gezeigt.

Bei der Simulation wurde standardmäßig vorausgesetzt, dass die Wärmeentnahme in einer Tiefe von 80 cm erfolgt und die Anlage für eine Einfamilienwohneinheit ausgelegt ist. Es wurden dabei Wärmeentnahmen bis zu maximal 89 kWh/(m^2a) simuliert.

Um den Wachstumszustand zu ermitteln, wurden in sechs verschiedenen Tiefen die Bodentemperaturen simuliert. Der Vegetationsperiodenbeginn wurde für Erdreichtemperaturen von über +5°C (in 30 cm Tiefe), und das Ende bei Temperaturen unter +5°C festgelegt. Untersuchte Bodenarten waren Sand, Schlick (Bodenzusammensetzung bei Wattböden) ohne und mit Grundwasser, Lehm und Torf.

Sämtliche Simulationen wurden mit Gras als Bepflanzung vorgenommen, weil dies idR. der typische Vegetationstyp über Erdkollektoranlagen ist. Das Wasser, das für die Transpiration (Verdunstung) gebraucht wurde, wurde aus verschiedenen Tiefen „geholt" – beruhend auf der definierten Wurzelverteilung im Modell.

Resultate:

Bodentemperatur: Die Simulation ergab, dass während der Sommermonate, in denen nicht geheizt wird, d.h. kein Wärmeentzug aus dem Erdreich stattfindet, die Erdreichtemperaturen ähnlich der Bodentemperaturen des ungestörten Erdreiches sind.

Mit zunehmender Tiefe sinkt die Regenerierfähigkeit des Bodens, d.h. dass sich bei Wärmeentzug die tieferen Erdschichten nicht mehr auf ihre Ausgangstemperatur (ohne Wärmeentzug) erholen.

Dies bestätigt die Aussage, dass sich die oberen Bodenschichten hauptsächlich durch die Energie der Sonne und des Regenwassers ihre Energie „zurückholen".

Vegetationsperiodenlänge: Es wurde festgestellt, dass mit zunehmendem Wärmeaustrag die Vegetationsperiodenlänge sinkt, ganz besonders bei einem Wärmeentzug in Torfböden. Dabei ist anzumerken, dass Torfböden auch ohne Wärmeentzug bereits eine verkürzte Vegetationsperiode gegenüber anderen Bodenarten haben. Daraus folgt, dass Torf als Bodenaufbau über Kollektoren ungeeignet ist. Weiters sind für Österreich die Bodenaufbauten Sand und Lehm von Interesse, und bei diesen hat sich eine relativ geringe Veränderung der Vegetationsperiode ergeben.

4.2. Ergebnisse von Ginschel (1977)

Von Ginschel wurde im Zeitraum 1976 bis 1977 eine ausgeführte Erdreich-Wärmepumpenanlage in Wermelskirchen (Deutschland; Höhe Düsseldorf) untersucht.

Das Grundstück ist 875 m^2 groß und weist eine in südöstlicher Richtung fallende Hanglage auf, die für den Wärmeentzug nutzbare Fläche beträgt 400 m^2. Der Lageplan des Hauses ist Abbildung zu entnehmen. Zu beheizen sind 225 m^2 Wohnfläche, das Verhältnis von Entzugsfläche zu beheizter Fläche beträgt also 1,8. Der Erdreichwärmetauscher (Kollektor) wurde dabei in 1,65 m Tiefe eingegraben, der mittlere spezifische Wärmeentzug auf der Gartenfläche betrug im Beobachtungszeitraum 25,5 W/m^2, in Spitzenfällen 32,2 W/m^2.

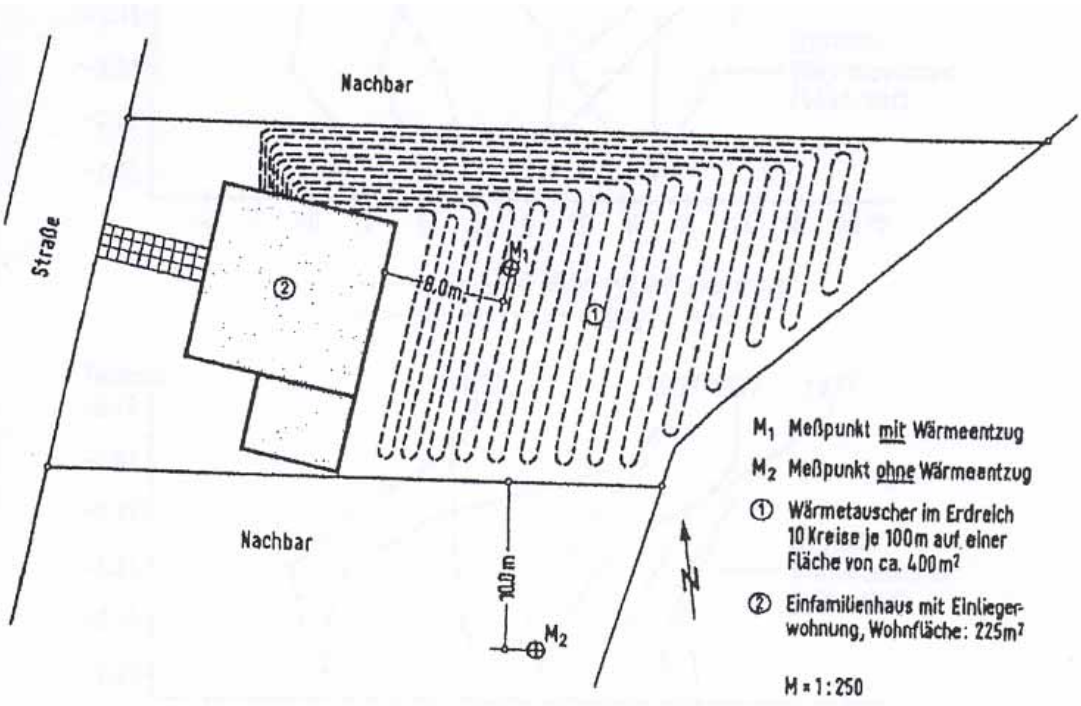


Abbildung 4-1 – Lageplan des Wohnhauses in Wermelskirchen-Dhünn

Die Anordnung der Temperaturfühler ist in Abbildung 4-2 dargestellt und Abbildung 4-3 zeigt Messergebnisse (zugunsten einer besseren Lesbarkeit sind in Abbildung 4-3 nur die Erdreichtemperaturen in 0,65, 1,65 und 2,65m Tiefe dargestellt):

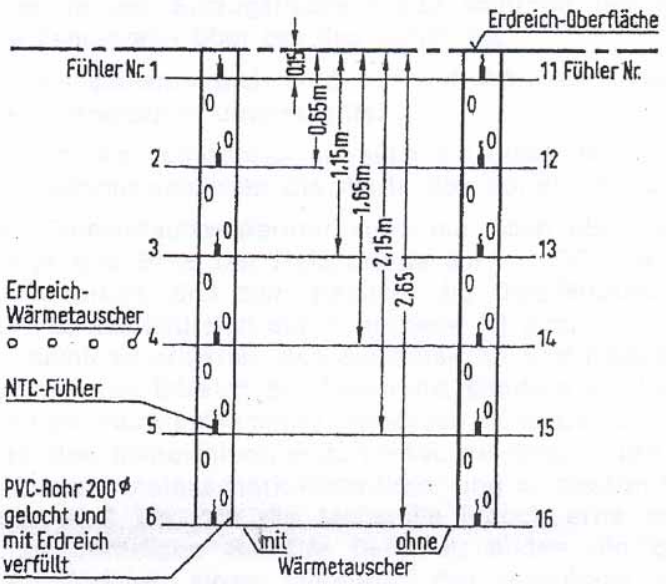


Abbildung 4-2 – Anordnung der Temperaturfühler im Erdreich

Die Wärmepumpe wurde im November 1975 in Betrieb genommen. In der Phase des inneren Ausbaues bis zur Bezugsfertigstellung im März 1976 ist die Wärmepumpe infolge erhöhten Wärmebedarfs durch nicht geschlossene Rollladenkästen usw. sehr häufig im Dauerlauf betrieben worden.

Dieser überdurchschnittliche Wärmeentzug führte zu einer starken Abkühlung des Erdreiches. Die Temperatur auf Wärmetauscherniveau (Fühler Nr. 4) beharrt bis zum Ende der Heizperiode Ende Mai bei -2°C. Auch 1 m unter bzw. über dieser Ebene (Fühler Nr. 6 und 2) sinkt die Temperatur unter 0°C (vgl. Abbildung 4-2).

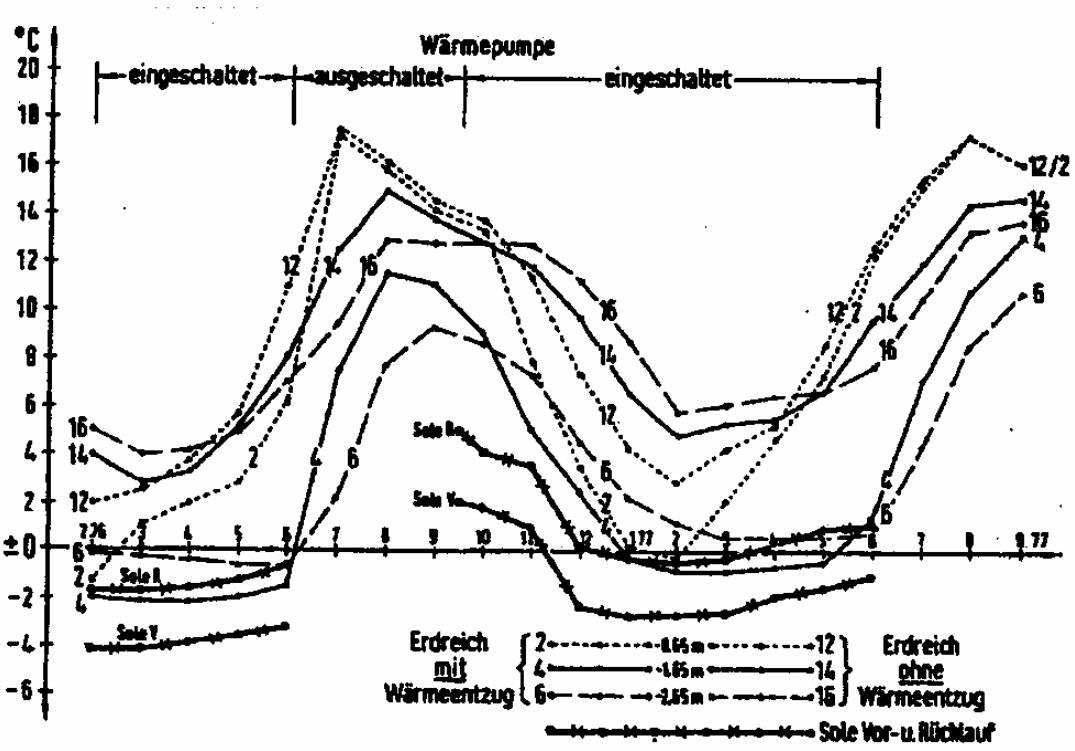


Abbildung 4-3 – Verlauf der Erdreichtemperatur mit und ohne Wärmeentzug; Messzeit 1.2.1976 bis 1.9.1977

Durch die Abkühlung des Erdreichs kommt es infolge des Regen- und Schmelzwassers bzw. durch Wasserdampfkondensation zu einer Wasserkonzentration, die schließlich im Bereich der Messstelle zu einer vereisten Schicht führt. Die derart verbesserte Wärmeleitfähigkeit führt in Verbindung mit der Schmelzwärme zu einer relativ konstanten Temperatur im Wärmetauscherbereich.

Die Temperatur des höher gelegenen Fühlers Nr. 2 steigt nach Abschmelzen der Schneedecke im Februar schnell an, was wieder auf den überwiegenden Einfluss der Wärmeeinbringung von „Oben" (Sonne, Regen) hinweist.

Abbildung 4-4 zeigt das Temperaturprofil im Erdreich an verschiedenen Stichtagen. Auffällig ist, dass z.B. am 1. Oktober 1976 die Kollektorebene wärmer ist als die darunter liegende Schicht, was bedeutet, dass die Wärme ausschließlich von der darüber liegenden Schicht zum Kollektor strömt. Ab Dezember 1976 überwiegt der Wärmestrom aus den tieferen Erdschichten, weil diese eine höhere Temperatur aufweisen. Ab April 1977 überwiegt der Wärmestrom von der Erdoberfläche.

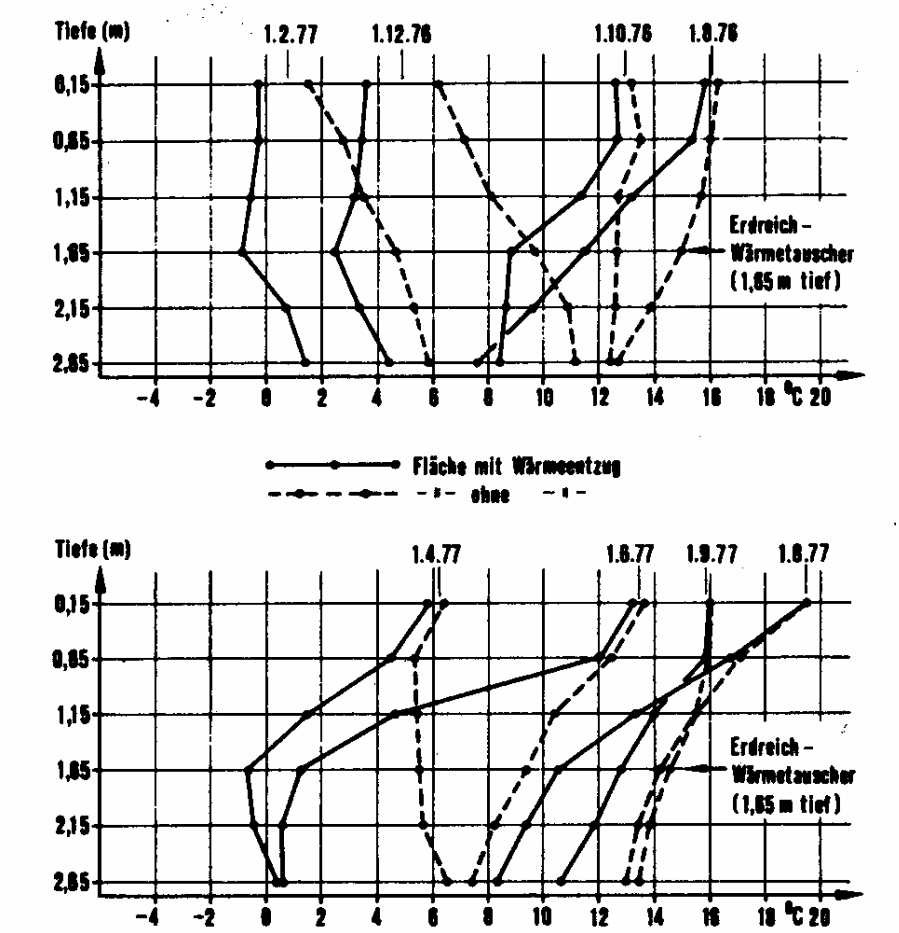


Abbildung 4-4 – Erdreichtemperaturen bei durchschnittlichem Wärmeentzug von 25,5 W/m^2

Es ist zu erkennen, dass noch im August 1976 in 2,65 m Tiefe ein Temperaturunterschied von rund 5 Grad zwischen dem gestörten („abgekühlten") und dem ungestörten Erdreich bestehen blieb. Dieser Unterschied wuchs von August 1976 bis August 1977 jedoch nicht weiter an.

Bemerkenswert ist das Temperaturverhalten des Erdreiches in Tiefen zwischen 0,65 und 1,15 m. Hier erwärmt sich das Erdreich mit steigender Außentemperatur vergleichsweise schnell, was sich in einem geringeren Temperaturunterschied zwischen gestörtem („abgekühlten") und ungestörtem Erdreich etwa im April und Juni 1977 zeigt.

In einer Tiefe von 2,65 m dauerte die Regeneration des Erdreiches bis September 1977, wobei ein Abbau der Temperaturdifferenz zwischen gestörtem und ungestörtem Erdreich auf ca. 2 K stattfand. Die Temperaturen in der

Kollektorebene (1,65 m Tiefe) unterschritten von Februar bis April 1977 den Gefrierpunkt um 1 Grad, was auf eine Vereisung schließen lässt.

4.3. Ergebnisse der Untersuchung von Specht (1979)

Eine Untersuchung von Specht in den Jahren 1976 und 1977 ergab im Prinzip die gleiche Aussage wie die Untersuchungen von Ginschel (1977). Siehe dazu Kap.4.2. Leider sind in der Publikation von Specht keine Details über Bodenzusammensetzung und Lage der Test-Kollektoren zu finden. Damit ist nur eine allgemeine qualitative Aussage über die Auswirkungen von Wärmeentzug mittels Kollektor aus dem Erdreich möglich (s.u.).

Specht (1979) diskutiert unter anderem die Vorgänge bei einer Vereisung des Erdreichs: Erdreich ist im Wesentlichen verwittertes Gestein, in dessen Poren sich Wasser halten kann. Gefriert dieses Wasser, so steigt die freigesetzte Wärme „sprunghaft" an (vgl. Abbildung 4-5). Der Sprung ergibt sich durch die Vereisung, denn wenn dem Wasser im Boden Wärme entzogen wird und es dabei zu einem Phasenübergang von flüssig zu fest kommt, dann bleibt die Temperatur konstant.

Damit ist erklärt, warum die VDI 4640 von einer z.T. gewünschten Vereisung um die Kollektorrohre spricht (siehe Kap. 3.2.).

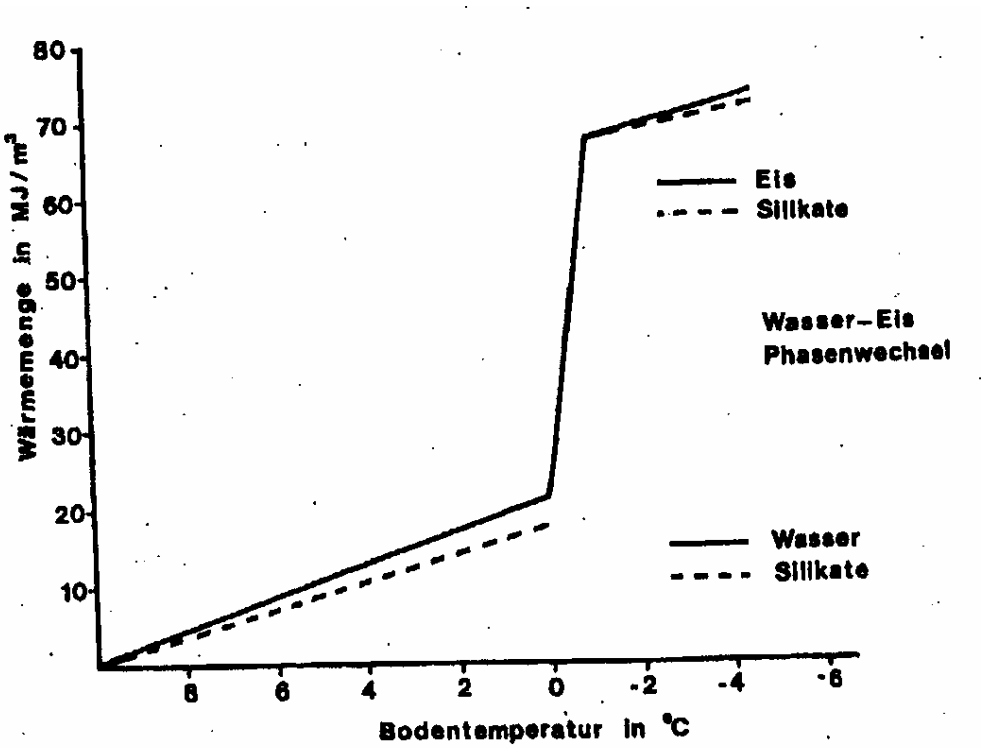


Abbildung 4-5 – Aus Boden mit 15% Wassergehalt durch Abkühlung gewinnbare Wärmemenge (1 MJ/m^3 entspricht 0,278 kWh/m^3)

Abbildung 4-6 zeigt die gemessene Lufttemperatur und den Vergleich mit der ungestörten und „gestörten" Bodentemperatur in drei verschiedenen Tiefen (0,02, 0,5 und 1 m). Es ist zu erkennen, dass die oberflächennahe Schicht (0,02 m) kaum vom Wärmeentzug beeinflusst wird, und dass die Regeneration in größeren Tiefen langsamer vor sich geht. (vgl. auch Ginschel (1977), Abbildung 4-4)

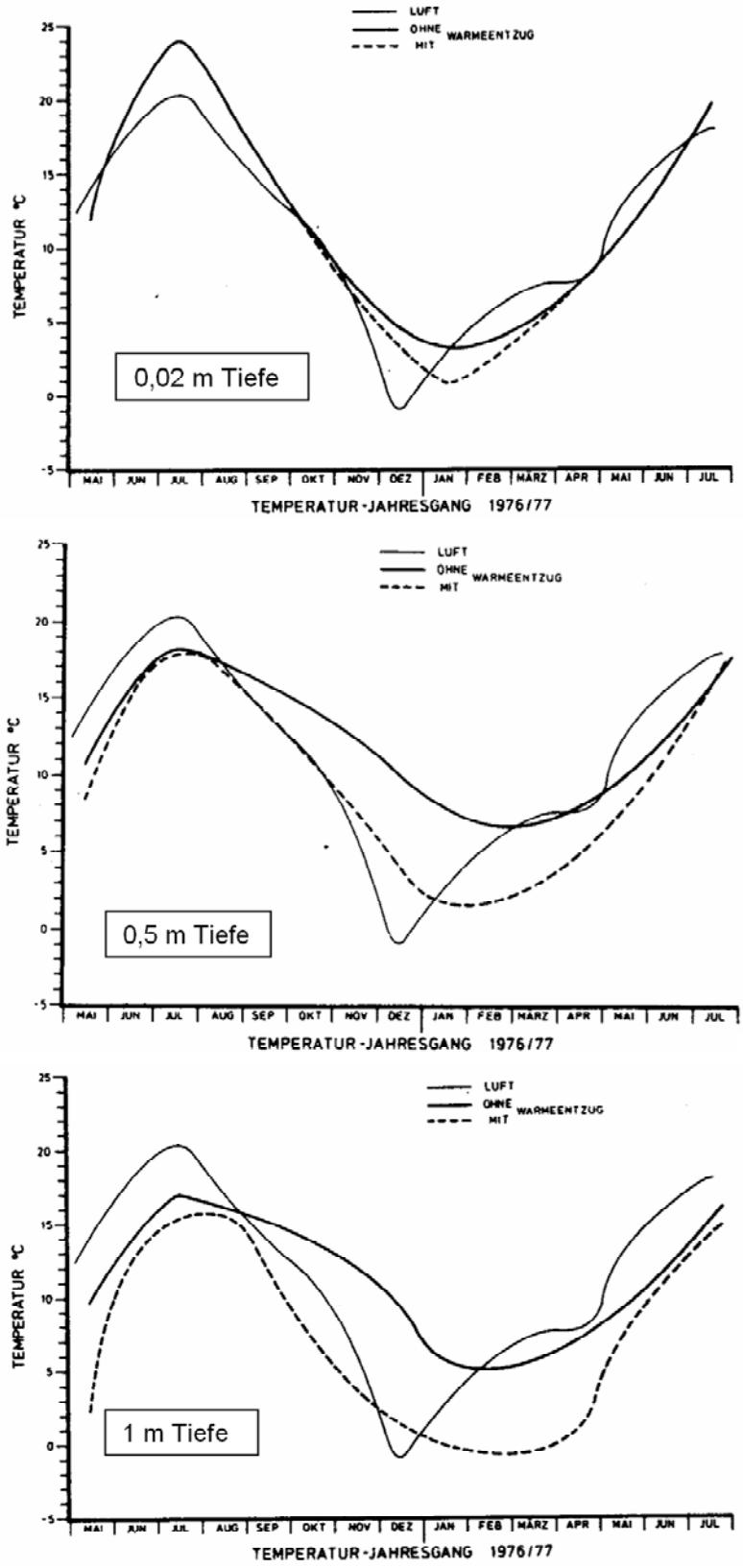


Abbildung 4-6 - Bodentemperaturen mit und ohne Wärmeentzug in 0,02, 0,5 und 1 m Tiefe (Specht, 1979)

4.4. Ergebnisse von Bauer (1992)

Bauer (1992) berichtet über ein Forschungsprojekt in Niederösterreich im Zeitraum 1982 – 1984. Ziel des Projektes war es die Auswirkungen des Wärmeentzuges auf die Erdreichtemperatur und die Vegetation zu quantifizieren. Dabei wurde von der Basishypothese „eines negativen Einflusses auf die ökologischen Verhältnisse" ausgegangen.

Die Messungen bzw. Vegetationsbeobachtungen wurden an Hand einer Versuchsanlage in Riedenthal (NÖ) durchgeführt. Das Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 200 m^2 (vgl. Bauer und Heilig, 1986) und *„sehr guter"* Wärmedämmung wurde über eine Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Wärme versorgt. Die Kollektorfläche betrug 700 m^2 und war mit ca. 10° Neigung nach Norden exponiert. D.h., dass das hier realisierte Verhältnis von Kollektorfläche zu Wohnfläche relativ groß war: 700 / 200 = 3,5 (vgl. Befragungsergebnisse in Kap. 5.: 1,6 bis 2; Kap. 4.2.: 1,8; Beispiel in Kap. 3.2.: 1,6).

Die Kollektorrohre mit einem Durchmesser von 16 mm waren in 150 cm Tiefe in einem Abstand von ca. 40 cm verlegt. Der Untergrund bestand aus sarmatischen Sanden und Lehmen. Die Künettenverfüllung war ein Gemisch aus lehmartigem Material, Löss und Sand. Abbildung zeigt den schematisch den Versuchsaufbau und Abbildung die Verlegung der Kollektorrohre in Künetten.

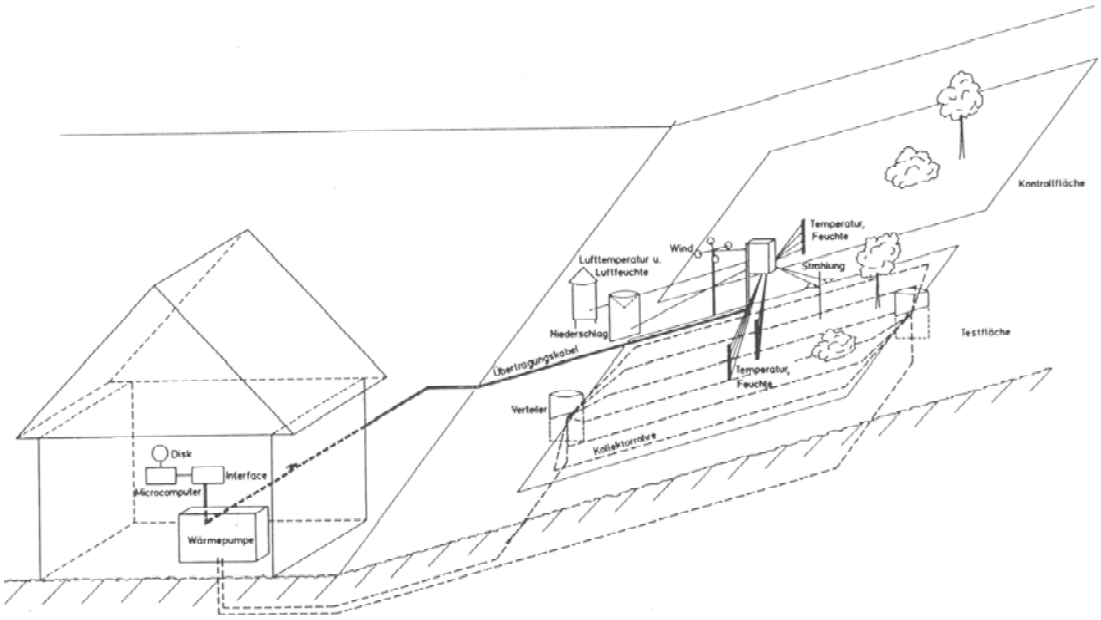


Abbildung 4-7 - Versuchsaufstellung (Bauer, 1992)

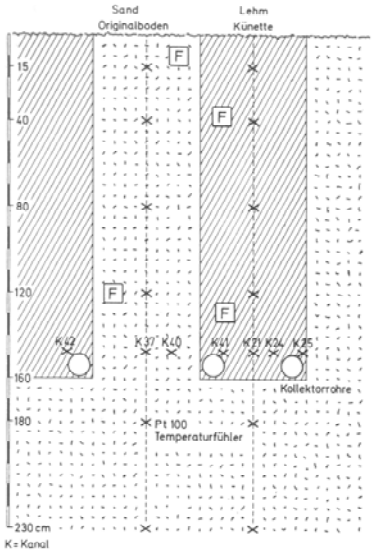


Abbildung 4-8 - Kollektorverlegung (Bauer, 1992)

Bauer (1992) diskutiert auch das Eindringverhalten von Außentemperaturänderungen in die Bodenschichten: „Böden mit guter Temperaturleitfähigkeit erlauben ein rasches Eindringen und es werden daher tiefe Bodenschichten betroffen. Sie weisen bei gleicher Wärmezufuhr ein weniger extremes Temperaturregime auf. Tagsüber wird eine mächtige Bodenschicht erwärmt, und in der Nacht wird die Abkühlung der Oberfläche durch die Wärmeabgabe aus dieser mächtigen Bodenschicht gebremst. Böden mit geringer Wärmeleitfähigkeit weisen einen auf die oberste Bodenschicht konzentrierten Wärmeaustausch auf und sind daher durch extreme tägliche Temperaturschwankungen gekennzeichnet. Ganz allgemein lässt sich die Hypothese aufstellen, dass ein feuchter schwerer Boden ein ausgeglicheneres Temperaturregime aufweist … In den meisten Böden ist die tägliche Temperaturwelle bis in eine Tiefe von 0,75 m beobachtbar. Für die Untersuchung bedeutet das, dass die Temperaturgänge in den Tiefen von 15, 40 und 80 cm meist täglichen Einflüssen unterliegen. In Böden mit geringer Temperaturleitfähigkeit ist diese Tiefe kleiner."

Bauer (1992) erwähnt auch die Eigenschaft einer Schneedecke: „Die sehr geringe Leitfähigkeit und Durchlässigkeit machen eine Schneedecke zu einer Isolationsschicht für den darunter befindlichen Boden. Insbesondere in der Nacht, wenn der Strahlungsaustausch auf die bodennahe Grenzschicht beschränkt ist."

Die Untersuchungsergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden: Bei der vorliegenden Versuchsanordnung kam es zu keinem Einfluss auf die Temperaturen in den oberen Bodenschichten, denn relevante Temperaturabnahmen traten nur im unmittelbaren Bereich der Kollektorrohre auf. Auch bei der Vegetation (Wuchsleistung, Zeitpunkt des Austriebs, Blühbeginn bzw. Belaubung) konnte keine Auswirkung des Wärmeentzugs festgestellt werden, da im „Hauptwurzelbereich" ab Anfang April die Testfläche das gleiche Temperaturniveau wie die Referenzfläche aufwies. Die Basishypothese einer „negativen Auswirkung" musste demnach verworfen werden.

5. Befragung von Wärmepumpeninstallateuren und Herstellern

Im Zuge dieses Projektes wurde eine Befragung von zwei österreichischen Anlagenbauern und einem Wärmepumpenerzeuger bzgl. der wichtigsten Aspekte bei einer Installation einer Wärmepumpe mit Erdreichkollektor durchgeführt (der zugrunde liegende Fragebogen ist im Anhang abgedruckt). Nachfolgend eine Zusammenfassung der Ergebnisse:

ad Unternehmen / Produkte:
- alle interviewten Unternehmen installieren/produzieren seit mehr als 10 Jahren Erdreich-Wärmepumpen und
- ca. 70% der Anlagen sind mit einem horizontalen Kollektor ausgestattet
- die Firmen haben sich auf Sole- oder Direktverdampfungsanlagen spezialisiert

ad typische monovalente Erdreich-Wärmepumpeninstallation für Neubauten:
- das typische Wohngebäude hat eine
  - beheizte Wohnfläche von ca. 140 bis 180 m^2,
  - eine Heizlast von 8 bis 11 kW und
  - das Heizungssystem wird auf max. 35°C Vorlauf- und 30°C Rücklauftemperatur ausgelegt.
- die Wärmepumpen
  - erreichen reale Jahresarbeitszahlen im Bereich von 3,5 und 5 (der niedrigere Wert bezieht sich auf Anlagen zur kombinierten Heizung & Warmwasserbereitung),
  - die Volllaststundenanzahl beträgt ca. 1800 bis 1900
  - je nach Unternehmen wird vorzugsweise das Kältemittel R407C oder R410A eingesetzt

- bei Direktverdampfungsanlagen beträgt die Kältemittelfüllmenge ca. 6 bis 9 kg und die Estherölfüllung ca. 1,2 Liter
- es werden Serviceverträge oder Online Monitoring angeboten (Serviceangebot wird aber von privaten Kunden sehr selten angenommen).

- der Erdkollektor
  - hat eine Größe von ca. 250 bis 360 m^2 (d.h. Verhältnis Kollektorfläche zu beheizter Wohnfläche ca. 1,6 bis 2)
  - und wird vorwiegend in lehmigen / flinzigen / sandigen Böden
  - in einer Tiefe von ca. (1,1) … 1,2 bis 1,4 … (1,5) m installiert.
  - Die Kollektorrohre sind aus PE-beschichtetem Kupfer (Direktverdampfung) oder PE (Soleanlagen)
  - Der Rohrabstand beträgt bei Direktverdampfung ca. 0,4 – 0,6 m und bei Soleanlagen ca. 0,7 m (hier spielt in erster Linie der Rohrdurchmesser eine wichtige Rolle).
  - Die Kollektorlebensdauer ist sehr lange (Aussagen: „ewig", mind. 1 Generation, länger als 50 Jahre) solange er nicht mechanisch (z.B. bei Grabungsarbeiten) zerstört wird.
  - Die Angaben bzgl. Verdichtung des Erdreichs beim Einbau des Kollektors differieren von „ja" bis „nein"; wichtig ist aber ein guter Kontakt zw. umgebendem Erdreich (bzw. Sandbett) und Kollektorrohren.

ad Kollektorauslegung:

- In erster Linie bestimmt die Heizlast (und ggf. der Warmwasserbedarf) die Kollektorgröße.
- Der Bodenaufbau wird nur tlw. berücksichtigt (Anmerkung: der Markt der befragten Anlagenbauer ist eher lokal eingegrenzt und daher gibt es kaum signifikante Unterschiede beim Bodenaufbau).
- Das „Kleinklima" (Sonne, Wind) wird eher nicht berücksichtigt aber
- die Wasserdurchlässigkeit bzw. Feuchtigkeit des Bodens ist sehr wichtig (Aussage: „wünschenswert wäre ein schwerer wasserdurchlässiger Humusboden").
- Die Kollektorfläche sollte daher nicht versiegelt werden (Aussage: nicht zupflastern, keine größeren Betonflächen; asphaltierte Zufahrten sind kein Problem), um
- einerseits das Versickern von Wasser nicht zu verhindern bzw. dass es zu keinen Setzungen kommt.
- Die genaue Kollektorgröße ergibt sich aus Erfahrung.

ad Bepflanzung und Vegetation:

- Bzgl. Bepflanzung machen die Befragten keine Einschränkungen, ausg. dass keine „Tiefwurzler" gepflanzt werden sollen. Z.B. Obstbäume sind „überhaupt" kein Problem.
  (ad Tiefwurzler: keinem Befragten sind Schäden am Kollektor durch Wurzeln bekannt; evtl. stammt diese Empfehlung von der Wasserrechtsbehörde, in deren Auflagen diese Auflage vorkam).
- Die Vegetationsperiode wird nicht spürbar / kaum beeinflusst.
- Ein Befragter gibt an, dass dies von der Schneelage abhängig ist; falls kein / sehr wenig Schnee die Oberfläche bedeckt, dann kann es zu einer stärkeren Auskühlung des Bodens kommen, was zu einem verzögerten Beginn der Vegetation in der Größenordnung von 14 Tagen führen kann.
- Ein Befragter meint, wenn es bei den Grabungsarbeiten zu einer „Verfrachtung von Humus" kommt (vermischen des Aushubmaterials), dass die Qualität des Bodens schlechter werden könnte.
- Jedenfalls geben die Befragten an, dass die Auslegung des Kollektors eine wichtige Rolle spielt (bei Unterdimensionierung kann es zu einer spürbaren Beeinträchtigung kommen).

ad Problemanlagen:

- Alle Befragten sind davon überzeugt, dass es „früher" Probleme gab, da einige Anlagen unterdimensioniert wurden, was zu einer nachhaltigen Auskühlung des Bodens führt.
- Mittlerweile ist das Know-how in der Wärmepumpenbranche stark angewachsen, sodass diese Problemanlagen der Vergangenheit angehören (sollen).
- Kritisch kann jedenfalls ein Einsparen an Kollektorfläche sein, bzw. wenn die Fläche prinzipiell limitiert ist.
- Eine Unterdimensionierung muss unbedingt vermieden werden.

ad Literatur:

- Keiner der Befragten konnte konkrete Angaben über einschlägige Literatur geben. Einer konnte sich vage an eine schwedische Studie und eine Studie an der BOKU Wien erinnern. In diesen soll die Auswirkung eines Wärmeentzugs auf die Vegetation studiert worden sein. (Anmerkung: Bauer, 1992)

6. Zusammenfassung

Die Auslegung des Kollektors einer Wärmepumpenanlage hat einen erheblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit erdgekoppelter Wärmepumpen zur Gebäudeheizung. Falsch ausgelegte Anlagen können den Boden nachhaltig abkühlen und zu erheblichen Auswirkungen auf die Erdreichtemperatur und somit auch auf die Vegetation führen.

Bei Erdwärmekollektoren gibt es einfache Auslegungsverfahren wie Nomogramme (z.B. SIA) und Tabellen (z.B. VDI 4640). Diese Verfahren setzen allerdings eine gewisse Erfahrung zur Beurteilung des Bodens und der Lage des Kollektors voraus.

Wird der Kollektor „korrekt" dimensioniert, d.h. wird dem Erdreich pro Quadratmeter nicht zu viel Wärme entzogen, dann kann sich die Erdreichtemperatur nach der Heizperiode wieder vollständig regenerieren:

Messungen der Erdreichtemperaturen zeigen, dass die Abkühlung nur vorübergehend ist und allenfalls eine Verzögerung der Erwärmung erfolgt. Im Sommer werden jeweils annähernd die gleichen Temperaturen wie im ungestörten Untergrund erreicht. Wesentlich dabei ist der Einfluss der Umgebungsluft, Sonneneinstrahlung und des Sickerwassers auf die Temperatur in den oberflächennahen Bodenschichten, da sich der Erdboden hauptsächlich von „oben" die in der Heizperiode durch den Kollektor entzogene Energie zurückholt. Der Wärmefluss aus den Tiefen der Erde ist in den Tiefen des Kollektors (laut VDI 4640 optimal zwischen 1,2 und 1,5 m) praktisch zu vernachlässigen.

Dies bestätigen auch die Untersuchungen von Jansson & Lundin (1984), Ginschel (1977) und Specht (1979):

Dabei untersuchten Jansson & Lundin die Auswirkungen von Wärmeentzug in drei schwedischen Städten mittels Simulation. Deren Ergebnisse brachten Übereinstimmungen mit bereits bekannten Untersuchungen. Aus ihren Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass sich Torf wegen seiner schlechten Wärmeleitfähigkeit schlecht eignet. Lehmige und sandige Böden hingegen zeigen bei einem Wärmeaustrag aus dem Boden weit weniger Auswirkungen auf Temperaturverlauf und Vegetationsperiode.

Von Ginschel wurde eine bestehende Anlage in Deutschland von 1976 bis 1977 vermessen, wobei er zu dem Ergebnis kam, dass bei korrekter Dimensionierung des Kollektors die Auswirkungen auf die Bodentemperaturen vernachlässigbar gering sind. Er zeigt, dass die Temperaturunterschiede zwischen gestörtem (Boden mit Wärmeentnahme) und ungestörtem Erdreich max. 5 Grad betragen. In einer Tiefe von 0,65 m beträgt während der Wachstumsphase (Frühjahr bis Herbst) der Temperaturunterschied lediglich 1 Grad.

Specht zeigt den erzielbaren Wärmegewinn durch Vereisung des Untergrundes auf und kommt durch nicht näher genannte Versuche zu den gleichen Ergebnissen wie vor ihm Ginschel: Die Temperatur im Erdreich kann sich bei richtiger Bemessung der Wärmepumpenanlage im Sommer wieder vollständig regenerieren.
Die Untersuchungsergebnisse von Bauer (1992) können wie folgt zusammengefasst werden: Bei der Versuchsanordnung kam es zu keinem negativen Einfluss auf die ökologischen Verhältnisse, denn relevante Temperaturabnahmen traten nur im unmittelbaren Bereich der Kollektorrohre auf. Auch bei der Vegetation (Wuchsleistung, Zeitpunkt des Austriebs, Blühbeginn bzw. Belaubung) konnte keine Auswirkung des Wärmeentzugs festgestellt werden, da im „Hauptwurzelbereich" ab Anfang April die Testfläche das gleiche Temperaturniveau wie die Referenzfläche aufwies.

Die Befragung von drei erfahrenen Unternehmen hat ergeben, dass
- die Erfahrung des Anlagenbauers wichtig ist
- bzw. das Know-how in der Branche in den letzten Jahren stark angewachsen ist
- ein Erdreichkollektor keine wesentlichen Einschränkungen bzgl. Bepflanzung mit sich bringt
- Schäden durch „Tiefwurzler" nicht bekannt sind,
- der Kollektor – sofern er nicht bei Grabungsarbeiten zerstört wird – eine sehr lange Lebensdauer hat,
- die Richtwerte für das Verhältnis Kollektorfläche zu beheizter Wohnfläche lt. VDI 4640 ungefähr eingehalten wird,
- die Heizlast des Gebäudes die wichtigste Größe bei der Auslegung des Kollektors ist,
- das „Kleinklima" kaum berücksichtigt wird,
- die Bodenfeuchtigkeit die wichtigste Einflussgröße ist,
- eine Unterdimensionierung jedenfalls vermieden werden muss (je größer der Kollektor, desto besser aber teurer) und

- die Kollektorfläche nicht überbaut werden soll, um einerseits das Eindringen von Wasser zu ermöglichen und andererseits die Überbauungen vor Frostschäden zu schützen.

Die im Rahmen dieses Berichtes diskutierten Auslegungsrichtlinien und Messergebnisse bzw. Erfahrungen bestätigen, dass mittels Erdreich-Wärmepumpen eine nachhaltige Nutzung des Erdreichs als Wärmequelle möglich ist und – bei ordnungsgemäßer Auslegung – keine relevanten Auswirkungen auf die Erdreichtemperatur und somit auf die Vegetation zu erwarten sind.

7. Literatur

Bitzer (2004). Kältemittelreport Nr. 13. Fa. Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH, http://www.bitzer.de/_doc/a/a-500-13.pdf

Bauer B. (1992). Ökologische Auswirkungen beim Betrieb von Wärmepumpen. In Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft (ÖZE), Jg. 45, Heft 5, Springer Verlag / Wien – New York, S. 145 – 150.

Bauer B, Heilig M. (1986). Wärmeentzug aus dem Boden und seine Folgen auf die Umwelt. Geografischer Jahresbericht aus Österreich, Sonderdruck aus Band XLV (1986).

Faninger G. (2005). Der Wärmepumpenmarkt in Österreich 2004. Studie im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, April 2005.

Ferenczy G. (2003). Evaluierung der NÖ Wärmepumpenförderung. Ergebnisbericht Mai 2003, im Auftrag der NÖ Wohnbauforschung (Kennzeichen: F2-B-F-2102).

Gilli P.V., Streicher W., Halozan H., Breembroeck G. (1999). Environmental Benefits of Heat Pumping Technologies. IEA Heat Pump Centre, Sittard, The Netherlands.

Ginschel J. (1977). Betriebsergebnisse einer Erdreich-Wasser Wärmepumpe, Elektrowärme im Technischen Ausbau. elektrowärme international Edition A 35 (1977) A6

Jansson P.-E., Lundin L. C. (1984). Fysikaliska effekter av ytjordvärmeuttag – Simulerade uttag för olika marker och klimat (Physikalische Effekte eines

Wärmeaustrags aus dem Boden). Spångbergs Tryckerier AB, Stockholm 1984, R50.

Kirn H. (1983). Wärmepumpen. Band 5, Verlag C.F. Müller GmbH, Karlsruhe.

Leven B., Neubarth J., Weber C. (2001). Ökonomische und ökologische Bewertung der elektrischen Wärmepumpe im Vergleich zu anderen Heizungssystemen. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2003/1427/pdf/IER_FB80_Waermepumpe.pdf, 15.6.2005.

ÖNORM EN 14511 – Teil 1 bis 3 (2004). Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumheizung und –kühlung.

ÖNORM EN 378 – Teil 1 bis 3. Kälteanlagen und Wärmepumpen - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen.

ÖNORM EN 832 (1999). Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs – Wohngebäude.

ÖNORM EN 12831 (2003 12 01). Heizungsanlagen in Gebäuden, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast.

ÖNORM H 7500 (Entwurf Vornorm, 2005 10 01). Heizungssysteme in Gebäuden, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast.

ÖNORM M 7500 (zurückgezogen). Heizlast von Gebäuden. (durch EN 12831 bzw. H 7500 ersetzt)

Recknagel, Sprenger, Schramek (2001). Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik"; Oldenburg Industrieverlag, München.

Reuß W., Sanner B. (undatiert). Planung und Auslegung von Erdwärmesondenanlagen: Basis einer nachhaltigen Erdwärmenutzung, VDI-Richtlinie 4640 und Berechnungsverfahren. (http://www.erdwaerme-systeme.de/, 7.6.2005)

Rieberer R., Halozan H. (2005). Skripten zu den Vorlesungen Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik und Wärmepumpentechnik. Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz.

Specht O. (1979). Technik der Erschließung der Wärmequelle Erdreich: Wärmeentzugsdichten in der Praxis, Elektrowärme im Technischen Ausbau. elektrowärme international Edition A 37 (1979) A4 / A5.

VDI 2067 Blatt 6 (1989). Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Wärmepumpen

VDI 4640, Blatt 1 (2000). Thermische Nutzung des Untergrundes. Richtlinie des Vereins der deutschen Ingenieure, Ausgabe Dezember 2000.

VDI 4640, Blatt 2 (2001). Thermische Nutzung des Untergrundes. Richtlinie des Vereins der deutschen Ingenieure, September 2001.

Teil B Vergleich der Ergebnisse der Monitorings von acht Wärmepumpenanlagen[2]

1. Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität war arsenal research beauftragt einen Vergleich von Wärmepumpenanlagen über ein Jahr durchzuführen. Mit dem Vergleich soll die Wirkungsweise und Effizienz dieser Heizungsanlagen anschaulich dargestellt werden. Außerdem wurden die Erdreichtemperaturen am und über dem Kollektor gemessen. Als Referenz zu den Erdreichtemperaturen diente ein Temperaturfühler an einer Stelle im Garten, die nicht vom Kollektor beeinflusst wurde.
Im Rahmen der angestrebten politischen Umwelt-Ziele, vor allem die der Reduktion der CO_2 Emissionen, stellt die Nutzung Erneuerbarer Energien einen zentralen Punkt dar. Dabei kann die Wärmepumpe einen wesentlichen und wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung erbringen. Das Monitoring bringt dazu den wesentlichen Nachweis über Qualität und Effizienz der Wärmepumpenanlage.
Das Monitoring für Wärmepumpenanlagen nach dem arsenal research Standard [1] ist in drei Stufen konzipiert. Diese drei Stufen bestehen aus einem Fragenbogen der zur Erhebung der wesentlichen Eckdaten der nicht messbaren Anlagendaten dient, einem Datenerfassungssystem für die kontinuierliche Erfassung und Speicherung von Messdaten und eine Datenbank für die Datenverwaltung und Auswertung der aufgezeichneten Messdaten.
Für dieses Projekt wurden acht etwa gleich große Einfamilienhäuser ausgewählt. Bei diesen Anlagen wurde das arsenal research Monitoring installiert und ein Jahr lang durchgeführt.
Im Einflussbereich des Kollektors wurden Temperatursensoren verlegt und der Temperaturverlauf dokumentiert (siehe Abbildung 15: Mittlere Luft- und Erdreichtemperaturen der Anlage Gr. Gerungs 1 bis Abbildung 22: Mittlere Luft- und Erdreichtemperaturen der Anlage Schönfeld).

---

[2] Das (die) Prüfungsergebnis(se) bezieht(en) sich ausschließlich auf den (die) Prüfgegenstand(stände).
Im Falle einer Vervielfältigung oder Veröffentlichung dieser Ausfertigung darf der Inhalt nur wort- und formgetreu und ohne Auslassung oder Zusatz wiedergegeben werden.
Die auszugsweise Vervielfältigung oder Veröffentlichung bedarf der schriftlichen Zustimmung des Forschungszentrums.

Bei den untersuchten Anlagen ergeben sich Jahresarbeitszahlen zwischen 3,04 und 4,54, siehe Abbildung 9. Im Vergleich zu anderen Wärmepumpenanlagen sind die Jahresarbeitszahlen vergleichbar gut, wobei es sich bei der Anlage mit einer JAZ von 3,04 um eine Anlage handelt, die bereits seit 20 Jahren in Betrieb ist und dem damaligen Stand der Technik entspricht.
Im Schnitt betragen die Heizkosten der untersuchten Wärmpumpenanlagen 833,- EUR/a, wobei die niedrigsten Heizkosten bei 413,- EUR lagen. Bezogen auf ein durchschnittliches 150 m² Einfamilienhaus ergeben sich 647,- EUR Stromkosten pro Jahr.
Der Vergleich der spezifischen TEWI-Faktoren (Abbildung 11) zeigt, dass im Durchschnitt die acht Wärmepumpenanlagen ca. 38 % weniger Kohlendioxid emittieren als ein Gaskessel und um 50 % weniger als ein Ölkessel. Dies bedeutet, eine Reduktion an Treibhausgasen in 20 Jahren von 634.000 t CO_2 gegenüber der Wärmebereitstellung mit Öl und von 328.000 t CO_2 bei der Verwendung von Erdgas.
Betrachtet man die Aufteilung der TEWI der Wärmepumpenanlagen in direkte und indirekte CO_2-Emissionen (Abbildung 12), dann tragen die direkten Emissionen zu 12 % und die indirekten zu 88 % zum Treibhauseffekt bei. Daraus lässt sich ableiten, wie wichtig es ist, die Wärmepumpenanlagen sehr energieeffizient zu planen und zu betreiben.
Die untersuchten Wärmepumpenanlagen tragen somit zu einer beachtlichen Reduktion des Einsatzes fossiler Primärenergieträger bei und leisten einen wichtigen Beitrag zum Erreichen der nationalen und internationalen Klimaschutzziele.

2. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projektes Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität war arsenal research beauftragt einen Vergleich von Wärmepumpenanlagen im Zeitraum vom Herbst 2004 bis Herbst 2005 durchzuführen. Mit dem Vergleich soll die Wirkungsweise und Effizienz dieser Heizungsanlagen anschaulich dargestellt werden. Außerdem wurden die Erdreichtemperaturen am und über dem Kollektor gemessen. Als Referenz zu den Erdreichtemperaturen diente ein Temperaturfühler an einer Stelle im Garten, die nicht vom Kollektor beeinflusst wurde.

3. Rahmenbedingungen für das Monitoring von Wärmepumpenanlagen

Im Rahmen der angestrebten politischen Umwelt-Ziele, vor allem die der Reduktion der CO_2 Emissionen, stellt die Nutzung nachhaltiger Energieformen einen zentralen Punkt dar. Dabei wird die Wärmepumpe, die zu einem großen Anteil Umweltwärme (z.B. Erdreich, Wasser oder Luft) zur Bereitstellung von Wohnraumwärme und/oder Warmwasser nutzt, einen wesentlichen und wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung erbringen können. Wärmepumpen sind heute in vielen europäischen Ländern etabliert und der Markt wächst, wie die letzten Marktanalysen bestätigen, kontinuierlich weiter (siehe Teil A Kap. 1). Um diese Entwicklung in positive Richtung weiterzutreiben hat Innovation, Qualitätssicherung und Ausbildung in Österreich oberste Priorität in der Wärmepumpenbranche.
Die Qualität von Wärmepumpenanlagen ruht auf zwei Säulen. Als erstes muss das Wärmepumpenaggregat selbst hohen Qualitätsanforderungen entsprechen, diese werden mit dem DACH-Wärmepumpengütesiegel bestätigt. Im zweiten Schritt sind die Planung, Dimensionierung und die Ausführung der gesamten Anlage für die Effizienz, Funktionalität und Kundenzufriedenheit verantwortlich. Mit der, von der damaligen Leistungsgemeinschaft Wärmepumpe (LGW) und arsenal research initiierten, Ausbildung zum „Zertifizierten Wärmepumpeninstallateur" hat Österreich in Fragen der Ausbildung in Europa eine Vorreiterrolle übernommen.
Für die Entwicklung von zukünftigen Maßnahmen, wie zum Beispiel Qualitätssicherung oder Förderprogrammen die zur Weiterentwicklung der Wärmepumpentechnologie führen sollen, ist die Untersuchung von vergleichbar ausgeführten Wärmepumpenanlagen ein notwendiger Schritt.

4. Konzept des Monitorings von Wärmepumpenanlagen

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben ist die Qualitätssicherung ein großes Anliegen der Branche. Das Monitoring ist eines der zur Verfügung stehenden Instrumente zur Qualitätssicherung und dient als Nachweis für die Funktion und Effizienz der errichteten Wärmepumpenanlage. Wichtig war bei der Konzipierung des Monitorings, dass sich der Aufwand und damit die Kosten in einen dafür notwendigen Rahmen halten. Daher wurde das gesamte Monitoring so entwickelt, dass ausschließlich die Daten und Informationen, die im Nachhinein für eine aussagekräftige Analyse notwendig sind, erhoben werden. Das Monitoring von Wärmepumpenanlagen wurde dazu in drei Stufen gegliedert (Abbildung 3).

1. Um alle erforderlichen Daten aufnehmen zu können, welche nicht von der Datenerfassung gemessen werden können, muss vom Installateur zu seiner Anlage ein Fragebogen ausgefüllt werden.
2. Weiters werden mit einem Datenlogger Messwerte von der Anlage automatisch erfasst, die in der Folge mittels eines GSM-Modems an den Monitoring - Server von arsenal research weitergeleitet werden.
3. Im dritten Schritt werden die Daten mittels einer dafür entwickelten Datenbank ausgewertet, analysiert und die Ergebnisse anschließend interpretiert.

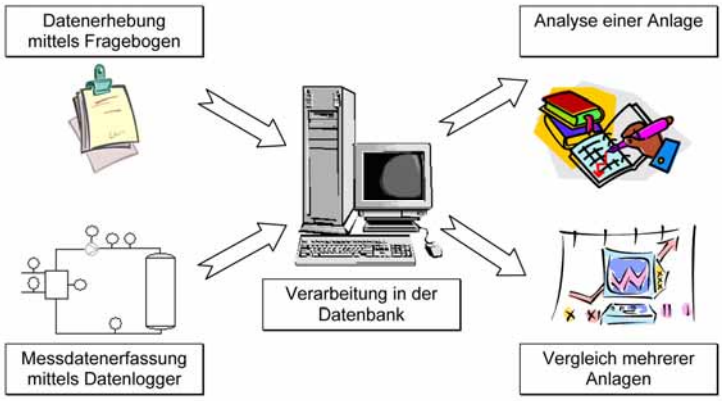


Abbildung 3: Datenfluss von der Datenerhebung bis zur Auswertung

Mit den Daten aus dem Fragebogen, der Messdatenerfassung und den daraus berechneten Messergebnissen, werden die Anlagen in den Objekten charakterisiert. Der Fragebogen gibt Aufschluss über die Art der Wärmepumpe, die Heizleistung, die Art der Wärmequelle, die Art der hydraulischen Einbindung, die Art der Heizfläche, die Betriebsweise und die Art der Warmwasserbereitung.

An Hand der Messdaten erhält man neben den Verläufen der Temperaturen der Wärmequellen- (WQA sind alle Geräte und Einrichtungen die Wärme einer Wärmequelle entziehen und von der Wärmequelle zur kalten Seite der Wärmepumpe transportieren. Alle Zusatzeinrichtungen werden mit eingeschlossen.) und Wärmenutzeranlage (Die WNA besteht aus Einrichtungen zum Transport der Wärme von der warmen Seite der Wärmepumpe zu den Wärmeverbrauchern einschließlich aller Zusatzeinrichtungen.) auch Informationen über die Betriebsstunden und die Schalthäufigkeit der Wärmepumpe. Weiters können mit den Messwerten die Jahresarbeitszahl, die beim Betrieb einer Wärmepumpe entstehenden Schadstoffemissionen [2,3,6] und der Summentreibhauseffekt, auch als Total Equivalent Warming Impact (TEWI) [4,5] bekannt, errechnet werden. Diese ökologische Betrachtung wird für die untersuchten Wärmepumpenanlagen im Vergleich zu einem Öl- und Gaskessel durchgeführt.

5. Durchführung des Anlagenvergleichs

Für diesen Vergleich wurden acht Wärmepumpenanlagen mit Flachkollektor ausgewählt, um auch mit der kleinen Anzahl Aussagen treffen zu können.

5.1. Messtechnik

Messstellenbeschreibung:

In der Wärmenutzungsanlage wurden Temperaturfühler in Vorlauf und Rücklauf der Wärmepumpe installiert, um den Verlauf der WNA-Temperaturen aufzeichnen zu können. Mit einem zusätzlichen Volumenstromzähler ist es möglich die Wärmemenge, die die Wärmepumpe abgibt, zu ermitteln.
Im Zuge des Monitorings von Sole/Wasser-Wärmepumpen wurde in der Wärmequellenanlage in Vor- und Rücklauf ein Temperaturfühler installiert, damit wurde die Spreizung in der WQA kontrolliert und ermöglichte damit Rückschlüsse auf den Verlauf der WQA-Temperaturen zu ziehen. Zusätzlich wurde der Verdampfungsdruck mittels eines Drucktransmitters gemessen.
Bei der Untersuchung der Anlagen mit Wärmepumpen mit Direktverdampfung, wurden, um das Verhalten der Wärmequelle beurteilen zu können, die Saugdampftemperatur und zusätzlich der Verdampfungsdruck mittels eines Drucktransmitters gemessen.
Zur Darstellung des Verlaufes der Außen- und Innentemperatur wurden Temperaturfühler innen und außen am Objekt angebracht.

Um die Stromaufnahme der Wärmepumpe ermitteln zu können wurde ein Stromzähler installiert. Bei Anlagen mit hydraulischer Weiche oder Pufferspeicher, wurde bei der Messung der elektrischen Leistung der Anlage auch die Leistung der Umwälzpumpe im Wärmepumpenkreislauf mit gemessen.
Zur Ermittlung der Betriebsstunden und der Schalthäufigkeit der Wärmepumpe wurden die Einschaltimpulse und die Laufzeitdauer des Verdichters aufgezeichnet. Es wurde dabei ein 230 V Signal auf, ein für den Datenlogger verträgliches 24 V Signal umgesetzt.

Die Erdreichtemperaturen wurden mit Thermoelementen gemessen, welche in regelmäßigen Abständen zwischen Erdkollektor und Erdoberfläche vergraben wurden. Der Referenzfühler wurde in einer Entfernung von mindestens 3 m vom Erdkollektor im Erdreich installiert. Die Spannungen der Thermoelemente wurden mittels eines Spannungsmessgerätes gemessen und vom Datenlogger aufgezeichnet.

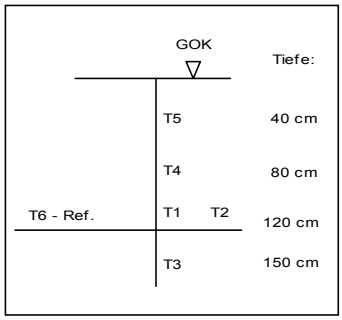


Abbildung 4: Messstellenschema der Erdreichfühler

Zusammenstellung der Messstellen und Messgrößen:

- Außentemperatur $t_{außen}$: beim Außenthermostat der Anlage
- Innentemperatur t_{innen}: (im Referenzraum, in dem der Raumthermostat montiert wurde, Störgrößen durch andere Wärmequellen wurden beachtet)
- Wärmequellenanlage (WQA):

  - bei Sole/Wasser-Wärmepumpen:

    Vorlauftemperatur $t_{VL\text{-}WQA}$ und Rücklauftemperatur $t_{RL\text{-}WQA}$

  oder

  - bei Wärmepumpen mit Direktverdampfung:

    Sauggastemperatur $t_{Sauggas}$ und Verdampfungsdruck $p_{Verdampfung}$

- Wärmenutzeranlage (WNA):

  - Wärmemenge mittels Wärmemengenzähler

- Vorlauftemperatur $t_{VL\text{-}WNA}$, Rücklauftemperatur $t_{RL\text{-}WNA}$

- Elektrische Anspeisung:
  - $Energie\text{-}Input_{WP}$, des Wärmepumpenaggregates inkl. der Regelung und wenn vorhanden inkl. der elektrischen Energie der Pumpen von Wärmequellenanlage (z.B. bei Sole) oder/und der Pufferladepumpe bei Anwendung eines Pufferspeichers.

- Zyklus:
  - Einschalthäufigkeit der Wärmepumpe
  - Betriebsstunden der Wärmepumpe

- Erdreichtemperaturen: $T1 - T6$ zwischen Kollektor, am und unter dem Kollektor sowie unter der Referenzfläche

Messstellenschema

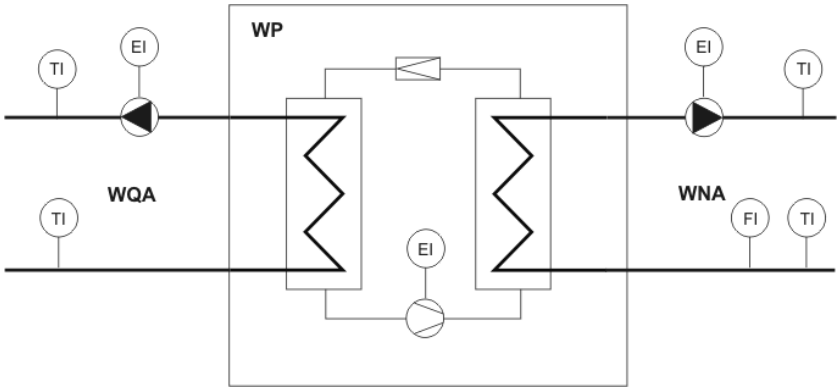
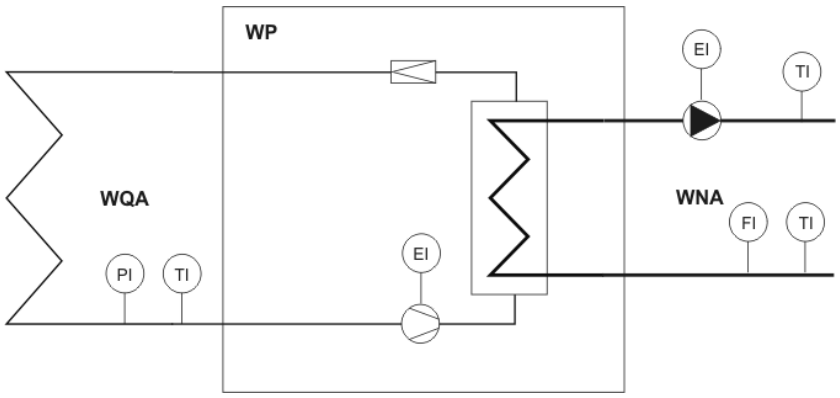


Abbildung 5: Messstellenschema bei Anlagen mit Wasser/Wasser- oder Sole/Wasser-Wärmepumpen



EI…elektrischer Input
TI…Temperatur-messstelle
FI…Durchfluss-messstelle
PI…Druck-messstelle

Abbildung 6: Messstellenschema bei Anlagen mit Direktverdampfer-Wärmepumpen

5.2. Durchführung der Datenerfassung

Während des Zeitraums der Datenerfassung wurden die Messdaten in einem Intervall von ca. 2 Sekunden gemessen und dann als 15 Minuten Mittelwerte abgespeichert, damit aussagekräftige Trendlinien dargestellt werden konnten. Da es bei den Anlagen nicht mehr möglich war das Kabel für die Temperatursensoren im Referenzraum und außen am Gebäude anzubringen, wurden mobile Temperaturlogger verwendet.
Die an den Monitoring - Server übertragenen Daten wurden periodisch auf Plausibilität geprüft und am Ende der Datenerfassungsperiode ausgewertet.

5.3. Verwendete Messgeräte

Temperatursensoren

Für die Aufzeichnung der Temperaturen wurden Pt 100 Widerstandsthermometer in 4-Leitertechnik der Firma THERMO-EST JOENS Gesellschaft M.B.H des Typs Kabel - Thermometer W-AK verwendet. Zur Messung der Erdreichtemperaturen wurden Typ K Thermoelemente, die von arsenal research gefertigt wurden, verwendet.

Wärmemengenzähler

Für die Aufnahme der Wärmemenge wurden Wärmemengenzähler der Firma Kamstrup in die Messtechnik integriert. Der Wärmezähler MULTICAL Compact ist ein statischer Ultraschall-Wärmezähler der den Durchfluss mit Hilfe des Laufzeitdifferenzenverfahrens ermittelt. Die Messungen, Anzeigen, Berechnung sowie die Datenkommunikation werden von einem Mikroprozessor gesteuert. Dieser Wärmemengenzähler ermöglicht die Datenkommunikation über einen M-Bus. Der M-Bus ist eine neue europäische Norm zur Zählerfernauslesung und ist darüberhinaus auch für alle anderen Arten von Verbrauchszählern sowie für diverse Sensoren und Aktoren verwendbar.

Drehstromzähler

Die Stromaufnahme wurde mit dem Drehstromzähler Kamstrup 382 der Firma Kamstrup aufgezeichnet. Dieser Drehstromzähler ist ein zwei- oder dreiphasiger Haushaltszähler mit Nullleiter. Selbständige Messkreisläufe sichern, dass die Phasenfolge die Messgenauigkeit nicht beeinflusst. Über einen Impulsausgang konnte der Drehstromzähler mit einer Digitalschnittstelle am Datenlogger IDL

101 verbunden werden. Pro kWh werden 1000 Impulse mit einer Impulsdauer von 30 ms ausgegeben.

Datenlogger

IDL 101

Der eingesetzte Datenlogger IDL101 der Firma Gantner Electronic GMBH verfügt über 6 analoge Eingänge. Jeder einzelne Eingang kann zur Erfassung von Strom, Spannung oder Widerstand, bzw. weiteren Messwerten verwendet werden. Temperatursensoren (z.B. Pt100) oder Thermoelemente können auch direkt am Datenlogger angeschlossen werden. Zusätzlich hat dieses Gerät einen analogen Ausgang und 16 digitale Ein-/ Ausgänge zur Verfügung. Jeder dieser Digitalkanäle kann Status, Zähler und Frequenzen erfassen. Sind mehr Ein-/Ausgänge zu verarbeiten, können über die RS485-Schnittstelle weitere Sensormodule der Serie ISM100 oder ebloxx angeschlossen werden. Die Datensicherung erfolgt direkt im 512 kB Speicher des Gerätes. Ausgelesen werden die Daten über ein GSM-Modem.

IMX 102

Der IMX 102 ist ein 8-Kanal-Messwert-Multiplexer für beliebige Strom-, Spannungs- oder Widerstandssignale gleichen Typs (auch für Thermoelemente, PT100 etc.). In Kombination mit einem ISM 101 können diese Messwerte über die RS-485 Feldbusschnittstelle übertragen werden.

ISM 101

Das ISM 101 ist ein 1-kanaliger Feldbustransmitter für beliebige analoge Strom-, Spannungs- oder Widerstandssignale (auch Thermoelemente, Pt100, Messbrücken etc.). Das jeweilige Signal wird mit bis zu 16 Bit Auflösung erfasst, linearisiert und skaliert und steht anschließend für die Übertragung über die RS-485 Feldbusschnittstelle zur Verfügung.

ebloxx

Der ebloxx A1-4 ist ein 4-Kanal-Messgerät für beliebige Strom-, Spannungs- oder Widerstandssignale (auch für Thermoelemente, Pt 100, etc.). Das jeweilige Signal wird mit bis zu 16 Bit Auflösung erfasst, linearisiert und skaliert und steht anschließend für die Übertragung über die RS-485 Feldbusschnittstelle zur Verfügung.

Messaufbau

Mit den zuvor beschriebenen Gerätschaften für die Messdatenaufzeichnung ergibt sich folgendes Zusammenspiel der einzelnen Messtechnikteile:

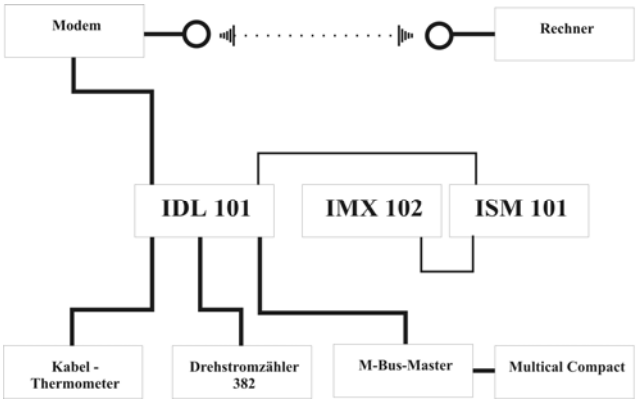


Abbildung 7: Messaufbau

Die Messtechnik für die Datenerfassung wurde zum Schutz in ein Gehäuse eingebaut und sieht wie in Abbildung 8: Messaufbau dargestellt aus.

Abbildung 8: Messaufbau

5.4. Gegenüberstellung der Anlagen

In der nachstehenden Tabelle 3 sind die Eckdaten der verglichenen Wärmepumpenanlagen zusammengestellt.

	Art der Wärmequelle	Wohnfläche	Kollektorfläche	Baujahr	Heizlast Gebäude	Heizfläche			Betriebsweise		Kältemittelsorte	WW-Bereitung mit Heizungswärmepumpe	
Anlage	WQA	m²	m²		kW	Fußboden	Wand	Radiator	monovalent	monoenergetisch		JA	NEIN
Gr. Gerungs 1	DV	265	600	1997	17.6	X	X		X		R1270	X	
Gr. Gerungs 2	DV	130	350	1999	12.9	X	X		X		R407C		X
Ziersdorf	DV	320	400	2001	13.5	X			X		R407C		X
Stollhofen	DV	159	240	1986	11.0	X		X	X		R 22	X	
Katzelsdorf	DV	230	390	2000	11.2	X			X		R407C		X
Gneixendorf	DV	240	360	1999	14.2	X	X		X		R 22	X	
Karlstetten	Sole	180	310	1994	11.4	X			X		R410A		X
Schönfeld	DV	180	300	1998	15.0	X				X	R407C		X

Tabelle 3: Vergleich der Eckdaten der ausgewählten Anlagen

Monovalent
Bei einer monovalenten Betriebsweise deckt ein Wärmeerzeuger mit einem Energieträger die gesamte Heizlast eines Gebäudes.

Monoenergetisch
Betriebsweise einer Heizungsanlage, bei der ein zweiter Wärmeerzeuger mit dem gleichen Energieträger wie der erste arbeitet (z.B.: elektrisch betriebene Wärmepumpe mit E-Heizstab)

5.5. Jahresarbeitszahl

In der Abbildung 9 sind der Energie-Output/-Input mit den daraus resultierenden Jahresarbeitszahlen dargestellt.

Bei den untersuchten Anlagen ergeben sich Jahresarbeitszahlen zwischen 3,04 und 4,54.

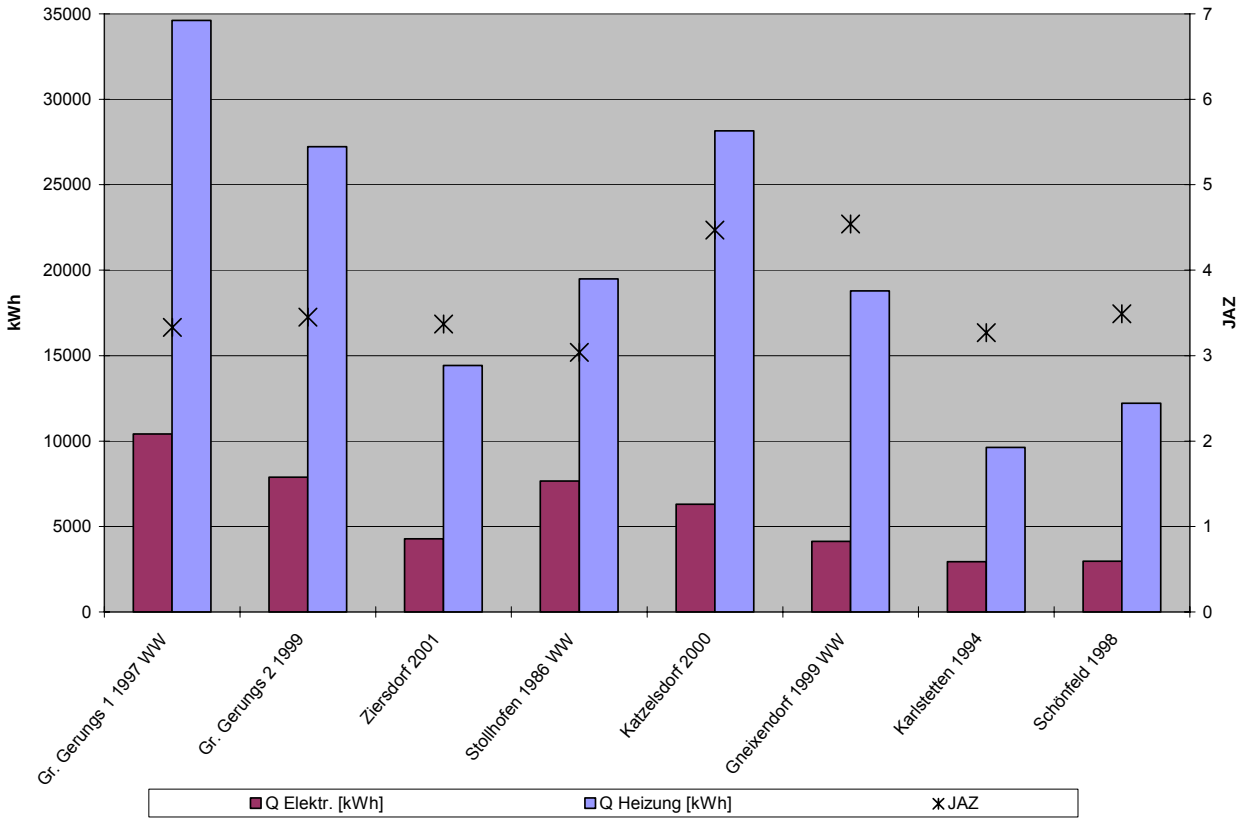


Abbildung 9: Vergleich von Energie-Input, -Output und der Jahresarbeitszahl

Die mit WW gekennzeichneten Anlagen sind Anlagen, die auch zur Warmwasserbereitung verwendet werden.
Die Jahreszahl ist das Jahr der Inbetriebnahme der Wärmepumpenanlage.
Die Jahresarbeitszahl (JAZ) ist der Quotient aus der abgegebenen Wärmeenergie und der aufgenommenen elektrischen Energie.
Im Vergleich zu anderen Wärmepumpenanlagen sind die Jahresarbeitszahlen vergleichbar gut, wobei es sich bei der Anlage mit einer JAZ von 3,04 um eine Anlage handelt, die bereits seit 20 Jahren in Betrieb ist und dem damaligen Stand der Technik entspricht.

5.6. Heizkosten

Anhand der Energieinputs der Anlagen konnten die jährlichen Heizkosten und zusätzlich die Heizkosten pro m² beheizte Fläche und betrachtetem Zeitraum berechnet werden.

Die Heizkosten der untersuchten Wärmpumpenanlagen betragen von 413,- bis 1490,- EUR/a (siehe Abbildung 10: Vergleich der Heizkosten €/a und spezifischen Heizkosten €/m².a) und betragen im Mittel 833,- EUR/a. Bezogen auf ein durchschnittliches 150 m² Einfamilienhaus ergeben sich 647,- EUR Stromkosten pro Jahr.

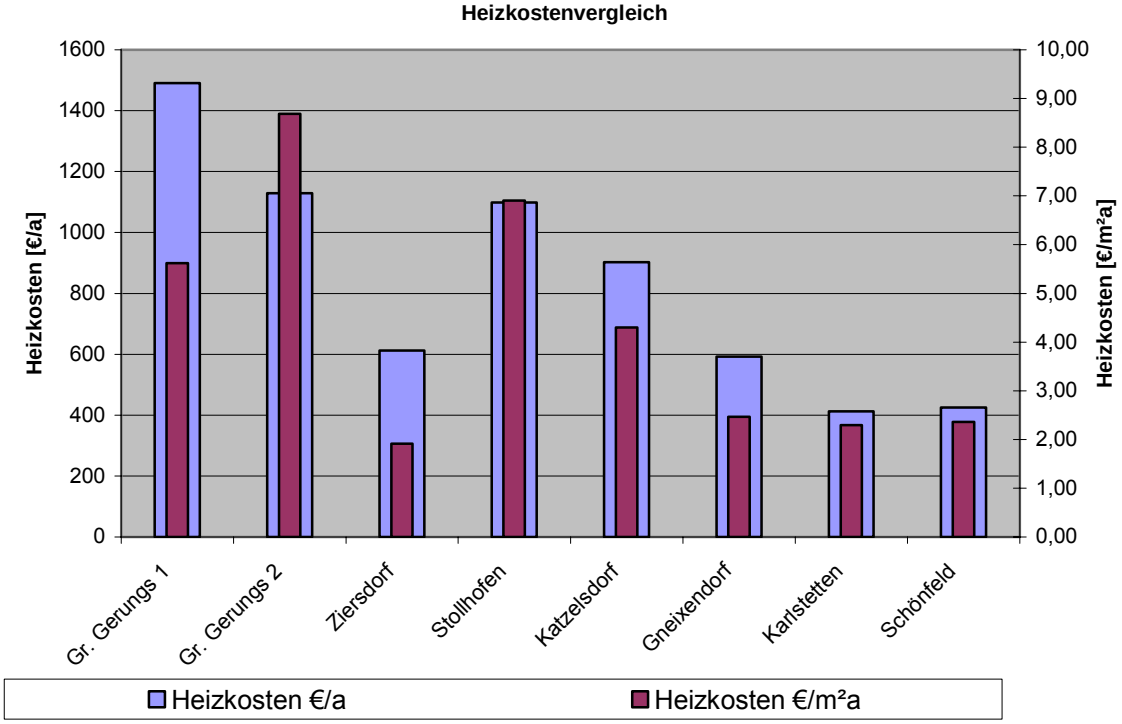


Abbildung 10: Vergleich der Heizkosten €/a und spezifischen Heizkosten €/m².a

Die hohen spezifischen Heizkosten der Anlage Gr. Gerungs 2 sind durch die hohe Innenraumtemperatur begründet. Im Vergleich zu anderen Anlagen liegen die Kosten der restlichen sieben Anlagen im üblichen Rahmen.

5.7. Total Equivalent Warming Impact

Der Total Equivalent Warming Impact (TEWI) ist ein Verfahren zur Abschätzung der globalen Erwärmung durch Erfassen sowohl des direkten Beitrags der Kältemittelemissionen (GWPdir) in die Atmosphäre als auch des indirekten Beitrags der Kohlendioxidemissionen (GWPind), verursacht durch die Erzeugung, der für den Betrieb der Wärmepumpe benötigten Energie während ihrer Lebensdauer (siehe Teil A, Kapitel 2.4 Umweltaspekte).
Um die Umweltbelastung der Wärmepumpen vergleichen zu können wurden die TEWI-Werte bezogen auf eine kWh Energie-Output und 20 Jahre Betriebszeit ermittelt. Durch die Umrechnung der TEWI-Werte bezogen auf ein kWh Energie-Output der einzelnen Systeme wird der Vergleich unterschiedlicher Anlagengrößen ermöglicht. Dadurch können die spezifischen TEWI der Anlagen mit dem eines Ölkessels oder Gaskessels verglichen werden.
Der Vergleich der spezifischen TEWI-Faktoren zeigt, dass im Durchschnitt die Wärmepumpenanlagen ca. 38 % weniger Kohlendioxid emittieren als ein Gaskessel und um 50 % weniger als ein Ölkessel.

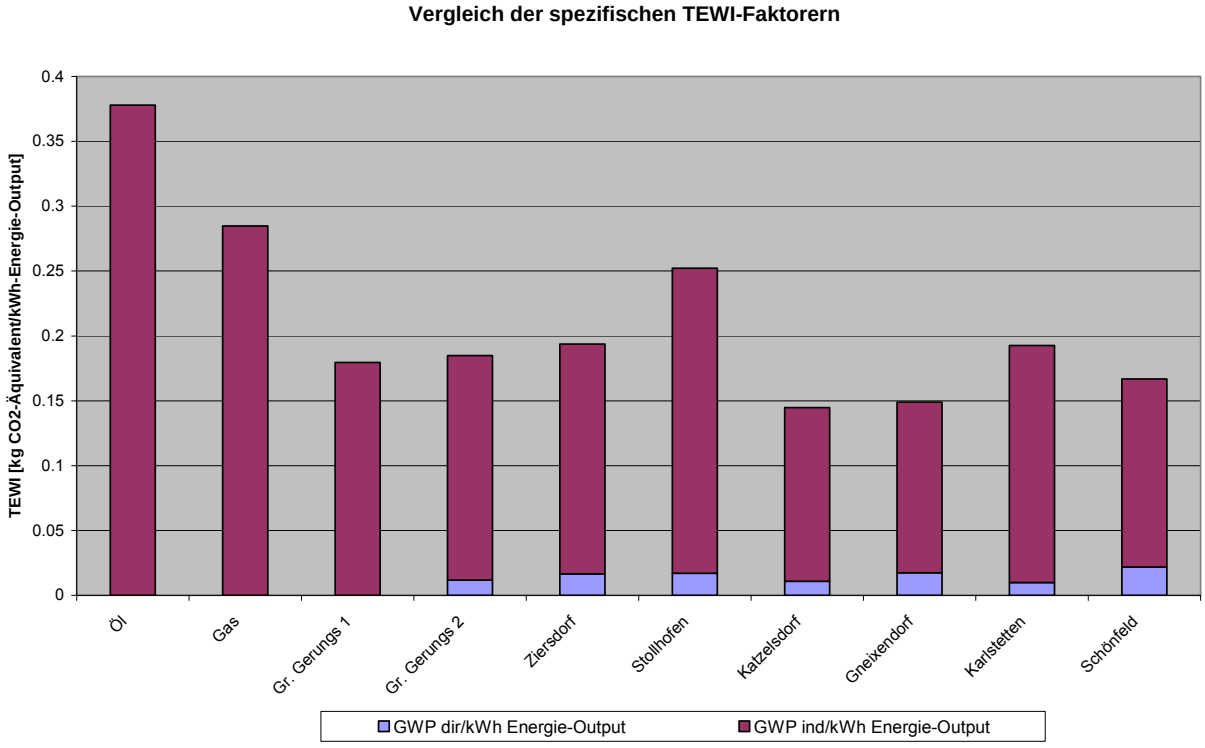


Abbildung 11: Vergleich der spezifischen TEWI-Faktoren

In Tabelle 4: Wertetabelle für den Vergleich der spezifischen TEWI-Faktoren sind die TEWI-Faktoren der einzelnen Wärmepumpenanlagen jenen eines Öl- und eines Gaskessels gegenübergestellt. Als Energieoutput des Öl- und Gaskessels wurde der Mittlereenergieoutput der acht Wärmepumpenanlagen verwendet.

Vergleich-TEWI (EVU-Mix Österreich)	Energie-Output	Energie-Input	Betriebszeit	GWP_{dir}	GWP_{ind}	TEWI	GWP_{dir} / kWh Energie-Output	GWP_{ind} / kWh Energie-Output	TEWI / kWh Energie-Output
	kWh	kWh	a	$kgCO_2$	$kgCO_2$	$kgCO_2$	$kgCO_2$ / kWh	kgCO2 / kWh	kgCO2 / kWh
Ölkessel	20568.4	25393.1	20.0	0.0	155386.1	155386.1	0.000	0.378	0.378
Gaskessel	20568.4	25393.1	20.0	0.0	117115.7	117115.7	0.000	0.285	0.285
Gr.Gerungs 1	34616.0	10405.9	20.0	6.0	124353.0	124359.0	0.000	0.180	0.180
Gr.Gerungs 2	27229.0	7885.3	20.0	6384.0	94232.0	100616.0	0.012	0.173	0.185
Ziersdorf	14418.0	4276.0	20.0	4788.0	51100.0	55888.0	0.017	0.177	0.194
Stollhofen	19487.0	7666.5	20.0	6664.0	91617.0	98281.0	0.017	0.235	0.252
Katzelsdorf	28158.0	6304.9	20.0	6118.0	75345.0	81463.0	0.011	0.134	0.145
Gneixendorf	18793.0	4136.0	20.0	6545.0	49426.0	55971.0	0.017	0.132	0.149
Karlstetten	9630.0	2944.5	20.0	1904.0	35187.0	37091.0	0.010	0.183	0.193
Schönfeld	12216.0	2966.1	20.0	5320.0	35446.0	40766.0	0.022	0.145	0.167

Tabelle 4: Wertetabelle für den Vergleich der spezifischen TEWI-Faktoren

Betrachtet man den Anteil an direkten und indirekten CO_2-Emissionen (Abbildung 12) der untersuchten Wärmepumpenanlagen, dann tragen sie mit den direkten Emissionen zu 12 % und die indirekten zu 88 % zum Treibhauseffekt bei. Daraus läst sich ableiten, das es sehr wichtig ist die Wärmepumpenanlagen effizient zu errichten und zu betreiben.

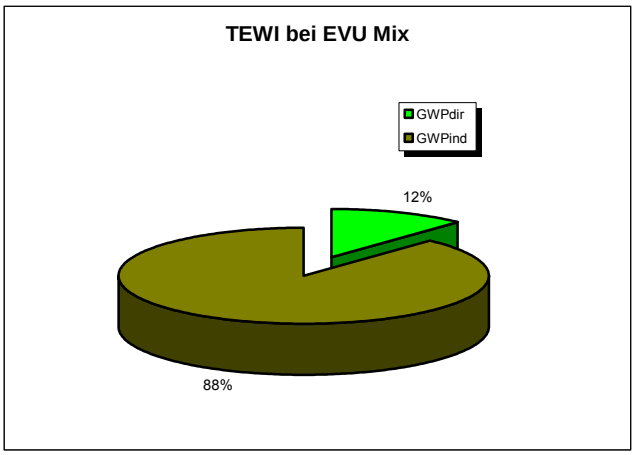


Abbildung 12: Durchschnittlicher Anteil des direkten GWP und indirekten GWP der untersuchten Wärmepumpenanlagen mit EVU Mix

5.8. Vergleich der Erdreichtemperaturen

In den folgenden Abbildungen ist ersichtlich das die Erdreichtemperaturen direkt am Kollektorrohr während der Heizperiode im Bereich zwischen -1 °C und +1 °C liegen in einem Extremfall sinkt die Temperatur direkt am Kollektor kurzfristig auf -4 °C ab. Die Temperaturen in einer Entfernung von ca. 30 cm vom Kollektor sind generell um 1-2 K wärmer, das bedeutet dass die Temperaturen in diesem Abstand fast nie in den negativen Bereich abkühlen. Weiters ist ersichtlich, dass sich die Temperaturen um den Kollektor und darüber am Ende der Heizperiode rasch wieder an die Referenzfläche angleichen.
In Abbildung 13 sind die spezifische Entzugsleistung, das heißt die Leistung die der Flachkollektor einem m² entzieht, und die entzogene Jahresarbeit dargestellt. Die entzogene Jahresarbeit ist die Arbeit die einem m² Erdreich von einem Flachkollektor in einem Jahr entzogen wird.

	spezifische Entzugsleistung	entzogene Jahresarbeit
	W/m²	kWh/m²a
Gr. Gerungs 1	24.30	40.35
Gr. Gerungs 2	24.39	55.27
Ziersdorf	23.14	25.36
Stollhofen	23.04	49.25
Katzelsdorf	22.69	56.03
Gneixendorf	30.39	40.71
Karlstetten	25.95	21.57
Schönfeld	43.50	30.83

Abbildung 14: spezifische Entzugsleistung und entzogene Jahresarbeit

Gr. Gerungs 1

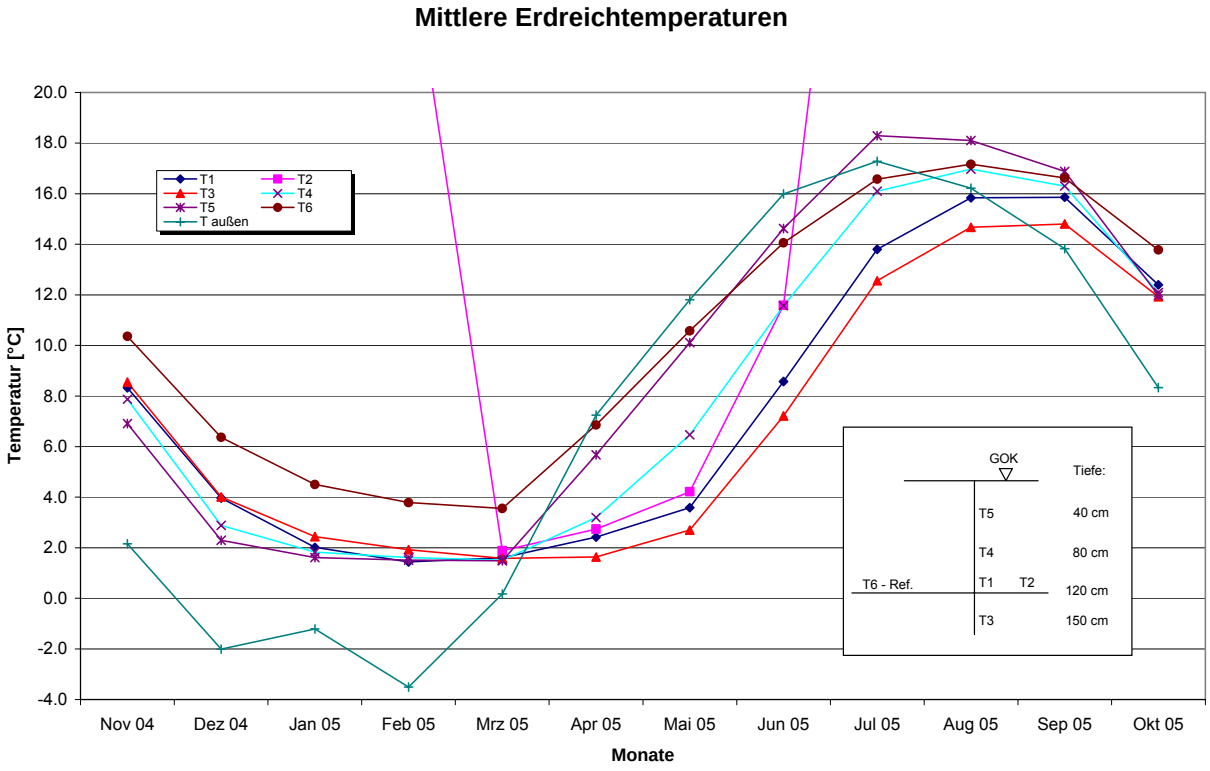


Abbildung 15: Mittlere Luft- und Erdreichtemperaturen der Anlage Gr. Gerungs 1

Die Wärmepumpenanlage Gr. Gerungs1 ist ein Direktverdampfersystem mit Scrollverdichter. Als Kältemittel wird R1270 verwendet. Die Kollektorfläche beträgt 600 m² und ist in 10 Kreise unterteilt. Der Kollektor ist in einer Tiefe von 1,2 m verlegt. Mit dieser Anlage werden ein Einfamilienhaus und eine Arztpraxis monovalent beheizt. Einige Tage nach der Verlegung der Temperaturfühler im Erdreich wies der Fühler T2 einen Defekt auf und lieferte keine plausiblen Werte. Die Außentemperatur (T außen) wurde mittels eines Datenloggers, der beim Außenthermostat der Anlage installiert wurde, aufgezeichnet. Zu erkennen ist, dass die Erdreichtemperaturen, außer T3, im September innerhalb von einem Kelvin liegen und erst im Oktober wieder beginnen auseinanderzudriften.

Gr. Gerungs 2

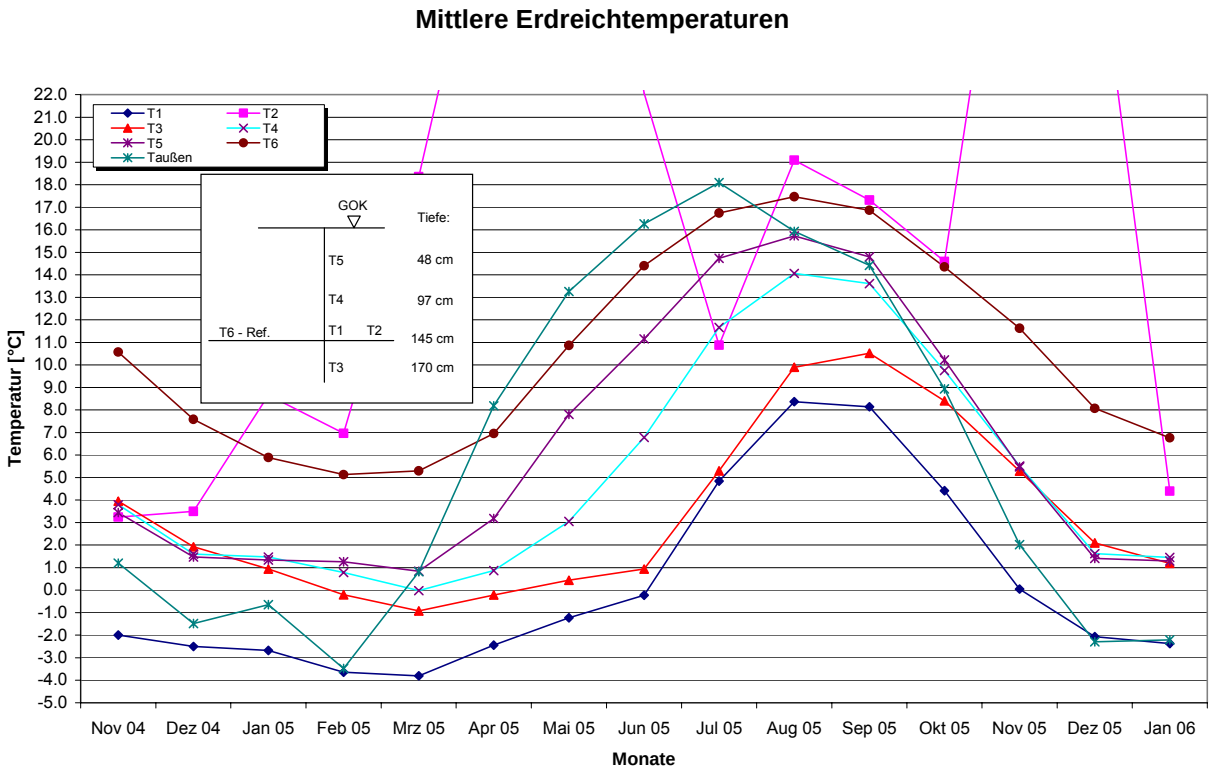


Abbildung 16: Mittlere Luft- und Erdreichtemperaturen der Anlage Gr. Gerungs 2

Die Wärmepumpenanlage Gr. Gerungs2 ist ein Direktverdampfersystem mit Scrollverdichter. Als Kältemittel wird R407C verwendet. Die Kollektorfläche beträgt 300 m², ist in 6 Kreise unterteilt und in einer Tiefe von 1,45 m verlegt. Die Wärmepumpe beheizt ein Einfamilienhaus monovalent. Ungefähr ein Monat nach der Verlegung der Temperaturfühler im Erdreich wies der Fühler T2 einen Defekt auf und lieferte keine plausiblen Werte. Bei dieser Anlage ist ersichtlich, dass sich das Erdreich nicht wie bei allen anderen Anlagen erwärmt. Auch der Fühler T3, welcher unterhalb des Kollektors installiert ist, ist durchgehend wärmer als die mittlere Temperatur von T1. Bei allen anderen Anlagen wird im Sommer die Temperatur am Kollektorrohr wärmer als unterhalb, dies ist auf die Wärmezufuhr von oben, durch Niederschlag und Sonneneinstrahlung zurückzuführen (siehe Teil A TU Graz Kapitel 4). Diese tiefen Temperaturen entstehen dadurch, dass die mittlere Innenraumtemperatur um 5 K höher ist als bei der Anlagenauslegung geplant. Bei einer Steigerung der Temperatur um 1 K wird ca. 6% mehr Energie verbraucht, dass bedeutet in diesem Fall, dass die Wärmepumpe um 30 % mehr Energie liefern muss und deshalb dem Erdreich um 22 % mehr Energie oder 5800 kWh mehr entzieht. Dadurch dass die Anlage dem Erdreich mehr Energie entzog und sogar im Sommer in Betrieb war, konnte sich das Erdreich nicht vollständig regenerieren.

Ziersdorf

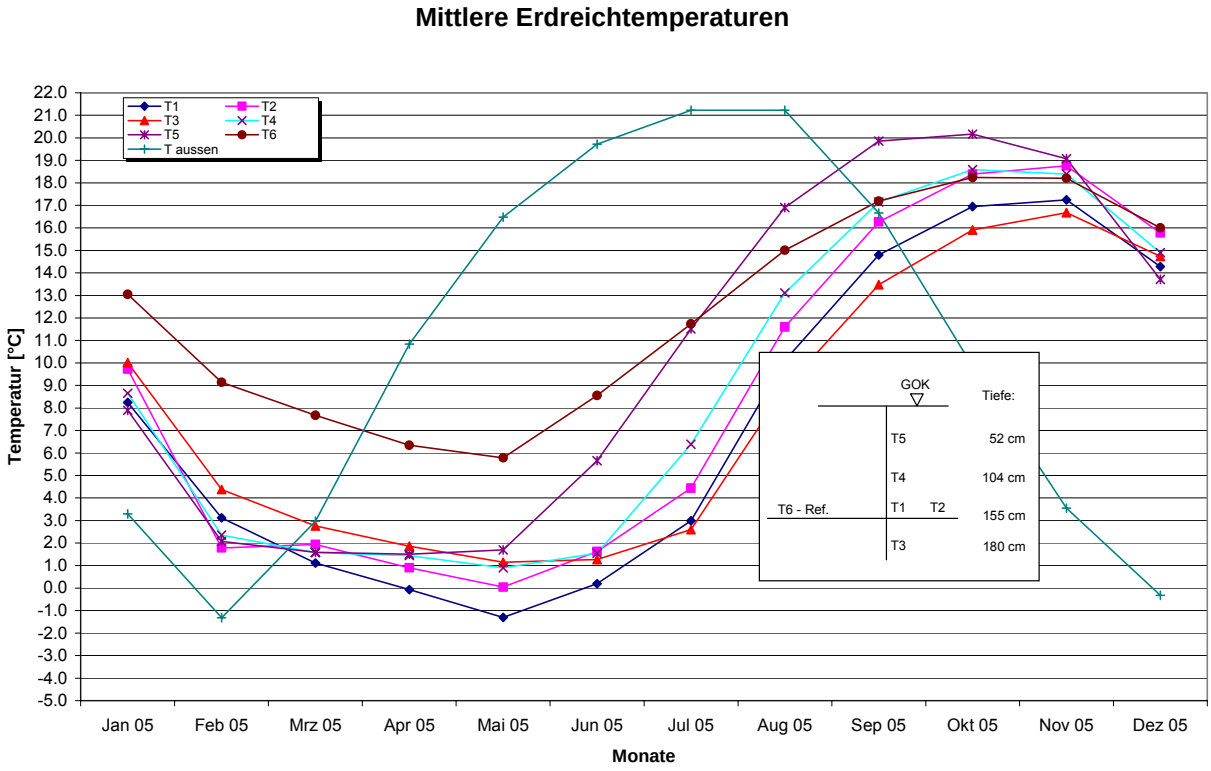


Abbildung 17: Mittlere Luft- und Erdreichtemperaturen der Anlage Ziersdorf

Die Wärmepumpenanlage Ziersdorf ist ein Direktverdampfersystem mit Scrollverdichter. Als Kältemittel wird R407C verwendet. Die Kollektorfläche beträgt 400 m², ist in sechs Kreise unterteilt und in einer Tiefe von 1,55 m verlegt. Die Wärmepumpe beheizt ein Einfamilienhaus monovalent.
Die Außentemperatur (T außen) wurde mittels eines Datenloggers, der beim Außenthermostat der Anlage installiert wurde, aufgezeichnet. Bei dieser Anlage liegen die Bodentemperaturen im November 2 K auseinander, wobei T1 und T6, welche sich auf gleicher Tiefe befinden, innerhalb von einem Kelvin liegen.

Stollhofen

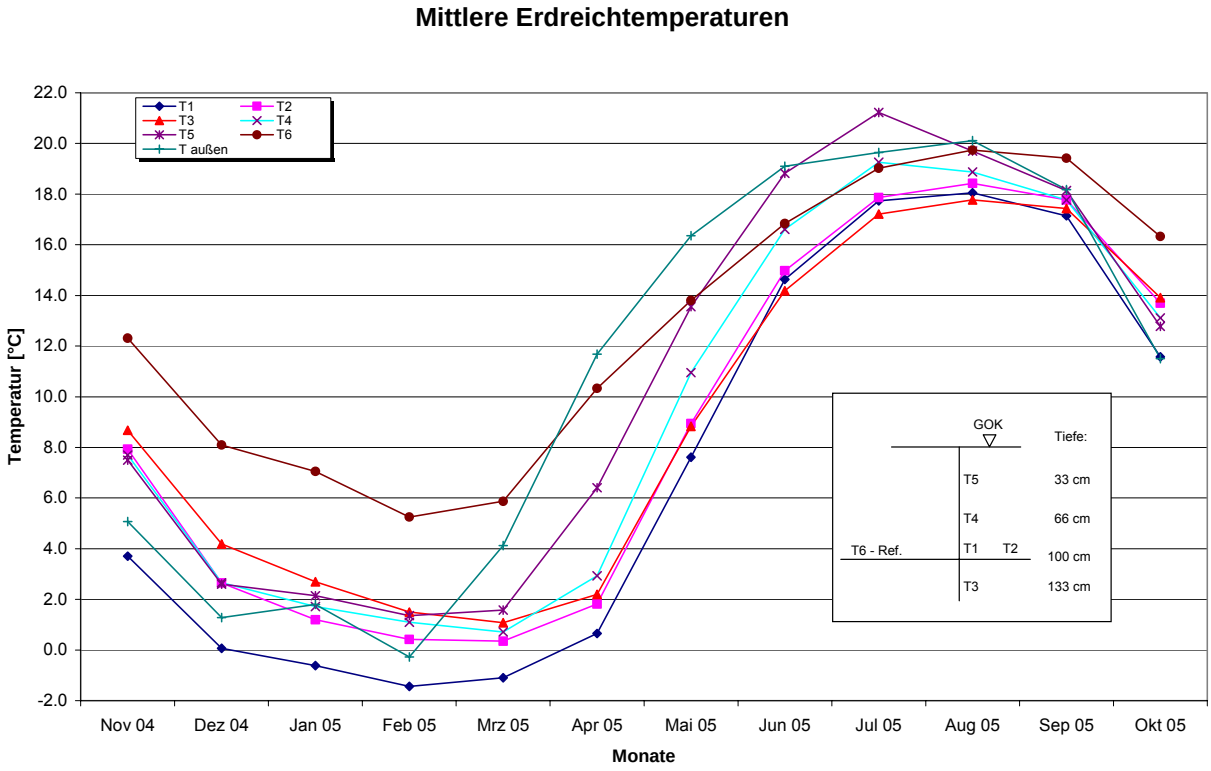


Abbildung 18: Mittlere Luft- und Erdreichtemperaturen der Anlage Stollhofen

Die Wärmepumpenanlage Stollhofen ist ein Direktverdampfersystem mit halbhermetischem Hubkolbenverdichter. Als Kältemittel wird R22 verwendet. Die Kollektorfläche beträgt 240 m², ist in sechs Kreise unterteilt und in einer Tiefe von 1 m verlegt. Dieses System beheizt ein Einfamilienhaus monovalent. Die Außentemperatur (T außen) wurde mittels eines Datenloggers, der beim Außenthermostat der Anlage installiert wurde, aufgezeichnet.
Bei dieser Anlage sind im Juli die mittleren Erdreichtemperaturen 33 cm unter der Erde um zirka 1,5 K höher als die mittleren Außentemperaturen.

Katzelsdorf

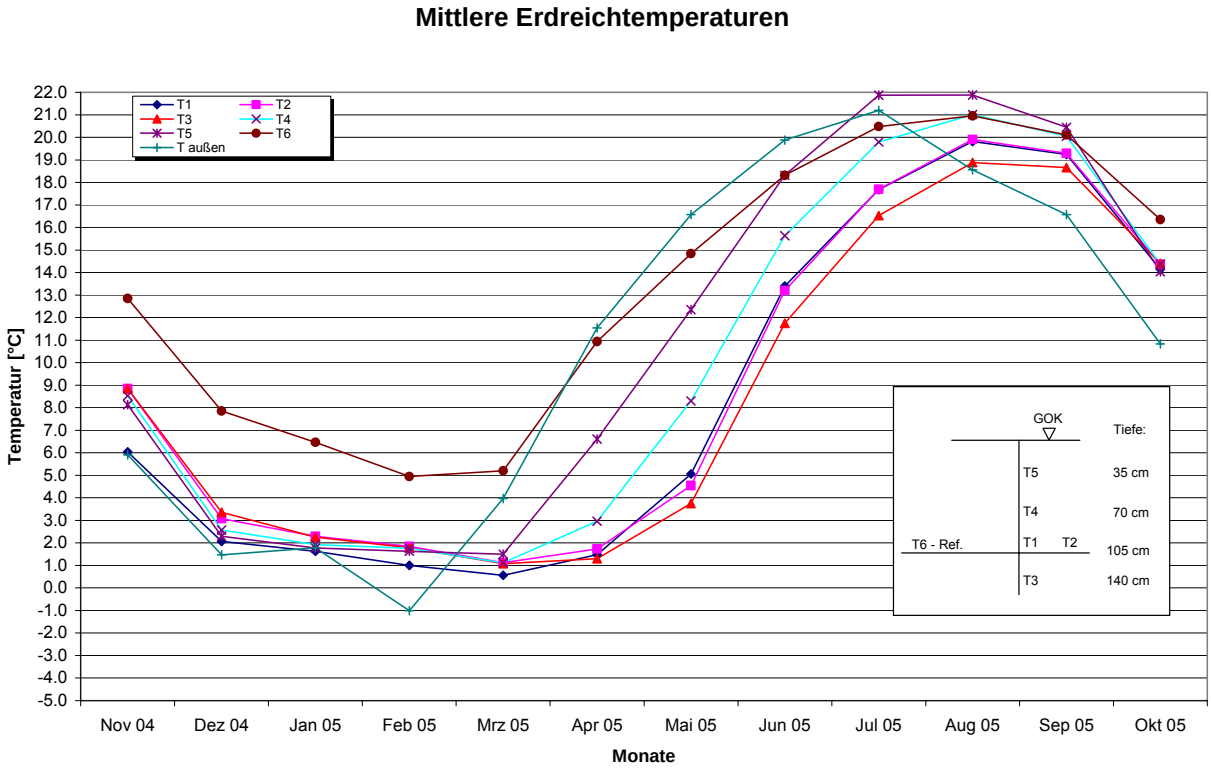


Abbildung 19: Mittlere Luft- und Erdreichtemperaturen der Anlage Katzelsdorf

Die Wärmepumpenanlage Katzelsdorf ist ein Direktverdampfersystem mit Scrollverdichter. Als Kältemittel wird R407C verwendet. Die Kollektorfläche beträgt 390 m², ist in 5 Kreise unterteilt und in einer Tiefe von 1 m verlegt. Dieses System beheizt ein Einfamilienhaus monovalent. Die Außentemperatur (T außen) wurde mittels eines Datenloggers, der beim Außenthermostat der Anlage installiert wurde, aufgezeichnet.
Bei dieser Anlage sind ab Juli die mittleren Erdreichtemperaturen 35 cm unter der Erde um zirka 1,5 K höher als die mittleren Außentemperaturen, dies ist auf hohen Niederschlag und die Position der Fühler (T außen im Schatten beim Heizungsthermostat) zurückzuführen. Außerdem ist hier sehr schön die Wärmespeicherung im Erdreich sichtbar, da die Lufttemperatur ab September deutlich unter den Erdreichtemperaturen liegt.

Gneixendorf

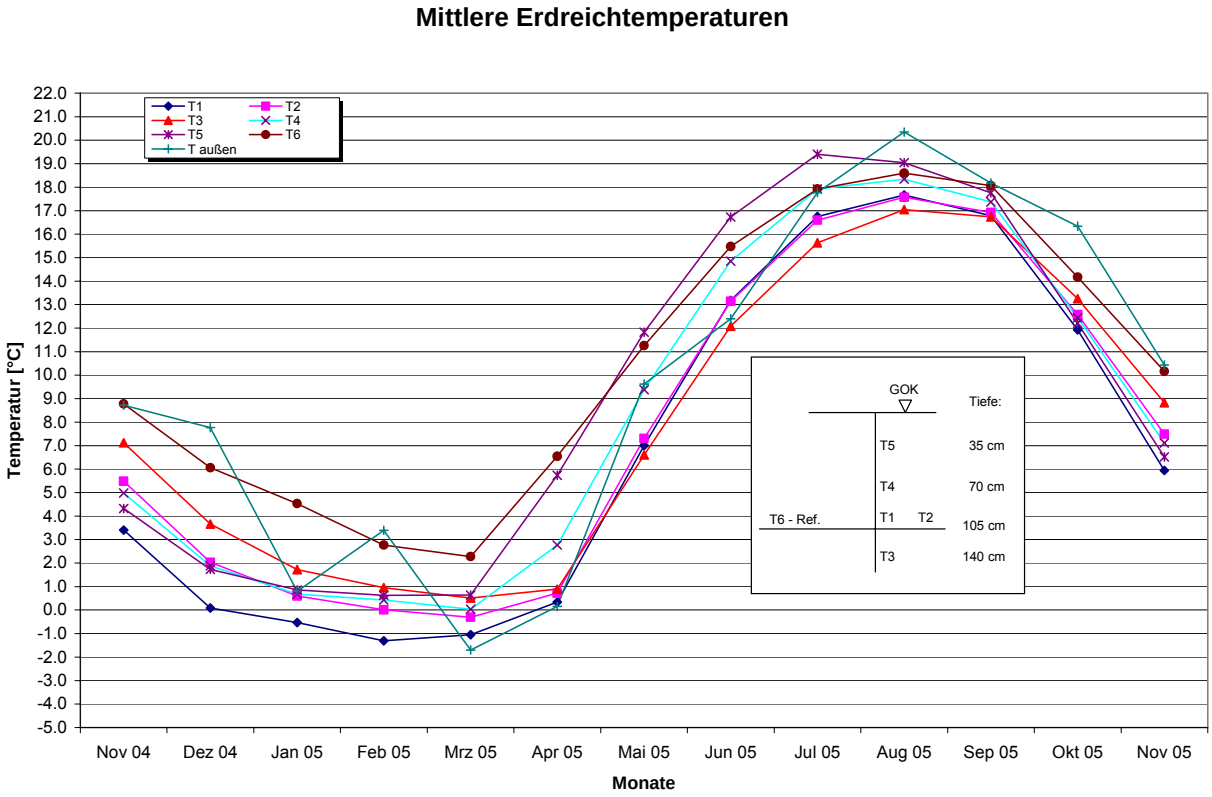


Abbildung 20: Mittlere Luft- und Erdreichtemperaturen der Anlage Gneixendorf

Die Wärmepumpenanlage Gneixendorf ist ein Direktverdampfersystem mit Scrollverdichter. Als Kältemittel wird R22 verwendet. Die Kollektorfläche beträgt 360 m², ist in sechs Kreise unterteilt und in einer Tiefe von 1 m verlegt. Dieses System beheizt ein Einfamilienhaus monovalent. Die Außentemperatur (T außen) wurde mittels eines Datenloggers, der beim Außenthermostat der Anlage installiert wurde, aufgezeichnet.
Bei dieser Anlage liegen die Bodentemperaturen im September 1,5 K auseinander, wobei T1 und T6, welche sich auf gleicher Tiefe befinden, innerhalb von einem Kelvin liegen.

Karlstetten

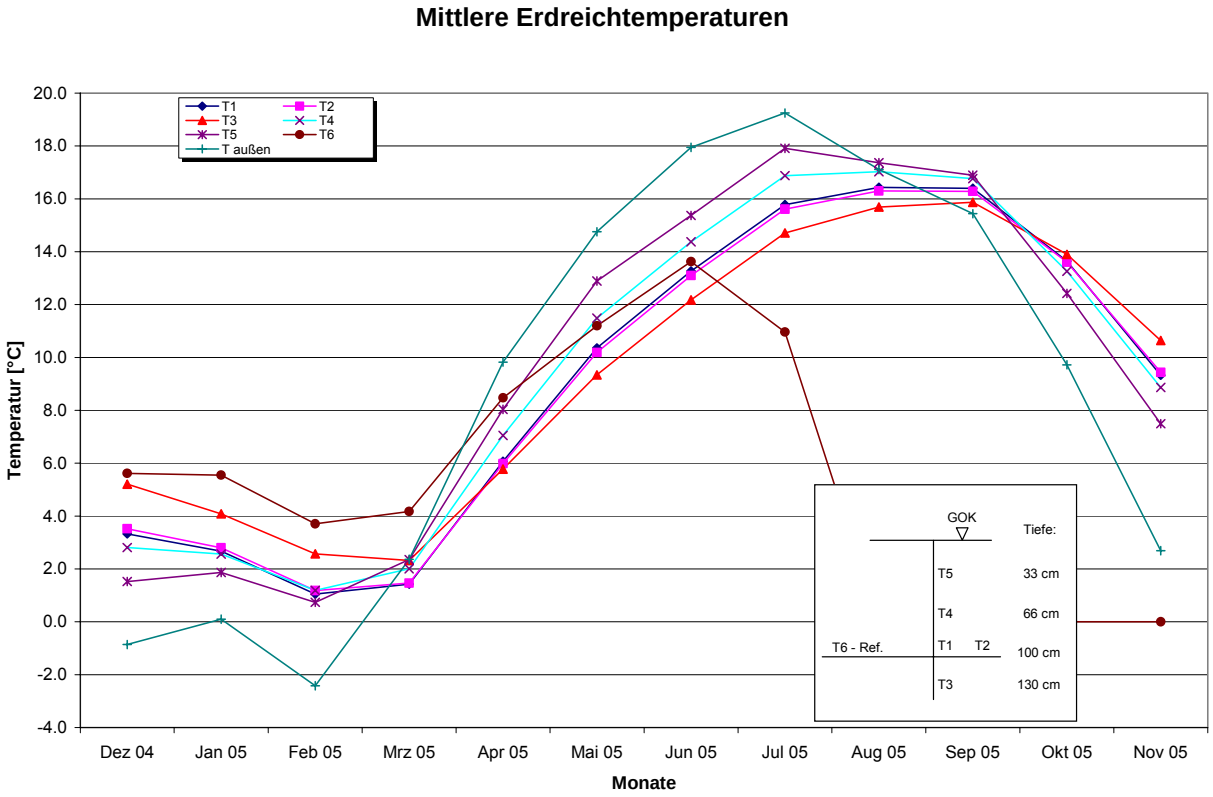


Abbildung 21: Mittlere Luft- und Erdreichtemperaturen der Anlage Karlstetten

Die Wärmepumpenanlage Karlstetten ist ein Sole-Flachkollektor mit Hubkolbenverdichter. Als Kältemittel wird R22 verwendet, die 400 l Sole, Antifrogen N, sind in einem Verhältnis 30/70 % gemischt. Die Kollektorfläche beträgt 310 m², ist in zehn Kreise unterteilt und in einer Tiefe von 1 m verlegt. Die Wärmepumpe beheizt ein Einfamilienhaus monovalent. Mitte Juli 2005 wies der Fühler T6 einen Defekt auf und lieferte keine plausiblen Werte mehr. Die Außentemperatur (T außen) wurde mittels eines Datenloggers, der beim Außenthermostat der Anlage installiert wurde, aufgezeichnet.
Bei dieser Anlage sind die Erdreichtemperaturen auf der Kollektorfläche und auf der Referenzfläche schon ab Juni nahezu identisch.

Schönfeld

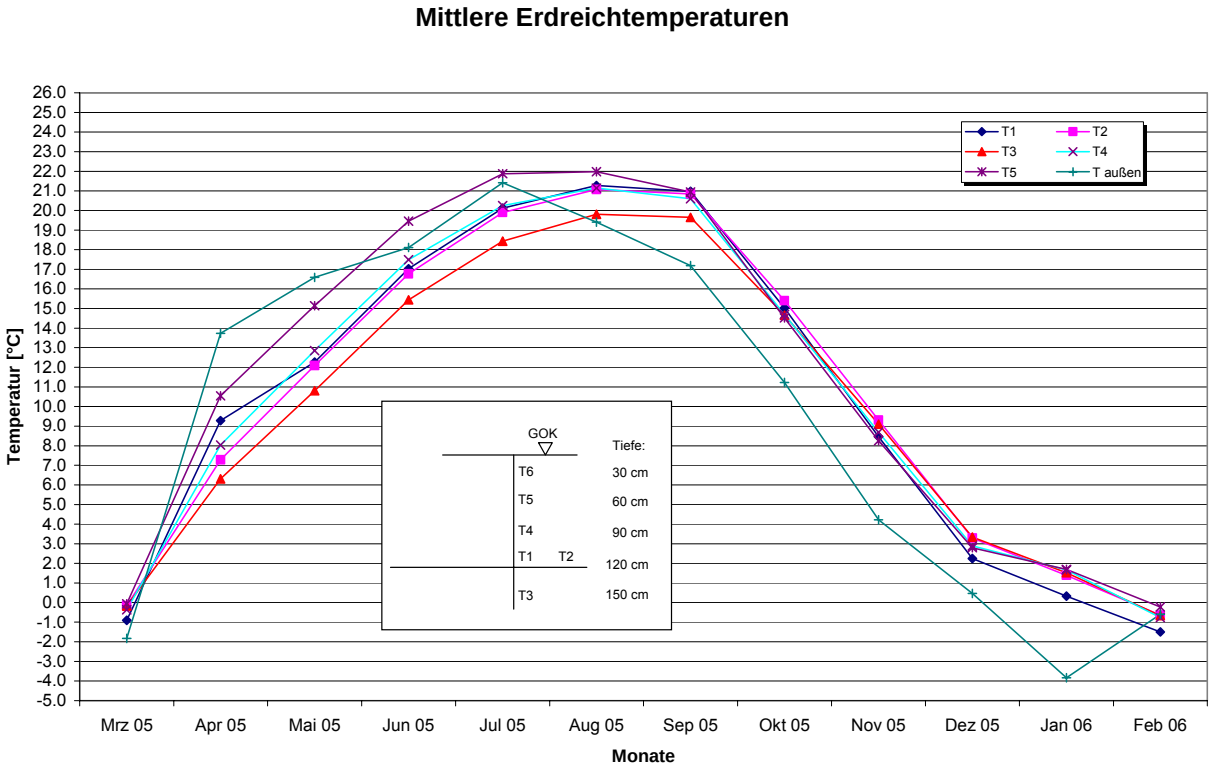


Abbildung 22: Mittlere Luft- und Erdreichtemperaturen der Anlage Schönfeld

Die Wärmepumpenanlage Schönfeld ist ein Direktverdampfersystem mit Scrollverdichter. Als Kältemittel wird R407C verwendet. Die Kollektorfläche beträgt 300 m², ist in neun Kreise unterteilt und in einer Tiefe von 1,2 m verlegt. Dieses System beheizt ein Einfamilienhaus monovalent. Die Außentemperatur (T außen) wurde mittels eines Datenloggers, der beim Außenthermostat der Anlage installiert wurde, aufgezeichnet. Nach der Verlegung der Temperaturfühler im Erdreich wies der Fühler T6 einen Defekt auf und lieferte keine plausiblen Werte, außerdem konnte kein Referenzfühler verlegt werden, da auf Grund des steinigen Bodens eine Bohrung unmöglich war.

6. Beurteilung der Wärmepumpenanlagen

Für dieses Projekt wurden acht Wärmepumpenanlagen mit Sole und Direktverdampfung ausgewählt um auch mit der kleinen Anzahl Aussagen treffen zu können.
Bei den untersuchten Anlagen ergeben sich Jahresarbeitszahlen zwischen 3,04 und 4,54, siehe Abbildung 3.
Im Schnitt betragen die Heizkosten der untersuchten Wärmpumpenanlagen 833,- EUR/a, wobei die niedrigsten Heizkosten bei 413,- EUR lagen. Bezogen auf ein durchschnittliches 150 m² Einfamilienhaus ergeben sich 647,- EUR Stromkosten pro Jahr.
Die Erdreichtemperaturen direkt am Kollektorrohr liegen während der Heizperiode im Bereich zwischen -1 °C und +1 °C und in einem Extremfall sank die Temperatur direkt am Kollektor kurzfristig auf -4 °C ab. Die Temperaturen in einer Entfernung von ca. 30 cm vom Kollektor sind generell um 1-2 K wärmer, das bedeutet dass die Temperaturen in diesem Abstand fast unter 0°C fallen. Weiters ist ersichtlich, dass sich die Temperaturen um den Kollektor und darüber am Ende der Heizperiode rasch wieder an die Referenzfläche angleichen. Womit dargestellt wird, dass wenn die Wärmequelleanlage nach dem Stand der Technik dimensioniert wurde, sich das Erdreich wieder vollständig regeneriert.
Der Vergleich der spezifischen TEWI-Faktoren (Abbildung 11) zeigt, dass im Durchschnitt die acht Wärmepumpenanlagen ca. 38 % weniger Kohlendioxid emittieren als ein Gaskessel und um 50 % weniger als ein Ölkessel. Dies bedeutet, eine Reduktion an Treibhausgasen in 20 Jahren von 634.000 t CO_2 gegenüber der Wärmebereitstellung mit Öl und von 328.000 t CO_2 bei der Verwendung von Erdgas.
Betrachtet man den Anteil an direkten und indirekten CO_2-Emissionen (Abbildung 12) der Wärmepumpenanlagen, dann tragen sie mit den direkten Emissionen zu 12 % und den indirekten zu 88 % zum Treibhauseffekt bei. Daraus läst sich ableiten, das es sehr wichtig ist die Wärmepumpenanlagen effizient zu errichten und zu betreiben.

7. Literatur

[1] ZOTTL, A..: „Monitoring und Analyse der Qualität von Wärmepumpenanlagen", Diplomarbeit, arsenal research, FH-Pinkafeld, 2002

[2] STARZER, O.: Ausweitung der Studie Wärmepumpen- und Öl-/Gasheizungen im Vergleich, Energieverwertungsagentur E.V.A., Wien 1999

[3] GILLI, P. V.: Ökologische Bewertung der Wärmepumpe, Verband der Elektrizitätswerke Österreichs, Bestell-Nr. 353/011, 1990

[4] Sand, J. R.; Fischer, S. K.; Baxter, V. D.: Energy and Global Warming Impacts of HFC Refrigerants and Emerging Technologies: TEWI Phase 3, 1997, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennesse (USA)

[5] EN 378-1: Kälteanlagen und Wärmepumpen, Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen, Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Definitionen, Klassifikationen und Auswahlkriterien, 11.2003

[6] Bundesministerium für Wirtschaftliche Angelegenheiten: Energiebericht, 2003

[7] http://www.iwo-austria.at/60.0.html, Institut für wirtschaftliche Ölheizung, letzter Zugriff: 09.01.2006

Teil C Einflüsse von Erdkollektoren auf Garten- und Wohnqualität

Ute Haage, Heide Studer; tilia mayrhofer.staller.studer oeg

1. Arbeitsweise und Methoden

Die Gärten und ihre Nutzung wurden mit freiraumplanerischen Methoden der Dokumentation und Interpretation baulich-räumlicher Strukturen, vegetationskundlichen Methoden und Interviews erfasst.
Die freiraumplanerische Bearbeitung erfolgte über empirische Untersuchungen von acht exemplarischen Gärten. Die Arbeitsweise orientiert sich an der von der „Kasseler Schule" entwickelten Methode der Freiraumanalyse (vgl. z.B. Böse (1981); Heinemann, Pommerenig (1989)), freiraumplanerischen Arbeiten am Institut für Landschaftsplanung an der Universität für Bodenkultur Wien und der Praxis des Büros tilia.
Die Bodentemperaturverhältnisse werden als wichtige Standortvoraussetzung aufbauend auf die Messungen von arsenal research beschrieben. Die Länge der Vegetationsperiode wurde durch phänologische Beobachtungen untersucht. Die Pflanzengesundheit der Gehölze wurde visuell beurteilt, aufbauend auf Kreuter (1995), die gärtnerische Erfahrung des Büros tilia in der Region, und mit Informationen aus den Interviews ergänzt.
Die Untersuchung des Rasens erfolgte über Vegetationsaufnahmen nach Braun-Blanquet (1964).
Die Interviews mit den GartenbesitzerInnen wurden als Leitfadeninterviews durchgeführt (vgl. Hopf (2000), Meier Kruker, Rauh (2005)).
Die Aufnahmen und Interviews fanden im April und Mai 2005 statt.

Die Wahl fiel auf qualitative Methoden, da diese sich gut für Fragestellungen eignen zu denen wenig Vorarbeiten vorliegen. Sie dienten einer umfassenden Annäherung an die Fragestellung der Auswirkungen von Erdkollektoren auf die Gartennutzung und einer Identifizierung von Zusammenhängen anhand einer exemplarischen Anzahl von Beispielen. Die Interviews ermöglichten ein Einbringen der Erfahrungen der Familien mit ihren Gärten und den Erdkollektoren in das Forschungsprojekt.
Aus den Ergebnissen der Erhebungen können einerseits Hinweise für andere Gärten mit Erdkollektoren abgeleitet werden, andererseits auch Fragen formuliert werden, die in weitern Untersuchungen mit einer größeren Anzahl von Beispielen geklärt werden müssen.

1.1. Dokumentation der Beispiele

1.1.1. Freiraumplanerische Aufnahme

Jeder Garten wurde zunächst mit einem maßstäblichen Grundrissplan abgebildet. Der Grundrissplan diente als Basis für die Beurteilung der Raumgliederung. Erfasst wurden Erschließung, Grenzen, grobe Geländemodellierung, ev. Mauern, Ein/Ausgänge, Gebäude, ev. Schwimmbäder, befestigte und unbefestigte Flächen, Möblierung, einjährige und ausdauernde Kulturen (Gemüse, Blumen, Stauden), Sträucher, Bäume und die Lage der Erdkollektorfläche. Die Gehölzarten wurden in den Aufnahmeunterlagen festgehalten, im Bericht sind in den Grundrissskizzen im Anhang die Arten auf der Kollektorfläche vermerkt, sowie einzelne Gehölze außerhalb für den Vergleich der Wüchsigkeit. Topographie, Kleinklima und Nachbarschaft bzw. die Lage im Ort wurden aufgenommen. Eckdaten zu den naturbürtigen Rahmenbedingungen ergänzen die Erhebung. Ein Gartenfoto gibt einen Überblick über die Anlage des jeweiligen Gartens.
Die Gärten sind über Kurzdarstellungen und den Übersichtsplan mit Grundrissen im Bericht dargestellt. Im Anhang sind die Grundrissskizzen größer und mit detaillierteren Informationen zu Gehölzen zu finden. Daran schließt ein Kapitel zu den Bodentemperaturen an. Grundlage dafür waren die Interpretation der Messergebnisse aus Teil B, Kapitel 5.8 und die Ergebnisse der Literaturrecherche von Teil A, Kapitel 4.

1.1.2. Beobachtung von Zeigern für die Länge der Vegetationsperiode

Um der Frage nachzugehen, ob über den Erdkollektorflächen die Dauer der Vegetationsperiode durch eine Verzögerung der Erwärmung im Frühling abnimmt, kam zusätzlich zur Messung der Bodentemperaturen in mehreren Tiefenstufen durch arsenal research (siehe Teil B), die Methode der phänologischen Beobachtung mehrer örtlich gegebener Faktoren zum Einsatz.

Die phänologische Beobachtung orientiert sich am Vorgehen langjähriger phänologischer Beobachtungsreihen. Beispielgebend sind Unterlagen von www.wetter-mensch-natur.de, weiters von www.naturbegleiter.at, einer Niederösterreichischen Initiative zur Beobachtung und Erforschung phänologischer Daten. Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik hat eine Liste der in Österreich seit vielen Jahren beobachteten phänologischen Merkmale zur Verfügung gestellt (www.zamg.ac.at).
Phänologie, die Lehre von den Erscheinungen, beobachtet und datiert zum Beispiel folgende Erscheinungen an Pflanzen: Beginn der Blattentfaltung, Beginn

der Blüte, Vollblüte, Fruchtreife, Laubverfärbung und Laubfall. Außerdem werden andere klimarelevante Beobachtungen datiert, zum Beispiel: Schneefall, Dauer der Schneedecke, Bodenfrost und Reif.
Im Rahmen des Projektes erfolgten die phänologischen Beobachtungen durch die GartenbesitzerInnen. Für die Vergleichbarkeit der Beobachtungen wurden Pflanzen gewählt, welche in allen Gärten wachsen und leicht zu erkennen sind. Die Tulpe und die Narzisse wurden ausgewählt, da die vorhandene Vegetation in den Beispielgärten zu wenige gleiche Arten aufwies, die leicht beobachtbar sind. Die Auswahl der Zwiebeln erfolgte nach den Anforderungen Blühsicherheit, Robustheit und Eignung für alle Standorte (Rücksprache mit Frau Emmelmann/Firma Reinsaat; Wendebourg (2004)) Die Zwiebelpflanzen wurden von tilia im Herbst 2004 gekauft und an alle GartenbesitzerInnen mit einer genauen Pflanzanleitung weitergegeben, um ev. Einflüsse unterschiedlicher Sorten auszuschließen.
Beobachtet wurden die Pflanzen jeweils im Frühjahr 2005 auf den Kollektorflächen und den Referenzflächen (vgl. Beobachtungsbogen im Anhang).

Beobachtete Faktoren:
- Dauer der Schneedecke
- Blühbeginn des Löwenzahnes Taraxacum officinale
- Blühbeginn und Blühende der Tulpe Tulipa ‚Appeldoorn'
- Blühbeginn und Blühende der Narzisse Narcissus ‚Dutch Master'

1.1.3. Visuelle Beurteilung der Pflanzengesundheit von Gehölzen

Die Pflanzengesundheit der Gehölze wurde visuell beurteilt, aufbauend auf Kreuter (1995) und die Berufspraxis des Büros tilia in der Region. Diese beruht auf mehrjähriger Erfahrung mit der Planung von Gärten und Parkanlagen in Ostösterreich und als GartenberaterInnen der Aktion „Natur im Garten" des Landes Niederösterreich.
Bei der visuellen Beurteilung wurde die Wüchsigkeit von Gehölzen anhand der Jahreszuwächse der Äste mit dem Abstand der Internodien, des Ast- und Stammumfanges, der Dichtheit und Verzweigung der Äste beurteilt. Eventuelle Blatt-, Ast- und Stammschäden wurden identifiziert, wie beispielsweise trockene Blätter bei Immergrünen, das Vorhandensein von dürren Ästen oder Rindenverletzungen.
Da die Erhebungen im zeitigen Frühjahr erfolgten, um Rasenaufnahmen durchführen zu können, befanden sich die meisten Gehölze erst im Blattaustriebsstadium. Nur Gehölze die vor/im Blattaustrieb blühen wie Forsythien oder Ahorne befanden sich im Blühstadium. Daher konnten ev. Blatt-

und Nadelkrankheiten nur bedingt identifiziert werden, ähnliches gilt für den Befall mit Pilzen, Insekten u. ä.. Daher wurden die Erhebungen mit Informationen aus den Interviews ergänzt.

1.1.4. Vegetationsaufnahmen

Die Vegetationsaufnahmen dienten als Grundlage für die Einschätzung von Pflanzenwachstum und Pflanzengesundheit der Rasengesellschaften. In jedem Garten wurden sowohl die Kollektorfläche als auch die Referenzfläche untersucht. Dabei kam die Arbeitsmethode der Zürich-Montpellier-Schule der Pflanzensoziologie, die maßgeblich von Braun-Blanquet beeinflusst wurde, zur Anwendung.
Die Auswahl der Aufnahmeflächen erfolgte auch unter dem Aspekt der Homogenität der Pflanzenbestände, d.h. innerhalb der Aufnahmefläche sollten die standörtlichen Gegebenheiten keine wesentlichen Differenzen aufweisen.

Die pflanzensoziologische Aufnahme besteht im Erfassen folgender Informationen:
- Angaben zu Ort, Lage, Standort und Nutzung der Aufnahmefläche
- Angaben zu Bodenart, Gründigkeit und Wasserhaushalt
- Größe der aufgenommenen Fläche und ihre Neigung und Exposition
- eine Schätzung der Gesamtdeckung des Vegetationsbestandes, die Wuchshöhen (Schichtung des Bestandes), Streuentwicklung, Moose und Erscheinungsbild (Aspekt)
- alle vorkommenden Pflanzen
- Schätzung von Artmächtigkeit und Häufungsweise der einzelnen Pflanzen

Im Anhang ist eine beispielhafte Vegetationsaufnahme beigelegt.

1.1.5. Interviews

In Interviews mit den GartennutzerInnen wurden Fragen zu Anlage und zu den Erfahrungen mit dem Garten gestellt. Die Interviews wurden auf Basis eines Gesprächsleitfadens von 2 Interviewerinnen geführt und schriftlich protokolliert. Im Vorfeld wurde vereinbart, dass der/die Zuständige für den Garten Zeit für das Interview hat. Die InterviewpartnerInnen waren daher unterschiedlich, manchmal war es die Frau, manchmal der Mann, in einigen Fällen auch Beide. Im Haushalt lebende Kinder waren bei einigen Familien da, sie brachten sich aber nie ein. Bei einem Fall waren die Eltern bei Teilen des Interviews dabei.
Die Durchführung und Auswertung der Interviews erfolgte in Anlehnung an Meier Kruker, Rauh (2005) S.62-79 und Hopf (2000).

Die Fragen umfassten folgende Themenbereiche:
Bedeutung des Gartens, Tätigkeiten im Garten, Informationen zur Gartenanlage von den Installateuren und Erfahrungen mit der Pflege des Gartens (vgl. Interviewleitfaden im Anhang).
Ergänzende mündliche Informationen boten Gespräche bei den Gartenaufnahmen. Dabei wurden die Themen nicht vorgegeben, sondern waren einerseits Verständnisfragen im Rahmen der Aufnahme durch die Landschaftsplanerin, andererseits Themen die die GartenbesitzerInnen von sich aus ansprachen. Enthielten diese Gespräche ergänzende Informationen, wurden sie als Gedächtnisprotokoll im Rahmen der Aufnahme festgehalten und ev. beim anschließenden Interview nachgefragt.

1.2. Zusammenführung der einzelnen Erhebungen

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte über einen systematischen Vergleich der Informationen der unterschiedlichen Erhebungen. Sie baute auf den Ergebnissen einer Vielfalt von empirischen Methoden auf, die jeweils über unterschiedliche Aufnahmemethoden Erkenntnisse zu den bearbeiteten Fragestellungen ermöglichten. Das diente einer Überprüfung und besseren Absicherung der Ergebnisse.
Der erste Schritt des Vergleiches war die Herstellung des Zusammenhanges der Erhebungen und der Kollektorlage im jeweiligen Garten. Im Anschluss daran wurden die Ergebnisse der Erhebungen zu jedem Beispiel zusammengeführt und die acht Beispiele untereinander verglichen. Die Auswertung der Erhebungsergebnisse erfolgte nach mehreren Themenbereichen.

Die Raumgliederung und Ausstattung der Beispiele wurde aufbauend auf die freiraumplanerische Kartierung beschrieben, ergänzt durch die Beobachtung des Rasenwachstums bei der Aufnahme und mündliche Informationen zur genauen Lage des Kollektors. Die Darstellung erfolgte im Vergleich der Beispiele und mit Bezug auf die darunter liegenden Erdkollektoren.
Die unterschiedlichen Nutzungen im Garten wurden bei den Interviews nachgefragt und über die freiraumplanerische Kartierung überprüft. Die Nutzungsansprüche der Familien wurden nach Häufigkeit gereiht und über alle Gärten gemeinsam zusammengestellt.
Zum Thema Gartenwirtschaft und Pflanzengesundheit wurden die Wirtschaftsweisen und Erfahrungen der acht Familien dargestellt. Die Auswertung baute auf Informationen aus den Interviews, auf die

Vegetationsaufnahmen des Rasens und die visuelle Beurteilung der Pflanzengesundheit von Gehölzen auf.
Die Interviews gaben Aufschluss darüber, an welche Informationen zur Gartenanlage durch die Installateure die GartenbesitzerInnen sich erinnern. Die angesprochenen Themen und vermittelten Inhalte wurden für alle Beispiele zusammengestellt.
Der Einfluss von Erdkollektoren auf die Länge der Vegetationsperiode wurde anhand der Beobachtung von Indikatoren für ihren Beginn im Frühling erfasst. Einflüsse auf die Krautschicht wurden mittels Beobachtungsbögen und Vegetationsaufnahmen des Rasens erfasst. Die Daten der Beobachtungsbögen wurden für alle Beispiele chronologisch und mit Bezug zu den Kollektoren dargestellt. Die Daten der Vegetationsaufnahmen wurden hinsichtlich Wuchshöhen, Erscheinungsbildern und Blühaspekten ausgewertet und zu den Wirschaftsweisen der GartenbesitzerInnen und zu den Kollektoren in Bezug gesetzt. Die Artenzusammensetzungen der Rasengesellschaften belegten die Bandbreite möglicher Rasentypen und dienten der Überprüfung der Aussagen der GartenbesitzerInnen und als Hinweise für gärtnerische Handlungsspielräume. Einflüsse auf die Strauch- und Baumschicht wurden visuell erfasst und mittels Vergleich zwischen Kollektorfläche und Referenzfläche für die jeweiligen Beispiele dargestellt.

1.3. Forschungsergebnisse

Der freiraumplanerische Projektteil schließt mit einer Interpretation der Ergebnisse in ihrer Bedeutung für Gärten und deren Nutzungsqualität. Dafür wird ein Bezug zu den Ergebnissen der anderen Projektteile zu Bodenarten und -temperaturen, -mikroorganismen und Wurzelwachstum, technischen Anlagedaten und dem aktuellen Stand der Technik in Richtlinien und Fachliteratur hergestellt. Die Theorie der Freiraum- und Gartenplanung und gartenbauliche Fachliteratur bilden den Rahmen für die Analyse. Die Darstellung der Interpretation erfolgt über Hinweise für die Gestaltung von Gärten mit Erdkollektoren.
Die Hinweise fassen die gewonnenen Informationen zusammen, zeigen unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten für GartenbesitzerInnen und InstallateuerInnen auf. Darüber hinaus benennen sie Themenbereiche, die im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht ausreichend geklärt werden konnten. Bei einigen für die Garten- und Wohnqualität wichtigen Punkten besteht noch Forschungsbedarf, um weitere wissenschaftlich fundierte Empfehlungen zu ermöglichen.

2. Kurzbeschreibung der acht ausgewählten Gärten

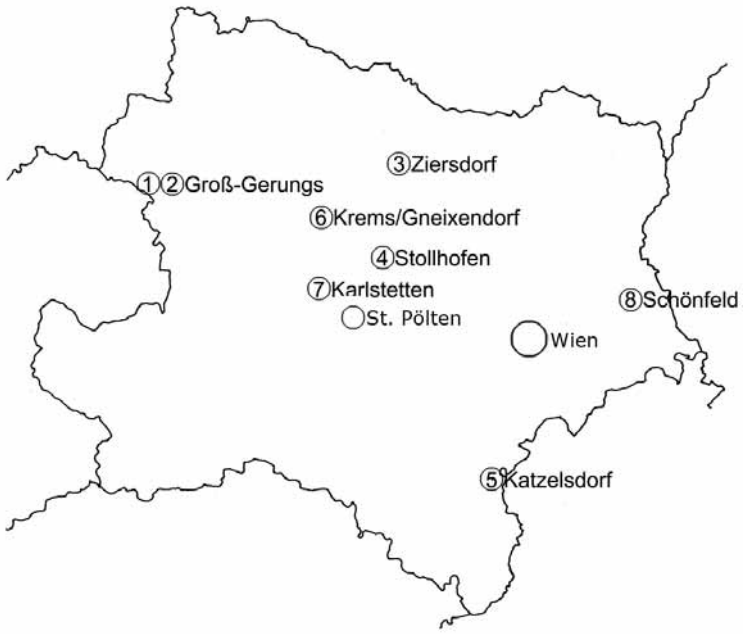
2.1. Ausgewählte Anlagen

Nr.	Anlage	WP-System	In Betrieb seit	Grundstücks-fläche	Kollektor-tiefe
1	Groß Gerungs 1	Direktverdampfung	1997	5000 m²	120cm
2	Groß Gerungs 2	Direktverdampfung	1999	920 m²	145cm
3	Ziersdorf	Direktverdampfung	2001	660 m² *	155cm
4	Stollhofen	Direktverdampfung	1986	1200 m²	100cm
5	Katzelsdorf	Direktverdampfung	2000	1040 m²	105cm
6	Gneixendorf	Direktverdampfung	1999	820 m²	105cm
7	Karlstetten	Sole-Flachkollektor	1994	890 m²	100cm
8	Schönfeld	Sole-Flachkollektor	1998	1400 m²	120cm

* Als Vergleichsfläche wurde das Nachbargrundstück herangezogen

2.2. Übersichts-Karte

Die Karte gibt einen Überblick über die Lage der ausgewählten Anlagen in Niederösterreich:



2.3. Eckdaten zu den natürlichen Rahmenbedingungen der Untersuchungsbeispiele

Beispiel 1, Groß Gerungs 1
Seehöhe: 670 m
Landschaftsraum: Waldviertel
Vegetationszone: Mitteleuropäisch
Gelände und Kleinklima: Ostterrasse, geschützt gegen Westwinde, bei Ostwind fallweise Spätfröste, Lage am Ortsrand
Boden: sandiger Schluff
Aufnahmedatum: 9.5.2005

Beispiel 2, Groß Gerungs 2
Seehöhe: 670 m
Landschaftsraum: Waldviertel
Vegetationszone: Mitteleuropäisch
Gelände und Kleinklima: Hügelkuppe, windausgesetzt, Neubaugebiet mit Einfamilienhäusern
Boden: schluffiger Sand
Aufnahmedatum: 9.5.2005

Beispiel 3, Ziersdorf
Seehöhe: 227 m
Landschaftsraum: Weinviertel
Vegetationszone: Pannonisch
Gelände und Kleinklima: SO-Hang/Hügelkuppe, windausgesetzt, Neubaugebiet mit Einfamilienhäusern
Boden: schluffiger Sand
Aufnahmedatum: 12.4.2005

Beispiel 4, Stollhofen
Seehöhe: 197 m
Landschaftsraum: Alpenvorland/Donautal
Vegetationszone: Pannonisch
Gelände und Kleinklima: eben, geschützte Lage, in altem Ortsgebiet
Boden: sandiger Schluff
Aufnahmedatum: 16.4.2005

Beispiel 5, Katzelsdorf
Seehöhe: 273 m
Landschaftsraum: Wiener Becken/Bucklige Welt
Vegetationszone: Pannonisch
Gelände und Kleinklima: Nordhang, terrassiert, kalte Fallwinde vom Wald, in Neubaugebiet mit Einfamilienhäusern
Boden: Sand
Aufnahmedatum: 15.4.2005

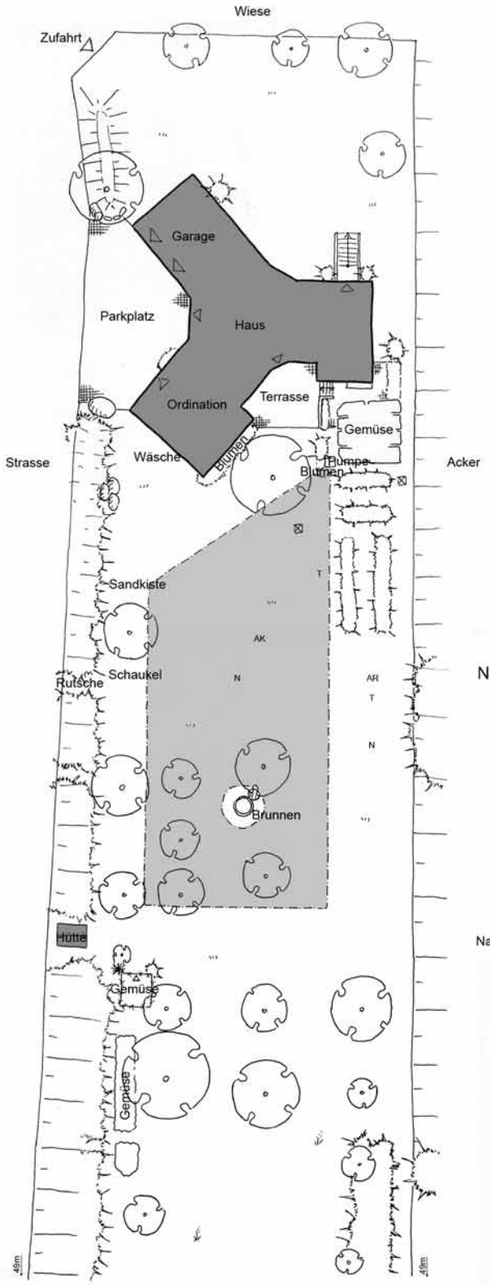
Beispiel 6, Krems
Seehöhe: 220 m
Landschaftsraum: Waldviertel/Donautal
Vegetationszone: Pannonisch
Gelände und Kleinklima: Südhang/Hangfuß, etwas windausgesetzt – durch Hecke geschützt, terrassiert, Ortsrand an Ausfahrtsstrasse
Boden: Sand
Aufnahmedatum: 12.4.2005

Beispiel 7, Karlstetten
Seehöhe: 395 m
Landschaftsraum: Alpenvorland
Vegetationszone: Mitteleuropäisch
Gelände und Kleinklima: Südhang, geschützte Lage, terrassiert, Neubaugebiet
mit Einfamilienhäusern
Boden: Schluff
Aufnahmedatum: 16.4.2005

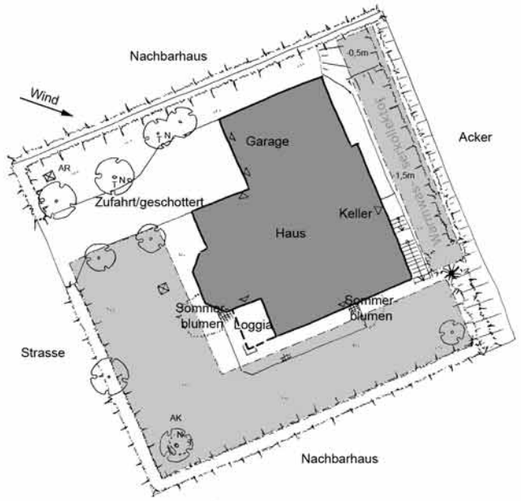
Beispiel 8, Schönfeld
Seehöhe: 150 m
Landschaftsraum: Marchfeld
Vegetationszone: Pannonisch
Gelände und Kleinklima: eben, sehr windausgesetzt, Ortsrand an Ausfahrtsstrasse
Boden: lehmiger Sand
Aufnahmedatum: 8.4.2005

2.4. Gartenskizzen

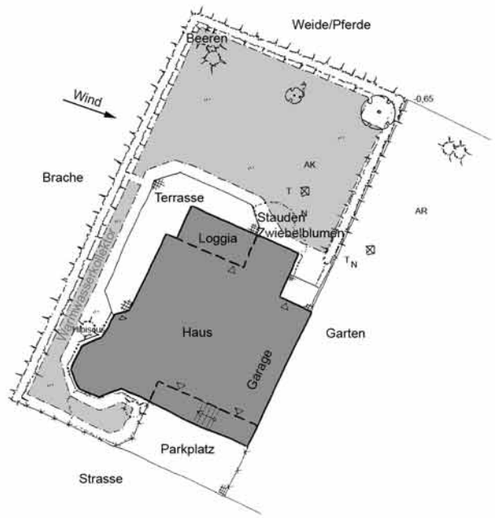
Nr.1 Groß Gerungs



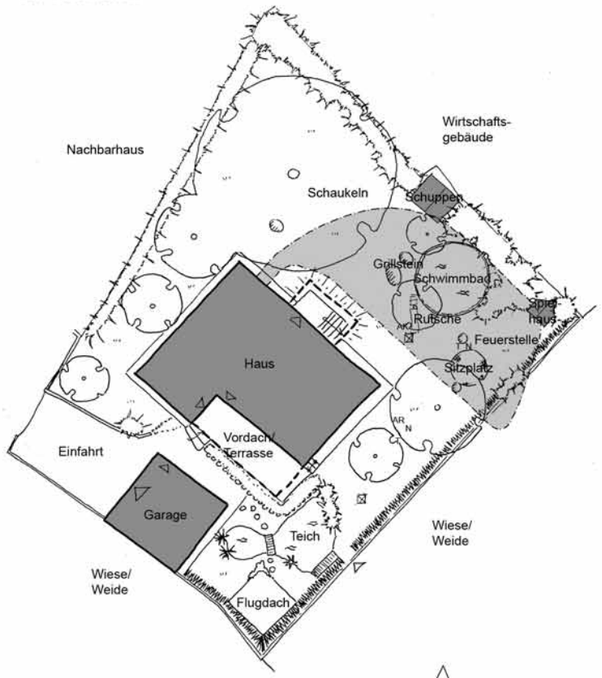
Nr. 2 Groß Gerungs



Nr.3 Ziersdorf



Nr. 4 Stollhofen



Nr.5 Katzelsdorf (bei Wr. Neustadt)

Nr.6 Krems/Gneixendorf

Nr.7 Karlstetten

Nr.8 Schönfeld (bei Marchegg)

Legende

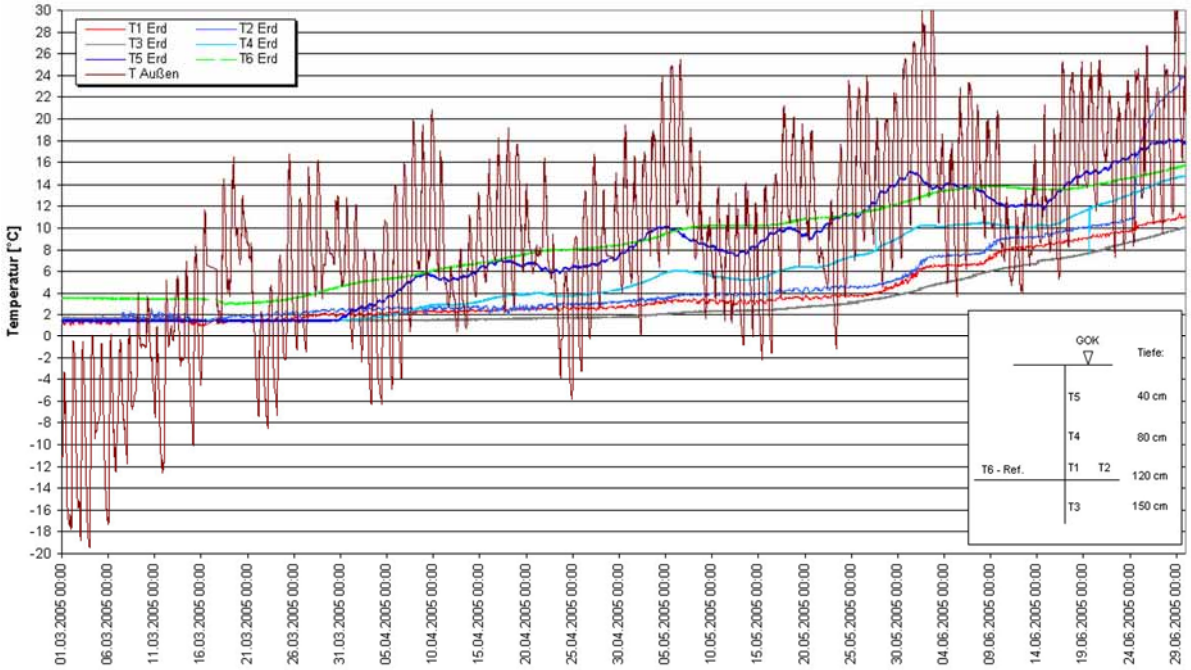
- Eingang
- Treppe
- Böschung
- Baum
- Strauch, Hecke
- Koniferenhecke
- Rasen
- Pflaster
- Trockenstein-mauer
- Gebäude
- Kollektor
- Bodenprobe und Temperaturfühler
- N gepflanzte Narzissen
- T gepflanzte Tulpen
- AK Rasenaufnahme über Kollektor
- AR Rasenaufnahme Vergleichsfläche

2.5. Bodentemperaturen

Erdkollektoren entziehen dem Boden über das Winterhalbjahr Energie und kühlen dadurch das Erdreich ab. Die Abkühlung ist im Bereich des Kollektors am größten, der bei den untersuchten Beispielen in Tiefen von 1,00 m bis 1,55 m verlegt ist.
Die Messergebnisse von arsenal research zeigen, dass im September die Monatsmittelwerte auf Kollektorniveau auf Flächen mit und ohne Kollektor ähnliche Werte aufweisen, die Unterschiede liegen bei 1-2 Grad. Im Herbst fallen die Bodentemperaturen mit und ohne Kollektor rasch ab, ab Dezember verlangsamt sich die Abkühlung. Im März beginnen die Temperaturen langsam wieder zu steigen, ab April/Mai bis in den Hochsommer steigen die Temperaturen rasch an. Der Einfluss der Wärmeentnahme des Kollektors zeigt sich wieder mit Beginn der Heizperiode. Der Boden kühlt rascher ab und die Temperaturdifferenz zu Erdreich ohne Wärmeentzug liegt auf Kollektorniveau im Winter bei 2-6 Grad. Die Temperaturen direkt bei den Leitungsrohren schwanken betriebsbedingt und können, während die Wärmepumpe eingeschaltet ist, mehrere Grad tiefer sein. Eine durchgängige Eisschicht auf Kollektorniveau mit Monatsmittelwerten deutlich unter 0°C kommt bei den richtig dimensionierten Anlagen nicht vor. Im Frühling und Frühsommer sind die Temperaturunterschiede der Böden mit und ohne Kollektor auf Kollektorniveau mit 6-10 Grad im Monatsmittel am größten, im Hochsommer gleichen sich die Temperaturen bis auf 1-2 Grad Differenz wieder an. (vgl. Teil B, Kap. 5.8)
Nach oben hin nimmt der Temperatureinfluss des Kollektors ab, wie Untersuchungen aus den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts zeigten. Bauer wies anhand von Messungen im Weinviertel mit leichter Nordhanglage nach, dass bei einer Kollektortiefe von 1,50 m der Temperatureinfluss in 0,75 m vor allem von täglichen Temperaturgängen geprägt ist. Er ging auch auf den Einfluss der Bodenart ein: leichtere Böden erwärmen sich im Frühjahr rascher und kühlen im Herbst rascher ab. Die täglichen Temperaturschwankungen fallen bei Böden mit geringerer Temperaturleitfähigkeit extremer aus, der Einfluss reicht jedoch nicht so tief wie bei Böden mit guter Temperaturleitfähigkeit. Daher weisen feuchte, schwere Böden einen ausgeglicheneren Temperaturhaushalt auf als trockene Sandböden. In den oberen Bodenbereichen erreichten Flächen mit und ohne Kollektor Anfang April das gleiche Temperaturniveau. (Bauer, 1992)
Ginschel untersuchte die Bodentemperaturen bei einer Erdkollektoranlage bei Düsseldorf mit südöstlicher Hanglage und einem in 1,65 m Tiefe verlegten Kollektor. Er maß die Temperatur in 0,65 m, 1,65 m und 2,65 m Tiefe. Die

dargestellten Temperaturganglinien sind mit denen in diesem Forschungsprojekt untersuchten Beispiele vergleichbar. Die Messwerte in der Tiefe von 0,65 m mit Kollektor und ohne Kollektor zeigten, dass das Erdreich über dem Kollektor im Winter deutlich kälter ist, die Temperaturen sich jedoch ab April angleichen. (Ginschel, 1977)

Die acht untersuchten Beispiele haben alle leichte Böden ohne Grundwasserführung. Die Kollektoren liegen bei zwei Beispielen ähnlich tief wie bei den obigen Untersuchungen, bei den übrigen Beispielen liegen sie mit 1,00 m bis 1,20 m wesentlich höher.
Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes gemessenen Boden- und Lufttemperaturkurven zeigen, dass die Temperaturen im Boden bis in einer Tiefe von 1,05 m von der Lufttemperatur beeinflusst sind.



Verlauf der Luft- und Erdreichtemperaturen bei einem Beispiel in Gr. Gerungs 1

In den oberen Bodenbereichen wurden keine Vergleichstemperaturen gemessen, die obigen Untersuchungen lassen jedoch vermuten, dass die oberen Bodenschichten sich über Erdkollektoren im zeitigen Frühjahr etwas langsamer erwärmen. Darauf weisen auch die Temperaturdiagramme hin, die zeigen, dass die Erwärmung des Erdreiches der untersuchten Anlagen im Vergleich zu Erdreich ohne Kollektor verzögert beginnt. In höher liegenden Bodenschichten (33-48 cm) ist die Verzögerung meist geringer als in tieferen Schichten (66-104 cm). Bei warmem, geschützten Kleinklima sind die Verzögerungen des

Erwärmungsbeginns des Erdreiches mit 0-10 Tagen weniger ausgeprägt (Beisp. 1, 6, 7).

Ist eine Anlage falsch dimensioniert oder wird zu viel Wärme entzogen, können wesentlich größere Temperaturdifferenzen zwischen Boden mit und ohne Kollektor auftreten. Es kommt zu einer dauerhaften Abkühlung, die auch im September erhalten bleibt. Im Winter kann es dann zu einer durchgängigen Eisschicht auf Kollektorniveau kommen. Um einen zu starken Wärmeentzug und eine dauerhafte Abkühlung des Bodens zu vermeiden, ist besonderes Gewicht auf eine ausreichende Dimensionierung des Kollektors zu legen. Sollten sich die Heizungsgewohnheiten der BewohnerInnen stark ändern, z.B. durch eine Erhöhung der Raumtemperaturen um mehrere Grad oder ein Durchheizen im Sommer in kühlen Gegenden muss überprüft werden, ob die Dimensionierung dafür ausreicht.

3. Untersuchungsergebnisse der Feldforschung

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Feldforschung nach den Themenbereichen Raumgliederung, Gartennutzung, Gartenwirtschaft und Pflanzengesundheit und Vegetationsperiodenverzögerung über dem Erdkollektor zusammengestellt. Informationen zum Garten von Installateuren ergänzen die Darstellung.
Als Einstieg ins Thema ist ein kurzer Exkurs zur Nutzbarkeit von Gärten als privater Freiraum vorangestellt.

3.1. Kurzer Exkurs zu Freiraumqualitäten

Die Planung und die Errichtung von Häusern und Gärten soll Voraussetzungen für eine gute Nutzbarkeit über viele Jahre schaffen. Gute Garten- und Wohnqualität bedeutet in diesem Zusammenhang genügend Handlungsspielräume für die BewohnerInnen vorzusehen und fundierte Informationen zum Garten mit Erdkollektor weiterzugeben.

3.1.1. Gärten als tägliche Lebensräume

Ein Garten ist tagtäglicher Lebensraum für seine BewohnerInnen und bietet eine Fülle von Nutzungsmöglichkeiten: Er kann z.B. Spielraum, Raum für Hausarbeit, zur Nahrungsproduktion oder zur Erholung sein.

Inge Meta Hülbusch thematisiert als Grundlage für die „Kasseler Schule" der Freiraumplanung im Buch „Innenhaus - Außenhaus" (Hülbusch (1978)) die Notwendigkeit des „vollständigen Wohnens". Dafür ist zum Lebensraum im Haus, dem „Innenhaus", ein „Außenhaus" – ein nutzbarer Garten notwendig.
Das „Außenhaus" besteht aus einem zur Straße und dem Quartier orientierten Vorgarten und einem privaten Garten oder Hof hinter dem Haus. Eine solche Anlage des Gartens bietet einerseits die Möglichkeit zum Kontakt mit Anderen, z.B. beim Reparieren eines Fahrrades auf den Vorplatz oder beim Pflegen von Beeten im Vorgarten. Andererseits ist hinter dem Haus Platz, um sich zurückzuziehen oder Gemüse anzubauen, das nicht vom Autoverkehr staubig ist (vgl. Haage, Mayrhofer, Studer (2003) S.28-30).

3.1.2. Gärten für die Wechselfälle des Lebens

Die Nutzungen ändern sich im Laufe des Lebens. So haben Kinder andere Ansprüche an den Garten als alte oder gebrechliche Menschen. In vielen Fällen unterscheiden sich auch die Ansprüche von Männern und Frauen: Frauen übernehmen in vielen österreichischen Familien einen Großteil der Hausarbeit. Dabei ist der Garten für sie wichtiger Arbeitsplatz: Hier können sie beispielsweise Wäsche aufhängen, Kinder beaufsichtigen oder Essen servieren. Für Männer ist der Garten oft ein Platz zum Basteln und Bauen. Für Männer und Frauen kann der Garten ein Platz zum Gestalten, Pflanzen und Ernten, zum Erholen und Feiern sein (vgl. Haage, Mayrhofer, Studer (2003) S.90-95).
Ein „Außenhaus" mit nutzbarem Vorgarten und hinterem Garten sind wichtig, damit der Garten sich mit den „Wechselfällen des Lebens" mit ändern kann. Urta Steinhäuser schreibt dazu:

„Unter Wechselfällen im Leben verstehe ich Ereignisse im Leben, die sich nachhaltig verändernd auf den Alltag auswirken: Verlust des Erwerbsarbeitsplatzes, Geburt eines Kindes, lange, schwere Krankheit, Tod eines Familien- oder Lebensgemeinschaftsmitgliedes. (...) Besonders Frauen werden dabei häufig stärker an das Haus gebunden, etwa durch Kleinkinder oder die Pflege eines alten Menschen.
Gerade in diesen Situationen gewinnen die räumlichen und sozialen Möglichkeiten des Hauses, des Innen- wie des Außenhauses, an Bedeutung. (...) Die Wechselfälle zu berücksichtigen, sie beim Bauen mitzudenken, heißt, für das Leben der Leute in seiner ganzen Breite von guten und schlechten, schönen und schweren Ereignissen zu bauen, heißt, die Grundlagen der Subsistenz zu gewähren" (Steinhäuser (1990) S.55).

Dies bedeutet, dass Gärten nie „fertig" sind und sich mit der Änderung der Lebensverhältnisse verändern: Bei wachsendem Einkommen können z.B. ein Schwimmbad oder eine Sauna das Angebot erweitern. Gibt es mehr freie Zeit können z.B. Gemüseanbau oder Staudenbeete sehr wichtig werden. Für Menschen mit einer Mobilitätseinschränkung können Gärten der einzig selbständig zugängliche Außenraum sein.

Daher ist es wichtig, bei der Planung und Anlage eines Gartens seine Veränderbarkeit zu berücksichtigen und Handlungsspielräume für die Zukunft offen zu halten.

3.2. Raumgliederung

Die Raumgliederung der Gärten wurde über die Freiraumaufnahmen im Frühling 2005 erfasst und in Form eines Vergleichs der Beispiele dargestellt.
Die Gartenskizzen in Kapitel 2.4. und die Tabelle in Kapitel 3.2.8 geben einen Überblick über die Gärten. Größere Darstellungen der Aufnahmeskizzen mit Angaben zu den Gehölzen auf den Erdkollektoren befinden sich im Anhang.

3.2.1. Lage der Erdkollektoren im Garten

Die Erdkollektoren liegen in den meisten Fällen zentral im Garten und schließen an die Terrasse an. Nur bei Beispiel 4 ist der Kollektor seitlich des Hauses unter einem Spiel- und Aufenthaltsbereich. Bei 6 Anlagen ist die Fläche südlich, südwestlich bzw. südöstlich des Hauses gelegen. Bei den Anlagen 3 und 4 liegt der Kollektor im Norden und Nordosten des Hauses.
Bei drei Gärten wurde nach dem Einbau des Kollektors annähernd das Geländeniveau von vorher wieder hergestellt. Beim Beispiel 5 wurde der Hang abgegraben und mit einer Trockensteinmauer (max. Höhe 1,6m) abgestützt. Bei den Beispielen 2, 3, 6 und 7 wurde zusätzliches Erdreich aufgebracht und der Garten liegt nun in Teilbereichen wesentlich höher als vorher (max. 2,5m bei Beisp. 7). Das Gelände wird zu den Nachbargrundstücken durch eine Mauer abgestützt (Betonmauer bei Beisp. 3 und 7; Trockensteinmauer bei Beisp. 6).

3.2.2. Vorgärten

Die Vorgärten zwischen Haus und Straße umfassen in allen Fällen befestigte Hauszugänge und Zufahrten. Diese liegen ausnahmslos außerhalb der Erdkollektorbereiche. In allen Vorgärten gibt es auch unbefestigte Bereiche mit Sträuchern, Bäumen, Stauden und/oder Rasen.

Fast alle Vorgärten sind schmal und ohne Kollektor. Eine Ausnahme bilden die Beisiele 2 und 3. Bei Beispiel 3 liegen Kollektorflächen für die Warmwassergewinnung im Vorgarten – unter Rasen und einem Beet mit Blumen, Stauden und Sträuchern. Bei Beispiel Nr. 2 liegt ein Hauptteil des Gartens (mit Terrasse, Blumenbeet, Rasen und Zierstrauchhecke an der Grenze) westlich des Hauses zur Straße hin. Hier ist der Kollektor unter den Pflanzflächen. Reihen aus Kugelahornen beidseitig der Einfahrt trennen optisch zwischen Vorgarten und den übrigen Gartenbereichen. Beide Grundstücke sind eher klein und fast die gesamte unbebaute Fläche wird für den Kollektor genutzt.

3.2.3. Übergang Haus/Garten

Bei allen Häusern führt der Weg vom Wohnbereich im Haus über eine Terrasse in den Garten. In einigen Fällen gibt es im Übergang eine Loggia (Beisp. 2, 3, 4, 6) oder einen Wintergarten (Beisp. 5, 7, bei 8 geplant). Die befestigten Terrassen liegen in der Regel außerhalb der Kollektorbereiche.
Die Terrasse liegt öfter etwas höher als der angrenzende Garten, wie bei Beispiel 3, 4, 6, 7, und 8. In einigen Fällen wurde der Niveausprung mit Böschungen gelöst, in anderen mit Mauern.
Die Terrassierungen mit Trockensteinmauern bei Beispiel 6 und 7 bilden ebene Erweiterungen der Terrasse: Rasenbereiche und Beete mit einem Schattenbaum im Süden, ein Innenhof mit Pergola und Kletterpflanzen, ein Kinderspielbereich, Beete und ein Schwimmbad. Die Terrassierung bietet den Vorteil, dass die Überdeckung mit Erde über dem Kollektor erhöht werden kann und mehr Platz für eventuelle Bauwerke und mehr Wurzelraum für Pflanzen entsteht. Liegen die Mauern wie bei diesen beiden Beispielen nach Süden, entstehen für Pflanzen wärmere Standorte, da die Mauer Sonnenwärme speichert.
In vielen Fällen grenzt an die Terrasse eine offene Rasenfläche (Beisp. 1, 2, 3, 5 und 8).
Bei zwei Beispielen gibt es einen Schattenbaum südlich der Terrasse. Beim Garten 1 ist bei der Planung des Kollektors ein Bereich für einen großen Baum freigelassen worden. Beim Beispiel 5 wurde ein größerer Baum auf dem Kollektor südlich der Terrasse gesetzt.

3.2.4. Offene Aufenthaltsflächen

Sieben der acht Gärten haben eine größere offene Rasenfläche als offene Aufenthaltsflächen. Bei drei Beispielen liegt sie im Süden des Hauses (Beisp. 1, 7, 8), bei zwei Beispiel im Norden (Beisp. 3 und 4) und bei drei Beispielen im Süden und Westen (Beisp. 2, 5, 6). Die offene Rasenfläche schließt bei vier Beispielen auf gleichem Niveau direkt an das Haus und die Terrasse an (Beisp. 1,

2, 3, 5). Bei drei Beispielen liegt die offene Rasenfläche etwas entfernt vom Haus (Beisp. 6, 7, 8). Beispiel 4 hat eine größere Rasenfläche unter einem alten Nussbaum und eine offene Aufenthaltsfläche mit befestigten Plätzen für das Schwimmbad und den Sitzplatz über dem Kollektor.
Bei drei Beispielen sind die Rasenflächen zur Gänze Kollektorflächen (Beisp. 2, 3, 7), bei den übrigen zum Teil.
Die Rasenflächen dienen als Aufenthaltsbereiche und sind Teil des Wohnraumes: Sie bieten Raum für verschiedene Aktivitäten und Elemente: für kleine Sitzplätze, einen Feuerplatz, den Auslauf der Haustiere, Spielgeräte, Spiele (z. B. Ballspiele) und Muße. Sie dienen auch als Arbeitsraum (Wäscheplatz) und als Verbindung zwischen Haus- und Gartenwirtschaft (Weg zu Wäscheplatz, Kompost) (Beisp. 1). Bei vier Beispielen ist die Rasenfläche darüber hinaus als Grünfläche wichtig und soll den jeweiligen ästhetischen Ansprüchen entsprechen (Beisp. 2, 3, 5, 6).

3.2.5. Wirtschaftsbereiche

In vielen Gärten werden Obst und Beeren gezogen, dabei stehen Obstbäume und Beerensträucher sowohl über dem Erdkollektor als auch in anderen Gartenteilen. Gemüse wird in zwei Fällen (Beisp. 6 und 7) über dem Kollektor gezogen, wobei das Kleinklima durch Trockensteinmauern, Windschutz und Erhöhung der Erde über dem Kollektor verbessert wird. Bei den Gärten 1 und 4 gibt es Gemüsegärten außerhalb des Kollektorbereiches.
Wäscheplätze, Lagerbereiche und Schuppen liegen in der Regel außerhalb der Kollektorfläche. Nur Garten 8 hat einen Schuppen direkt über dem Erdkollektor.

3.2.6. Schwimmbecken

Bei der Hälfte der Beispiele sind Schwimmbäder ein wichtiges Thema: Bei den Gärten 5 und 6 sind die Kollektorflächen so angelegt, dass der Einbau eines Schwimmbades außerhalb der Kollektorfläche möglich ist. Bei den Beispielen 4 und 7 mit Kollektoren aus den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts kam der Wunsch nach einem Schwimmbad Jahre nach der Fertigstellung der Kollektorfläche. In beiden Fällen liegen die Schwimmbäder auf den Kollektorflächen – ein anderer sonniger, großer freier Platz ist nicht vorhanden. Beispiel 4 hat ein über den Sommer aufgestelltes mobiles Schwimmbad, für das ein Bereich mit in Sandbett verlegtem Klinker befestigt wurde. In Garten 7 liegt ein betoniertes Schwimmbad über der Kollektorfläche. Für eine ausreichende Beckentiefe wurde das Gelände mit einer Trockensteinstützmauer und Erde erhöht.

3.2.7. Grenzen

Alle Gärten haben Hecken entlang von Grundstücksgrenzen, die Größe und Breite sind jedoch sehr unterschiedlich. Bei den Gärten 1 und 6 gibt es Windschutzhecken zur Hauptwindrichtung im Westen. Dadurch liegt der Garten windgeschützt, wärmer und trocknet weniger aus. Zum Osten hin sind beide Gärten offen, die Sonnenstrahlen können ungehindert einfallen.
Die übrigen Gärten sind rundum von Hecken begrenzt. Bei den Beispielen 2, 3, 5 und 8 sind die Hecken mit einer Höhe von 0,5-1,5m niedrig. Sie wurden entweder erst kürzlich angelegt (Nr. 3, 5, 8) oder werden wie bei Beispiel 2 durch Schnitt niedrig gehalten. Diese Hecken können aufgrund der Höhe kaum Sichtschutz und Windschutz bieten und das Kleinklima verbessern.
In einigen Fällen werden kleinere Strauchgruppen zur Raumgliederung eingesetzt – diese stehen im Unterschied zu den randlichen Hecken oft auf den Erdkollektoren (Beisp. 3, 4, 5, 6, 7, 8).
Mauern sind in der Hälfte der Gärten ein wichtiges Raumgliederungselement. Sie dienen einerseits dem Ausgleich von Höhenunterschieden zwischen Haus und Garten (Beisp. 5, 6, 7, 8) oder zu Nachbargrundstücken, die durch die Aufschüttung bzw. den Abtrag von Erde eine andere Geländehöhe aufweisen (Beisp. 3, 5, 6, 7). Bei drei Beispielen in Hanglage gliedern sie darüber hinaus auch den Garten (Beisp. 5, 6, 7). Es entstehen ebene Bereiche für Schwimmbäder, Aufenthalt oder Beete. Kleinklimatisch wärmend wirken sich südexponierte Mauern aus, die Sonnenwärme speichern und an die Umgebung abgeben (Beisp. 6 und 7) . Nordmauern machen den Garten kühler, da sie Schatten werfen und Kühle halten (Beisp. 5).

3.2.8. Übersichtstabelle

Gartenausstattung und Bepflanzung über dem Erdkollektor

Nr.	Befestigte Fläche			Vegetation						Spiel/Sport			Haustiere
	Pflaster	Mauer	Schuppen	Bäume	Sträucher	Beeren	Blumen/ Stauden	Gemüse	Rasen	Spielgeräte, Sand	Ballspielfeld	Pool	
1	-	-	-	O	-	-	-	-	X	-	X	-	-
2	B	-	-	Z	-	-	X	-	X	X	-	-	-
3	-	-	-	-	Z	-	X	-	X	-	X	-	-
4	S	-	-	O	Z	X	-	-	X	X	-	M	-
5	-	X	-	Z	Z	-	X	-	X	X	X	-	X
6	-	X	-	O	Z, W	X	X	X	X	-	X	-	-
7	S, B	X	-	O, W	Z	X	X	X	X	X	-	F	X
8	-	-	X	-	Z	-	-	-	X	-	-	-	X

B	Pflaster Betonbett	Z	Ziergehölz
S	Pflaster Sandbett	O	Obstgehölz
M	mobiler Pool	W	Wildgehölz
F	fixer Pool		

Die Tabelle bietet einen Überblick über die unterschiedliche Gartenausstattung und Bepflanzung über der Erdkollektorfläche bei den 8 untersuchten Beispielen. Sie zeigt, dass bei mehreren Beispielen befestigte Flächen und Mauern über dem Kollektor angelegt wurden, in nur einem Fall ein Gebäude. Die befestigten Flächen liegen zwischen 3,5% und 16% der Kollektorfläche. Die größeren Pflasterflächen finden sich häufig bei älteren Wärmepumpenanlagen.
Bei der Bepflanzung mit Gehölzen fällt auf, dass bei allen Gärten Bäume oder Sträucher über der Kollektorfläche wachsen, bei sechs Beispielen gibt es Bäume – viele davon Obstbäume. In allen Fällen wurden auch mittel- bis großkronige Bäume gesetzt.
Beeren und Gemüse ziehen weniger als die Hälfte der GartenbesitzerInnen direkt über dem Erdkollektor, Blumen und Stauden etwas über die Hälfte.
Bei allen Gärten liegen Rasenflächen über der Kollektorfläche.

Die Hälfte der Gärten hat Spielgeräte oder Spielfelder über dem Erdkollektor. Bei zwei Beispielen liegen seit einigen Jahren Schwimmbäder über der Erdkollektorfläche – beide Anlagen sind schon mehrere Jahre in Betrieb.
Bei drei Beispielen werden über der Kollektorfläche Haustiere gehalten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Rasenflächen, Beete, Stäucher und Bäume, Trockensteinmauern, Sitzplätze, Spielgeräte, Ausläufe für Haustiere, Feuerstellen und Komposthaufen sowohl über den Kollektoren liegen als auch in anderen Gartenteilen. Das gleiche gilt für Schwimmbäder.
Befestigte Zugänge und Zufahrten/Parkplätze und Terrassen haben alle Beispiele außerhalb der Kollektorflächen. Schuppen, Tierhütten und Lagerplätze gibt es in mehreren Gärten, nur in einem Fall steht der Schuppen auf der Kollektorfläche. Brunnen und Sickerschächte liegen fallweise von Kollektorflächen umgeben im Garten. Der einzige Teich liegt außerhalb des Kollektorbereiches.

3.3. Nutzungen im Garten

Die GartenbesitzerInnen nannten bei den Interviews mehrere Nutzungsansprüche an ihre Gärten:

3.3.1. Spielen

Spielen ist der häufigste Anspruch (Ballspiele, Sandspiel), der auch bei allen acht Beispielen Platz findet. Für das Spielen sind offene Rasenbereiche und bei einigen Gärten fixe oder mobile Spielgeräte, Kinderhütten oder Sandspielbereiche vorhanden.

3.3.2. Erholen

Der Garten wird von 5 Familien als Erholungsraum gesehen, etwa zum „Sitzen auf der Terrasse" oder zum „Liegen". Alle Gärten haben eine Terrasse und Zierpflanzen zum Anschauen. In zwei Gärten gibt es darüber hinaus noch einen entfernt vom Haus liegenden befestigten Sitzplatz.

3.3.3. Baden

Das Baden ist auch ein wichtiges Thema. Bei zwei Beispielen gibt es Schwimmbäder über der Kollektorfläche, zwei andere Gärten sind so angelegt, dass Schwimmbäder außerhalb der Kollektorfläche Platz haben.

3.3.4. Haustiere halten

Lebensraum für Haustiere wie Hunde, Katzen, Kaninchen oder Schildkröten sind die Hälfte der Gärten.

3.3.5. Feiern

Feste und Feiern sind bei drei Gärten eine wichtige Funktion – oft in Zusammenhang mit Feuer- oder Grillplätzen.

3.3.6. Gärtnern und Graben

Gärtnern und Graben ist für einige bedeutend. Sie planen, pflanzen oder bauen gern in ihren Gärten.
Andere sehen Gartenarbeit als notwendige Arbeit, die sie möglichst zu reduzieren versuchen. Sie betonen, dass der Garten nicht perfekt sein muss.

3.3.7. Produzieren von Nahrung

Die Produktion von Nahrung wurde nur einmal als wichtige Aufgabe des Gartens genannt. In fast allen Gärten gibt es jedoch Obstbäume und Beerenobst. Obstbäume auf Kollektorflächen gibt es bei vier Gärten. Gemüse und Kräuter werden bei zwei Gärten über den Kollektoren angebaut, bei zwei Gärten auf Flächen ohne Kollektor.

3.4. Gartenwirtschaft und Pflanzengesundheit

3.4.1. Erdarbeiten vor der Anlage des Gartens

Bei den Interviews beschrieben die GartenbesitzerInnen die Erdarbeiten folgendermaßen:
Nach Einbau des Erdkollektors wurde das Erdreich schichtweise wieder aufgebracht. Bei drei Anlagen wurden größere Mengen von Erde zugekauft (Beisp. 3, 6, 7). Bei den anderen Gärten fand die vorhandene Erde für den Einbau Verwendung.
Einige GartenbesitzerInnen sprachen den veränderten Humusgehalt nach dem Kollektoreinbau an. Bei den Gärten 1 und 5 wurde sehr wenig Humus aufgebracht (unter 5 cm), bei Garten 2 mit 20-30 cm sehr viel. Bei Beispiel 6 wurde Kompost in die obersten Schichten eingearbeitet.
Eine Lockerung des Erdreiches erfolgte in 3 Gärten vor der Gartenanlage. Beispiel 1: fräsen und eggen, Beispiel 6: Kompost einarbeiten, Beispiel 7: 30cm tief fräsen und eggen. In mehreren Gärten wiesen die GartenbesitzerInnen bei Nachfrage auf verdichtete Horizonte in unterschiedlichen Tiefen hin, die auf die Einbauphase des Erdreiches zurückgehen (Beisp. 3, 5, 7). In zwei Fällen war zu

Beginn eine Verdichtung vorhanden (Beisp. 4 – „am Anfang war der Boden an der Oberfläche hart, jetzt ist er normal", Beisp. 6 – „am Anfang war der Boden hart, wir haben Kompost eingearbeitet und es wächst alles ganz gut")
Bei der Entnahme der Bodenproben wiesen die Gärten 7 und 8 Verdichtungen auf.
Bei den Gärten 2 und 8 wurden die im Erdreich natürlich vorhandenen Steine als Hindernis beim Graben genannt.

Es zeigen sich keine Schwierigkeiten beim Pflanzenwachstum bei Gärten die zu Beginn gut gelockert wurden. Zwischen der Menge des aufgebrachten Humuses und dem Pflanzenwachstum besteht bei den untersuchten Beispielen kein signifikanter Zusammenhang.

3.4.2. Bewirtschaftungsweise des Gartens

Drei Gärten werden ökologisch bewirtschaftet (Beisp. 1, 4, 6), entsprechend den Kriterien der Aktion „Natur im Garten" des Landes Niederösterreich. Die übrigen Gärten werden konventionell bewirtschaftet, mit regelmäßiger Mineralsstoffdüngung und dem Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln bei Krankheiten und Schädlingsbefall.
In den Interviews wurde auch des Gießen angesprochen. Regelmäßig über den Sommer werden zwei Gärten (Beisp. 3 und 6) gegossen. Die übrigen GartenbesitzerInnen gießen den Rasen, wenn es länger sehr trocken ist. Beete und Gehölze werden in allen Gärten gegossen. Das Vorhandensein von automatischen Bewässerungsanlagen beeinflusst das Gießverhalten kaum. Einige GartenbesitzerInnen gießen wenig, weil der Wasserverbrauch und die Kosten so hoch sind.

3.4.3. Pflanzengesundheit

Die Aufnahmen umfassten Vegetationsaufnahmen des Rasens und die visuelle Beurteilung der Wüchsigkeit von Gehölzen und eventueller Blatt-, Ast- und Stammschäden. In den Interviews wurden gezielt Fragen zu Erfahrungen mit der Gartenwirtschaft, insbesondere zu Pflanzenwachstum, Ertrag, Krankheiten und Schädlingsbefall gestellt.
Eine Beschreibung der veränderten Bodentemperaturen, die veränderten Standortverhältnisse über einem Erdkollektor bedingen, ist in Kapitel 2.5. beschrieben.

Die Vegetationsaufnahmen der Rasengesellschaften belegen, dass die Einzelpflanzen (Gräser, Kräuter) bei allen Beispielen gesund sind. Erdkollektoren

bewirken keine Schädigung der Rasenpflanzen, zu genaueren Ausführungen zum Einfluss von Erdkollektoren auf Rasen siehe Kapitel 3.6.3.
Bei Sommerblumen, Stauden und Rosen weist die Erfahrung der GartenbesitzerInnen der 8 Gärten darauf hin, dass „Blumen" auch über Kollektorflächen gut gedeihen.
Auch Kräuter und Gemüse wachsen gut. Bei zwei Gärten werden sie über den Erdkollektoren angebaut. Bei einem der Gärten wird Gemüse erst ab Mitte Mai mit Setzlingen gezogen, um die Vegetationsperiodenverzögerung auszugleichen.
Die Erfahrungen mit Beerenobst sind ebenfalls gut. Erdbeeren, Stachelbeeren, Himbeeren, Brombeeren und Ribisl gedeihen in allen Gärten, in denen sie auf dem Kollektor wachsen, gut und bringen reiche Erträge.

Bei den Gehölzen gibt es Unterschiede:
Robuste, standortgerechte Arten sind wüchsig. Bei Pflanzen, die in dem jeweiligen Gebiet nicht mehr ganz standortgerecht sind (z.B. in Bezug auf Frost, Trockenheit, Windverträglichkeit, Kalkgehalt) oder die an räumlich ungünstigen Stellen im Garten stehen (z.B. mitten im Garten), waren fallweise Schäden festzustellen. Die letzteren Schäden wurden von den GartenbesitzerInnen auch auf Tiere und Kinder zurückgeführt.
Die meisten Sträucher wachsen gut. Das gilt sowohl für Zier- als auch für Wildsträucher. Im Frühjahr war in den Gärten ein etwas verzögerter Austrieb bei Sträuchern auf den Kollektoren zu beobachten, z.B. bei Forsythie, Sommerflieder und Flieder (siehe Kapitel 3.6).
In einigen Fällen zeigten grundsätzlich frostgefährdete Arten dürre Zweige (Sommerflieder – Buddleia spec., Weißer Hartriegel - Cornus alba). Diese Phänomene waren in den Gärten zu beobachten, die auch ein ungünstiges Kleinklima aufweisen, welches Frostschäden begünstigt (Beisp. 3, 5, 8) und in denen die Sträucher mit Mineralstoffdünger gedüngt werden.
Bei den Bäumen gibt es in den untersuchten Gärten v.a. Weiden, einige wenige Zierbäume und Obstbäume. Kleine Weidenbäume wachsen gut (div. Sorten Salix caprea und Salix erythroflexuosa); eine Salix alba „tristis" wurde erst kürzlich gesetzt. In den Gärten 2 und 5 zeigten sich Schäden und Ausfälle bei den Ziergehölzen. Beide Gärten haben ein ungünstiges Kleinklima für frost- und windgefährdete Pflanzen. Ein Tulpenbaum (Liriodenron tulipifera) und ein Amerikanischer Rotahorn (Acer rubrum) wurden im Garten 5 ausgetauscht, weil sie nicht gut wuchsen. Beide Bäume sind jedoch nicht standortgerecht. Der Tulpenbaum verträgt Wind schlecht und der Rotahorn ist nicht kalktolerant. Die Kugelahorne (Acer platanoides Globosum) im Garten 2 hatten zum Aufnahmezeitpunkt über der Kollektorfläche mehrere dürre Äste. Auf der Fläche

ohne Kollektor war die gesamte Krone belaubt. Die Linde (Tilia spec.) hatte einen Bruchschaden am Haupttrieb und wächst daher kaum. Laut Auskunft der BesitzerInnen handelt es sich um einen Schneeschaden – ein solcher kann immer auftreten und es besteht vermutlich kein Zusammenhang mit dem Kollektor.
Beim Garten 2 zeigten die Bodentemperaturmessungen sehr kühle Temperaturen des Erdreiches, es kam 2005 zu keiner Regeneration der Erdreichtemperaturen wie bei den übrigen Beispielen.
Die Frage des Ertrages bei Obstbäumen kann mit dieser Untersuchung nicht geklärt werden, da die meisten Bäume noch zu jung sind und noch nicht das Ertragsstadium erreicht haben. Bei der ältesten Anlage (Beisp. 4) wächst ein Apfelbaum auf der Kollektorfläche, der jedoch in schlechtem Zustand ist (Mehltau, keine Blüten, nicht fachgemäßer Schnitt).
In mehreren Gärten gibt es Obstbäume mit 1-3 m Abstand knapp neben der Kollektorfläche, welche wüchsig sind und einen guten Ertrag bringen.

3.5. Informationen zum Garten von den Anlagenbauern

3.5.1. Pflanzenauswahl

Alle GartenbesitzerInnen erhielten die Information, keine Tiefwurzler auf die Kollektorflächen zu setzen. Was genau unter einen Tiefwurzler zu verstehen ist, wurde in den meisten Fällen nicht genau abgegrenzt. Fallweise wurden einzelne Obstbäume genannt, die gepflanzt werden können (z.B. Apfel, Birne, Kirsche) oder auch nicht (Nussbaum). Fallweise wurden Gründe genannt wie eventuelle Schäden an Rohren oder an den Wurzeln der Pflanzen.
Ein Viertel der Befragten erinnerte sich an den Hinweis, dass der Rasen bzw. die Pflanzen im Frühjahr später zu wachsen beginnen.

3.5.2. Kollektorlage und Abstände

Beim Großteil der Beispiele stand die Lage des Hauses am Grundstück schon vor der Planung der Kollektorflächen fest. Die Lage des Kollektors wurde von den Installateuren festgelegt, in Absprache mit den GartenbesitzerInnen und unter Berücksichtigung von vorhandenen und geplanten Einrichtungen (Schwimmbad, Sickerschacht, Brunnen, Terrasse, Einfahrt u.ä.). Die Abstände zu Grundstücksgrenzen und Gebäuden wurden von den Installateuren bestimmt.

3.5.3. Oberflächengestaltung

Zur Bebaubarkeit und Befestigung der Flächen über dem Kollektor erhielten die GartenbesitzerInnen unterschiedliche Informationen: Manche Installateure sagten, dass keine befestigten Flächen und Schwimmbäder über dem Kollektor

angelegt werden sollen, für andere waren nicht zu große befestigte Flächen/Schwimmbäder oder Beläge in Sandbett, die wasserdurchlässig sind, OK. Als Begründung dafür wurden die Aufrechterhaltung der Wasserdurchlässigkeit und ein schlechterer Wirkungsgrad der Wärmepumpenanlage bei weniger Klimaeinfluss genannt. Bei zwei Beispielen wurde das Thema der Oberflächenbefestigung nicht angesprochen.
In einigen Fällen änderten sich später die Wünsche. Ein Schwimmbad, ein Gartenschuppen oder ein befestigter Sitzplatz wurde auf der Kollektorfläche positioniert; fallweise nach vorheriger Absprache und Zustimmung des Installateurs.

3.5.4. Geländemodellierung

Zur Geländemodellierung, Raumaufteilung und eventuellen Mauern zur Böschungsbefestigungen erhielten 2 GartenbesitzerInnen Informationen. In einem Fall wurde die Lage des Kollektors südlich des Hauses vereinbart, damit die Fläche mehr Sonne bekommt, im anderen Fall das Verhältnis Wohnfläche und Kollektorfläche thematisiert.
Bei drei Gärten wurden Terrassierungen mit Trockensteinmauern nach der Anlage des Kollektors vorgenommen. Die Höhen variieren von 0,3m bis 1,6m.

3.6. Beobachtung der Länge der Vegetationsperiode

Der Einfluss von Erdkollektoren auf die Länge der Vegetationsperiode wird anhand der Beobachtung ihres Beginns im Frühling erfasst. Als Indikatoren für den Beginn der Vegetationsperiode im Frühling werden die Daten der Beobachtungsbögen, Beobachtungen an Bäumen und Sträuchern und die Vegetationsaufnahmen der Rasengesellschaften herangezogen.

3.6.1. Auswertung der Beobachtungsbögen

Die Beobachtungen ergeben, dass die Erde auf Flächen mit Erdkollektoren im Frühling länger kühler bleibt. Dies zeigt die Dauer der Schneedecke (der Schnee bleibt im Frühling länger liegen). Deutlicher zeigen das die Blühbeginnzeiten. Bei allen Beispielen blühen Löwenzahn, Tulpe und Narzisse (Ausnahme Garten Nr. 7) später auf den Kollektorflächen. Die Unterschiede betragen wenige Tage bis über zwei Wochen (maximal 20 Tage).
Anmerkung zur Auswertung der Beobachtungsbögen: ein Bogen (Nr. 4) ist am Postweg verloren gegangen; auf manchen Bögen fehlen einzelne Beobachtungen, sodaß jene Beispiele zu den betreffenden Beobachtungen in der Auswertung nicht vorkommen.

Schneedecke
Bsp.1: im Winter (Nov.) gleich, im März zwei Tage länger auf Kollektor
Bsp.2: immer gleich lang
Bsp.5: im Winter (Nov) 1 Tag länger, im März zwei Tage länger auf Kollektor
Bsp.7: im Winter (Jänner, Feb.) gleich, im März ein Tag länger auf Fläche ohne Kollektor
Bsp.8: im März zwei Tage länger auf Kollektor

Löwenzahl Blüte

Beispiel	früherer Blühbeginn ohne Kollektor
1	7 Tage
3	9 Tage
5	16 Tage
7	2 Tage
8	3 Tage

Tulpe Apeldorn

Beispiel	früherer Blühbeginn ohne Kollektor
1	5 Tage
2	6 Tage
3	10 Tage
5	13 Tage
6	ca. 1 Woche
7	3 Tage
8	10

Narzisse Dutch Master

Beispiel	früherer Blühbeginn ohne Kollektor
1	17 Tage
2	17 Tage
3	20 Tage
6	Ca. 2 Wochen

Bei Garten Nr. 7 blüht die Narzisse auf der Fläche über dem Kollektor 4 Tage früher als auf der Referenzfläche. Garten Nr. 7 stellt einen Sonderfall bezüglich der Beobachtungsflächen dar. Der Garten hat keine Flächen ohne Kollektor, welche der Kollektorfläche bezüglich Besonnung vergleichbar sind. Die Beobachtungen können auch nicht auf benachbarten Grundstücken durchgeführt werden. Anstatt auf die Beobachtungen zu verzichten, fand sich folgende Lösung. Als Referenzfläche wird der erhöhte Teil des Gartens herangezogen. Der erhöhte Bereich liegt 1 m über dem Niveau der Kollektorfläche. Ein Vergleich dieser beiden Flächen ist trotzdem nur eingeschränkt aussagekräftig.

Beispiel 2, Aufnahme am 9. Mai 2005:

Tulpen und Narzissen auf Fläche mit Erdkollektor

Tulpen und Narzissen sind am Beginn der Blühphase (Blühbeginn 7. Mai)

Tulpen und Narzissen auf Fläche ohne Erdkollektor

Narzissen sind bereits verblüht (Blühbeginn war der 20. April), Tulpen befinden sich in Vollblüte (Blühbeginn 2. Mai)

3.6.2. Beobachtung des Wachstums im Frühling an Bäumen und Sträuchern

Bei allen 8 Beispielen werden auch Bäume und Sträucher hinsichtlich ihres Wuchses und der Entwicklung ihres Austriebes im Frühling beobachtet.

Unterschiede in der Vegetationsentwicklung können auch an Bäumen und Sträuchern festgestellt werden. Die Unterschiede sind allerdings sehr gering. Sie sind nur sichtbar, wenn sehr genau hingesehen wird. Sie sind im Unterschied zum Rasen nicht augenfällig.

Aussagekräftig sind nur jene Baum- und Straucharten, welche sowohl auf der Kollektorfläche als auch auf der Referenzfläche vorkommen. Diese Vergleichsmöglichkeit bieten 4 Beispiele.

Beispiel Nummer 2 hat Kugelahorn (Acer platanoides ‚Globosum') auf beiden Flächen. Auf beiden Flächen blühen die Bäume, Unterschiede sind bei der Entfaltung der Blätter zu beobachten. Die Blätter der Bäume auf den Kollektorflächen sind weniger entfaltet. Zusätzlich weist ein Ahorn auf der Kollektorfläche dürre Äste auf. Bei diesem Garten zeigen die Bodentemperaturmessungen sehr kühle Temperaturen des Erdreiches und 2005 keine Regeneration der Erdreichtemperaturen.

Beispiel Nummer 3 hat Flieder auf beiden Flächen. Der Strauch auf der Referenzfläche ist im Blattaustrieb und hat einige Blütenknospen. Der Strauch auf der Kollektorfläche befindet sich ebenfalls im Blattaustrieb, hat jedoch noch keine Blütenknospen angesetzt.
Beispiel Nummer 5 hat Weißen Hartriegel (Cornus alba) auf beiden Flächen. Der Strauch auf der Referenzfläche ist wüchsig, hat keine dürren Äste und ist im Austriebe weiter. Der Strauch auf der Kollektorfläche hat dürre Äste und ist insgesamt weniger wüchsig. Einschränkend muss erwähnt werden, dass die Familie einen großen Hund besitzt, welcher durchaus am schlechteren Zustand des Strauches beteiligt sein kann. Der Hund liebt es, Sträucher anzuknabbern. So ist auch der schlechte Zustand des Sommerflieders (Buddleia sp.) auf der Kollektorfläche – im Vergleich zum Sommerflieder auf der Referenzfläche – möglicherweise eher dem Hund zuzuschreiben als dem Standort.

3.6.3. Beobachtung des Wachstums im Frühling am Rasen

Auf den Flächen mit Erdkollektoren ist die Verzögerung des Wachstums des Rasens im Frühling augenfällig ablesbar an Wuchshöhen, Grünfärbung und Blühaspekt.
Rasengesellschaften auf Erdkollektoren sind am Beginn der Vegetationsperiode niedrigwüchsiger als Rasenflächen ohne Erdkollektoren. Dieser Unterschied verschwindet nach einigen Wochen.
Die Verzögerung des Wachstums im Frühling wird von allen Beispielen bestätigt. Sie fällt unterschiedlich stark aus. Bei einem Beispiel ist die Verzögerung gering (Bsp.6), bei fünf Beispielen ist die Verzögerung deutlich (Bsp. 3, 1, 4, 5, 8) und bei einem Beispiel sehr deutlich (Bsp.2).
Bei einem Beispiel ist die Verzögerung so ausgeprägt, dass sie den Unmut der GärtnerInnen hervorruft (Bsp. 2). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Bodentemperaturmessungen sehr kühle Temperaturen des Erdreiches zeigten, es kam 2005 zu keiner Regeneration der Erdreichtemperaturen wie bei den übrigen Beispielen. Bei Beispiel 2 ist zu beobachten, dass sich die Rasengesellschaft zu einem von wenigen Arten dominierten, fleckigen und optisch eher unansehnlichen Bestand entwickelt hat, obwohl die gleichen Maßnahmen getroffen wurden wie auf den übrigen Flächen, auf denen der Rasen durchwegs frisch grün und wüchsig ist. Die Dominanz von Festuca rubra lässt die Charakteristik des Grases in den Vordergrund treten. Auffällig wird die Streuentwicklung dieser Art und die Fläche erscheint eher hellbraun als grün. Die Abkühlung durch den Erdkollektor lässt Festuca rubra sehr lange in ihrem winterlichen Erscheinungsbild verharren. Ein Zusammenhang mit dem Erdkollektor muss angenommen werden, da keine anthropogenen Gründe für

den Zustand des Rasens (Einfluss durch Nutzung und/oder Pflege) festgestellt werden konnten. Weiters handelt es sich um eine windexponierte Lage. Dies deutet darauf hin, dass eine Kombination von Windexposition und Erdkollektor einen deutlich kühleren Effekt hat als ein Erdkollektor alleine. Zugleich deutet das Fehlen von Lolium perenne (Weidelgras) und die Dominanz von Festuca rubra auf der Kollektorfläche darauf hin, dass der Wind einen stark austrocknenden Effekt hat. Das Lolium – eine Art, welche im Unterschied zu Festuca rubra mehr Feuchtigkeit braucht - hat sich an die Ränder und in windgeschütztere Bereiche zurückgezogen. Der Zustand des Rasens auf der Kollektorfläche deutet auf Kühle und relative Trockenheit hin.
Die sieben anderen Beispiele zeigen, dass der Erdkollektor der Ausbildung einer den Vorstellungen der GärtnerInnen entsprechenden Rasengesellschaft kein Hindernis in den Weg stellt. Alle Rasentypen sind möglich.
Entscheidenden Einfluss üben folgende Faktoren aus: Bodenvorbereitung, Wahl des Saatgutes, Ansaat, Bewässerung, Düngung, Mahd und Nutzung.

Die Ansprüche an den Rasen sind sehr verschieden. Bei vier Beispielen ist der Anspruch hoch, der Rasen soll gepflegt und schön sein. Entsprechend wird die notwendige Arbeit investiert: düngen, wässern, mähen, auch vertikutieren und Unkraut ausstechen oder chemisch vernichten. Bei den übrigen Beispielen ist der Anspruch geringer, der Rasen soll vor allem nicht zu viel Arbeit machen.
Außer bei einem Garten sind auch alle GärtnerInnen mit dem Rasen auf den Kollektorflächen zufrieden. Die Verzögerung des Rasenwachstums im Frühling macht ihnen nichts aus.

Rasengesellschaften auf Erdkollektoren erscheinen am Beginn der Vegetationsperiode weniger frisch grün. Dieser Unterschied verschwindet nach ein bis zwei Wochen. Rasengesellschaften auf Erdkollektoren weisen im Frühling einen weniger ausgeprägten Blühaspekt auf. Bei zwei Beispielen ließ sich dies bezüglich kein Unterschied feststellen (Bsp.6, 3), da auch auf den Referenzflächen keine blühenden Pflanzenarten vorkamen. Geringe Unterschiede weisen zwei Beispiele auf (Bsp. 8, 5). Deutliche Unterschiede finden sich ebenfalls bei zwei Beispielen (Bsp. 4, 1). Zwei Beispiele sind diesbezüglich nicht auswertbar.
Die Artenzusammensetzung der Rasengesellschaften prägen die möglichen Blühaspekte. In einem artenarmen, von Gräsern dominierten Rasen kann nie ein Blühaspekt entstehen. So zum Beispiel bei einer Rasengesellschaft, die vorwiegend aus Lolium perenne (Weidelgras) und Poa pratensis compressa

(Rispengras) besteht (Bsp. 6). Das Ziel eines Rasens ist nicht das bunte Erscheinungsbild, sondern die samtig grüne Fläche.
Bei artenreicheren Rasengesellschaften können bunte Blühaspekte auftreten. So zum Beispiel bei einem extensivierten Intensivrasen, in dem sich Bellis perennis (Gänseblümchen), Taraxacum officinale (Löwenzahn), Stellaria media (Vogelmiere), Glechoma hederacea (Gundelrebe), Trifolium repens (Weißklee) und Veronica chamaedrys (Gamander Ehrenpreis) angesiedelt haben (Bsp. 4). Bei gleicher Artenzusammensetzung auf den untersuchten Flächen gelangen die Kräuter auf den Kollektorflächen später zur Blüte.

Beispiel 1, Aufnahme am 9. Mai 2005:

Rasen auf Fläche mit Erdkollektor

Löwenzahn blüht seit dem 2. Mai, einschichtig ausgebildeter Rasen mit wenigen höher wüchsigen Horsten

Rasen auf Fläche ohne Erdkollektor

Löwenzahn blüht seit dem 26. April, zweischichtig ausgebildeter Rasen

4. Hinweise für die Gestaltung von Gärten mit Erdkollektoren

Gärten mit Erdkollektoren haben in einigen Bereichen spezielle Voraussetzungen für die Nutzung. Dies betreffen einerseits räumliche Aspekte, andererseits die Vegetationsperiodenverzögerung im Frühjahr, die in engem Zusammenhang mit der Lage des Grundstückes in Bezug auf Großklima und Kleinklima zu sehen ist. Anlage, Pflanzenwahl und Bewirtschaftung des Gartens beeinflussen ob und wie der Einfluss der Kollektoren ausgeprägt ist.
Da diese Untersuchung als qualitative Forschung mit wenigen Beispielen angelegt ist, kann aufgrund der Ergebnisse auf Einflüsse hingewiesen werden. Um einzelne Zusammenhänge fundiert wissenschaftlich belegen zu können, sind weitere Untersuchungen anhand von einer größeren Anzahl von Beispielen notwendig.

4.1. Kleinklima

4.1.1. Lage des Grundstückes und Länge der Vegetationsperiode

Bei der Lage des Grundstückes ist es wichtig die kleinklimatischen Bedingungen zu beachten. Es gibt bei gleicher großklimatischer Lage oft große örtliche Unterschiede in Bezug auf Windexposition, Sonneneinstrahlung und dem dadurch beeinflussten Wärme- und Wasserhaushalt (vgl. z.B. Das Ulmer Gartenbuch (2001/05) S.12-14; Haage, Mayrhofer, Studer (2003) S.35-37;).
So sind Nordhänge kühler als Südhänge, Lagen in Tälern und in Siedlungen geschützter, Seen wirken sich ausgleichend auf das Kleinklima aus. Kalte, windausgesetzte Lagen können auf Hangwinde, Winde über ausgesetzten Ebenen, oder eine ausgesetzte Kuppenlage zurückzuführen sein. In Mulden bilden sich im Winter Kaltluftseen. Eine Lage im Schatten von Bergen oder großen Bäumen ist wesentlich kühler als eine sonnige Lage. Das bedeutet, dass bei gleicher Meereshöhe unterschiedliche kleinklimatische Bedingungen die Länge der Schneedecke, das Ausmaß der Fröste und die Länge der Vegetationsperiode beeinflussen.
Die Untersuchung belegt eine Verzögerung des Beginns der Vegetationsperiode durch Erdkollektoren innerhalb der Gärten vor allem bei krautigen Pflanzen von wenigen Tagen bis zu über 2 Wochen. Ein Forschungsprojekt in Niederösterreich, welches in den Jahren 1982 bis 1984 durchgeführt wurde (Bauer (1992), Bauer, Heilig (1986)), gelangt auf Basis der getroffenen Versuchsanordnung zum Schluss, dass weder ein- noch mehrjährige Pflanzen eine Beeinflussung durch Erdkollektoren (Belaubung, Blühbeginn, Wuchsleistung) erkennen lassen. Das

Ergebnis ergibt sich aus den gewählten Pflanzen (Winterweizen, Luzerne, Schwarz- und Rotföhre, Apfel, Birne, Ölweide, Tamariske und Walnuss). Das gegenständliche Projekt kann aufgrund einer anderen Versuchsanordnung und anders gewählter Pflanzen Differenzierungen vornehmen: Einflüsse des Erdkollektors auf Blühbeginn und Wachstum sind vor allem im Frühling und an sehr früh wachsenden und früh blühenden Pflanzen zu beobachten. Dies betrifft Rasengesellschaften, Frühlingsblüher und alle Kräuter, welche früh blühen (vgl. 3.6.).
Es ist daher wichtig darauf hinzuweisen, dass es zu keiner Überlagerung mit Auswirkungen von Kaltluftseen, Schattenlagen oder kalten Winden kommt – dann kann der Unterschied des Beginns des Pflanzenwachstums im Frühjahr im Vergleich zu örtlichen Gunstlagen beträchtlich werden. Auf einen negativen Einfluss der kühlen Lage auf die Effizienz der Wärmepumpenanlagen gibt es keinen Hinweis, es handelt sich dabei vor allem um ein gärtnerisches Problem.

4.1.2. Gestaltung des Kleinklimas

Durch die Anlage des Gartens ist es möglich das Kleinklima positiv zu beeinflussen und eine Vegetationsperiodenverzögerung zu verringern:
- Hecken bieten Windschutz
- Abflussmöglichkeit für die Kaltluft vorsehen
- Garten offen gestalten zu sonnigen, windgeschützten Seiten
- Südmauern speichern Sonnewärme

Als Windschutz eignen sich teildurchlässige Hecken und Zäune, nicht jedoch freistehende Mauern, die zu Wirbelbildungen und punktueller Verstärkung des Windes führen können. Windgeschütze Plätze sind beispielsweise länger zum Sitzen am Abend nutzbar und eignen sich zum Ziehen empfindlicherer Pflanzen. Ein Kaltluftstau in der kühlen Jahreshälfte kann bei Hanggrundstücken vermieden werden, indem keine dichten Mauern, Zäune und Hecken den tiefer gelegenen Teil des Grundstückes umschließen. An der tiefsten Stelle sollte das Grundstück durchlässig bleiben, damit die kalte Luft im Winter abfließen kann.
Bleibt ein Garten offen – ohne große Bäume, Mauern oder Gebäude – zu sonnigen und windgeschützten Seiten, erhält er mehr Sonnenenergie und ist daher wärmer.
Auch Stützmauern am Hang machen den Garten durch die Speicherung von Sonnenenergie wärmer, dies ist insbesondere im Frühjahr und Herbst angenehm, wenn man sich draußen aufhält und Pflanzen aus südlicheren Gebieten gedeihen besser. Nordmauern haben den umgekehrten Effekt: Der Garten wird durch den

Schattenwurf kühler, Schnee bleibt länger liegen, die Erde wird feuchter. Für Menschen, die Kühle mögen kann dies besonders bei Sommerhitze positiv sein. Bei mehreren der untersuchten Gärten wurde mit Trockensteinmauern das Kleinklima gestaltet. Trockensteinmauern bieten den Vorteil, dass sie bei einer ev. Reparatur der Kollektorschläuche leichter entfernt und wieder aufgebaut werden können als beispielsweise Betonmauern. Das Errichten von Mauern stört den regulären Betrieb von Erdkollektoren nicht, sie sind lineare Elemente und die Fundamente beeinträchtigen mit max. 0,8 m Tiefe den Kollektor nicht.

Zur Verbesserung des Kleinklimas siehe zum Beispiel; Brickell (Hg. 1994/98) S.518-519; Ulmer (2001/05) S.12-14; Williams (1997) S.64-65

4.2. Raum

4.2.1. Bepflanzung mit Bäumen

Bäume sind wichtig für die Raumgliederung von Gärten: Sie bilden Dächer, geben Sichtschutz und spenden Schatten. Wie die Übersichtstabelle (Kap. 3.2.8) und die Gartenskizzen im Anhang zeigen, werden auch häufig unterschiedlichste Bäume auf die Erdkollektorfläche gepflanzt. Wird die Empfehlung vieler Installateure keine tiefwurzelnden Bäume zu setzen umgesetzt, besteht vorerst das Problem der Baumauswahl (vgl. Kap. 4.4.2.). Größere Bäume sollten aufgrund des Nachbarschaftsrechtes auch nicht im 1m breiten Abstandsstreifen des Kollektors zum Nachbargrundstück stehen (ABGB §364 und §422).

Im Umgang mit Bäumen gibt es verschiedene Möglichkeiten:
- Erdkollektor so verlegen, dass Platz ohne Erdkollektor für Bäume bleibt
- Bäume auf den Erdkollektor setzen
- nur Kleinbäume auf den Erdkollektor pflanzen
- keine Bäume setzen (v.a. bei kleinen Gärten, wo nur vorgeschriebene Abstandsflächen ohne Erdkollektor bleiben)

Um diesen umstrittenen Punkt zu klären, und Bäume als ein wichtiges Gestaltungselement im Garten zu erhalten, ist es wichtig genauer zu untersuchen, ob eine wissenschaftlich belegbare Ursache besteht, warum „Tiefwurzler" auf Erdkollektoren nicht gepflanzt werden sollen.

4.2.2. Sitzplätze

Das Thema der Sitzplätze am Haus erwies sich in der Untersuchung als wichtig, da der Erdkollektor häufig direkt an die Terrasse anschließt, in vielen Fällen an eine Südterrasse. Um einem schattigen, geschützten Sitzplatz am Haus zu haben sind unterschiedliche Strategien möglich:

- eine Loggia, bei der das Haus Wind- und Sonnenschutz bietet
- eine Pergola mit Pflanzen bewachsen
- ein Schattenbaum, wenn der Kollektor so verlegt wird, dass Platz für einen Baum frei bleibt oder ein Baum auf den Kollektor gesetzt wird (s.o.)
- ein Sonnensegel oder Sonnenschirm

4.2.3 Veränderbarkeit

Die Anlage des Erdkollektors beeinflusst die Raumgliederung und Veränderbarkeit des Gartens wesentlich. Eine Abstimmung der Anlage Kollektors und der Gartenplanung ist v. a. in Hinblick auf versiegelte Flächen (Sitzplätze, Schwimmbäder, Gartenschuppen, Hauszubauten etc) und die Auswahl und Standorte grosskroniger Bäume sinnvoll, damit der Garten über viele Jahre den unterschiedlichen Nutzungsansprüchen gerecht werden kann. So änderten sich bei den beiden älteren untersuchten Beispielen die Ansprüche an den Garten und führten zu befestigten Flächen und Schwimmbädern über dem Erdkollektor. Das zeigt, dass die Veränderbarkeit des Gartens mit den Wechselfällen des Lebens für die langfristige (vgl. Kap.3.1.2.) Garten- und Wohnqualität große Bedeutung hat. Informationen dazu, welche Ausstattung und Bepflanzung einer optimalen Energiegewinnung entgegenstehen, sind vor der Verlegung der Erdkollektoren wichtig.

4.3. Boden

4.3.1. Bestimmung der Bodenart

Für die Dimensionierung des Erdkollektors sind Kenntnisse zu den Bodeneigenschaften notwendig, wie Bodenart, Wärmeleitfähigkeit und Wasserhaltekapazität. Dafür ist es sinnvoll die vorhandene Bodenart bestimmen zu lassen. (vgl. A Kap. 3.2, 3.3)
Wird Erdreich zugekauft, wenn z.B. das Grundstück erhöht terrassiert wird, kann eine Bodenart ergänzend zum vorhandenen Erdreich eingebaut werden.

4.3.2. Empfehlungen zum Einbau des Erdreiches

Für den Erdkollektor wird das Erdreich flächig abgetragen, der Kollektor in einer Tiefe von 1.0-1,5m verlegt und das Erdreich wieder flächig eingebaut. Die

Richtlinie VDI 4640 weist sehr allgemein darauf hin, dass der Einbau laut allgemeinen Richtlinien erfolgen soll, ohne diese genauer zu spezifizieren. (vgl. A Kap. 3.2)
Die ÖNORM B2205 Erdarbeiten-Werkvertragsnorm beschreibt grundsätzlich die Vorgaben eines fachgerechten Erdbaus. Beim Abtrag sind der humose Oberboden und der Unterboden getrennt abzuschieben und zum späteren Einbau zu lagern. Der Einbau von Erdreich soll lagenweise erfolgen.
Ein fachgerechter Einbau des Unterbodens ist notwendig um ungleiche Setzungen und verdichtete Schichten zu vermeiden. Ungleiche Setzungen verursachen unerwünschte Bodenunebenheiten. Verdichtete Schichten behindern die Versickerung und beeinträchtigen das Pflanzenwachstum.
Verdichtungsprobleme treten vor allem bei schweren Böden auf, wenn der Einbau bei zu viel Wassergehalt und plastischem Zustand des Bodens mit schweren Maschinen erfolgt. Brickell schreibt dazu: „Boden mit mangelhafter Struktur ist im Winter oft zu naß, im Sommer zu trocken. Das Wasser läuft eher von der Oberfläche ab als tief einzudringen und wenn der Boden einmal feucht ist, dann fließt das Wasser nur langsam ab.(...) Werden Bodenpartikel zusammengepresst, verringert sich der Luftgehalt, und der Abfluss des Wassers ist behindert.“ (Brickell (1994/98) S. 526)
Beim fachgerechten Einbau wird das Erdreich gleichmäßig und kontinuierlich geschüttet und verdichtet. Bindige Böden werden unmittelbar nach dem Schütten verdichtet, in aufgeweichtem Zustand sollten sie nicht überschüttet werden. Der Flächeneinbau erfolgt mit einem Bagger, anschließend wird das Erdreich verdichtet, in Kollektornähe manuell mit Walze, dann maschinell z.B. mit einer Rüttelplatte. (Rosenheinrich, Pietzsch (1998) S.213-238) Grundsätzlich sollte der Unterboden eingebaut werden, wenn er krümelt (Niesl (2002) S.131). Laut ÖNORM L1111 sollte die Schichtdicke unter 50cm liegen, wobei das Setzmaß der jeweiligen Bodenarten zu beachten ist.
Die obersten Erdschichten sollten nach Abschluss des Einbaus mit einer Fräsen oder Egge gelockert werden, danach kann je nach gewünschter Bepflanzung humusiert werden.

4.3.3. Wasserdurchlässigkeit von Bodenbelägen

Die Richtlinien zum Einbau von Erdkollektoren (VDI 4640, vgl. A Kap. 3.2) weisen darauf hin, dass die Fläche über dem Erdkollektor weder überbaut noch versiegelt werde sollte.
Bei den untersuchten Beispielen liegen alle größeren befestigten Bereiche wie Einfahrten oder Terrassen außerhalb der Kollektorfläche. Bei einigen Gärten gibt es darüber hinaus befestigte Flächen und Bauwerke, es wurden jedoch keine

deutlichen Zusammenhänge von Versiegelung und Wirkungsgrad beobachtet (0-16% der Kollektorfläche bebaut bzw. befestigt). Es wird trotzdem empfohlen keine größeren Bauwerke und größeren wasserundurchlässig befestigten Flächen über dem Kollektor anzulegen, damit die Erwärmung und Durchfeuchtung des Erdreiches von oben durch Wasser und Sonnenwärme gewährleistet ist.
Sind kleinere befestigte Flächen im Garten notwendig, wie z.B. Fußwege oder Sitzplätze, kann auf die Wasserdurchlässigkeit der Beläge geachtet werden.
Bei der Anlage von Gärten wird zur Dimensionierung von Sickerschächten und Kanälen mit dem Abflussbeiwert gearbeitet (Frohmann (2003) S.68). Er ist ein Maß dafür, wie viel Wasser direkt abfließt und nicht versickert. Betonflächen, Schwarzdecken (z.B. wasserundurchlässiger Asphalt) oder Pflaster mit Beton - Fugenverguss lassen kein Wasser durch (Abflussbeiwert 1). Platten- und Pflasterbeläge in Sandbett nehmen ca. ein Drittel des Wassers auf (Abflussbeiwert 0,6-0,7). Für wassergebundene Decken wird mit einem Abflussbeiwert von 0,5 gerechnet, bei Rasengittersteinen fließt kein Wasser in den Kanal (Abflussbeiwert 0). Kieswege und Holzlattenbeläge auf Kiesel werden zwar nicht angeführt – sie sind aber aufgrund ihres Aufbaues wasserdurchlässiger als Pflaster.
Bei der Verwendung von wasserdurchlässigen Belägen für kleinere Teilbereiche bleibt der Garten auch offen für veränderte Nutzungsansprüche im Laufe der Jahre.

4.4. Pflanzen

4.4.1. Gemüse, Blumen und Stauden

Erdkollektoren sind kein Hindernis für den Gemüsebau und das Ziehen von Blumen und Stauden. Das Erdreich ist im Frühjahr etwas länger kühl, wie die Bodentemperaturmessungen und die Untersuchungen zur Länge der Vegetationsperiode zeigen.
Bei mehreren untersuchten Gärten wurden ausgleichende Maßnahmen hinsichtlich Kühle getroffen.

Möglich sind z.B.:
- Windschutz in windexponierten Lagen durch Hecken oder Flechtzäune
- Einbau von (Süd)Mauern als Wärmespeicher
- Pflanzen von vorgezogenen Setzlingen statt Direktsaat ins Beet
- Verwendung von kälteunempfindlichen Arten und Sorten
- gegebenenfalls Erhöhung des Beetes (mehr Raum und Wärme für die Wurzeln)
- Arbeiten mit Hochbeeten, die über den Beetaufbau wärmen

Für die Anlage von Gemüsegärten siehe zum Beispiel Kreuter (2000) und Heynitz, Mercken (1994). Bei der Anlage von Windschutz-Elementen und Mauern ist auf eine fachgerechte Ausführung vor allem hinsichtlich Höhe und Durchlässigkeit zu achten - siehe zum Beispiel Gaber (2001) S.16-19: Kleinklima verbessern: Hecken, Mauern, Frostlagen; Gaber (2002) S.25-27: Kleinklima verbessern: Obst; Brickell (1998); Harm-Eckart, Pätzold (2003) S. 939-1011: Mauerbau und Kapitel 4.1.

4.4.2. Gehölze

Entscheidend ist die Auswahl standortgerechter Zier- und Obstgehölze. Die Untersuchung der Gärten zeigt, dass standortgerechte Gehölze sowohl auf den Kollektorflächen als auch auf den Referenzflächen gut wachsen. Dies gilt vor allem für die vorgefundenen Beerenobst-Arten (Stachel-, Him- und Brombeeren, Ribisl) und standortgerechte Sträucher. Für die Auswahl geeigneter Gehölze sind zu beachten:

- Bodenverträglichkeit, besonders hinsichtlich Kalk und Wassergehalt
- Abstimmung auf den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens
- Windverträglichkeit
- Anfälligkeit für Frostschäden

Siehe dazu zum Beispiel Gaber (2001) S. 7-20: Standortfaktoren - Boden und Klima; und Frohmann (2003) S. 217-328: Gehölze - Eigenschaften, Standortansprüche, Verwendung. Zum Einfluss des Erdkollektors auf das Kleinklima siehe Kapitel 4.1.

Die Untersuchung der Gärten zeigt auch, dass Gehölze, welche bereits an der Grenze ihrer Anpassungsfähigkeit hinsichtlich Boden und/oder Klima angelangt sind, anfällig für Schäden sind (vgl. Kapitel 3.4.3.). Zugleich gibt es Hinweise darauf, dass ein Erdkollektor eventuell die Wachstumsbedingungen für frostgefährdete Gehölze negativ beeinflussen könnte, wenn dazu ungünstige kleinklimatische Faktoren wie Wind und Kaltluftseen kommen (vgl. Kapitel 3.4.3.). Empfindliche und schlecht angepasste Arten benötigen entsprechende kleinklimatische Maßnahmen und Orte im Garten (zum Beispiel Südlagen, Wind- und Frostschutz). Sofern kleinklimatisch ausgleichende Maßnahmen nicht möglich oder wenig effektiv sind, sollte die Wahl eher auf robuste Gehölze fallen bzw. der Standort Erdkollektor vermieden werden.

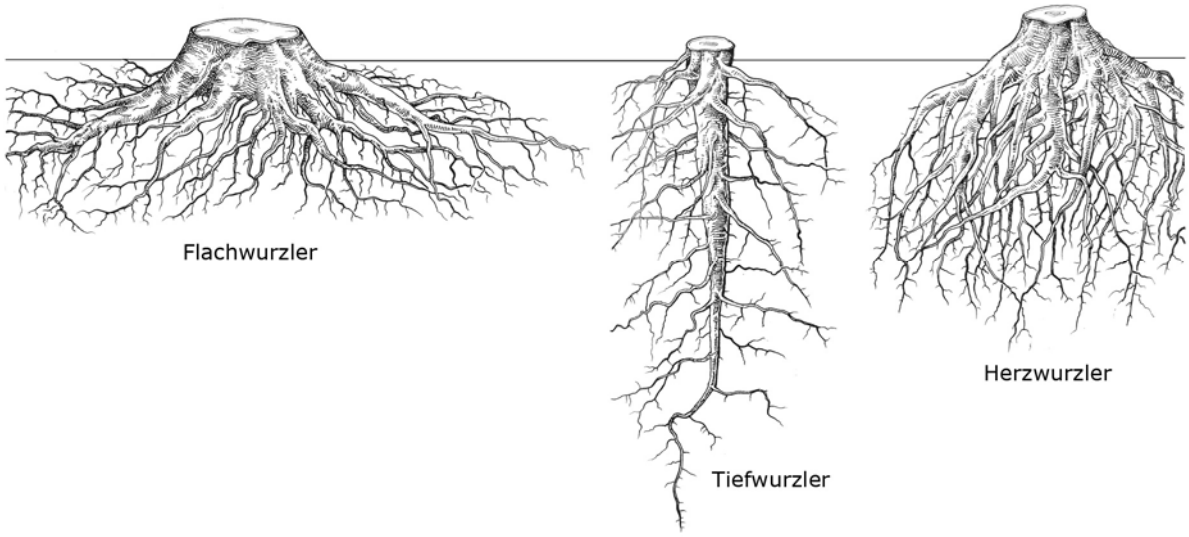
In vier der acht Gärten wachsen Obstbäume auf den Kollektorflächen. Ihr Zustand ist mit einer Ausnahme (siehe 3.4.3.) in Ordnung und es gibt keinen

Hinweis auf negative Einflüsse durch den Erdkollektor auf das Wachstum. Da die Bäume jung sind, kann noch nichts über ihren Ertrag gesagt werden. Für Aussagen zum Ertrag von Obstbäumen auf Kollektorflächen müsste eine Untersuchung mit einer größeren Anzahl von älteren Anlagen durchgeführt werden.

Die Empfehlungen der VDI 4640 (siehe Teil A, Kapitel 3.2) zur Bepflanzung von Erdkollektoren mit Gehölzen sind nicht sehr präzise. Häufig raten auch Installateure keine „Tiefwurzler" auf den Erdkollektor zu setzen (vgl. Kapitel 3.5.1.)
Die Ergebnisse der Gartenuntersuchungen geben keine Hinweise auf Schäden an den Wurzeln von Gehölzen auf den Kollektorflächen (siehe Kapitel 3.4.3. und 3.6.2) Der Laborversuch der Universität für Bodenkultur Wien zeigt an einen Beispiel, welchen Einfluss ein Erdkollektor auf das Wurzelwachstum hat (vgl. Teil D). Im Rhizoboxversuch reagierte die Testpflanze (Salix caprea) auf den kühlen Horizont im Wurzelbereich mit geringerem Wachstum, d.h. Wurzelwachstum und Wachstum der oberirdischen Biomasse fielen geringer aus, als bei den Vergleichspflanzen. Die Testpflanze wuchs langsamer, ist dabei allerdings gesund. Der Versuch deutet darauf hin, dass robuste Pflanzen wie Salix caprea in den Gärten auch auf Erdkollektoren eventuell langsamer, jedoch gesund wachsen. Der Versuch gibt jedoch keine Anhaltspunkte, wie wärmebedürftige, frost- und kälteempfindliche Gehölze reagieren.

Besteht der Wunsch vorsichtshalber keinen großen Baum auf den Kollektor zu setzen, so ist es wichtig, den Garten in Zusammenhang mit der Lage des Kollektors zu planen und Standorte für tiefwurzelnde Gehölze vorzusehen (vgl. Kapitel 4.2.).

Das Tiefenwachstum von Gehölzen über Erdkollektoren ist nicht Teil dieser Untersuchung und es ist auch nur schwer in genutzten Gärten zu erheben. Die folgende Graphik zeigt grundsätzliche Typen von Wurzelsystemen, wobei tief wurzelnde Bäume Pfahlwurzeln haben, flach wurzelnde Bäume Tellerwurzeln:



In Anlehnung an: Reichholf (1989) S. 65

Auskunft über das Tiefenwachstum von Bäumen geben Baumschulen und Literatur. Einige Beispiele aus der Tabelle von Frohmann (2003) S. 279:

Tanne, Abies –Arten und Sorten	Herz, tief
Feld-Ahorn, Acer campestre	Herz
Felsenbirne, Amelanchier – Arten	flach
Schwarzbirke, Betula nigra	flach, dicht
Weißbirke, Betula pendula	sehr flach
Moorbirke, Betula pubescens	flach, Herz
Buchsbaum, Buxus sempervirens	Herz, dicht
Hainbuche, Carpinus betulus	Herz, dicht
Hartriegel, Cornus – Arten und Sorten	flach, Herz
Baumhasel, Corylus colurna	Herz
Sanddorn, Hippophae rhamnoides	flach, tief
Walnuss, Juglans regia	tief
Lärche, Larix – Arten	Herz
Apfel, Malus – Arten und Sorten	flach, Herz
Kirsche, Prunus- Arten und Sorten	Herz
Weide, Salix – Arten und Sorten	flach
Eberesche, Sorbus – Arten und Sorten	tief, Herz
Linde, Tilia – Arten und Sorten	Herz, dicht

Diese Liste vermittelt einen Eindruck, welche Wurzelentwicklungen zu erwarten sind, es ist allerdings in der Branche nicht üblich, Angaben in Längeneinheiten zur genauen Wurzeltiefe zu machen.

Offen bleibt, ob das Abraten von „Tiefwurzlern" seitens der Installateure von der Vermutung motiviert ist, die Wurzeln könnten die Rohre – etwa durch Dickenwachstum – schädigen und/oder Reparaturarbeiten an den Rohren erschweren. Bei Einengung der Rohre könnte die Effizienz der Anlage abnehmen. Bisher sind in der Branche allerdings keine solchen Fälle bekannt geworden. Zur eventuellen Schädigung oder Einengung von Rohren durch Wurzeln gibt es keine Untersuchungen, diese wären wichtig um gezieltere und fundiertere Empfehlungen zu Baumpflanzungen geben zu können.
Auf alle Fälle ist es jedoch wichtig, bei der Fällung eines Baumes auf einer Erdkollektorfläche den Wurzelstock nicht zu roden, sondern durch Fräsen zu entfernen. Beim Roden des Wurzelstockes könnten rasch Schäden an den Kollektorleitungen entstehen.

4.4.3. Rasen

Ein Erdkollektor verzögert das Wachstum des Rasens im Frühling, ohne allerdings den Rasen zu schädigen. Für das Erscheinungsbild und die Gesundheit des Rasens sind die richtige Anlage – besonders die gründliche Bodenvorbereitung – und die Pflege entscheidend. Siehe dazu zum Beispiel Gandert, Bures (1991) Handbuch Rasen; Harm-Eckart, Niesel, Pätzold (2003) S. 426: Saatarbeiten, S. 464: Pflege; Borchardt (1997) S. 182: Anlegen und Pflegen, S. 192: Wiesen; Kreuter (2000) S. 309: Rasen und Grosser, Himmelhuber (1997) S. 58: Anlegen von Rasenflächen.

Rasengesellschaften brauchen Wasser und Nährstoffe, um saftig frisch und grün zu sein. Bei windexponierten Lagen kann auch in kühlen Jahreszeiten relativer Wassermangel im Boden auftreten, welcher Einfluss auf die Artenzusammensetzung des Rasens nehmen kann (siehe Kapitel 3.6.3.). Daher ist bei hohem Anspruch an das Erscheinungsbild des Rasens zu empfehlen, bei der Kombination der Faktoren ungünstiges Kleinklima (zum Beispiel Wind) und Erdkollektor, welche das Wachstum des Rasens im Frühling unter Umständen verzögern und ein unerwünschtes Erscheinungsbild hervorrufen könnte, Gegenmaßnahmen zu treffen:

- Wahl einer angepassten Rasenmischung, welche genügend trockenheitstolerante und -resistente Arten enthält
- Verbesserung des Kleinklimas, etwa durch Windschutz

- moderates Bewässern im Frühling
- eine moderate Zufuhr von Nährstoffen, etwa durch Kompostgaben.

Grundsätzlich sind alle Maßnahmen gut, welche die Bodenstruktur (Humusgehalt und Wasserspeicherkapazität) verbessern – siehe dazu zum Beispiel Kreuter (2000) S. 309: Rasen, und Grosser, Himmelhuber (1007) S. 94: Rasenpflege.

5. Schlussfolgerungen

Durch Wärmepumpenanlagen mit Erdkollektoren entstehen spezielle Fragen an die Gartengestaltung. Diese betreffen die Pflanzenauswahl, -gesundheit, die Länge der Vegetationsperiode und Fragen der Bodenversiegelung. Daher erforscht diese Untersuchung den Einfluss von Erdkollektoren auf die Gestaltungs- und Nutzungsmöglichkeiten von Gärten und die damit verbundene Garten- und Wohnqualität. Die Untersuchung ist als qualitative Forschung mit wenigen Beispielen, nämlich acht ausgewählten niederösterreichischen Gärten, die vielseitig erforscht werden, angelegt.
Erdkollektoren beeinflussen den Boden in Gärten auf mehreren Ebenen:
Bei der Verlegung des Erdkollektors ist ein fachgerechter Erdbau wichtig, damit keine Verdichtungen im Boden entstehen und ein gutes Pflanzenwachstum möglich ist.
Grundsätzlich entziehen Erdkollektoren dem Boden über das Winterhalbjahr Energie und kühlen dadurch das Erdreich ab. Die Messungen ergaben, dass die Abkühlung im Bereich des Kollektors am größten ist und die Temperaturdifferenz auf Kollektorebene im Winter bei 2-6 Grad im Vergleich zu Flächen ohne Erdkollektor liegt. Die Temperaturen direkt bei den Leitungsrohren schwanken betriebsbedingt und können, während die Wärmepumpe eingeschaltet ist, mehrere Grad tiefer sein. Eine durchgängige Eisschicht auf Kollektorniveau mit Monatsmittelwerten deutlich unter 0°C kommt bei richtig dimensionierten Anlagen nicht vor. Im Frühling und Frühsommer sind die Temperaturunterschiede der Böden mit und ohne Kollektor auf Kollektorebene mit 6-10 Grad im Monatsmittel am größten, im Hochsommer verringert sich der Temperaturunterschied bis auf 1-2 Grad.
Beispiele aus der Literatur zeigen, dass in Bodentiefen von 0,6 bis 0,8 m und darüber der Boden im Winter kühler ist, ab April erreichen Böden mit und ohne Kollektor die gleichen Temperaturen. Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes gemessenen Boden- und Lufttemperaturkurven zeigen, dass die Temperaturen im Boden bis in einer Tiefe von 1,05m von der Lufttemperatur beeinflusst sind.

Das Forschungsprojekt machte deutlich, dass vor allem zwei Fragestellungen, die mit Erdkollektoren in Zusammenhang stehen, die Garten- und Wohnqualität beeinflussen und spezielle Rahmenbedingungen bedingen: Bodenversiegelung und Baumpflanzungen.
Die technischen Richtlinien für Erdkollektoren (VDI 4640) empfehlen, dass keine versiegelten Flächen über Kollektoren liegen sollen. Das bedeutet, dass keine Gebäude, Schwimmbäder oder wasserundurchlässige Bodenbeläge (Asphalt, Stein/Beton/Klinker in Betonbett) für Einfahrten, Terrassen etc. über den Kollektoren sein sollten. Daher ist es wichtig vor der Anlage des Kollektors zu klären, wo noch Platz für diesbezügliche Veränderungen in den folgenden Jahrzehnten bleibt. Bei einigen der untersuchten Gärten wurde darauf geachtet, und z.B. Platz für ein Schwimmbad freigelassen. Das sollte bei den meisten Grundstücken vom Platz her auch möglich sein, denn die Kollektorfläche entsprach in kühlen Gegenden wie dem Waldviertel 2,26 bis 2,69 Mal der Wohnfläche, in wärmeren Gegenden lagen die Werte zwischen 0,98 und 1,72.
Bei zwei Anlagen, die schon längere Zeit bestehen, änderte sich mit den Jahren die Gartenausstattung, und Schwimmbäder oder befestigte Sitzplätze wurden auf der Kollektorfläche angelegt. Das zeigt, dass die Veränderbarkeit mit den sich ändernden Ansprüchen an den Garten ein wichtiger Aspekt der Qualität eines Gartens ist. Durch die Verwendung wasserdurchlässiger Bodenbeläge für kleinere Bereiche kann die Veränderbarkeit gut erhalten bleiben.
Wenn der/die GartenbesitzerIn sich an die häufige Empfehlung keine „Tiefwurzler" zu setzen, hält, ist die Möglichkeit der Pflanzenwahl wesentlich eingeschränkt. Bäume geben einem Garten Schatten und Sichtschutz, bilden ein Dach und können auch Farbe durch Blüten und Früchte bringen. In zwei Gartenbeispielen führte die Empfehlung zum Verzicht auf größere Bäume über der Kollektorfläche. Die Interpretationen welcher Baum ein „Tiefwurzler" sei, waren sehr unterschiedlich und stimmten auch öfters nicht mit gärtnerischem Fachwissen überein. Darüber hinaus besteht ein Haftungsproblem für GartenplanerInnen, die den KundInnen Bäume auf Kollektorflächen empfehlen, falls Schäden an Rohrleitungen auftreten sollten. Ein Fehlen von Bäumen beeinträchtigt die Garten- und Wohnqualität wesentlich, daher sollte dieser umstrittene Punkt durch genauere Untersuchungen geklärt werden.

Die Untersuchungen zeigten unterschiedliche Einflüsse der Erdkollektoren auf Gartenpflanzen:
Gemüse, Blumen und Stauden werden ohne Probleme auf Erdkollektoren gezogen. Das Erdreich erwärmt sich im Frühjahr etwas langsamer wie Ergebnisse zur Länge der Vegetationsperiode und den Bodentemperaturmessungen belegen.

Dieser Verzögerung von einigen Tagen bis zu 2,5 Wochen wird in einigen Gärten durch Verbesserungen des Kleinklimas, wie z.B. durch Windschutz oder Trockensteinmauern zur Wärmespeicherung entgegengewirkt. Bei einem Garten zeigt sich deutlich, dass es ist wichtig ist, die Lage des Grundstücks und das Kleinklima zu berücksichtigen, damit es zu keiner Überlagerung von Vegetationsperiodenverzögerungen durch ein ungünstiges Kleinklima und durch den Erdkollektor kommt.
Die Erdkollektoren verzögern das Wachstum des Rasens im Frühling, ohne allerdings den Rasen zu schädigen. Nach dem ersten Rasenschnitt ist kein Unterschied zwischen Rasenflächen über dem Kollektor und ohne Kollektor mehr sichtbar.
Bei Sträuchern und Bäumen ist es wichtig auf standortgerechte Arten zu achten. Die Untersuchung in den Gärten belegten, dass standortgerechte Pflanzen auf dem Kollektor gut wachsen und die Wachstumsverzögerungen im Frühling bei Sträuchern und Bäumen nur geringfügig sind. Obstbäume wachsen auf Kollektoren gut, die Frage des Ertrages konnte jedoch nicht geklärt werden, da die meisten Bäume noch zu jung sind und noch kaum Obst tragen. Sehr gut ist der Ertrag bei Beerenobst wie Himbeere, Brombeere oder Ribisl.
Beim Einbau von Erdkollektoren wird oft empfohlen keine „Tiefwurzler" zu setzen. Grundsätzlich gibt es keine genauen Werte zur Wurzeltiefe von Gehölzen und die Kollektoren liegen mit 1,00m bis 1,60m in Bereichen, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass die Wurzeln vieler Gehölze diese Tiefe erreichen. Die Ergebnisse der Gartenuntersuchungen gaben keine Hinweise auf Schäden an den Wurzeln von Gehölzen auf den Kollektorflächen. Ob die Wurzeln durch Dickenwachstum die Kollektorleitungen verengen oder beschädigen, was ein Grund dafür sein könnte auf Bäume zu verzichten, ist nicht geklärt. Auf jeden Fall ist es wichtig, bei der Fällung von Bäumen den Wurzelstock durch Fräsen zu entfernen, um keine Schäden an den Rohren zu verursachen.

6. Literatur

Adler, W., Oswald, K., Fischer, R. (1994). Exkursionsflora von Österreich. Stuttgart, Wien: Ulmer.

Aichele, D., Schwegler, H.-W. (1986). Unsere Gräser. Stuttgart: Franckh.

Bauer, Berthold (1992). Ökologische Auswirkungen beim Betrieb von Wärmepumpen. In: OZE, Jg45, Heft 5

Bauer, Berthold. Heilig, Maximilian (1986). Wärmeentzug aus dem Boden und seine Folgen auf die Umwelt. Wien: Sonderdruck aus Band XLV, Geographischer Jahresbericht aus Österreich

Borchardt, W. (1997). Pflanzenverwendung im Garten- und Landschaftsbau. Stuttgart: Ulmer.

Böse, Helmut (1981). Die Aneignung von städtischen Freiräumen. Kassel: Arbeitsberichte des FB Stadtplanung und Landschaftsplanung Nr.22, GHK

Braun-Blanquet, J. (1964). Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Wien, New York: Springer.

Brickell, C. (Hrsg.) (1998). DuMont's Große Gartenenzyklopädie. The Royal Horticultural Society. Köln: DuMont.

Frohmann, Martin (Hrsg.) (2003). Tabellenbuch Landschaftsbau. Stuttgart: Ulmer.

Gaber, Roland (2001). Bäume, Sträucher, Hecken. Band 2 der Buchreihe zur Aktion Natur im Garten der NÖ Landesregierung, RU3. Leopoldsdorf: Niederösterreichischer Agrarverlag.

Gaber, Roland (2002). Obst im Hausgarten. Band 6 der Buchreihe zur Aktion Natur im Garten der NÖ Landesregierung, RU3. Leopoldsdorf: Niederösterreichischer Agrarverlag.

Gandert, K.-D., Bures, F. (1991). Handbuch Rasen. Grundlagen-Anlage-Pflege. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag.

Ginschel, J. (1977). Betriebsergebnisse einer Erdreich-Wasser-Wärmepumpe, Elektrowärme im Technischen Ausbau. Elektrowärme international Edition A35 (1977) A6

Grosser, W., Himmelhuber, P. (1997). Rasen. Stuttgart: Ulmer.

Haage, Ute. Mayrhofer, Rita. Studer, Heide (2003). Gärten gestalten. Band 7 der Buchreihe zur Aktion Natur im Garten. St. Pölten: NÖ Landesregierung/RU3

Harm-Eckart, B., Niesel, A., Pätzold, H. (Hrsg.) (2003). Lehr-Taschenbuch für den Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau. Stuttgart: Ulmer.

Heynitz, K. von, Merckern, G. (1994). Das biologische Gartenbuch. Gemüse, Obst, Blumen, Gehölze auf biologisch-dynamischer Grundlage. Stuttgart: Ulmer.

Heinemann,Georg. Pommerenig, Karla (1989). Entwicklung von Methoden der Freiraumanalyse, bezogen auf innerstädteische Gebiete. In: Notizbuch 10 der Kasseler Schule. Kassel: ARGE Freiraum und Vegetation (Hrsg.)

Hopf, Christel (2000). Qualitative Interviews – ein Überblick. In: Flick, Uwe. Kardorff, Ernst von. Steinke, Ines. Qualitative Forschung. Reinbek: Rowohlt S. 349-360

Hülbusch, Inge Meta (1978/1981). Innenhaus und Außenhaus. Kassel: Schriftenreihe der Organisationseinheit Architektur – Stadtplanung – Landschaftsplanung, Gesamthochschule Kassel 01/033

Kawollek, W. (2001/2005). Das Ulmer Gartenbuch. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

Klapp, E., Boberfeld, O. von (1988). Kräuterbestimmungsschlüssel für die häufigsten Grünland- und Rasenkräuter. Berlin, Hamburg: Paul Parey.

Klapp, E. (1983). Taschenbuch der Gräser. Berlin, Hamburg: Paul Parey.

König, F. (o.Jg.). Anleitung zum Kennenlernen der Gräser auf dem Grünland. Kassel: Verlagsgesellschaft für Ackerbau.

Kreuter, M.-L. (1995). Pflanzenschutz im Biogarten. München: BLV.

Kreuter, M.-L. (2000). Der Biogarten. München: BLV

Lohmann, M. (1983). Öko-Gärten als Lebensraum. Grundlagen und praktische Anleitungen für einen Naturgarten. München: BLV

Meier Kruker, Verena. Rauh, Jürgen (2005). Arbeitsmethoden der Humangeographie. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft

Niesl, Alfred (Hrsg.) (2002). Bauen mit Grün. Die Bau- und Vegetationstechnik des Landschafts- und Sportplatzbaus. Hamburg: Parey Verlag

Oberdorfer, E. (1983). Pflanzensoziologische Exkursionsflora. Stuttgart: Ulmer.

Reichholf, Joseph (1989). Wald. München: Mosaik Verlag

Rosenheinrich, Günther. Pietzsch, Wolfgang. (1998). Erdbau. Düsseldorf: Werner Ingenieur Texte, Werder Verlag

Rothmaler, W. (1987). Exkursionsflora, Band 3, Atlas der Gefäßpflanzen. Berlin: Volk und Wissen Volkseigener Verlag.

Steinhäuser, Urta (1990). Planen für die Wechselfälle des Lebens. In: ARGE Freiraum und Vegetation (Hrsg.) Kassel: Notizbuch 16 der Kasseler Schule

Wendebourg, T. (2004). Zwiebelpflanzen, pflegeleicht & winterhart. Leopoldsdorf: Agrarverlag.

Williams, Robin (1997). Das Handbuch der Gartengestaltung. München: The Royal Horticultural Society/Christian Verlag

Wilmanns, O. (1984). Ökologische Pflanzensoziologie. Heidelberg: Quelle & Meyer.

Witt, R. (2001). Der Naturgarten. Lebendig-schön-pflegeleicht. München: BLV.

Österreichischer Atlas für höhere Schulen, Geographisches Institut, Ed. Hölzl Wien 1962/71

Umweltbüro NÖ (Hrsg.) (2005). „Natur im Garten. Ich mach mit! Der Weg zur Gartenplakette". St. Pölten 2005

Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch ABGB §364 und §422

ÖNORM B2205 – Erdarbeiten – Werkvertragsnorm (2000)

ÖNORM L1111 – Gartengestaltung und Landschaftsbau – Technische Ausführung (2004)

www.naturbegleiter.at

www.wetter-mensch-natur.de

www.zamg.ac.at

Teil D Untersuchung des Einflusses von Veränderungen der Bodentemperatur durch Erdkollektorsysteme auf die Wurzelentwicklung von Pflanzen sowie auf die Quantität der mikrobiellen Biomasse

Gerlinde Wieshammer, Michael Zivkovic, Walter W. Wenzel; Arbeitsgruppe „Rhizosphärenökologie und Biogeochemie", Institut für Bodenforschung, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur, Wien

1. Einleitung

Die Bodentemperatur beeinflusst physikalische, biologische und chemische Prozesse im Boden sowie die Pflanzen, die darin wachsen. In kalten Böden laufen chemische und biologische Reaktionen langsamer ab als in warmen Böden. Durch den verlangsamten Ablauf der biologischen Zersetzung von organischem Material ist die Rate, in der Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor oder Calcium verfügbar gemacht werden, limitiert. Auch Absorption und Transport von Wasser und Nährstoffionen zu höheren Pflanzen sind bei niedrigen Temperaturen gehemmt. Das Wachstum der meisten Pflanzen reagiert sensitiver auf die Temperatur im Boden, als auf die oberirdische Lufttemperatur (Brady & Weil, 1999). Erdkollektoranlagen beeinflussen die Temperatur des sie umgebenden Bodens. Es ist daher denkbar, dass durch eine Temperaturabsenkung im Boden die Nährstoffkreisläufe infolge biologischer Aktivität und damit das Wachstum von Pflanzen beeinflusst werden. Ziel dieses Projektes war es daher einerseits, den Einfluß von durch Erdkollektoranlagen hervorgerufenen Temperaturabsenkungen auf die Quantität der mikrobiellen Biomasse im Boden zu untersuchen. Andererseits wurde in einem gekühlten Rhizoboxexperiment untersucht inwieweit Temperaturabsenkungen im Boden die oberirdische und unterirdische Biomasseentwicklung von *Salix caprea* (Kätzchenweide) beeinflussen.

2. Bodenbeprobung

Die Entnahme von Bodenproben aus den ausgewählten acht Privatgärten erfolgte zwischen 28. September und 5. November 2004. An jedem Standort wurde eine Profilgrube bis zur Tiefe der Erdkollektorrohre ausgehoben. Für den Aushub der Profilgrube wurde in jedem Garten ein Bereich ausgewählt, in dem die Kollektorrohre möglichst repräsentativ für die ganze Kollektorfläche im Boden

verlaufen (z.B. wurden Randbereiche generell gemieden). Bei vier Anlagen (Nr. 4, 5, 6, 7) waren die Kollektorrohre auf 100 – 105 cm Tiefe verlegt, während sie bei den restlichen vier Anlagen zwischen 120 cm und 155 cm tief lagen (Tabelle1).

Tabelle 1: Eckdaten der Bodenbeprobung in acht Privatgärten mit Erdkollektor-systemen.

Anlage Nr.	Kollektor Tiefe cm	in Sand verlegt	Bepflanzung	Durchwurzelung Tiefe cm	Beprobung Referenzfläche vollständig
1	120	ja	Rasen	0 - 30	ja
2	145	nein	Rasen	0 - 20	ja
3	155	ja	Rasen	0 - 120	ja
4	100	ja	Rasen	0 - 100	ja
5	105	ja	Rasen	0 - 50	ja
6	105	ja	Rasen	0 - 105	ja
7	100	nein	keine	0 - 20	nein (bis 60 cm Tiefe)
8	120	ja	Rasen	0 - 50	nein (bis 50 cm Tiefe)

Zur Entnahme der Bodenproben wurde die Profilwand in sechs Tiefenstufen eingeteilt, wobei die Zonen im Nahbereich der Kollektorrohre genauer, d.h. in geringeren Abständen, beprobt wurden (Abbildung 1).
Pro Tiefenstufe wurde eine Mischprobe entnommen und in PE-Beuteln in das Labor der BOKU überstellt. Zusätzlich zur Kollektorfläche wurde eine Referenzfläche beprobt, die bei allen Anlagen im gleichen Garten lag (ausgenommen bei Anlage Nr. 3: Nachbargrundstück) und einen Abstand von zumindest 3 m zur Kollektorfläche aufwies. Diese Fläche wurde mit einem Pürkhauerbohrer (∅ 2 cm, 100 cm lang) beprobt, wobei pro Fläche 8 bis 10 Einstiche zu einer homogenen Mischprobe zusammengefasst wurden. Die Bodenproben der Referenzfläche wurden in der gleichen Tiefenstufeneinteilung wie bei der Kollektorfläche entnommen. Bei jenen vier Anlagen, bei denen die Kollektorrohre über 100 cm tief im Boden lagen, wurde auf der Referenzfläche zusätzlich eine kleine Profilgrube ausgehoben, um die Beprobung mit dem Pürkhauerbohrer auf die erforderliche Tiefe von bis zu 155 cm zu ermöglichen. Auf zwei der insgesamt acht Anlagen konnte die Referenzfläche mittels Pürkhauerbohrer nicht bis zur Tiefe der Kollektorrohre beprobt werden (Tabelle 1), weil der Boden einerseits sehr dicht gelagert war oder andererseits ein hoher Skelettanteil des Bodens eine Bohrung nur bis 50 bzw. 60 cm Tiefe zuließ (Anlagen Nr. 7 und 8).

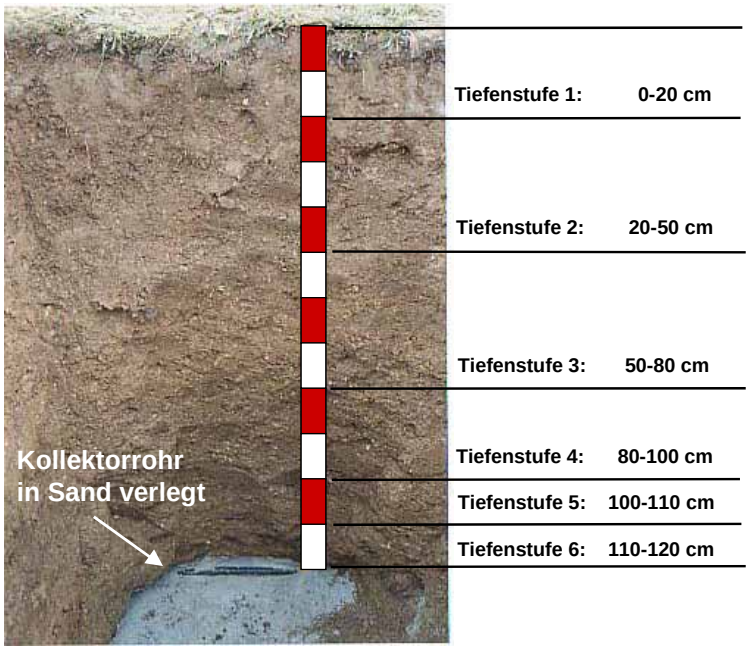


Abbildung 1: Beispiel einer Profilgrube (Anlage Nr. 1) mit Einteilung der Tiefenstufen zur Entnahme von Bodenproben.

2.1 Wärmehaushalt von Böden

Die Wärmekapazität (in J cm^{-3} K^{-1}) eines Bodens ist das Produkt aus spezifischer Wärme (c) und Dichte (ρ) und gibt die Wärmemenge an, die benötigt wird, um 1 Volumeneinheit Boden um 1 Wärmeeinheit zu erwärmen. Dieser Wert ist für die verschiedenen Komponenten des Bodens sehr unterschiedlich und zudem sehr stark vom Wassergehalt des Bodens abhängig. So hat z.B. Wasser eine Wärmekapazität von 4,2, Humus von 2,5 und Luft von 1,3 x10^{-3} J cm^{-3} K^{-1}.
Die Temperaturleitfähigkeit eines Bodens errechnet sich aus der Temperaturveränderung in Abhängigkeit von der Zeit und Strecke, wobei sie wie auch die Wärmekapazität stark vom Wassergehalt des Bodens abhängig ist. Wärmeausgleichsbewegungen im Boden werden durch zwei Mechanismen bewirkt: 1) Wärmeleitung und 2) Konvektion. Während die erstere immer abläuft, ist die Konvektion ist an das Vorhandensein eines beweglichen Trägers gebunden. Dieser Träger ist in der Regel das Wasser, welches in der flüssigen Phase wegen seiner hohen Wärmekapazität als Träger sehr wirksam ist. In der Gasphase hat es zwar eine geringe Kapazität, aber dies wird durch die hohe Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme ausgeglichen. Im nicht wassergesättigten Boden spielt daher der Wasserdampftransport als Wärmetransportmechanismus eine erhebliche Rolle (Scheffer/Schachtschabel, 2002). Die stärkste Energiezufuhr, die Sonneneinstrahlung, erfährt ein Boden an

der Oberfläche. Auch die stärkste Energieabfuhr in Form von Abstrahlung findet an der Bodenoberfläche statt. Deshalb ist die Bodenoberfläche im Normalfall der Bereich mit den stärksten Temperaturschwankungen (Abbildung 2). Von hier aus wird sowohl die Luft als auch tiefer liegende Bodenschichten erwärmt oder abgekühlt. Wie die Oberfläche eines jeden Körpers hat auch die Bodenoberfläche ein spezifisches Absorptionsvermögen. Nur der absorbierte Teil der Sonneneinstrahlung wirkt sich auf die Bodentemperatur aus. Der nicht absorbierte Anteil wird reflektiert (Albedo). Die Albedo liegt bei Böden zwischen 5 und 60%, was einer Absorption von 40 bis 95% entspricht. Die Farbe der Bodenoberfläche ist dabei entscheidend. Wesentliche Faktoren sind daher organische Substanz, deren Farbe und die Bodenfeuchte. Einen erheblichen Einfluss hat auch die Vegetationsdecke. So wird z.B. durch die Oberfläche eines unbepflanzten Ackerbodens nur ca. 10% der Sonneneinstrahlung reflektiert, während bei einer krautigen Vegetationsdecke ca. 30% reflektiert wird.
Vor diesem Hintergrund bestimmt das Zusammenwirken von Wärmekapazität, Temperaturleitfähigkeit und Wärmeleitung/Konvektion die Größe und Veränderung von Wärmeinhalt und Wärmezustand der Böden in Abhängigkeit von Ort, Zeit und Bodentiefe und ergibt damit den Wärmehaushalt von Böden. Der natürliche Wärmehaushalt der Böden wird durch jede menschliche Tätigkeit beeinflusst, die die Ein- oder Ausstrahlungssituation (z.B. Veränderung der Inklination, Farbe, Lockerung oder Verdichtung der Bodenoberfläche) und die Wärmekapazität verändert. Die Wärmekapazität von Böden kann dabei am stärksten durch Veränderung des Wassergehaltes beeinflusst werden. In kühlen Klimaten kann z.B. durch eine Dränung des Bodens eine raschere Erwärmung des Bodens im Frühjahr, und damit eine Verlängerung der Vegetationsperiode herbeigeführt werden.

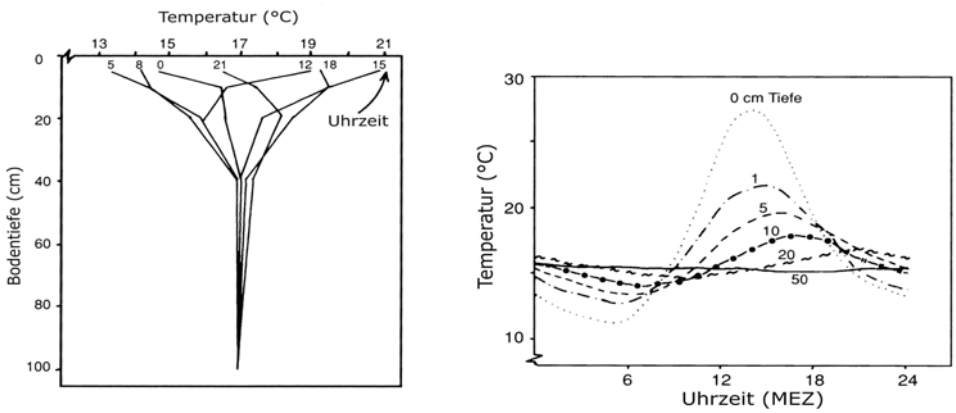


Abbildung 2: Temperaturverlauf innerhalb eines Tages in Abhängigkeit von der Tiefe in einer Braunerde bei Worpspede (D) im August (aus Scheffer/Schachtschabel, 2002).

Tabelle 2: Thermische Eigenschaften natürlicher Materialien (nach Oke, 1987).

Material	Dichte	Spezifische Wärme	Wärme-kapazität	Wärme-leitfähigkeit	Temperatur-leitfähigkeit
	kg m^{-3} 10^3	J kg^{-1} K^{-1} 10^3	J m^{-3} K^{-1} 10^6	W m^{-1} K^{-1}	m^{-2} s^{-1} 10^{-6}
sandiger Boden					
trocken (Porenraum 40%)	1,60	0,80	1,28	0,30	0,24
gesättigt	2,00	1,48	2,96	2,20	0,74
toniger Boden					
trocken (Porenraum 40%)	1,60	0,89	1,42	0,25	0,18
gesättigt	2,00	1,55	3,10	1,58	0,51
Torfboden					
trocken (Porenraum 80%)	0,30	1,00	0,58	0,06	0,10
gesättigt	1,10	1,92	4,02	0,50	0,12
Schnee					
frisch	0,10	2,09	0,21	0,08	0,10
alt	0,48	2,09	0,84	0,42	0,40
Wasser					
ruhig, 4°C	1,00	4,18	4,18	0,57	0,14
Luft					
ruhig, 10°C	0,0012	1,01	0,0012	0,03	20,50
turbulent	0,0012	1,01	0,0012	ca. 125	ca. $10x10^6$

Gleichermaßen wirken Zufuhr oder Abtransport von Wärmeenergie oder von energiefreisetzenden Stoffen auf den Wärmehaushalt von Böden ein. Durch den Wärmeentzug in Böden zu Heizzwecken entstehen tiefere Temperaturen in Böden. Wärmezufuhr, die den Temperaturverlauf im Boden beeinflusst, erfolgt im Prinzip durch jede Zufuhr von organischer Substanz. Allerdings ist die beim Abbau freiwerdende Wärmeenergie nur bei hoher Anreicherung organischen Materials wirksam (z.B. durch die Anlage von „Mistbeeten", Scheffer / Schachtschabel, 2002). Böden mit guter Temperaturleitfähigkeit erlauben ein rasches Eindringen von Temperaturänderungen, es werden daher tiefe Bodenschichten betroffen. Sie weisen bei gleicher Wärmezufuhr ein weniger extremes Temperaturregime auf. Tagsüber wird eine mächtige Bodenschicht erwärmt, in der Nacht wird die Abkühlung an der Oberfläche durch die Wärmeabgabe aus dieser mächtigen Bodenschicht gebremst. Böden mit geringer Temperaturleitfähigkeit weisen einen auf die oberste Bodenschicht konzentrierten Wärmeaustausch auf und sind daher durch extreme tägliche Temperaturschwankungen gekennzeichnet. Ein feuchter schwerer Boden hat demnach ein ausgeglicheneres Temperaturregime als ein trockener sandiger Boden. In den meisten Böden ist die tägliche Temperaturwelle bis in eine Tiefe

von 0,75 m zu beobachten. Bei Böden mit geringerer Wärmeleitfähigkeit ist diese Tiefe geringer. Aufgrund der Zeitverschiebung beim Eindringen von Energiequellen ist es möglich, das sich ein Boden an der Oberfläche abkühlt, während er darunter als Folge vorangegangener Energiezufuhr sich noch weiter erwärmt und umgekehrt. Während der warmen Jahreszeit nehmen die Bodentemperaturen mit der Tiefe ab, während sich in der kalten Jahreszeit dieser Gradient umdreht. Dieser Wechsel im Temperaturgradienten im Frühling und im Herbst ist für viele Bodentiere ein bedeutender biologischer Auslöser (Bauer & Heilig, 1986). Die sehr geringe Leitfähigkeit und Durchlässigkeit machen eine Schneedecke zu einer Isolationsschicht des darunter befindlichen Bodens, insbesondere in der Nacht, wenn der Strahlungsaustausch auf die bodennahe Grenzschicht beschränkt ist. Die Schneedecke verhindert nicht nur das Eindringen von Frost, sie konserviert auch die im Boden vorhandene Wärme, wodurch der Abkühlungsprozess zusätzlich gebremst wird. Bauer & Heilig (1986) schreiben, dass demnach die Anwendung von Bodenkollektoren in schneereichen Regionen bei richtiger Dimensionierung problemlos erscheint, während in schneeärmeren Gebieten, in denen Verwehungen häufig vorkommen, durch die Errichtung von Windschutzeinrichtungen Schneeabwehungen möglichst verhindert werden sollen.

An Proben der Kollektorfläche - Tiefenstufe 5 wurde die Korngrößenverteilung (laut ÖNORM L 1061) und daraus die Bodenart bestimmt. Die Ergebnisse zeigten, dass bei allen beprobten Anlagen der Tongehalt relativ gering war und es sich durchwegs um leichte Böden der Schwereklassen I und II (Blum et al., 1996) handelte (Abbildung 3). Das bedeutet, dass diese Böden sich im Frühjahr vermutlich rasch erwärmen, aber die Wärmekapazität nicht besonders hoch ist, und diese Böden im Herbst auch rascher wieder auskühlen, speziell dann, wenn vom Erdkollektor zu dieser Zeit schon Wärme zu Heizzwecken entzogen wird.

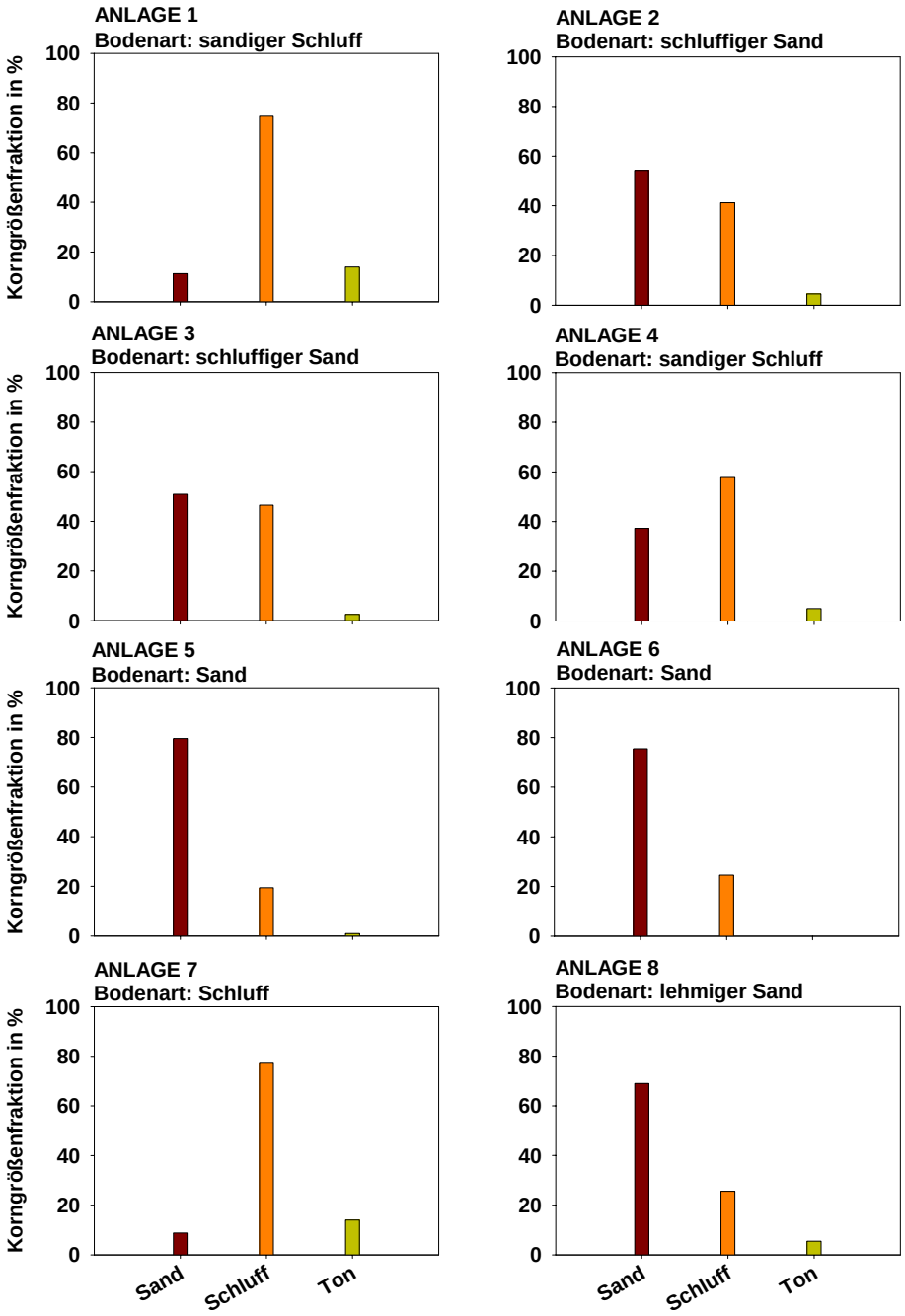


Abbildung 3: Korngrößenverteilung und Bodenart in der Tiefenstufe 5 der Böden der Kollektorflächen.

3. Überprüfung der Homogenität von Kollektor- und Referenz-flächen

In einigen Fällen wurden die Gärten nach dem Einbau der Kollektorrohre vermutlich mit ortsfremdem Bodenmaterial aufgeschüttet. Um Vergleiche zwischen Referenz- und Kollektorflächen anstellen zu können, war es daher zunächst notwendig, zu überprüfen, ob die Proben, die von den Kollektorflächen gewonnen wurden, mit jenen der Referenzflächen übereinstimmen. Ein hinsichtlich der Homogenität von Böden relativ einfach zu bestimmender Parameter ist der Boden pH-Wert (laut ÖNORM L 1083). Die Ergebnisse zeigten, dass die Kollektor- und Referenzflächen der Anlagen Nr. 3, 4, 5 und 6 über die gesamte Tiefe der Profile homogene Boden pH-Werte aufwiesen, wobei Unterschiede im Bereich < 0,5 pH–Einheiten lagen. Bei den restlichen Anlagen hingegen wurden zwischen Bodenproben der Kollektorflächen und jenen der Referenzflächen Abweichungen von bis zu 1,5 pH-Einheiten festgestellt (Abbildung 4). Der pH-Wert eines Bodens steht in enger Wechselwirkung mit dem Ertrag, der auf diesem Boden erzielt werden kann. Eine Reihe von ökologisch wirksamen Bodeneigenschaften reagieren unterschiedlich auf eine Veränderung des pH-Wertes. Hierzu gehören die toxische Wirkung von Aluminium und Mangan, die Verfügbarkeit von Mikro- und Makronährstoffen, die Mobilität von Schwermetallen, der Humusabbau und das Bodengefüge. Der pH-Wert sollte auf jedem Fall so hoch liegen, dass keine toxisch wirkenden Konzentrationen an Al oder Mn auftreten. Andererseits werden mit steigendem pH-Wert Mikronährstoffe wie Mn, Cu, Zn und B weniger pflanzenverfügbar. Ähnliches gilt für Phosphat, dessen Konzentration in der Bodenlösung bei pH-Werten über 6 abnimmt. Mit steigendem pH-Wert nimmt die Aktivität von Mikroorganismen zu, d.h. organische Substanz wird vermehrt abgebaut und Stickstoff freigesetzt. Bei den untersuchten Anlagen waren die pH-Werte der Böden zum größten Teil im schwach-mäßig alkalischen Bereich (Anlage 3, 4, 5, 6 und 8), zum anderen im neutralen bis schwach-mäßig sauren Bereich (Anlage 1, 2 und 7, Abbildung 4). Neben dem pH-Wert wurde auch die maximale Wasserhaltekapazität bestimmt und hinsichtlich Homogenität von Kollektor- und Referenzfläche geprüft. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Werte der maximalen Wasserhaltekapazität bei den Anlagen Nr. 3, 4, 6 und 8 um weniger als 10 % unterschieden haben, während bei den restlichen Anlagen Unterschiede bis zu +/- 30 % festgestellt wurden (Abbildung 5). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass nur die Referenzflächen der Anlagen 3, 4 und 6 sowohl hinsichtlich

pH-Wert im Boden als auch der maximalen Wasserhaltekapazität als mit den Kollektorflächen homogen eingestuft werden können.

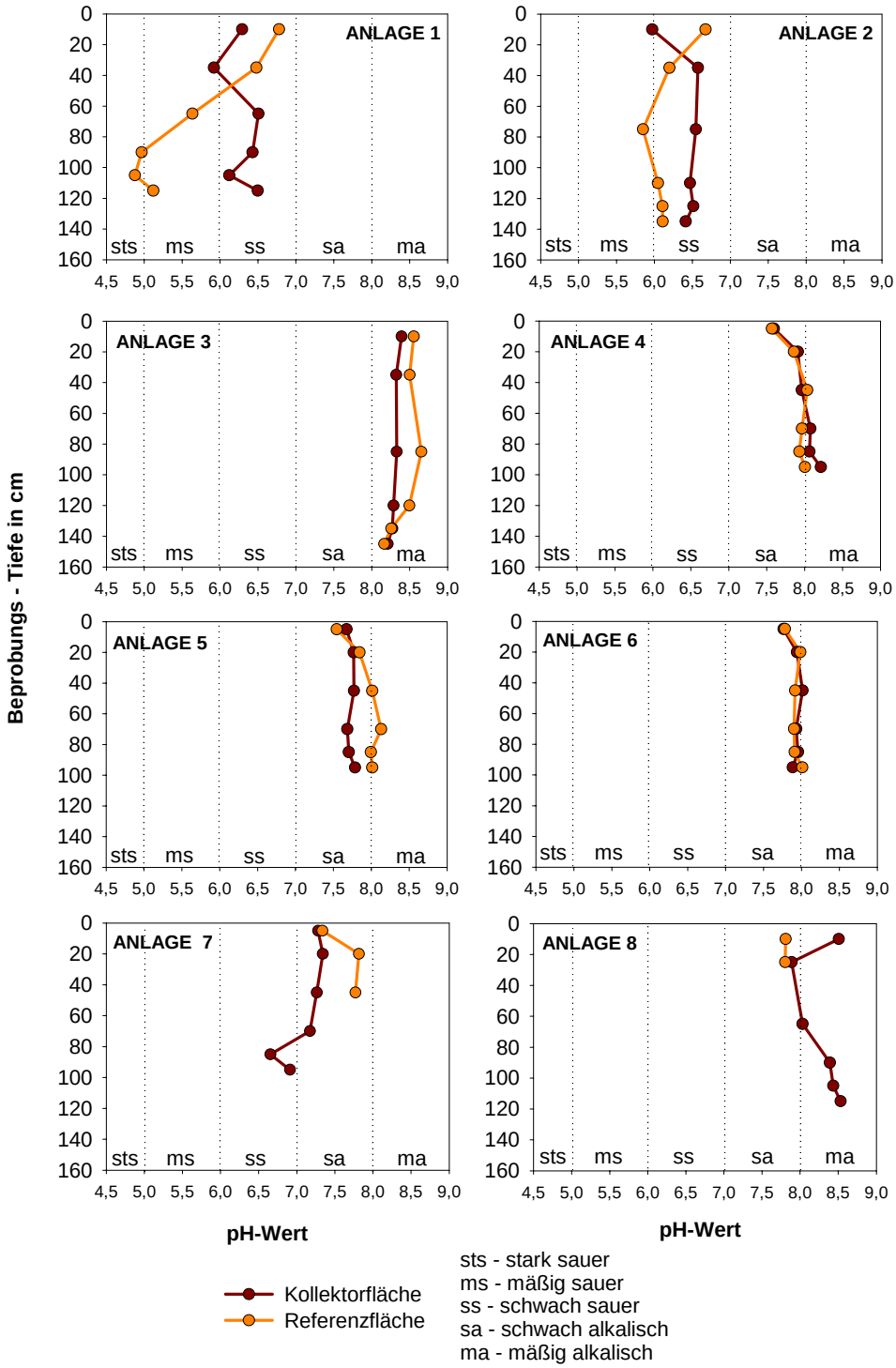


Abbildung 4: Vergleich der Boden pH-Werte auf den Kollektor- und Referenz-flächen

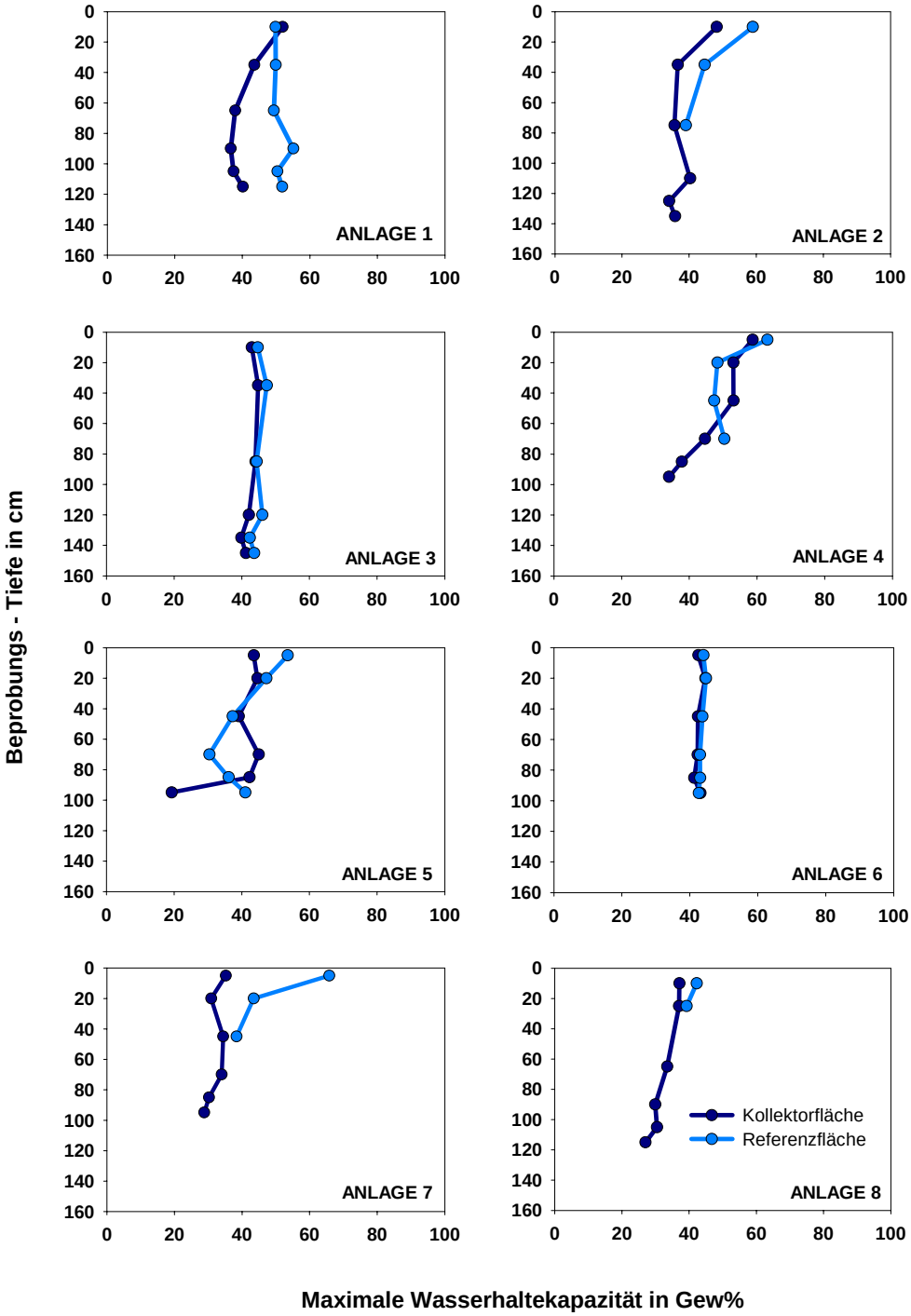


Abbildung 5: Vergleich der maximalen Wasserhaltekapazitäten auf den Kollektor- und Referenzflächen (50 % maximale Wasserhaltekapazität bedeutet, dass 100 g Boden 50 ml (g) Wasser aufnehmen können).

4. Bestimmung der mikrobiellen Biomasse

4.1. Methode zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse im Boden

Die Analysen zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse wurden nach der Fumigations-Extraktionsmethode von Wu et al. (1990) durchgeführt. Diese Methode beruht auf der Entdeckung, dass nach einer 24stündigen Begasung des Bodens mit Chloroformdampf und der Entfernung des Begasungsmittels eine Zunahme der mittels 0,5 molarer K_2SO_4-Lösung extrahierbaren Kohlenstoffmenge zu verzeichnen ist. Dies ist auf die Lyse (d.h. Zellauflösung nach Zerstörung der Zellmembran) von Biomasse zurückzuführen (Dunger & Fiedler, 1997). Es wurden 15g Boden (Trockengewicht) 24h Stunden lang einem Chloroformdampf ausgesetzt, dann mit 60ml 0,5 molarer K_2SO_4–Lösung versetzt und eine halbe Stunde geschüttelt. Nach der Filtration wurde im Bodenextrakt der gelöste organische Kohlenstoff analysiert. Die gleiche Extraktion und Analyse wurde mit einer Probe desselben Bodens durchgeführt, der jedoch vorher nicht begast wurde. Aus der Differenz der Konzentrationen an gelöstem organischen Kohlenstoff der begasten und nicht begasten Proben lässt sich die Quantität der mikrobiellen Biomasse im Boden berechnen.

4.2. Ergebnisse und Diskussion

Bodenorganismen sind an vielen Prozessen im Boden beteiligt. Sie bauen organische Substanz ab und setzen dabei pflanzenverfügbare Nährstoffe frei. Diese Mineralisierung ergänzt wesentlich die in der Regel nur geringe Nährstoffnachlieferung durch Verwitterung von Gesteinen (z.B. von Stickstoff und Phosphor). Eine Reihe von Bakterien und Cyanobakterien (sog. Blaualgen) ist in der Lage, Luftstickstoff als N-Quelle zu nutzen und dem N-Kreislauf von Boden und Pflanzen zuzuführen. Mikroorganismen legen aber auch Nährstoffe durch Einbau in die Körpersubstanz vorübergehend fest, was zu einem zeitweiligen Engpass bei der Versorgung von Kulturpflanzen führen kann, andererseits, aber die Auswaschung von Nährstoffen verhindert. Alle Kulturmaßnahmen des Menschen stellen einen mehr oder weniger starken Eingriff in den Lebensraum von Bodenorganismen dar. So wird z.B. durch die Drainage eines Grünlandbodens der Wassergehalt und damit die Wärmekapazität des Bodens verringert. Damit steigt die Bodentemperatur schneller an und alle biologischen Prozesse im Boden laufen beschleunigt ab. In Ackerböden vermindert das Pflügen die Meso- und Megafauna (Bodentiere von 0,2 bis 20mm

Größe) durch Verwunden und Begraben, während die Aktivität von Mikroorganismen infolge der damit verbundenen Lockerung stimuliert werden kann. Bodenorganismen werden durch Düngung oft gefördert, wobei organische Dünger das Nahrungsangebot für heterotrophe Organismen (d.h. Organismen, die ihre Energie aus von anderen Lebewesen aufgebauter organischer Substanz beziehen) direkt erhöhen. Anorganische Dünger erhöhen das Nahrungsangebot für Mikroorgansimen zum einen auf dem Umweg über den vermehrten Anfall von Ernterückständen sowie zum anderen auch direkt über die Zufuhr zusätzlicher Nährstoffe.

Der Einsatz von Pestiziden verändert die Populationsstruktur und die biologische Aktivität im Boden. Fungizide beeinflussen auch die Pilzpopulationen im Boden, genauso wie Insektizide auch die Bodenfauna beeinträchtigen können. Es ist aus der Literatur bekannt, dass die Bodentemperatur sowohl die Quantität als auch die Qualität der auftretenden Mikroorganismen entscheidend beeinflusst (Schinner & Sonnleitner, 1996). Der weitaus überwiegende Teil der Bodenmikroorganismen hat sein Temperaturoptimum zwischen 10 und 35 °C. Gegen Kälte sind insbesondere Pilze und Bakterien sehr widerstandsfähig, wobei jedoch das Gefrieren von Boden zum Erliegen der Organismentätigkeit führt (Scheffer/Schachtschabel, 2002). Es wird angenommen, dass der limitierende Faktor beim Wachstum der mikrobiellen Biomasse freies Wasser ist. Solange die Bedingungen die Existenz von freiem Wasser ermöglichen, können Mikroorganismen wachsen, wenn auch reduzierte Temperaturen langsameres Wachstum verursachen (Tate, 2000). Generell hängt die Quantität der mikrobiellen Biomasse von einer Vielzahl von Faktoren, wie Textur, organischer Substanz, Wassergehalt, Jahreszeit, Klima usw., ab. Die Probenahmen und Analysen der mikrobiellen Biomasse in den acht ausgewählten Gärten stellen daher eine Momentaufnahme dar. Es ist daher nicht möglich Aussagen über Absolutwerte der mikrobiellen Biomasse zu treffen, sondern es können nur Vergleiche innerhalb der untersuchten Anlagen angestellt werden. Die Interpretation der Ergebnisse wird zusätzlich erschwert, wenn die Referenz- und Kollektorfläche nicht homogen sind. Dennoch zeigen die Ergebnisse gemeinsame Tendenzen. Sowohl auf den Kollektor- als auch auf der Referenzflächen war eine kontinuierliche Abnahme der mikrobiellen Biomasse mit der Bodentiefe festzustellen. Auch in natürlich geschichteten und temperierten Böden befindet sich der Großteil an mikrobieller Biomasse in der obersten Bodenschicht, weil dort das Nahrungsangebot in Form organischer Substanz am höchsten ist. Die größten Unterschiede in der Quantität der mikrobiellen Biomasse zwischen Kollektor- und Referenzfläche waren in der Tiefenstufe 1 zu finden. Durchschnittlich war die mikrobielle Biomasse in der obersten Bodenschicht der

Referenzflächen um 43 % höher als in der gleichen Tiefenstufe der Kollektorflächen (Abbildung 6). In den unteren Tiefenstufen waren die Unterschiede zwischen Kollektor- und Referenzflächen durchwegs undeutlicher. Die geringere mikrobielle Biomasse auf den Kollektorflächen kann zumindest auf den homogenen Anlagen 3, 4 und 6 mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einen Einfluss geringerer Bodentemperatur und/oder verkürzter Perioden optimaler Bodentemperatur zurückgeführt werden. Durch eine umfangreichere Untersuchung von hinsichtlich Kollektor- und Referenzflächen homogenen Anlagen könnten diese Ergebnisse abgesichert werden.
Eine geringere Quantität mikrobieller Biomasse auf den Kollektorflächen könnte in der Folge einen im Vergleich zur Referenzfläche verringerten Abbau organischer Substanz bewirken. Dies wiederum könnte ohne Düngemaßnahmen, die Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen negativ beeinflussen. Zudem könnte es im Vergleich zur Referenzfläche durch das in der Vegetationsperiode spätere Erreichen von für Mikroorganismen optimalen Bodentemperaturen auf der Kollektorfläche zu einer Verzögerung im Abbau organsicher Substanz im Boden kommen. Durch gärtnerische Maßnahmen wie Düngung und/oder das Zuführen organischer Substanz (Mulchen) auf den Kollektorflächen, könnte der Einfluss einer verringerten mikrobiellen Biomasse infolge geringerer Bodentemperaturen vermutlich kompensiert bzw. die Aktivität der mikrobiellen Biomasse stimuliert und gefördert werden.

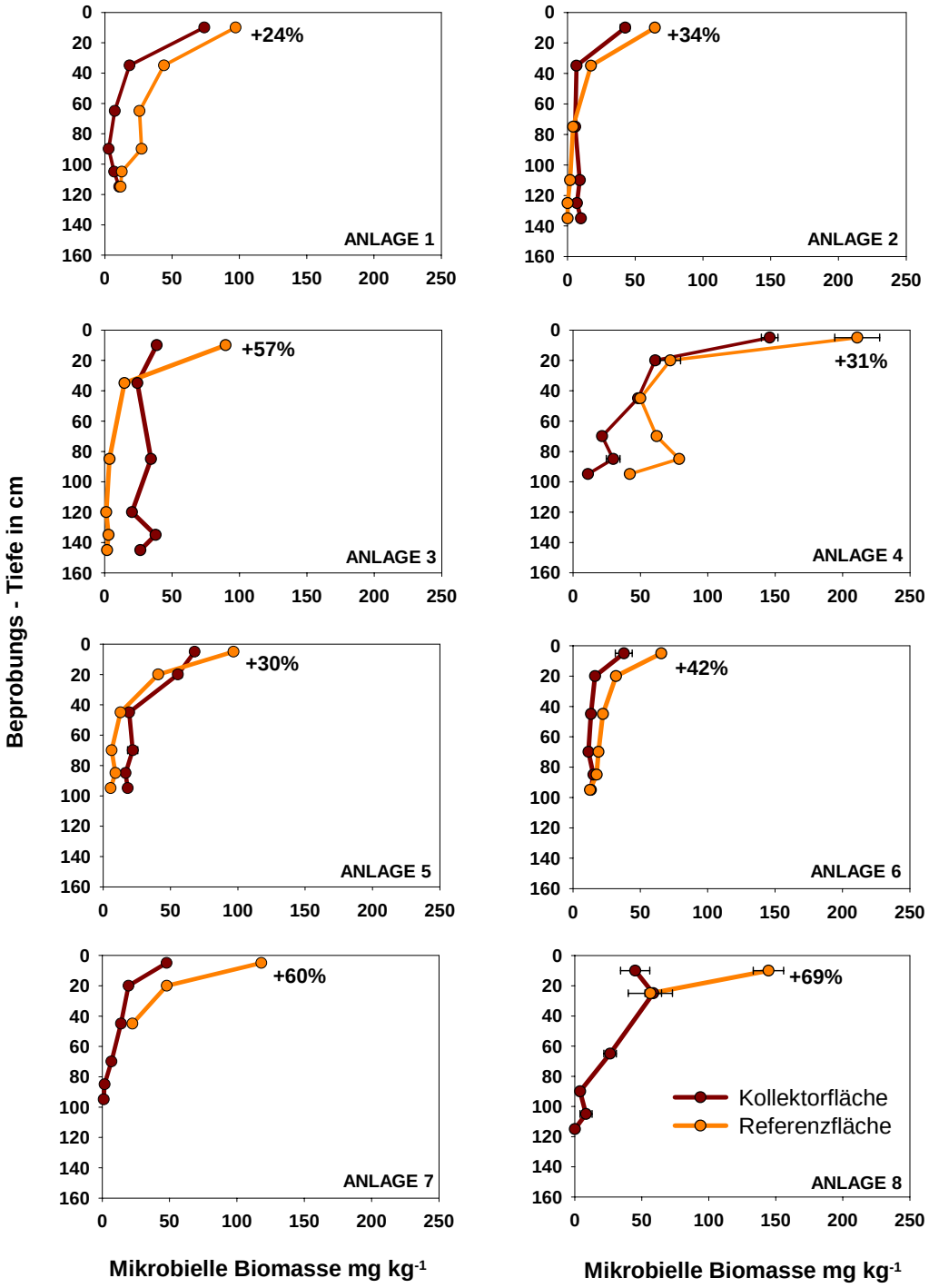


Abbildung 6: Mikrobielle Biomasse im Boden der Kollektorfläche im Vergleich zur Referenzfläche (Prozentangaben beziehen sich auf die mikrobielle Biomasse in Tiefenstufe 1 der Referenzfläche relativ zur mikrobiellen Biomasse in Tiefenstufe 1 der Kollektorfläche)

5. Rhizoboxversuche mit gekühlter Bodenschicht

5.1. Material und Methoden

Die Rhizoboxen wurden aus klarem Plexiglas gefertigt und hatten 15x15 cm im Grundriß und waren 32 cm hoch. Auf 10 cm Höhe wurde eine horizontale Schlauchschicht eingebaut, durch die mit einer Pumpe ständig Wasser einer bestimmten Temperatur geführt werden konnte (Abbildung 7-3). Das Wasser wurde in einem Kühl- bzw. Gefriergerät auf die erforderliche Temperatur vorgekühlt, mittels Aquariumpumpen durch die Schlauchschicht in der Rhizobox gepumpt und dann wieder in das Kühl- bzw. Gefriergerät rückgeführt. Dadurch entstand in der Rhizobox eine kühle Bodenschicht.
Die Bodentemperatur wurde auf vier Tiefenstufen (4, 15, 22 und 29 cm, Abbildung 8) über Temperaturfühler kontinuierlich aufgezeichnet und kontrolliert. Insgesamt wurden vier Rhizoboxen angefertigt, mittels derer das Wachstum von Pflanzen bei folgenden Bodentemperaturbereichen in der Kühlzone untersucht wurde:

- Box Nr. 1: 11 bis 13 °C
- Box Nr. 2: 7 bis 9 °C
- Box Nr. 3: 3 bis 6 °C
- Box Nr. 4: 0 bis 2 °C

Die Boxen wurden mit jeweils 8,6 kg Boden (Trockengewicht) befüllt, mit je einer Weide (*Salix caprea*, Kätzchenweide) bepflanzt und dann in ein Glashaus mit konstanter Umgebungstemperatur (20 °C bei Tag) überstellt. Zur Aufrechterhaltung der gekühlten Bodenschichten, wurden die Boxen zweifach gedämmt. Die Bewässerung der Boxen erfolgte über Glasfaserdochte (Abbildung 7-2, 7-6), deren Spendergefäß innerhalb der Dämmung positioniert wurde, um ein Aufheizen des Wassers auf Umgebungstemperatur zu vermeiden. Nach 2-monatigem Wachstum in den Rhizoboxen wurden die Pflanzen geerntet. Die oberirdische Biomasse wurde in Blätter und Zweige aufgetrennt, getrocknet (24h bei 80°C) und dann deren Gewicht protokolliert. Die Wurzeln wurden in vier Zonen eingeteilt (Abbildung 8) und durch vollständiges Zerlegen der Box geerntet. Alle Wurzeln wurden von Boden befreit, gewaschen und dann getrocknet. Nach dem Trocknen wurde das Wurzelgewicht der einzelnen Wurzelzonen der Rhizobox bestimmt. Zur Absicherung der gewonnen Daten, wurde der gesamte Versuch einmal wiederholt.

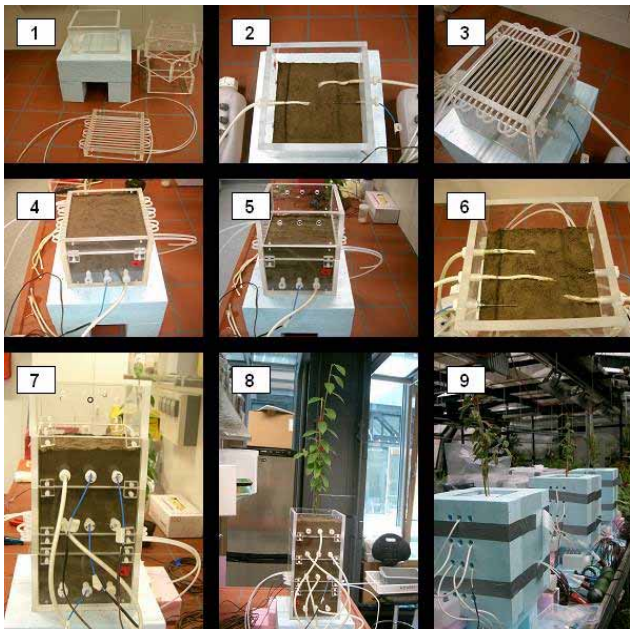


Abbildung 7: Versuchsaufbau mit Einbau von Glasfaserdochten zur Bewässerung (2, 6), von Temperaturfühlern zur kontinuierlichen Aufzeichnung der Bodentemperatur (2, 6) und der Schlauchschicht zur Kühlung des Bodens (3, 4). Die Boxen wurden mit je einer Kätzchenweide (*Salix caprea*) bepflanzt (8) und im Glashaus mit herkömmlichen Dämmplatten vor Erwärmung geschützt (9).

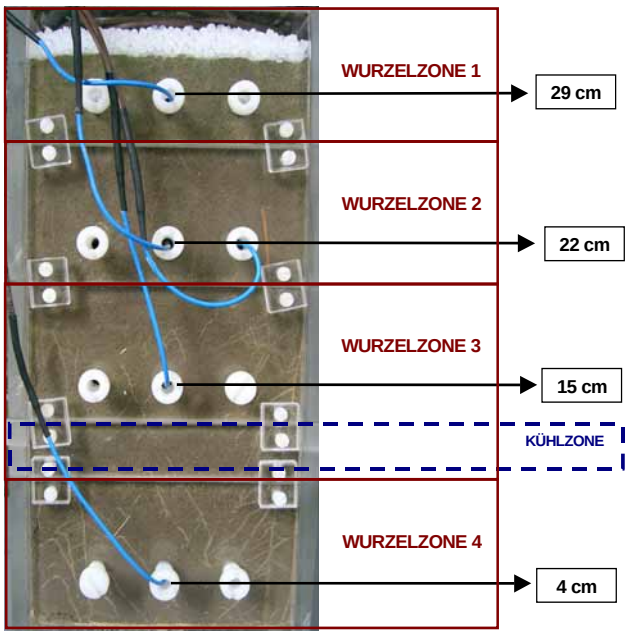


Abbildung 8: Einteilung der Rhizobox in vier Wurzelzonen und Position der Temperaturfühler sowie der Kühlzone im Boden.

5.2. Ergebnisse

Sowohl im ersten als auch im zweiten Versuchsdurchgang entwickelten sich die Weiden recht gut. Auch an den Weiden in den Boxen Nr. 3 und 4 mit Kühlzonentemperaturen von 3-6 bzw. 0-2°C im Boden waren keine visuell erkennbaren Anzeichen (z.B. Gelbfärbung der Blätter oder Blattverlust) infolge einer Beeinträchtigung durch die niedrige Bodentemperaturen ersichtlich. Obwohl die Weiden in Box Nr. 3 und 4 rein äußerlich vital und gesund wirkten, blieb sowohl ihre oberirdische Biomasse als auch die Biomasse der Wurzeln deutlich hinter jener der Weiden in Box Nr. 1 und 2 zurück (Tabelle 2, Abbildung 10, 11, 12).

Tabelle 2: Zusammenfassung der Biomassedaten von *Salix caprea* aus zwei Versuchsdurchgängen.

Box Nr.	Boden Temp. in °C	Blätter	Zweige	Biomasse oberirdisch	Wurzeln Zone 1	Wurzeln Zone 2	Wurzeln Zone 3	Wurzeln Zone 4	Wurzeln gesamt
		in g (Trockengewicht)							
1	11-13	8,72	15,1	23,8	1,37	1,43	1,17	0,95	4,93
2	7-9	9,11	12,1	21,2	1,15	0,84	0,54	0,76	3,29
3	3-6	4,36	4,91	9,27	1,35	0,59	0,12	0,02	2,07
4	0-2	3,50	5,56	9,07	0,85	0,65	0,06	0,01	1,56

Die Wurzeln der Weiden in Box 3 und 4 haben die Kühlzone nicht oder kaum durchwachsen und zeigten in der „Wurzelzone 2" deutlich verkürzte Seitenwurzeln (Abbildung 9).

Abbildung 9: Ausbildung von verkürzten Seitenwurzeln infolge niedriger Temperaturen im Boden.

Verkürzte Seitenwurzeln sind typische Anzeichen von suboptimalen Bodentemperaturen (Marschner, 2002), wobei die Ausdehnung eines Wurzelsystems laut Kasper & Bland (1992) eine Funktion aus zwei Temperatur-

abhängigen Prozessen darstellt: 1) Wachstum und 2) Entwicklung. Wachstumsprozesse inkludieren dabei Zellenverlängerung, Erhöhung der Wurzellänge und Wurzeldurchmesser, während Entwicklungsprozesse die Wachstumsdauer sowie die Initialisierung von neuen Wurzeln beeinflussen. Wurzelsysteme, die deutlich unter der Optimaltemperatur wachsen, sind generell kleiner ausgebildet und weniger verzweigt sind, als jene bei Optimaltemperatur. Auch die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen kann limitiert sein (McMichael & Burke, 2002), während wärmere Bodentemperaturen in höherer Wurzelatmung und Ionenaufnahme resultieren, vorausgesetzt, dass die physiologische Aktivität der Pflanze nicht durch andere Faktoren wie Licht- und Wassermangel limitiert wird (Pregitzer et al., 2000). Die Ergebnisse, dieses Experimentes lassen darauf schließen, dass die Biomasseentwicklung von Weiden durch suboptimale Bodentemperatur beeinflusst wird. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Bodentemperaturmessungen aus Teil B dieses Projektberichtes, dass sich die Bodentemperaturen der Kollektorflächen bei richtiger Dimensionierung der Anlage über den Sommer regenerieren und es im Normalfall während der Vegetationsperiode über längere Zeiträume nicht zu suboptimalen Temperaturen im Boden kommt. Es kann angenommen werden, dass eventuell Austrieb und Blühzeitpunkte von Weiden etwas verzögert sind. Gravierende Beeinträchtigungen des Wachstums von unter- und oberirdischer Biomasse von Weiden durch Erdkollektorsysteme sind aber nur dann zu erwarten, wenn die Anlage deutlich zu klein ausgelegt ist, und die Bodentemperatur sich über den Sommer nicht regenerieren kann. Diese Ergebnisse lassen sich nicht eins zu eins auf andere Gartenpflanzen übertragen, sondern bedürfen vor allem für deutlich temperaturempfindlichere Arten einer separaten Untersuchung.

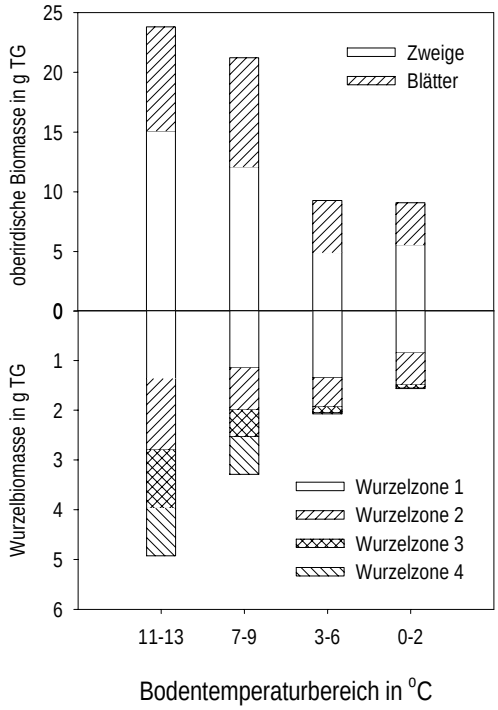


Abbildung 10: Vergleich der oberirdischen und unterirdischen Biomasse-entwicklung von *Salix caprea* aus 2 Versuchsdurchgängen bei verschiedenen Bodentemperaturen in g Trockengewicht (TG).

Abbildung 11: Visueller Vergleich der oberirdischen Biomasseentwicklung von *Salix caprea* bei einer Lufttemperatur von 20°C und verschiedenen Bodentemperaturen (von links nach rechts: 11-13, 7-9, 3-6, 0-2 °C, Angaben rechts bezeichnen die Sprosslänge).

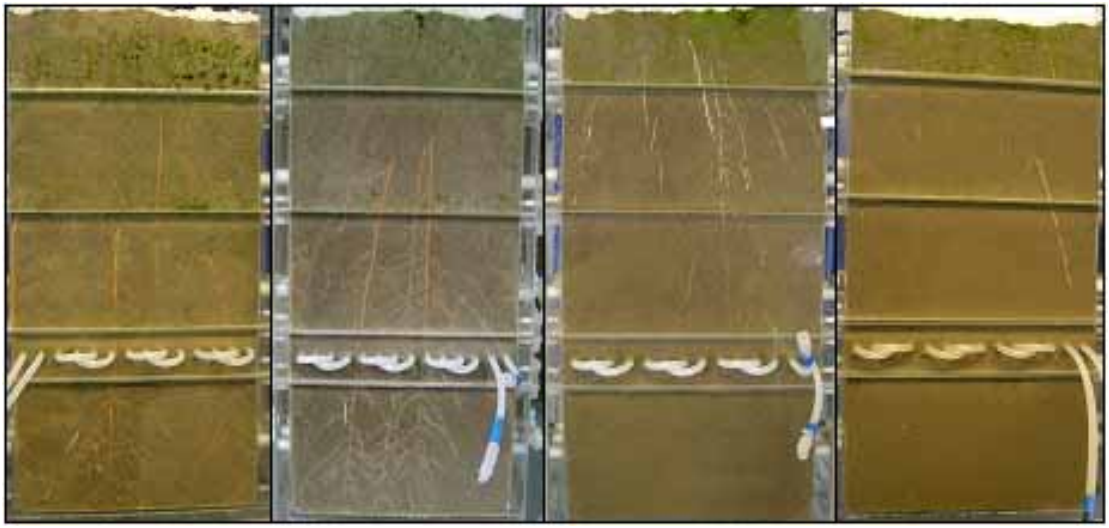


Abbildung 12: Visueller Vergleich der Wurzelentwicklung von *Salix caprea* bei verschiedenen Bodentemperaturen in der Kühlzone (von links nach rechts: 11-13, 7-9, 3-6, 0-2 °C).

6. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch eine Reduktion der Temperatur im Boden sowohl die Quantität der mikrobiellen Biomasse im Boden als auch die Biomassebildung von Pflanzen beeinflusst werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Einfluss in der Praxis nicht gravierend sein wird, als sich der Boden während der Vegetationsperiode auch durch die Sonneneinstrahlung vor allem von oben her erwärmt. Man muss davon ausgehen, dass Pflanzen auf den Kollektorflächen vermutlich etwas langsamer wachsen werden, als auf den Referenzflächen, aber dennoch gesund und vital sein werden. Es wird aber trotzdem sinnvoll sein, bei der Pflanzenauswahl darauf zu achten, eher robustere nicht besonders wärmebedürftige Pflanzen für Kollektorflächen auszuwählen.
Die geringere mikrobielle Biomasse und die dadurch verringerte mikrobielle Umsetzung von organischem Material in der obersten Bodenschicht der Kollektorflächen könnte einerseits durch Düngung der Rasenflächen kompensiert werden. Anderseits könnte durch das Mulchen mit organischem Material auf Beeten oder unter Sträuchern, die mikrobielle Umsetzung angeregt werden, besonders auch deshalb, weil durch das Mulchen auch die Wärmespeicherung an der Bodenoberfläche erhöht werden kann.

7. Literatur

Brady, N.C., Weil, R.R. (1999) The nature and properties of soils. 12th edition.Simon & Schuster A Viacon Company, New Jersey

Bauer, B, Heilig, M. (1986) Wärmeentzug aus dem Boden und seine Folgen auf die Umwelt. Geographischer Jahresbericht aus Österreich. Sonderdruck aus Band Universität Wien (Hrsg.).

B XLV. Vorstand des Instituts für Geographie und Regionalforschung der lum, W.E.H., Spiegel, H., Wenzel, W.W. (1996) Bodenzustandsinventur – Konzeption, Durchführung und Bewertung. 2. Auflage.

Dunger, W., Fiedler, H.J. (1997) Methoden der Bodenbiologie. 2. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Jena

Kasper, T.C., Bland, W.L. (1992) Soil temperature and root growth. Soil Science: 154 (4): 290-299

Marschner H. (2002) Mineral nutrition of higher plants. 2nd Edition. Academic press, London-San Diego

McMichael, B.L., Burke J.J. (2002) Temperature effects on root growth. In: Plant Roots: The Hidden Half. 3rd edition (Y. Waisel, A. Eshel, U. Kafkafi editors), Marcel Dekker AG, New York, Basel

Oke, T.R. (1987) Boundary layer climates. 2nd edition. University Press, Cambridge

ÖNORM L 1061-2 (2002) Physikalische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens - Teil 2: Feinboden.
ÖNORM L 1083 (1999) Österreichisches Normungsinstitut. Chemische Bodenuntersuchungen. Bestimmung der Acidität (pH-Wert).

Pregitzer, K.S., King, J.S., Burton, A.J., Brown S.E. (2000) Responses of fine roots to temperature. New Phytologist 147: 105-115

Tate, R.L. (2000) Soil microbiology. 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc. New York

Scheffer/Schachtschabel (2002) Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin

Schinner, F., Sonnleitner, R. (1996) Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik. Springer Verlag

Warnecke, G. (1997) Meteorologie und Umwelt. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Wu, J., Joergensen, R.G., Pommerening, B., Chaussod, R., Brookes, P.C. (1990) Measurement of microbial biomass by fumigation-extraction – an automated procedure. Soil Biology and Biochemistry 22: 1167-1169

Ergebnisse

Abschließend werden die Ergebnisse der vier Projektteile zusammengefasst.

Wärmepumpentechnik

Besonders im Neubaubereich, aber auch bei der Sanierung von Altbauten, stellen Wärmepumpen heute eine ernst zu nehmende Alternative zur „konventionellen" Heizung und Warmwasserbereitung dar. Wärmepumpen können Luft, Wasser und Erdreich als Energiequelle verwenden, wobei rund drei Viertel der Wärmepumpenanlagen in Österreich das Erdreich nutzen. Das Erdreich ist ein beachtlicher Wärmespeicher, der über Sonneneinstrahlung, Luftströmung und Regen Energie aus Atmosphäre der aufnimmt. Das Erdreich kann mittels horizontal verlegter Kollektoren oder vertikaler Tiefensonden als Wärmequelle für Wärmepumpen genutzt werden. Ein Kollektor ist eine horizontal in etwa 0,8-2 m Tiefe eingegrabene Rohrschlange, als Richtwert gilt eine Verlegungstiefe von 0,3 m unter der Frostgrenze.
Die Auslegung des Kollektors erfolgt in der Regel vom Anlagenbauer nach Erfahrung bzw. lt. Richtlinien (z.B. VDI 4640), und nimmt auf die spezifische Entzugsleistung und grob auf die Lage des Grundstücks und den vorhandenen Boden Rücksicht. Bei den untersuchten Anlagen entsprach die Kollektorfläche in kühlen Gegenden wie dem Waldviertel 2,26 bis 2,69 mal der Wohnfläche, in wärmeren Gegenden lagen die Werte zwischen 0,98 und 1,72. Der branchenübliche Richtwert für die Kollektorfläche liegt bei 1,6 bis 2 mal der Wohnfläche.
Im Rahmen des Monitorings wurden 8 Wärmepumpenanlagen mit Erdkollektoren über ein Jahr beobachtet und deren Effizienz mit der Jahresarbeitszahl JAZ beurteilt. Bei den untersuchten Anlagen ergaben sich Werte der JAZ zwischen 3,04 und 4,54. Im Vergleich zu anderen Wärmepumpenanlagen sind die Jahresarbeitszahlen gut, wobei es sich bei der Anlage mit einer JAZ von 3,04 um eine Anlage handelt, die bereits seit 20 Jahren in Betrieb ist und dem ehemaligen Stand der Technik entspricht. Aus diesen Werten geht hervor, dass nur ein geringerer Teil der Energie für Heizung und fallweise auch Warmwasser in Form von elektrischer Energie zugeführt werden muss.

Einflüsse auf den Boden

Grundsätzlich ist ein fachgerechter Erdbau bei der Verlegung des Erdkollektors wichtig, damit keine Verdichtungen im Boden entstehen und ein gutes Pflanzenwachstum möglich ist.

Die Bodenart hat Bedeutung für die Auslegung von Erdkollektoranlagen.

Leichte, sandige Böden haben eine gute Temperaturleitfähigkeit und erwärmen sich demnach im Frühjahr rascher, kühlen aber im Herbst auch schneller aus. Schwere, tonige Böden haben eine schlechtere Temperaturleitfähigkeit und erwärmen sich langsamer, sind aber in der Lage einmal absorbierte Wärme länger zu speichern als ein leichter Boden. Ein nicht zu schwerer, aber auch nicht zu leichter feuchter Boden wie z.B. ein Lehmboden stellt eine gute Grundlage für einen Erdkollektor dar. Die 8 untersuchten Beispiele haben alle leichte Böden.
Im Winter verhindert eine Schneedecke das Eindringen von Frost und konserviert die im Boden vorhandene Wärme, wodurch die Abkühlung eines Bodens im Winter gebremst werden kann.

Erdkollektoren entziehen dem Boden über das Winterhalbjahr Energie und kühlen dadurch das Erdreich ab. Die jährliche Entzugsleistung liegt bei den untersuchten Anlagen zwischen 23 W/m2 und 43,5 W/m2 und beträgt im Mittel 27,2 W/m2.
Die gemessene Abkühlung war im Bereich des Kollektors am größten, die Temperaturdifferenz auf Kollektorebene lag im Winter bei 2-6 Grad im Vergleich zu Flächen ohne Erdkollektor. Die Temperaturen direkt bei den Leitungsrohren schwankten betriebsbedingt und konnten, während die Wärmepumpe eingeschalten war, mehrere Grad tiefer sein. Eine durchgängige Eisschicht auf Kollektorniveau mit Monatsmittelwerten deutlich unter 0°C kam bei richtig dimensionierten Anlagen nicht vor. Im Frühling und Frühsommer waren die Temperaturunterschiede der Böden mit und ohne Kollektor auf Kollektorebene mit 6-10 Grad im Monatsmittel am größten, im Hochsommer verringerte sich der Temperaturunterschied bis auf 1-2 Grad.
Ist eine Anlage falsch dimensioniert oder wird zu viel Wärme entzogen, können wesentlich größere Temperaturdifferenzen zwischen Boden mit und ohne Kollektor auftreten. Um einen zu starken Wärmeentzug und eine dauerhafte Abkühlung des Bodens zu vermeiden, ist besonderes Gewicht auf eine ausreichende Dimensionierung des Kollektors zu legen. Sollten sich die Heizungsgewohnheiten der BewohnerInnen stark ändern, sollte überprüft werden, ob die Dimensionierung dafür ausreicht.
Beispiele aus der Literatur zeigten, dass in Bodentiefen von 0,6 bis 0,8 m und darüber der Boden im Winter kühler war, ab April erreichten Böden mit und ohne Kollektor die gleichen Temperaturen.
Die niedrigere Bodentemperatur beeinflusste das Bodenleben – die Menge der mikrobiellen Biomasse war über den Erdkollektorflächen geringer als auf Vergleichsflächen. Die damit in Zusammenhang stehende geringere Umsetzung von organischem Material in der obersten Bodenschicht kann über Düngung oder Mulchen, das auch die Wärmespeicherung an der Bodenoberfläche erhöht, ausgeglichen werden.

Einflüsse auf die Vegetation

Gemüse, Blumen und Stauden wurden ohne Probleme auf Erdkollektoren gezogen. Das Erdreich erwärmte sich im Frühjahr etwas langsamer wie Untersuchungen zu Länge der Vegetationsperiode und Bodentemperaturmessungen zeigten. Der Verzögerung des Pflanzenwachstums von einigen Tagen bis zu 2,5 Wochen wurde in einigen Gärten durch Verbesserungen des Kleinklimas, wie z.B. durch Windschutz oder Trockensteinmauern zur Wärmespeicherung entgegengewirkt. Bei einem Garten wurde besonders deutlich, dass es ist wichtig ist, die Lage des Grundstücks und das Kleinklima zu berücksichtigen, damit es zu keiner Überlagerung von Vegetationsperiodenverzögerungen durch ein ungünstiges Kleinklima und durch den Erdkollektor kommt.

Die Erdkollektoren verzögerten das Wachstum des Rasens im Frühling, ohne allerdings den Rasen zu schädigen. Nach dem ersten Rasenschnitt war kein Unterschied zwischen Rasenflächen über dem Kollektor und ohne Kollektor mehr sichtbar.

Bei Sträuchern und Bäumen ist es wichtig auf standortgerechte Arten zu achten. Die Untersuchungen in den Gärten belegten, dass standortgerechte Pflanzen auf dem Kollektor gut wachsen, die Wachstumsverzögerungen im Frühling bei Sträuchern und Bäumen waren nur geringfügig. Der Laborversuch mit einer Weide – Salix caprea (Kätzchenweide) zeigte, dass diese Pflanzen sich trotz kühler Bodentemperaturen gesund entwickelten, aber die Biomasseentwicklung insgesamt verzögert wurde.

Obstbäume gediehen auf Kollektoren gut, die Frage des Ertrages konnte jedoch nicht geklärt werden, da die meisten Bäume noch zu jung waren und noch kaum Obst trugen. Sehr gut war der Ertrag bei Beerenobst wie Himbeere, Brombeere oder Ribisl.

Beim Einbau von Erdkollektoren wird oft empfohlen keine „Tiefwurzler" zu setzen. Grundsätzlich gibt es keine genauen Werte zur Wurzeltiefe von Gehölzen und die Kollektoren liegen mit 1 bis 1,6 m in Bereichen, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass die Wurzeln vieler Gehölze diese Tiefe erreichen. Die Ergebnisse der Gartenuntersuchungen gaben keine Hinweise auf Schäden an den Wurzeln von Gehölzen auf den Kollektorflächen. Ob die Wurzeln durch Dickenwachstum die Kollektorleitungen verengen oder beschädigen, was ein Grund dafür sein könnte auf Bäume zu verzichten, ist nicht geklärt. Im Rahmen des Projektes wurden mehrere Spezialisten befragt, ob ihnen ein Fall einer Kollektorbeschädigung durch Wurzeln bekannt sei, und keiner konnte auf einen konkreten Fall verweisen. Auf jeden Fall ist es wichtig, bei der Fällung von Bäumen den Wurzelstock durch Fräsen zu entfernen, um keine Schäden an den Rohren zu verursachen.

Einflüsse auf die Garten- und Wohnqualität

Das Forschungsprojekt machte deutlich, dass vor allem zwei Fragestellungen, die mit Erdkollektoren in Zusammenhang stehen, die Garten- und Wohnqualität beeinflussen und spezielle Rahmenbedingungen bedingen: Bodenversiegelung und Baumpflanzungen.

Die technischen Richtlinien für Erdkollektoren (VDI 4640) empfehlen, dass keine versiegelten Flächen über Kollektoren liegen sollen. Das bedeutet, dass keine Gebäude, Schwimmbäder oder wasserundurchlässige Bodenbeläge (Asphalt, Stein/Beton/Klinker in Betonbett) für Einfahrten, Terrassen etc. über den Kollektoren sein sollten. Dadurch soll eine Unterdimensionierung vermieden werden und andererseits das über dem Kollektor befindliche Objekt vor Beschädigung (Setzungen, Frost) geschützt werden. Daher ist es wichtig vor der Anlage des Kollektors zu klären, wo noch Platz für diesbezügliche Veränderungen in den folgenden Jahrzehnten bleibt. Bei einigen der untersuchten Gärten wurde darauf geachtet, und z.B. Platz für ein Schwimmbad freigelassen. Bei zwei Anlagen, die schon längere Zeit bestehen, änderte sich auch die Gartenausstattung und Schwimmbäder oder befestigte Sitzplätze wurden auf der Kollektorfläche angelegt. Das zeigte, dass die Veränderbarkeit mit den sich ändernden Ansprüchen an den Garten ein wichtiger Aspekt der Qualität eines Gartens ist. Durch die Verwendung wasserdurchlässiger Bodenbeläge für kleinere Bereiche kann die Veränderbarkeit besser erhalten bleiben.

Wenn der/die GartenbesitzerIn sich an die Empfehlung keine „Tiefwurzler" zu setzen, hält, ist die Möglichkeit der Pflanzenwahl wesentlich eingeschränkt. Bäume geben einem Garten Schatten und Sichtschutz, bilden ein Dach und können auch Farbe durch Blüten und Früchte bringen. In zwei Fällen führte die Empfehlung zum Verzicht auf größere Bäume über der Kollektorfläche. Die Interpretationen welcher Baum ein „Tiefwurzler" sei, waren sehr unterschiedlich und stimmten auch öfters nicht mit gärtnerischem Fachwissen überein. Darüber hinaus besteht ein Haftungsproblem für GartenplanerInnen, die den KundInnen Bäume auf Kollektorflächen empfehlen, falls Schäden an Rohrleitungen auftreten sollten. Ein Fehlen von Bäumen beeinträchtigt die Garten- und Wohnqualität wesentlich, daher sollte dieser umstrittene Punkt durch genauere Untersuchungen geklärt werden.

Weiterer Forschungsbedarf

Im Laufe der Bearbeitung zeigten sich mehrere Fragestellungen, die für das Thema Erdkollektor und Gartennutzung von großer Bedeutung sind und zu denen noch Forschungsbedarf besteht:

Der Einfluss der Wurzeln von Bäumen auf Kollektorleitungen sollte über einen Laborlangzeitversuch geklärt werden. Die Ergebnisse würden Aufschluss darüber geben, ob sachlich fundierte Gründe bestehen, von einer Pflanzung von Bäumen auf dem Kollektor abzusehen.

Die Reaktion von Wurzeln kälteempfindlicher Bäume auf Kältehorizonte sollte in einem Laborversuch untersucht werden. Im Rahmen dieses Projektes entschieden wir uns für ein robustes Gehölz, die Weide – Salix caprea, ein direktes Übernehmen der Ergebnisse für andere Gehölze ist nicht möglich.

Die Frage des Ertrages von Obstbäumen auf Kollektorflächen konnte aufgrund der Zusammensetzung der Beispiele nicht geklärt werden. Dafür müssten mehr Beispiele mit älteren Erdkollektoranlagen untersucht werden, da viele Obstbäume erst nach zehn und mehr Jahren ins Ertragsstadium kommen.

Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität

Anhang

Anhang Teil A

Erdkollektoren und Gartennutzung – Fragenkatalog für Anlagenbauer / Wärmepumpenhersteller

Die Fragen beziehen sich ausschließlich auf Wohngebäude (Ein-/Mehrfamiliengebäude) und – wenn nicht anders gefragt – auf den heutigen Stand der Technik!

1. Fragen zum Unternehmen:

   a) Seit wann produzieren/installieren Sie Erdreich-Wärmepumpen?

   b) Wie viele Heizungs-Wärmepumpen haben Sie bisher produziert/installiert?

   c) davon sind wie viele % Erdreich-Wärmepumpen mit horizontalem Kollektor?

   d) Wie viele Heizungs-Wärmepumpen produzieren/installieren sie derzeit jährlich?

   e) davon sind wie viele % Erdreich-Wärmepumpen mit horizontalem Kollektor?

   f) diese haben eine Heizleistung von …… bis ……. kW.

2. Fragen zur „typischen Installation“ (neue Wohngebäude mit horizontalem Kollektor)

   a) Wie groß ist das „typische“ Gebäude das Sie mit einer monovalenten Erdreich Wärmepumpenanlage ausstatten bzw. für das Sie die Anlage produzieren (beheizte Wohnfläche)?

   b) und welche Heizleistung ist dafür notwendig?

   c) und welche Vor-/Rücklauftemperatur hat das Heizungssystem

   d) Welche Jahresarbeitszahl wird erreicht

   e) Welche Regelungsart setzen sie ein (Ein/Aus, Drehzahl)

   f) Wie viele Volllaststunden werden i.d.R. erreicht?

   g) Welcher Untergrund liegt vor?

   h) Wie groß ist der Flächenkollektor? (m^2)

   i) Die Anlage ist bevorzugt eine

      ☐ Sole- ☐ Direktverdampfungs-Anlage ☐ beide

   j) Wenn beide, wann wird welche Anlage bevorzugt eingesetzt?

   k) Ad Direktverdampfung:

      a. Aus welchem Material ist der Erdkollektor?

b. Welches Kältemittel und welche Füllmenge werden vorzugsweise eingesetzt?

c. Welches Schmieröl und welche Füllmengen werden vorzugsw. eingesetzt?

l) Ad Sole-Anlagen:

a. Aus welchem Material ist der Erdkollektor?

b. Solefüllmenge und Frostschutztyp (Konzentration)?

m) Gibt es ein regelm. Wärmepumpen-Service, wenn ja in welchem Intervall?

n) Welche Lebensdauer hat der Kollektor?

o) Kommt es zu Störfällen, die auf den Kollektor zurückzuführen sind?

p) Welche möglichen Schäden kann ein Kollektor erleiden?

q) Wie lange und in welchem Umfang geben Sie Garantien bzw. gibt es Kulanzlösungen bei Kollektorproblemen?

3. Spezifische Fragen zur Kollektorauslegung / -verlegung für eine bestimmte Anlage:

a) Welche Einflusskriterien bestimmen die Kollektorgröße?

b) Berücksichtigen sie das lokale „Kleinklima“?

c) Die genaue Kollektorgröße ergibt sich dann aus

☐ Erfahrung ☐ Literatur (Richtlinien, Vorschriften, einschlägige Bücher)

Wenn Literatur, welche: …….

d) Welcher Bodenaufbau (unter/über Kollektor) ist zu empfehlen?

e) Sollte die Fläche verdichtet werden? Nach welchen Kriterien?

f) In welcher Tiefe wird der Kollektor verlegt?

g) Welchen Rohrabstand wählen Sie?

h) Gibt es Unterschiede zw. Direktverdampfungs- und Soleanlagen?

i) In einer Richtlinie zur Kollektorauslegung wird die Bezeichnung sehr gute / gute / schlechte Lage verwendet. Was verstehen sie darunter?

j) Darf die Fläche über einem Kollektor versiegelt werden? Was verstehen Sie unter Versiegelung

4. Bepflanzung / Vegetation / Gartennutzung

a) Welche Empfehlungen geben Sie ihren Kunden hinsichtlich der Bepflanzung?

b) Diese Empfehlungen beruhen auf

☐ Erfahrungen oder/und ☐ Literaturangaben

c) wenn Literatur, welche ……

d) Welche Gründe gibt es für Ihre Empfehlungen?

e) Es gibt die allgemeine Empfehlung keine „Tiefwurzler“ über Kollektor zu pflanzen – Warum? Was verstehen Sie unter Tiefwurzler?

f) Beeinflusst Ihrer Meinung nach der Kollektor, bzw. der Wärmeentzug, die Vegetationsperiode?

g) Wenn ja, um wie viele Wochen ist sie verzögert?

h) Kennen Sie einschlägige Literatur über die Auswirkung eines Wärmeentzugs auf die Vegetation? ☐ ja ☐ nein

i) wenn ja, welche ……

j) Welche Rückmeldungen von Kunden bzgl. Erfahrungen mit Bepflanzung bekommen Sie?

k) Was raten sie einem Interessierten, wenn er nachträglich ein Schwimmbad über dem Kollektor errichten möchte?

5. Gibt es wesentliche Unterschiede zw. Anlagen von Ihnen und Ihrer Mitbewerber hinsichtlich

   a) Kollektorgröße (pro kW Heizlast)

   b) Verlegetiefe

   c) Rohrabstand

   d) Bepflanzungsempfehlungen

   e) Andere:

6. In den Anfängen der Erdreich-Wärmepumpe gab es Probleme mit einigen Anlagen bzw. negative Auswirkungen auf das Erdreich bzw. Vegetation

   a) Welche Probleme gab es / sind ihnen bekannt?

   b) Wie unterscheiden sich diese Problemanlagen von den heutigen?

Gibt es verglichen mit Heute bzgl. „Bepflanzungsempfehlungen“ Unterschiede?

Anhang Teil B

In der Folge sind die Berechnungsvorgänge beschrieben, die bei der Auswertung der in diesem Vergleich untersuchten Wärmepumpenanlagen durchgeführt wurden.

1. Berechnung der Energiekosten der Heizungsanlage

Im ersten Schritt wurde der Energie-Output der Wärmepumpenanlage als Ausgangswert für die Berechnung des Energie-Inputs von Öl- und Gaskessel herangezogen. Für diesen Berechnungsschritt wurden die Nutzungsgrade von Starzer [2] verwendet. Im zweiten Schritt wurden der Energie-Input von Öl- und Gaskessel mit [7] in die entsprechenden Brennstoffmengen umgerechnet. Zuletzt wurden die Energiekosten mit den zutreffenden Energiepreisen (Tabelle 7) berechnet.

2. Berechnung des Primärenergieverbrauches

Der Primärenergieverbrauch errechnet sich aus dem Energie-Input der Wärmepumpeanlage und den Wirkungsgraden des Energiepfades nach Starzer [2] für Strom aus einem Gas-/Steinkohlekraftwerk, und aus dem EVU Mix, siehe Tabelle 3.

3. Berechnung der Schadstoffemissionen eines Ölkessels und Gaskessels

Die Schadstoffemissionen wurden mit den "Durchschnittlichen Emissionsfaktoren für Zentralheizungen" aus dem Energiebericht [6] und der vom Ölkessel/Gaskessel verbrauchten Primärenergie berechnet. Diese Emissionsfaktoren stellen die jeweiligen Emissionen der einzelnen Schadstoffe bezogen auf die Primärenergie des Brennstoffes dar, Tabelle 4 [6].

4. Berechnung der Schadstoffemissionen der Wärmepumpenanlage

Für die Berechnung der Schadstoffemissionen der untersuchten Wärmepumpenanlage wurden der Energiebericht 2003 vom BMWA [6] und die „Ökologische Bewertung der Wärmepumpe“ von Gilli [3], herangezogen. Dabei wurde für den Antriebsstrom der EVU Mix [6] und die Stromproduktion zu 100 % und 40% aus einem Gaskraftwerk und aus einem Steinkohlekraftwerk nach Gilli [3] betrachtet.

Für die Berechnung der Schadstoffemissionen wurde der Primärenergieverbrauch der Wärmepumpenanlage mit den Emissionsfaktoren der einzelnen Schadstoffe multipliziert, Tabelle 2 [6].

5. Berechnung des TEWI

Der TEWI (Total Equivalent Warming Impact) gemäß EN 378-1 [5], ist ein Verfahren zur Abschätzung der Kohlendioxidemissionen durch Erfassen sowohl des direkten Beitrags der Kältemittelemissionen (*GWPdir*) in die Atmosphäre als auch des indirekten Beitrags der Kohlendioxidemissionen (*GWPind*), verursacht durch die Erzeugung, der für den Betrieb der Kälteanlage benötigten Energie während ihrer Lebensdauer. Der *TEWI* dient der Berechnung des gesamten Beitrags eines Kälteprozesses zum Treibhauseffekt während seines Betriebes.

Bezeichnung	Einheit	Erklärung
GWP	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{Kältemittel}}$	Globales Treibhauspotential des Kältemittels, welches im Verhältnis zu CO_2 bewertet und auf einen Zeithorizont von 100 Jahren bezogen wird.
L	$\frac{kg_{Kältemittel}}{a}$	Leckageverluste der Kälteanlage pro Jahr [4]
N	*a*	Betriebszeit der Anlage in Jahren
M	*kg*	Kältemittelfüllmenge
$\alpha_{Rückgewinnung}$		Rückgewinnungsfaktor bei der Anlagenentsorgung [4]
β	$\frac{kg_{CO_2}}{kWh_{Energie-Input}}$	CO_2-Emission pro kWh Energiebedarf. Dieser Konversionsfaktor ist von der Art der Erzeugung bzw. dem Brennstoff abhängig. Dieser Wert errechnet sich aus den CO_2-Emissionen des kalorischen EVU-Mix (Österreich) und dem Primärenergiepfad

Tabelle 1: Größen für die TEWI-Berechnung

$$TEWI = GWP_{dir} + GWP_{ind}$$

Das direkte Treibhauspotenzial beinhaltet die Freisetzung von treibhausrelevanten Gasen infolge von Kältemittelleckagen sowie Rückgewinnungsverluste bei der Anlagenentsorgung

$$GWP_{dir} = GWP * L * n + GWP * m * (1 - \alpha_{Rückgewinnung})$$

Das indirekte Treibhauspotenzial berücksichtigt den Energiebedarf einer Wärmepumpe während der gesamten Betriebszeit.

$$GWP_{ind} = n * Energie_{Input} * \beta$$

Der TEWI der Wärmepumpe wird mit dem TEWI eines Ölkessels/Gaskessels verglichen. Für den Ölkessel/Gaskessel errechnet sich der TEWI als indirektes Treibhauspotential (GWPind), da der Öl- und Gaskessel kein direktes Treibhauspotential besitzen.

$$TEWI_{Ölkessel/Gaskessel} = GWP_{ind} = n * Energie_{Input\text{-}Ölkessel/Gaskessel} * \beta$$

Um die Umweltbelastung der Wärmepumpen mit der eines Öl- oder Gaskessels vergleichen zu können wurden die TEWI-Werte auf eine kWh Energie-Output und auf 20 Jahre Betriebszeit bezogen, siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**. Durch die Berechnung eines spezifischen TEWI wird der Vergleich der einzelnen Heizsysteme mit unterschiedlichen Anlagengrößen ermöglicht.

6. Tabellen

Brennstoff	**SO_2**	**NO_x**	**C_xH_y**	**CO**	**Staub**	**CO_2**
	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ
Steinkohle	38	71	1	5	3	95 000
Braunkohle	97	69	1	63	10	110 000
Heizöl schwer	63	45	3	5	5	80 000
Erdgas	<1	29	<1	2	<1	55 000
EVU-Mix	29	41	1	12	2	75000

Tabelle 2: Durchschnittliche Emissionsfaktoren 1999/2000 der Kraftwerke > 50 MW_{th} bezogen auf den Brennstoffeinsatz [6]

	Heizkessel		WP betrieben mit Strom aus Kraftwerk gefeuert mit		EVU-Mix mit KWK
	Heizöl-Extraleicht	Erdgas	Steinkohle	Erdgas	
Energiepfad					
Nutzenergie – Verteilung	0.960	0,960	0.960	0.960	0.960
Primärenergie - Verteilung	0.985	0.980	0.930	0.930	0.930
Primärenergie - Umwandlung	0.940	1.000	0.330	0.530	0.520
Gesamt-Wirkungsgrad	0.889	0.941	0.295	0.473	0.464

Tabelle 3: Energiepfad [2]

Brennstoff	**SO_2**	**NO_x**	**C_xH_y / TOC**	**CO**	**Staub**	**CO_2**
	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ
Steinkohle	543	78	288	4206	94	93 000
Heizöl extra leicht	45	42	<1	67	<0.5	75 000
Heizöl leicht	90	115	<1	45	2	77 000
Erdgas		42	<1	37		55 000
Holz	11	107	35	4303	90	0

Tabelle 4: Durchschnittliche Emissionsfaktoren für Zentralheizungen [6]

Energiepreise		
Heizstrom	0.1432	€/kWh
Gas	0.0488	€/kWh
Öl	0.0656	€/kWh

Tabelle 5: Durchschnittliche österreichische Energiepreise [7]

7. Literatur

[1] ZOTTL, A..: „Monitoring und Analyse der Qualität von Wärmepumpenanlagen“, Diplomarbeit, arsenal research, FH-Pinkafeld, 2002

[2] STARZER, O.: Ausweitung der Studie Wärmepumpen- und Öl-/Gasheizungen im Vergleich, Energieverwertungsagentur E.V.A., Wien 1999

[3] GILLI, P. V.: Ökologische Bewertung der Wärmepumpe, Verband der Elektrizitätswerke Österreichs, Bestell-Nr. 353/011, 1990

[4] Sand, J. R.; Fischer, S. K.; Baxter, V. D.: Energy and Global Warming Impacts of HFC Refrigerants and Emerging Technologies: TEWI Phase 3, 1997, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennesse (USA)

[5] EN 378-1: Kälteanlagen und Wärmepumpen, Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen, Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Definitionen, Klassifikationen und Auswahlkriterien, 11.2003

[6] Bundesministerium für Wirtschaftliche Angelegenheiten: Energiebericht, 2003

[7] http://www.iwo-austria.at/60.0.html, Institut für wirtschaftliche Ölheizung, letzter Zugriff: 09.01.2006

Anhang Teil C

Interviewleitfaden GartenbesitzerInnen

Kurze Vorstellung des Ablaufes

1. Was tun Sie und Ihre Familie im Garten?

(Tätigkeiten im Alltag, Ansprüche, Bedeutung)

2. Sie haben einen Garten mit Erdkollektor. Welche Informationen zur Anlage des Gartens haben Sie bekommen?

a) Welche Informationen zur Raumaufteilung haben Sie erhalten?

b) Welche Informationen zur Geländeform haben Sie bekommen? (Hanggrundstücke, Hochbeete)

c) Welche Beläge wurden Ihnen über den Kollektorflächen empfohlen?

d) Welche Abstände von der Kollektorfläche wurden Ihnen vorgeschlagen? (Nachbarn, Haus, Bepflanzung)

e) Welche Tipps gab es für die Pflanzen? (Bäume, Sträucher, andere)

3. Welche Erfahrungen haben Sie mit der Pflege des Gartens?

a) Welche Erfahrungen haben Sie mit dem Boden?

b) Welche Erfahrungen haben Sie mit den Pflanzen? (Rasen, Stauden, Gemüse, Sträucher, Bäume: Wüchsigkeit, Pflanzengesundheit, Länge der Vegetationsperiode, Frosttrockenheit)

c) Verwenden Sie Pflanzenschutzmittel?

d) Wie düngen Sie? Welche Bereiche?

e) Wie gießen Sie? Welche Bereiche?

4. Sehen Sie Unterschiede zwischen Ihrem Garten und den Gärten in der näheren Umgebung ohne Erdkollektor?

Besten Dank für das Gespräch!

Beobachtungsbogen für den Garten

Dauer einer zusammenhängenden Schneedecke (SD)

	Fläche über Kollektor	Fläche ohne Kollektor
Beginn 1.SD[1]		
Ende 1.SD		
Beginn 2.SD		
Ende 2.SD		
Beginn 3.SD		
Ende 3.SD		

Löwenzahn

	Fläche über Kollektor	Fläche ohne Kollektor
Blühbeginn		

Tulpe / Tulipa ‚Apeldoorn'

	Fläche über Kollektor	Fläche ohne Kollektor
Blühbeginn		
Blühende		

Narzisse / Narcissus ‚Dutch Master'

	Fläche über Kollektor	Fläche ohne Kollektor
Blühbeginn		
Blühende		

Danke fürs Mitmachen!

[1] Da es vorkommen kann, dass während eines Winters mehrmals eine geschlossene Schneedecke gebildet wird und der Schnee in der Zwischenzeit abschmilzt, bitte jeweils Beginn und Ende der einzelnen Schneedecken angeben.

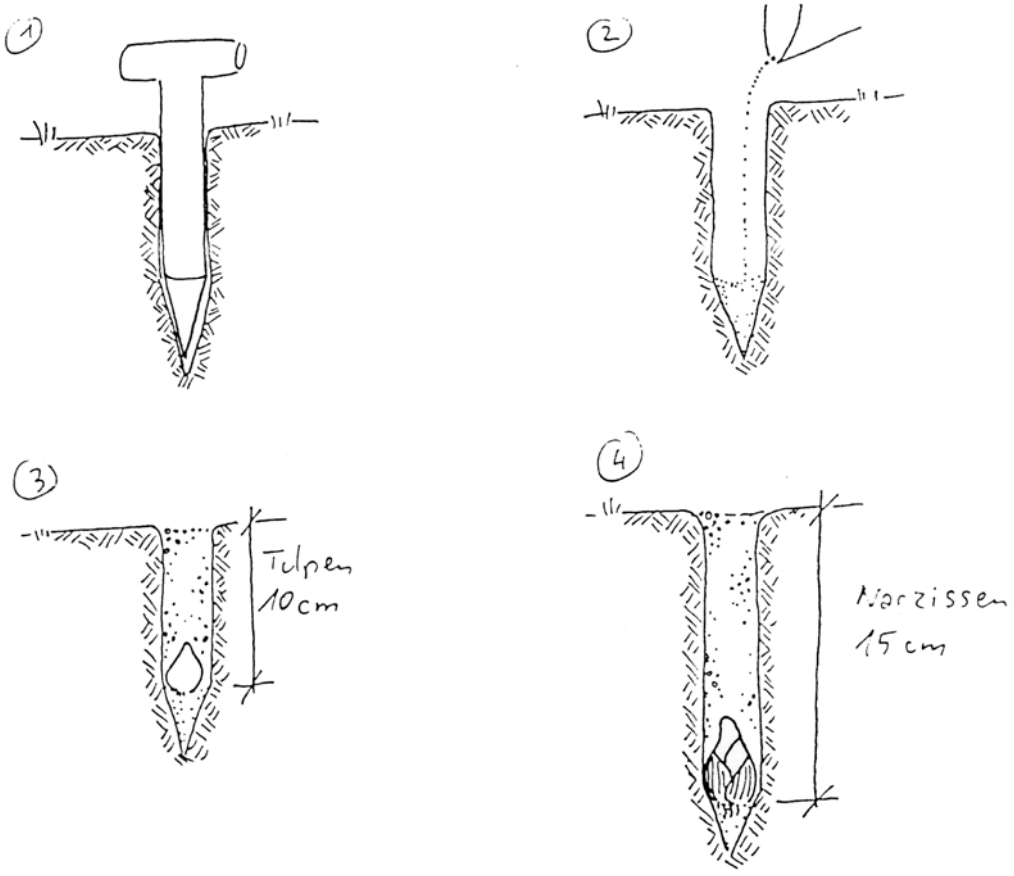
Pflanzanleitung Blumenzwiebeln

Das wichtigste ist, dass Sie die Blumenzwiebeln bald einsetzen! Bei längerer Lagerung verlieren die Blumenzwiebeln Wasser und die Chancen, dass die Pflanzen austreiben, sinken.

Bitte jeweils sechs Stück einer Art in den Rasen über dem Kollektor setzen und die anderen sechs Stück in den Rasen ohne Kollektor darunter. Wählen Sie dafür möglichst einen sonnigen Standort.

Ideal zum Setzen ist ein Setz- oder Pflanzholz, mit dem für jede Zwiebel ein separates Loch gestochen wird (1). Bevor die Zwiebel gesteckt wird, sollten Sie das Loch leicht mit dem mitgelieferten Sand auffüllen (2). Die Tulpen/ Tulipa ‚Apeldoorn' sollen 10cm tief gepflanzt werden (3), die mitgelieferten Narzissen/ Narcissus ‚Dutch Master' 15cm tief (4).
Das Loch anschließend mit krümeliger Erde bis zur Erdoberkante auffüllen.

Besten Dank!



Beispiel einer Rasenaufnahme

Datum:9.05.2005
Adresse: Groß Gerungs
Seehöhe: 670 m
Kurzbeschreibung: Fläche ohne Kollektor, mit Blumenzwiebeln, Randlage im Garten
Nutzung: siehe Interview

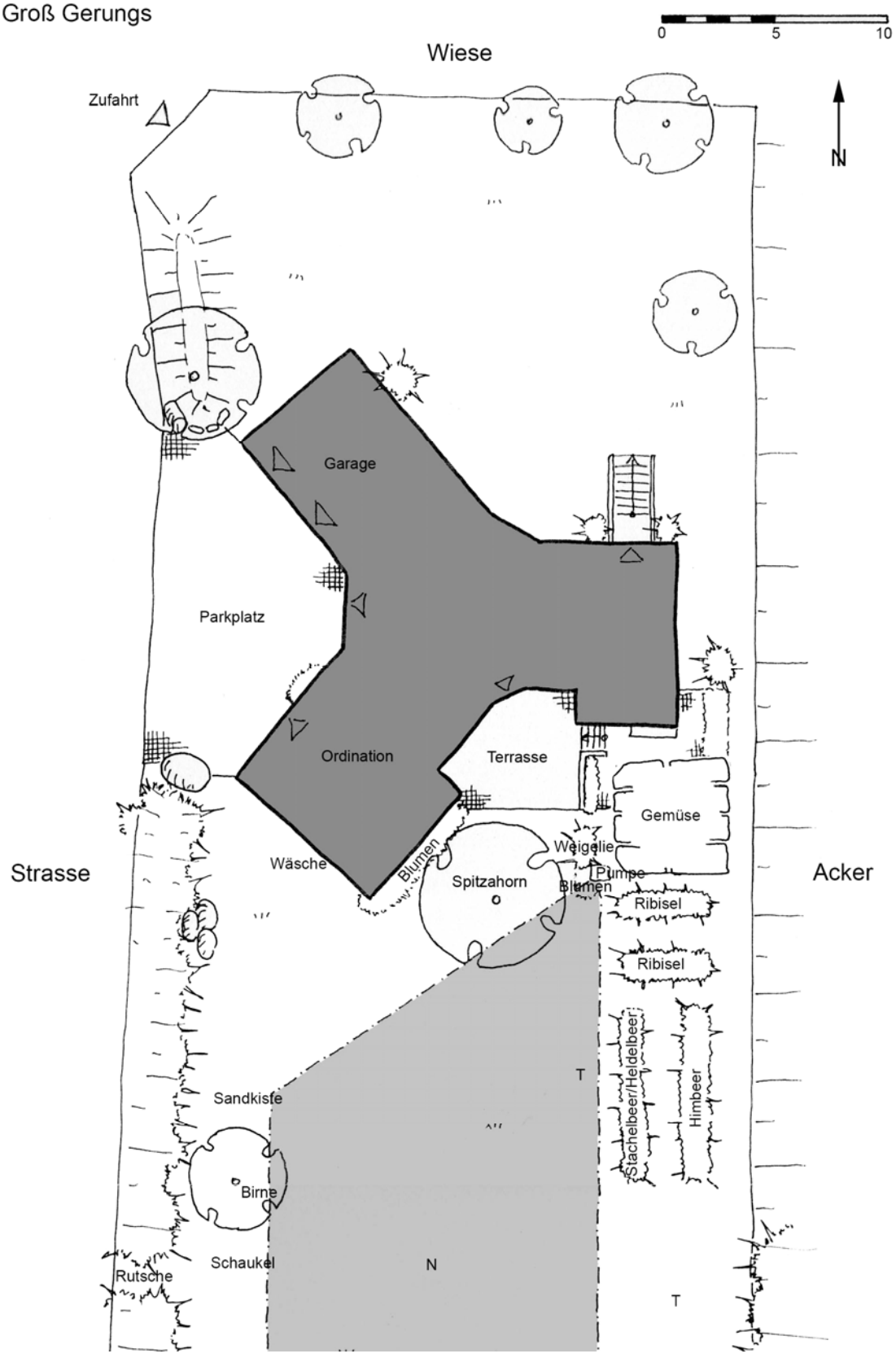
Flächengröße (m²): 4 Neigung/Exposition: 3%, S(O)
Bodenart (S, U, T, L): sandiger Schluff
Gründigkeit (s, m, t): mittel
Wasserhaushalt (n, f, mf, wf, mwf, fr, a, mt, t, tt): ausgeglichen bis mäßig trocken

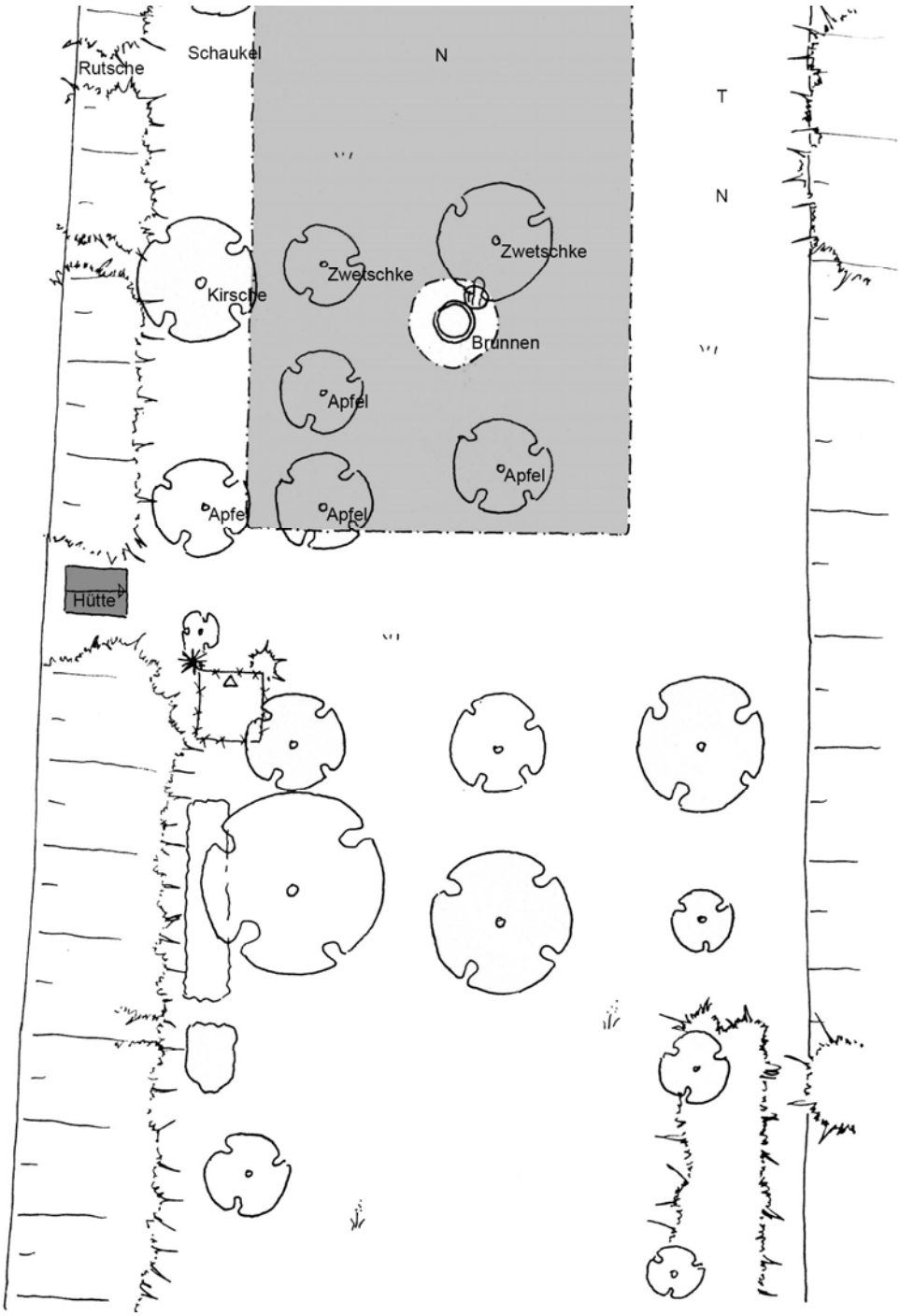
Deckung (%): 95
Höhen (cm): 3-5/10-20 (30)
Streu: ja, 12
Moose: ja, 11
Aspekt: höher wüchsig als Fläche mit Kollektor, inhomogen im Erscheinungsbild, Moose dick, Bestand filzig und weich. Blüten: Löwenzahn, Gänseblümchen.

Arten (D, S; Art)

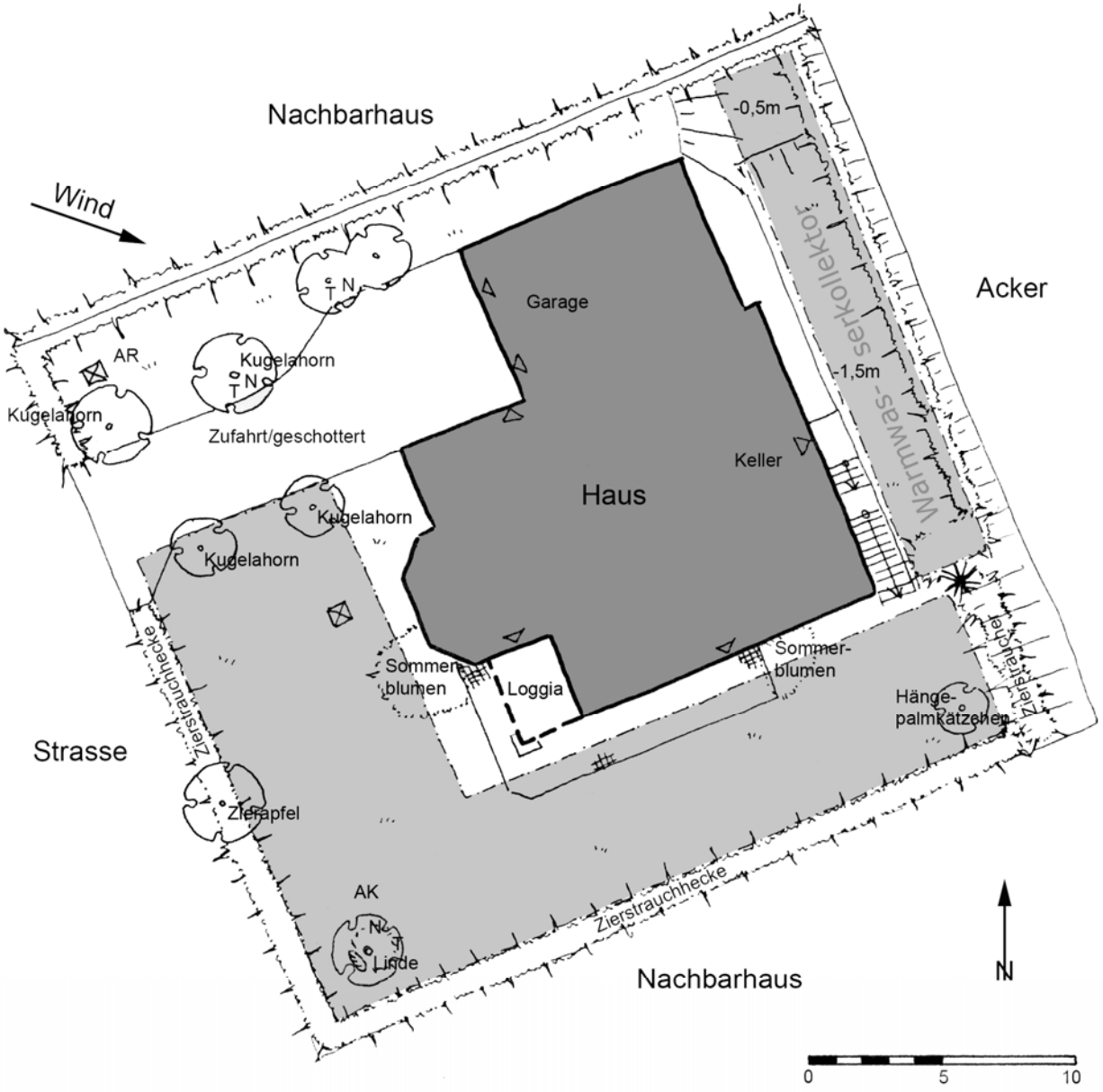
33	Trifolium repens
22	Achillea millefolium
22	Taraxacum officinalis
21	Stellaria graminea
12	Bellis perennis
12	Galium mollugo
12	Plantago lanceolata
11	Veronica chamaedrys
+	Ranunculus acris
+	Cerastium holosteoides
+	Veronica officinalis
r	Cardamine pratensis
r	Pimpinella saxifraga
22	Lolium perenne
22	Agrostis tenuis
11	Festuca rubra
+2	Anthoxanthum odoratum
+	Alopecurus pratensis

Nr.1 Groß Gerungs

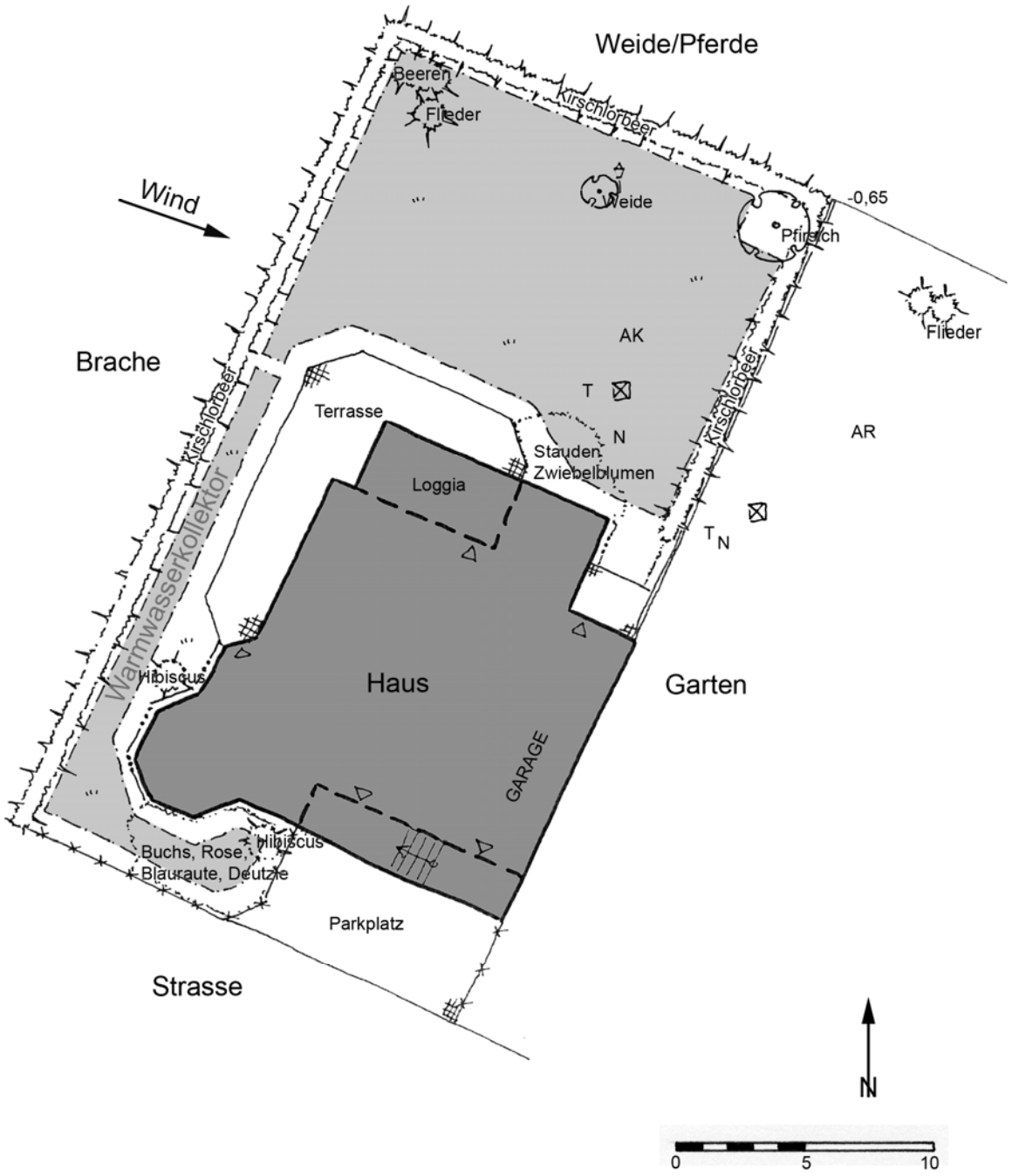



Rutsche
Schaukel
N
T
N
Zwetschke
Zwetschke
Kirsche
Brunnen
Apfel
Apfel
Apfel
Apfel
Hütte

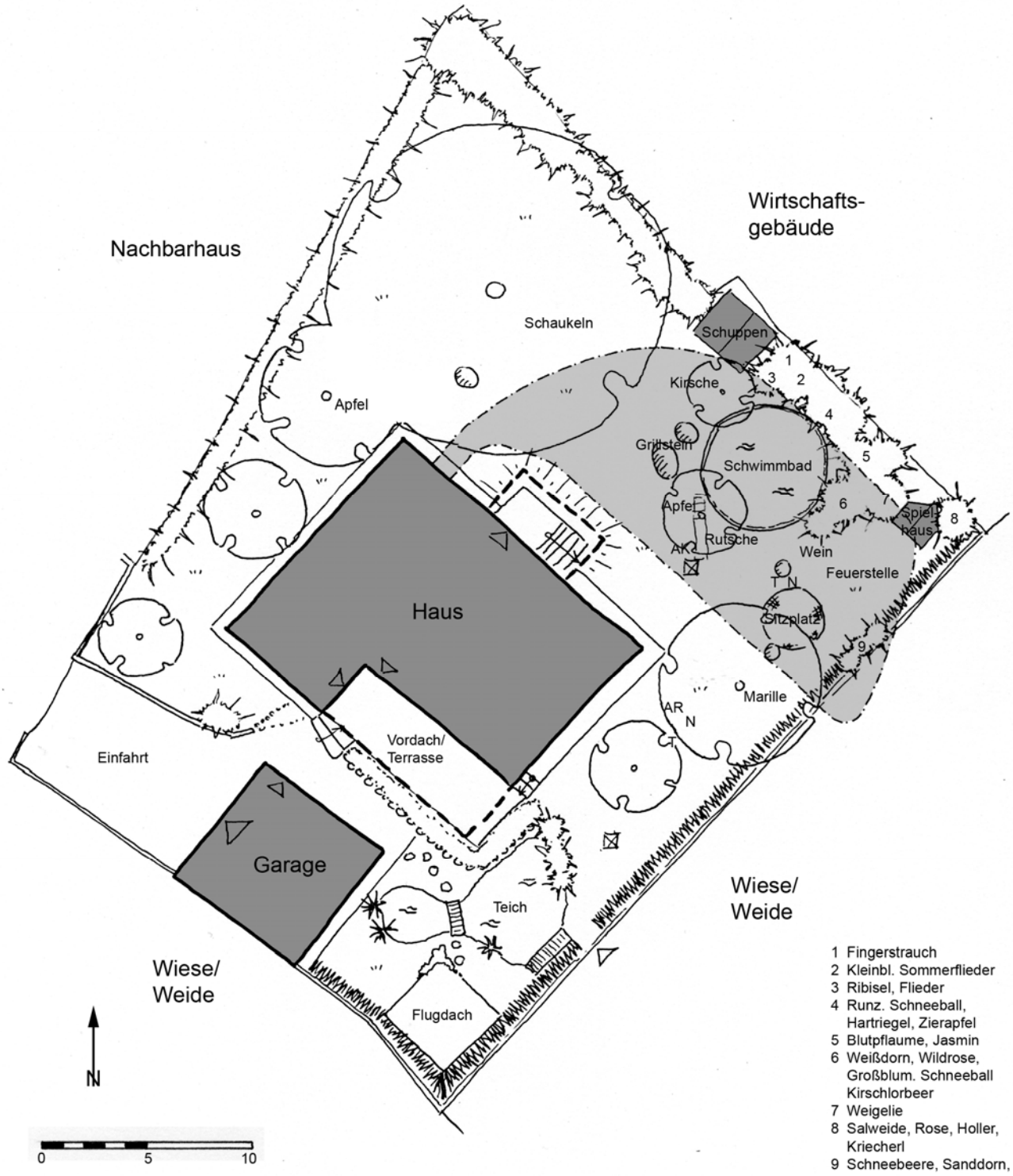
Nr. 2 Groß Gerungs



Nr.3 Ziersdorf

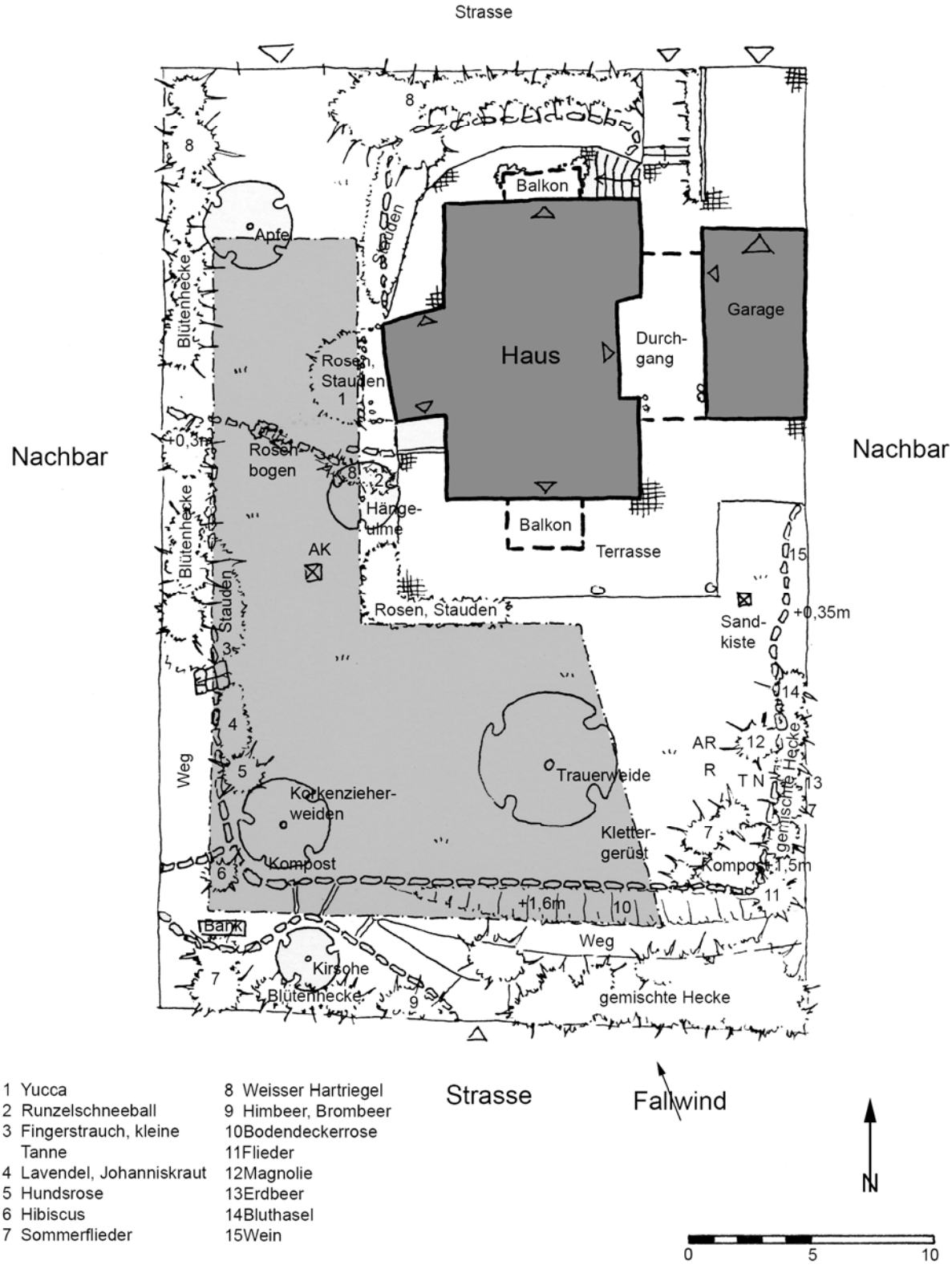


Nr. 4 Stollhofen



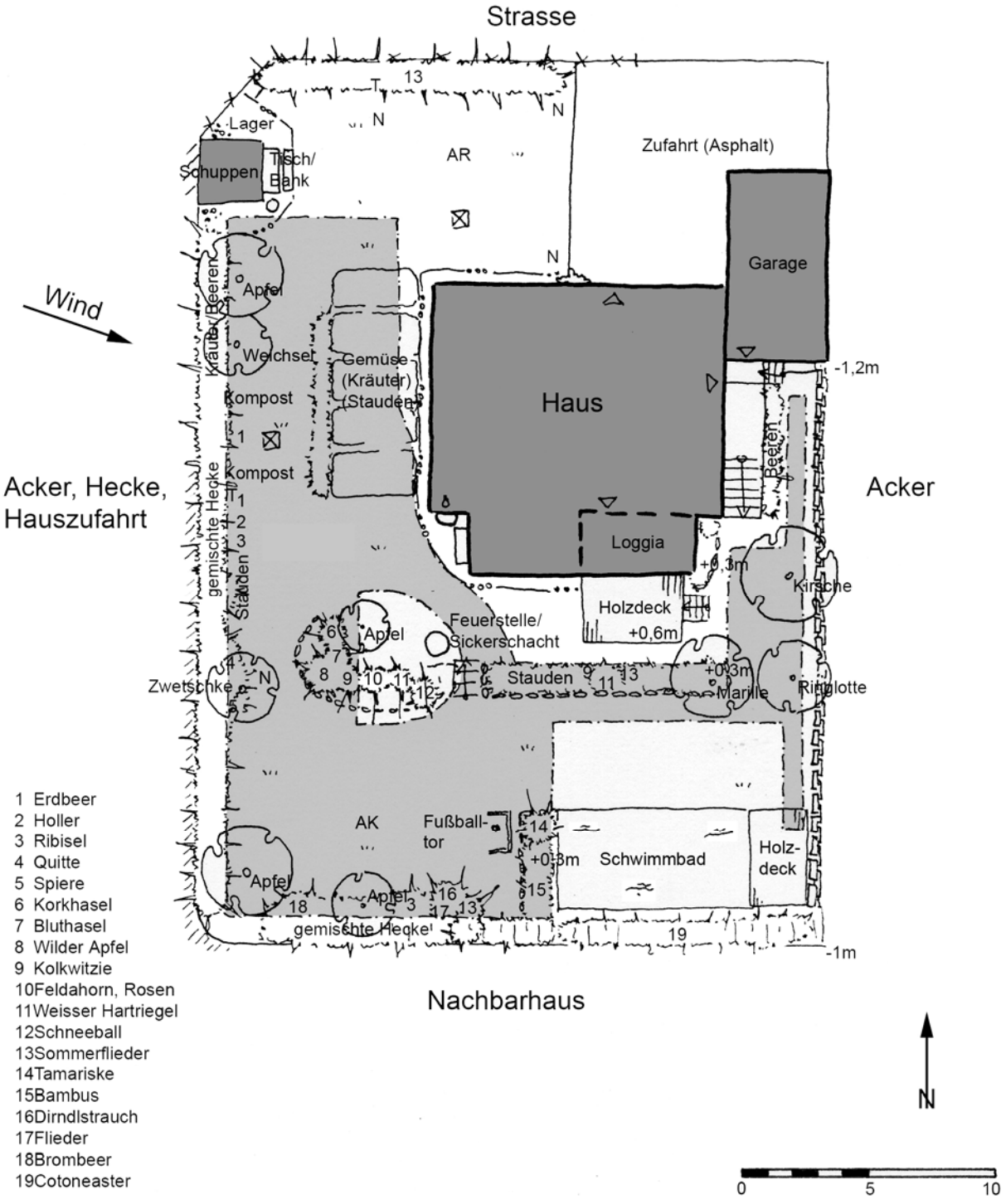
1 Fingerstrauch
2 Kleinbl. Sommerflieder
3 Ribisel, Flieder
4 Runz. Schneeball, Hartriegel, Zierapfel
5 Blutpflaume, Jasmin
6 Weißdorn, Wildrose, Großblum. Schneeball Kirschlorbeer
7 Weigelie
8 Salweide, Rose, Holler, Kriecherl
9 Schneebeere, Sanddorn, Pfeifenstrauch

Nr.5 Katzelsdorf (bei Wr. Neustadt)



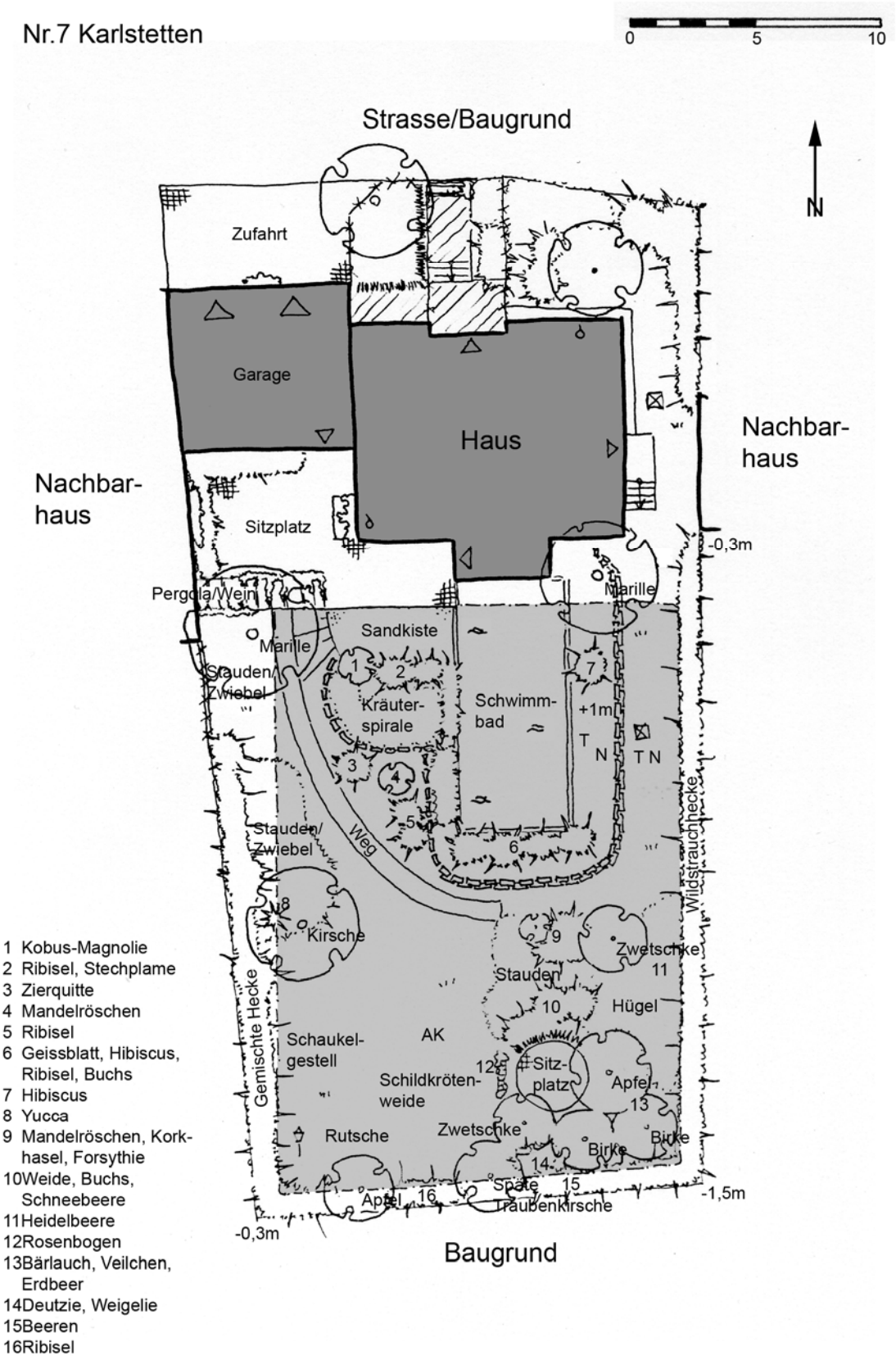
1 Yucca
2 Runzelschneeball
3 Fingerstrauch, kleine Tanne
4 Lavendel, Johanniskraut
5 Hundsrose
6 Hibiscus
7 Sommerflieder
8 Weisser Hartriegel
9 Himbeer, Brombeer
10 Bodendeckerrose
11 Flieder
12 Magnolie
13 Erdbeer
14 Bluthasel
15 Wein

Nr.6 Krems/Gneixendorf

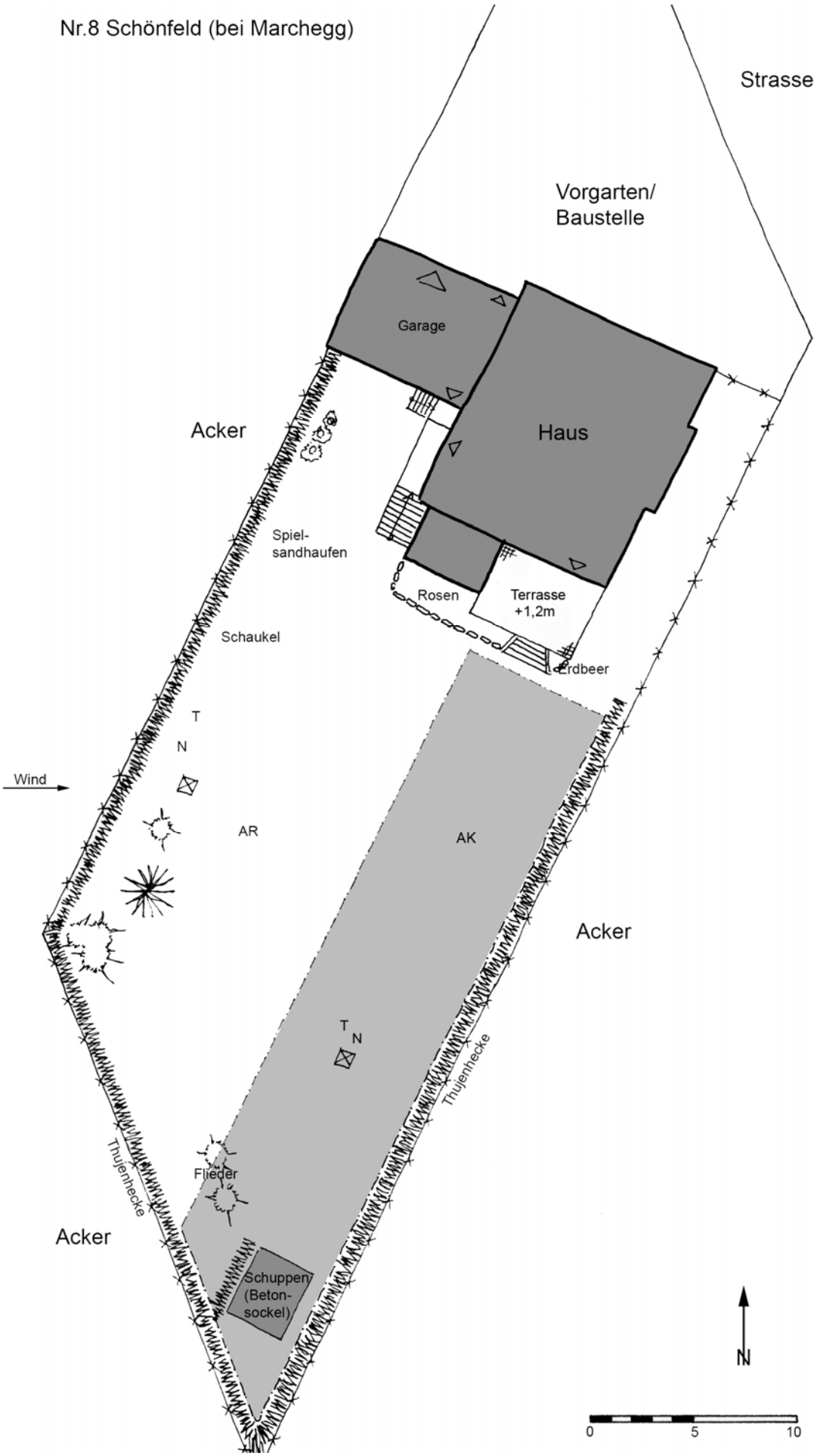


1 Erdbeer
2 Holler
3 Ribisel
4 Quitte
5 Spiere
6 Korkhasel
7 Bluthasel
8 Wilder Apfel
9 Kolkwitzie
10Feldahorn, Rosen
11Weisser Hartriegel
12Schneeball
13Sommerflieder
14Tamariske
15Bambus
16Dirndlstrauch
17Flieder
18Brombeer
19Cotoneaster

Nr.7 Karlstetten



1 Kobus-Magnolie
2 Ribisel, Stechplame
3 Zierquitte
4 Mandelröschen
5 Ribisel
6 Geissblatt, Hibiscus, Ribisel, Buchs
7 Hibiscus
8 Yucca
9 Mandelröschen, Korkhasel, Forsythie
10 Weide, Buchs, Schneebeere
11 Heidelbeere
12 Rosenbogen
13 Bärlauch, Veilchen, Erdbeer
14 Deutzie, Weigelie
15 Beeren
16 Ribisel


Nr.8 Schönfeld (bei Marchegg)
Strasse
Vorgarten/
Baustelle
Garage
Haus
Acker
Spiel-
sandhaufen
Rosen
Terrasse
+1,2m
Schaukel
Erdbeer
T
N
Wind
AR
AK
Acker
T
N
Thujenhecke
Thujenhecke
Flieder
Acker
Schuppen
(Beton-
sockel)
N
0
5
10