

Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität

Kurzfassung 3/2006



TUG



arsenal research

Ein Unternehmen der Austrian Research Centers.

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.

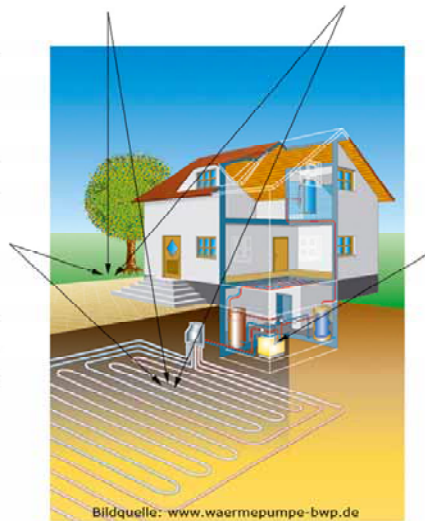
Das Forschungsprojekt wurde von der Wohnbauforschung des Landes Niederösterreich, der Leistungsgemeinschaft Wärmepumpe Austria und dem Verein für Konsumenteninformation gefördert. Es untersuchte den Einfluss von Erdkollektoren auf die Gestaltungs- und Nutzungsmöglichkeiten von Gärten und die damit verbundene 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.

Messung der Jahrestemperaturkurve des Bodens in unterschiedlichen Tiefen auf Flächen mit Erdkollektoren und auf Referenzflächen, fünf Thermometer bis 0,30m unter Kollektorebene, Anschluss an Datenlogger, Datenübertragung an den Monitoringserver
 Dauer: 12 Monate
 Durchführung: Geschäftsfeld Nachhaltige Energiesysteme, arsenal research

Bestimmung der Quantität der mikrobiellen Biomasse auf Flächen mit Erdkollektoren und auf Referenzflächen: pro Fläche wurde aus sechs Tiefenstufen je eine Mischprobe entnommen und im Labor untersucht
 Dauer: einmal am Ende der Vegetationsperiode
 Durchführung: AG Rhizosphärenökologie und Biogeochemie, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Boku

gärtnerische Faktoren

Erfassung der baulich-räumlichen Strukturen, Vegetationsaufnahmen und Beurteilung von Pflanzenwachstum und Pflanzengesundheit auf Flächen mit Erdkollektoren und auf Referenzflächen, Interviews mit GartennutzerInnen
 Dauer: eine Vegetationsperiode
 Durchführung: tilia, technisches büro für landschaftsplanung



technische Faktoren

technisches Monitoring der Wärmepumpenanlage: Energieverbrauch der Aggregate, Heizleistung, Vorlauf- und Rücklauftemperaturen, Raum- und Außentemperaturen, Wärmemengen.
 Dauer: 12 Monate
 Durchführung: Geschäftsfeld Nachhaltige Energiesysteme, arsenal research

Stand der Technik

Literaturrecherche, Zusammenstellung der technischen Grundlagen und des Standes der Technik, Interviews mit Herstellern und Installateuren von Wärmepumpenanlagen zum technischen Stand der Praxis
 Durchführung: Institut für Wärmetechnik, TU Graz

Parallelversuch

Laboruntersuchung des Einflusses der Bodentemperatur auf die Biomasseentwicklung von Pflanzen
 Durchführung: AG Rhizosphärenökologie und Biogeochemie, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Boku

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 | |
|---------------|------------------------|----------------------|----------------|-----------------|------------------------|------------|---------------------|--|-----|
| | m ² | m ² | cm | | | | | Jahr | WQA |
| 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

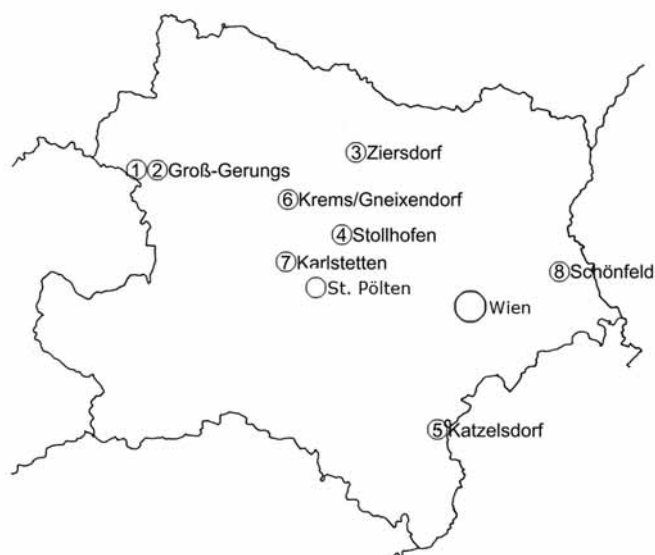


Abbildung 2: Lage der Beispiele

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.

Anlageneffizienz

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.

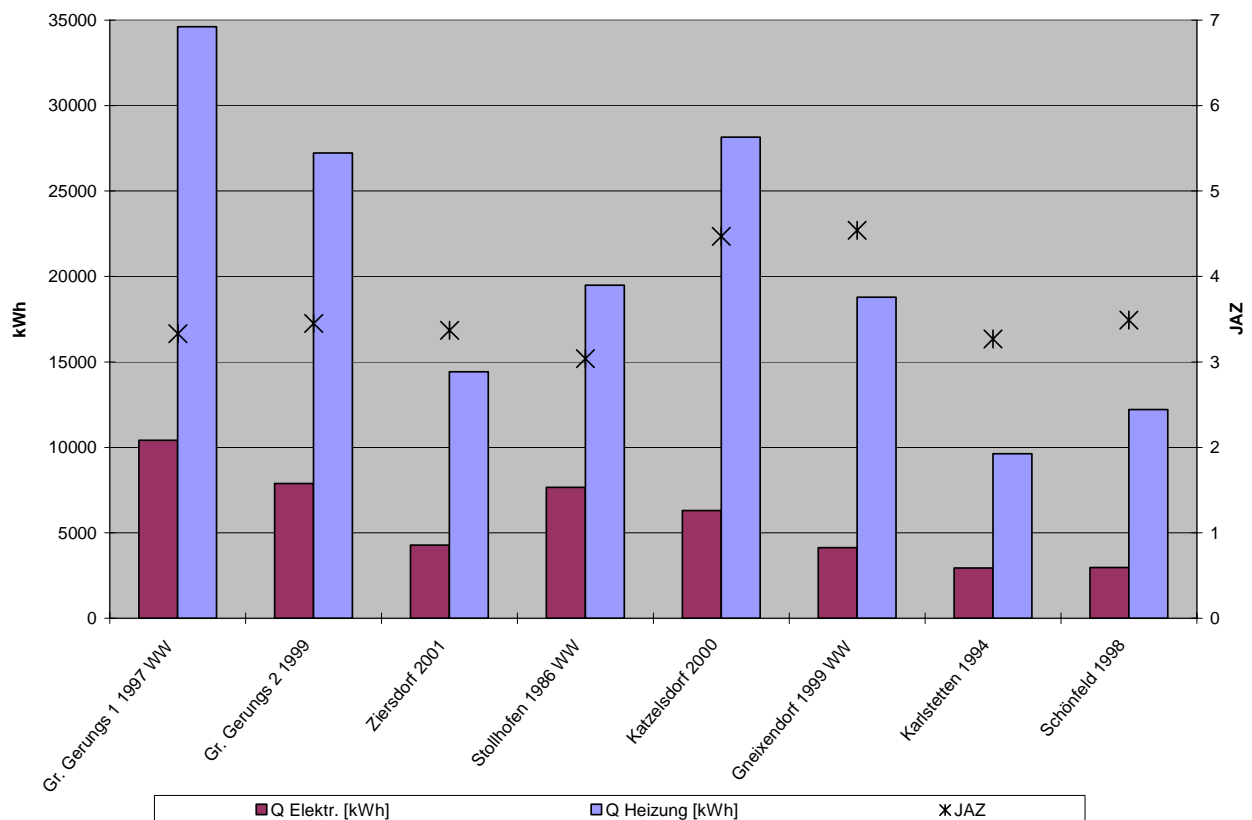


Abbildung 3: Vergleich von Energie-Input, -Output und der Jahresarbeitszahl

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/m² und betrug im Mittel 27,2 W/m². Abbildung 4 zeigt an einem Beispiel die Temperaturverläufe des Erdreichs und der Luft über ein Jahr.

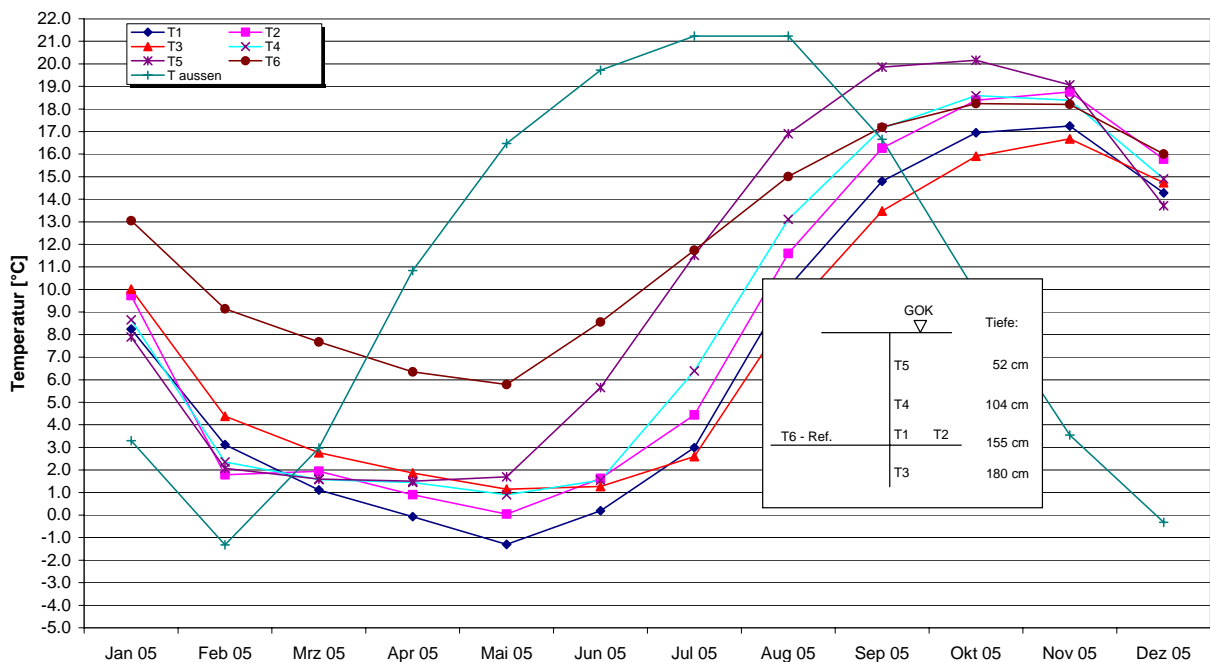


Abbildung 4: Monatsmittelwerte der Luft- und Erdreichtemperatur der Anlage Ziersdorf

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 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 gedeihen 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 Schattenspende 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.