

Wärmepumpenheizungsanlagen mit Erdkollektoren

INHALT

Allgemeines

1. Erdkollektor

- 1.1 Bauart
- 1.2 Werkstoff
- 1.3 Verlegefläche und Montage
- 1.4 Verlegetiefe und Abstände
- 1.5 Sammler und Verteiler

2. Wärmeträgermedium

- 2.1 Wahl des Wärmeträgermediums
- 2.2 Konzentration und Stoffwerte
- 2.3 Strömungsgeschwindigkeiten
- 2.4 Ueberwachung

3. Entzugsleistung

- 3.1 Maximale Entzugsleistung
- 3.2 Auslegungsbeispiel

4. Auswahl bzw. Dimensionierung der Anlageteile

- 4.1 Bestimmung der Wärmepumpen-Heizleistung
- 4.2 Maximale Betriebsdauer der Erdkollektoranlage
- 4.3 Wärmequellenförderpumpe

5. Verlegevorschriften

6. Ueberdecken

Bemerkung: Die Auslegung gilt nicht für Systeme mit Direktverdampfung

Allgemeines

Dieses Merkblatt mit Informationen über die Wärmepumpenheizungsanlagen mit Erdkollektoren, die sich auf den heutigen Stand der Technik beziehen, will dem Planer helfen, insbesondere bei der Auslegung der Wärmequellenanlage mehr Transparenz zu schaffen. Als Basis dienen die Praxiserfahrungen der AWP-Firmen und die Messresultate von Pilotanlagen im In- und Ausland. Ferner wurde auf folgende wissenschaftlichen Untersuchungen zurückgegriffen:

- Forschungsbericht BMFT-FB-T80-121 "Erarbeitung eines Optimierungsverfahrens für die Auslegung von Erdbohrrohrschlangen als Wärmequelle für Wärmepumpen" aus dem Jahre 1980, der im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Bonn, erarbeitet wurde
- SIA-Dokumentation D025 "Base de dimensionnement des systèmes exploitant la chaleur du sol à basse température" des Bundesamts für Energiewirtschaft vom Mai 1988.

Das Erdreich bildet einen riesigen Wärmespeicher. Einem Volumen von 2 m^3 Erdreich können bei 1 m^2 atmosphärenberührender Oberfläche trotz geringer spezifischer Wärmekapazität je nach Feuchtigkeit und Bodenbeschaffenheit und je nach geografischer Lage bis zu 70 kWh Wärmeenergie pro Heizperiode entzogen werden. Die Wärme stammt zu einem geringen Bruchteil aus dem Erdinnern und zum überwiegenden Teil (ca. 98 %) aus Sonneneinstrahlung, Luftwärme und Regen. Sie wird über eine Erdkollektoranlage (im Erdreich verlegte Kunststoffrohre) als Wärmequelle der Wärmepumpe zugeführt.

Bei stetigem Energieentzug sinkt die Erdreichtemperatur in der Kollektorumgebung. Dieser Entzug entspricht einem bestimmten Wert der Wärmeentnahme, der als spezifische Kollektorleistung in W/m^2 definiert wird. Intensive Entnahme bedeutet tiefere Kollektortemperatur. Um eine gute Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage zu erreichen, muss eine möglichst hohe Wärmequellentemperatur angestrebt werden. Dies ist durch eine Reduzierung des Wärmeentzugs pro m^2 möglich, wobei die atmosphärischen Einflüsse eine bedeutende Rolle spielen.

Aufgrund jahrzehntelanger Erfahrung steht fest, dass bei Respektierung einiger Randbedingungen für die Vegetation keine Nachteile entstehen. Der Wärmeentzug kann das Wachstum im Frühling lediglich um maximal zwei Wochen verzögern.

1. Erdkollektor

1.1 Bauart

Es werden Endlosrohre mit einem Durchmesser von 20 - 40 mm verwendet, die horizontal und registerförmig verlegt werden.

1.2 Werkstoff

Als bewährter Werkstoff werden Polyethylen-Röhren eingesetzt. Sie zeichnen sich aus durch die notwendige Elastizität und die günstigen Strömungseigenschaften und weisen geringe Reibungsverluste auf. Für den vorliegenden Verwendungszweck sind sie korrosions- und nahezu alterungsbeständig. Es kann mit einer Standzeitfestigkeit um die 50 Jahre gerechnet werden.

1.3 Verlegefläche und Montage

Die für den Erdkollektor vorgesehene Fläche muss planiert werden, wobei grundsätzlich nur gewachsenes Terrain in Frage kommt. Da die Kollektorrohre keine mechanischen Beschädigungen erfahren dürfen, sind Bauschutt und scharfkantige Steine zu entfernen.

1.4 Verlegetiefe und Abstände

Die Verlegetiefe beträgt ca. 0,8 - 1,2 m. Reine Erdkollektoranlagen ohne Entlastung erfordern eine minimale Verlegetiefe von 1 m. Der Mindestabstand von Gebäuden, Stützmauern, Leitungen usw. richtet sich nach den kantonalen Vorschriften, darf jedoch 1 m nicht unterschreiten. Die Abstände zwischen den einzelnen Endlosrohren richten sich nach dem Rohrdurchmesser (je grösser der Rohrdurchmesser ist, desto grösser muss der Rohrabstand sein).

1.5 Sammler und Verteiler

Die Sammler und Verteiler sollen jederzeit gut zugänglich sein (Lichtschacht oder separater Schacht). Jeder Kreis muss einzeln abgesperrt werden können.

2. Wärmeträgermedium

2.1 Wahl des Wärmeträgermediums

Als Wärmeträgermedien dürfen nur Produkte der gemäss Art. 22, Absatz 2 der Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (StoV) erstellten Liste in der "Wegleitung zur Wärmenutzung aus Wasser und Boden" des Bundesamts für Umweltschutz (neu BUWAL) verwendet werden. Darüber hinaus sind weitere wichtige Kriterien zu beachten:

- Herstellerangaben (Wärmeträger- sowie übrige Anlagekomponenten)
- Die Stoffwerteeigenschaften beeinflussen die Wärmeübertragung und damit die Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage.
- Die Viskosität beeinflusst in hohem Masse den Systemwiderstand und dadurch die Aufnahmeleistung der Förderpumpe (siehe AWP-Richtlinie Nr. 9).
- Das gewählte Wärmeträgermedium muss über eine lange Betriebszeit alterungsbeständig und frei von Korrosionseinflüssen gegenüber den verschiedenen Werkstoffen innerhalb des Systems sein (stabiles Langzeitverhalten).

2.2 Konzentration und Stoffwerte

Die Konzentration - Mischungsverhältnis mit Wasser - verändert den Stoffwert des Mediums (Gemisches) beträchtlich. Die erhöhte Konzentration bewirkt eine Erhöhung der Viskosität und des Durchflusswiderstandes in den Rohren und im Wärmepumpenverdampfer.

Die Frostsicherheit der Füllung in °C muss nach der tiefst möglichen Verdampfungstemperatur der Wärmepumpe ausgelegt werden, wobei zusätzlich die Herstellerangaben der Wärmeträgermediumlieferanten in bezug auf die minimale Konzentration zu beachten sind (siehe AWP-Richtlinie Nr. 9, Punkt 3.3.1, S. 15 ff).

2.3 Strömungsgeschwindigkeiten

Die angegebenen Durchflussmengen des Wärmeträgers werden vom WP-Hersteller angegeben und sind unbedingt einzuhalten. Eine geringere Durchflussmenge reduziert die Strömungsgeschwindigkeit im System, und die Wärmeübertragungsleistung sowohl im WP-Verdampfer als auch in den Erdkollektorrohren nimmt ab. Die Heizleistung der Anlage kann nicht mehr erreicht werden.

2.4 Ueberwachung

Jede Erdkollektoranlage ist hinsichtlich Dichtheit, chemischer Stabilität und Frostsicherheit des Wärmeträgermediums periodisch zu überprüfen. Dabei sind die verschiedenen kantonalen Vorschriften zu beachten.

3. Entzugsleistung

3.1 Maximale Entzugsleistung

Von ausschlaggebender Bedeutung für die fachgerechte Dimensionierung der Verlegefläche sind vor allem folgende Eigenschaften des Erdbodens:

- der Wärmeleitkoeffizient: (Watt/mK)
- die spezifische Wärme (kJ/kgK)
- die Dichte (kg/m³)

Diese drei Grössen werden vor allem vom Feuchtigkeitsgehalt des Bodens beeinflusst. Im Normalfall kann mit einem feuchten Erdreich gerechnet werden. In der Praxis genügt es, wie folgt zu unterscheiden:

- Feuchtigkeitsgehalt des Bodens:

- = nass
- = feucht
- = trocken

Je feuchter der Erdboden beschaffen ist, umso bessere Wärmetauschverhältnisse lassen sich erzielen.

- Erdbodenbeschaffenheit:

- = sandig
- = lehmig
- = steinig

- Globaleinstrahlung

- = sonnig
- = normal
- = schattig

Feuchtigkeitsgehalt, Erdbodenbeschaffenheit und Globaleinstrahlung sind entsprechend ihrer direkten Beeinflussung zu gewichten.

In der Schweiz kann man in der Regel mit folgender Konstellation rechnen:

feucht-lehmig/sandig-normalsonnig

Für diese Konstellation können aufgrund der gemachten Erfahrungen folgende maximalen Entzugsbelastungswerte angenommen werden:

20 - 30 W/m²

Wird durch die Gewichtung der Beeinflussungsfaktoren eine unter dem Normalwert liegende Konstellation sichtbar, so muss der Wärmeentzug pro m² Erdfläche verringert werden. Bei ungünstigen Verhältnissen, z.B. steinig-trocken-schattig, kann sicher mit nicht mehr als

8 - 12 W/m²

gerechnet werden.

Ist die Erdbodenbeschaffenheit günstiger als der Normalwert, z.B. sandig-nass-sonnig, so kann der Erdboden mit bis zu

30 - 35 W/m²

belastet werden.

Die erforderliche Erdfläche errechnet sich somit wie folgt:

Mittlerer Wärmestrom (Kühlleistung) Q_{om} (W)

Belastungswert (W/m²)

Dabei gilt zu beachten, dass der mittlere Wärmestrom indirekt von der Wärmeträger- und der Heizungsvorlaufemperatur sowie vom klimatischen Standort der Anlage abhängig ist. Der Temperaturverlauf im ungenutzten Erdboden (Tiefe 0,8 - 1,2 m) entspricht in etwa dem mittleren Aussentemperaturverlauf während der Heizperiode.

3.2 Auslegungsbeispiel

Aus dem Erdreich können je nach Bodenbeschaffenheit und Klimazone pro Heizperiode und pro m² bis zu 70 kWh entzogen werden, wobei bei der Dimensionierung der Erdkollektorfläche der total erforderliche Wärmeentzug aus dem Erdreich für die Gesamtanlage (Heizung, Lüftung, Wassererwärmung, Schwimmbad usw.) sowie die Benützungsdauer bzw. die totale Betriebsstundenzahl der Wärmepumpe berücksichtigt werden müssen.

Beispiel:

- **Lage, Konstellation, Wärmeentzug**

- = Mittelland
- = feucht-lehmig/sandig-normalsonnig
- = 50 kWh/m²

- **Anlage/Entzugsbelastung**

- = Monovalente Wärmepumpe (nur Heizung) mit 2'000 Betriebsstunden pro Heizsaison
- = Entzugsbelastung $= \frac{50 \text{ kWh/m}^2}{2'000 \text{ h}} = 25 \text{ W/m}^2$

- **Bestimmung der Verlegefläche**

Mit angenommener mittlerer Kühlleistung (Q_{om}) der Wärmepumpe von 8,35 kW bei S0W35 (entspricht EFH mit 50/40 °C Heizsystem und einem Wärmeleistungsbedarf von 10 kW)

$$F = \frac{8'350 \text{ W}}{25 \text{ W/m}^2} = 334 \text{ m}^2$$

4. Auswahl bzw. Dimensionierung der Anlageteile

Die dynamische Verhaltensweise der Wärmepumpe erfordert eine optimale Anpassung der Anlageteile von der Wärmequellen (WQ)-Anlage bis zur Wärmenutzungs (WN)-Anlage. Dies ist notwendig, weil die Vorgänge der WQ-Seite und der WN-Seite mit der Wärmepumpe als Wärmetransportmaschine sehr eng gekoppelt sind.

4.1 Bestimmung der Wärmepumpen-Heizleistung

Die Heizleistung der Wärmepumpe muss unbedingt mit der erforderlichen maximalen Heizleistung des Objektes übereinstimmen. Eine Unterdimensionierung der Wärmepumpenleistung führt zu längeren täglichen Betriebsstunden und insbesondere bei tiefen Aussentemperaturen mit grosser Abnehmerlast zu einem Dauerbetrieb. Infolge fehlender Erholungszeit bei der Wärmequelle verursacht der Dauerbetrieb schliesslich eine stetige Absenkung der Wärmequellentemperatur (Gefahr von Permafrost).

4.2 Maximale Betriebsdauer der Erdkollektoranlage

Die unter Punkt 3 aufgeführten spezifischen Entzugsleistungen garantieren bei richtiger Dimensionierung beim Intervallbetrieb eine reibungslose monovalente Funktion der Anlage. In der Praxis ergibt sich eine Betriebsstundenzahl von ca. 2'000 Stunden pro Jahr. Die Erdreichtemperatur regeneriert sich schnell.

4.3 Wärmequellenförderpumpe

Weil die mittlere Temperaturdifferenz, die Durchflussgeschwindigkeit und die Stoffeigenschaften der verwendeten Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser-Frostschutzgemisch) ebenfalls eine entscheidende Rolle spielen, muss die Dimensionierung der Wärmequellenförderpumpe sehr sorgfältig erfolgen. Dazu kommt, dass insbesondere bei kleineren Anlagen die Jahresarbeitszahl zufolge hohem prozentualem Anteil der elektrischen Aufnahmeleistung der Wärmequellenförderpumpe wesentlich beeinflusst werden kann.

Die Stranglänge und -anzahl der Erdkollektoren müssen anlagebezogen optimiert werden. Nur so kann eine für die Anlage günstige Wärmequellenförderpumpe bestimmt werden.

5. Verlegevorschriften

Die Wärmegewinnung über einen Erdkollektor erfordert zusätzliche Arbeiten im baulichen Bereich. Die nachfolgenden Verlegevorschriften sollen die Planung und Ueberwachung dieser Arbeiten erleichtern.

Die für den Kollektor vorgesehene Fläche muss planiert und frei von Bauschutt sein. Scharfkantige Steine sind zu entfernen und Unebenheiten durch Humus auszugleichen. Bei felsigem und sehr steinigem Boden ist ein entsprechendes Lehm- oder Humusbett mit einer Schichtdicke von mindestens 15 cm vorzusehen.

Die Verlegungstiefe beträgt ca. 0,8 - 1,2 m. Der Mindestabstand von Gebäuden, Treppen, Sitzplätzen und Grundstücksgrenzen beträgt 1 m. Unter künstlich gestalteten Garagenvorplätzen, Treppen, Hausaufgängen, Sitzplätzen usw. oder unter Gartenplatten sollten keine Kollektorleitungen verlegt werden.

Die Rohre dürfen grundsätzlich nur auf gewachsenem Terrain verlegt werden. Ist das Terrain gemischt, muss unbedingt darauf geachtet werden, dass einzelne Rohre entweder nur in gewachsenem oder nur in aufgeschüttetem Boden verlegt werden.

Bei der Aufschüttung von Baugruben bei Neubauten können sich starke Setzungen ergeben. Der Verlegung der Kollektorrohre in einem solchem Terrain ist daher besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Beschädigungen (Kerben und Kratzer) der Rohre sind in jedem Fall zu vermeiden, da sich diese negativ auf das Standzeitverhalten auswirken. Daran ist nicht nur beim Verlegen zu denken, sondern auch bei der Lagerung und beim Transport (Die Rohrrollen dürfen nicht über den Boden geschleift werden, sondern müssen auf die Baustelle getragen werden.).

Beim Verlegen der Rohre erweist sich das Abwickeln von einer Rohrtrommel bzw. Abwickelvorrichtung als die vorteilhafteste Methode. Sie erfordert keine grossen Kraftanstrengungen. Auf keinen Fall dürfen die Rohre geknickt werden. Sollte dies trotzdem vorkommen, ist das Rohr zu ersetzen oder mittels Elektro-Muffenschweissung zu reparieren. Klemmverschraubungen dürfen nur an zugänglichen Stellen ausserhalb des Erdreichs als Verbindungs- oder Schlüsselemente verwendet werden. Thermoplastische Kunststoffe haben die Eigenschaft, Spannungen, die auf sie ausgeübt werden, abzubauen. Ein Nachziehen der Verschraubungen kann deshalb nach einer gewissen Zeit notwendig werden. Der Erdkollektor soll in einer Etappe verlegt werden können.

Bei Sammlern und Verteilern in Lichtschächten, wo die Kollektorrohre zusammengefasst werden müssen, sind die Tragrohre zur Entwässerung mit Kies zu unterlegen und mit einer dampfdiffusionsdichten Wärmedämmung zu versehen. Wenn die Verbindungsleitungen durch das Erdreich führen, sind sie mit einem Mindestabstand von 0,5 m zu verlegen.

Als Rohrmaterial ist die elastische Qualität (PEm) der weniger elastischen (PEh) vorzuziehen. Die minimalen Biegeradien nach Herstellerangaben sind zu beachten. Die Werte dürfen keinesfalls unterschritten werden.

Die Erdkollektoranlage muss einer überwachten Druckprüfung nach kantonalen Vorschriften unterzogen werden (Mindestanforderung: 3 bar/10 Stunden).

6. Ueberdecken

Die Erde muss mit dem Trax auf das Register **geschoben** und darf nicht fallen gelassen werden. Zwischen Traxraupen und Kollektoranlage muss immer 60 cm Erdreich sein. Ist es aus irgendwelchen Gründen nicht möglich, den Kollektor mit einer mindestens 30 cm dicken Lehm- oder Humusschicht zu überdecken, so darf in der Erde wegen der Beschädigungsgefahr der Rohre kein grobes oder scharfkantiges Material (Steine, Bauschutt, Holz, Ziegelsteine, Betonwaren usw.) enthalten sein. Die Eindeckung ist von einer verantwortlichen Person zu überwachen.

Um spätere Kontrollen oder gefahrlos Bauarbeiten im Erdkollektorbereich vornehmen zu können, ist die eingedeckte Anlage zu markieren und in einem genauen Montageplan festzuhalten.