

TopTechnik

Heizen mit Eis –
Effiziente und preisattraktive Wärmequelle für Wärmepumpen



Primärquellenspeicher als Alternative zu Erdsonde und Erdkollektoren

Wärmepumpen haben seit einigen Jahren unter den jährlich installierten Wärmeerzeugern einen festen Platz. Ihr Potential liegt neben der Energieeffizienz des Heizsystems auch in der Möglichkeit, diskontinuierlich eingespeisten Ökostrom aus Wind und Sonne zu nutzen. Oft handelt es sich dabei um Überkapazitäten im Stromnetz. So ist zu erwarten, dass der Anteil für Wärmepumpen weiter steigen wird.

Wärmepumpen nutzen Luft- und Erdwärme mit niedrigem Temperaturniveau und wandeln diese durch den Kältekreisprozess in Temperaturen zum Heizen.

Traditionell werden als Wärmequellen die Umgebungsluft, Grundwasser und das Erdreich verwendet. Ein neues Konzept schließt neben den genannten Quellen auch die Nutzung direkter solarer Energie ein.

Kostengünstig Wärmequellen erschließen

Erdreich und Grundwasser sind gute Wärmespeicher. Ihre Temperaturen sind über das ganze Jahr relativ gleichmäßig, was hohe Jahresarbeitszahlen gewährleistet. Erschlossen werden diese Wärmequellen über horizontal verlegte Erdkollektoren oder über vertikal in die Erde eingebrachte Erdwärmesonden bzw. Brunnenbohrungen. Die dafür notwendigen Erdarbeiten erfordern je nach Bodenbeschaffenheit hohe Investitionskosten und sind außerdem genehmigungspflichtig.

Die Außenluft als Wärmequelle lässt sich dagegen einfach und kostengünstig erschließen. Sie wird von der Außenheit der Wärmepumpe angesaugt, die enthaltene Wärme im Verdampfer entzogen und anschließend wieder in die Umgebung abgegeben. Aufwändige Erdarbeiten entfallen dadurch.

Allerdings besteht eine Diskrepanz zwischen Wärmeangebot und -nachfrage: Bei niedrigen Außentemperaturen entsteht ein höherer Wärmebedarf, der entweder mit Hilfe eines modulierend arbeitenden Verdichters oder durch einen zweiten Wärmeerzeuger (Elektro-Heizeinsatz im Pufferspeicher oder klassischer Heizkessel) gedeckt werden muss.

Alternativen zu den üblichen Arten der Wärmequellenerschließung

Seit Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung verwendet werden, suchen Hersteller und Forschungsinstitute stets neue Wege, wie die Erschließung von Wärmequellen optimiert, Investitionskosten reduziert und die Effizienz der Wärmepumpenanlage erhöht werden kann.

Dazu gehören auch Versuche, Sonnenenergie direkt in Wärmepumpen zu nutzen. So wurden bereits Ende der 1970er Jahre Sole/Wasser-Wärmepumpen in Kombination mit unverglasten Solarkollektoren eingesetzt, um daraus die benötigte Energie zu gewinnen.

Diese Lösungen waren jedoch wenig effizient und haben sich nicht durchgesetzt. Außerdem steht in Deutschland Sonnenenergie während der kalten Monate und in der Übergangszeit nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung.

Betrachtet man eine solare und eine erdgekoppelte Wärmequellenanlage, so liegt der Schluss nahe, eine Kombination aus beiden Systemen zu verwirklichen. Hierfür gibt es bisher auf dem Markt verschiedene Lösungen, die allerdings keine kontrollierte Speicherung des solaren Wärmeertrages ermöglichen.

Versuche, Solarwärme während der sonnenreichen Sommermonate über Erdsonden oder Erdkollektoren im Erdreich bis zur Nutzung zwischenspeichern, sind stark von den geologischen Bedingungen abhängig. Sobald die Erdsonden wasserführende Schichten kreuzen, wird über den Grundwasserfluss die eingebrachte Wärme ungenutzt abtransportiert. Außerdem geht bei dieser Lösung der Kostenvorteil verloren, der durch den Verzicht auf die umfangreichen Erdarbeiten erzielt werden sollte.

Primärquellenspeicher mit 10 m³ Wasserinhalt. Das Wasser dient als Speichermedium und wird im Bedarfsfall kontrolliert vereist.



Eine Alternative zu Sonden- bzw. Brunnenbohrungen und Erdkollektoren sind Massivabsorber und so genannte Energiezäune. Massivabsorber sind Betonsegmente, in denen soledurchströmte Rohrleitungen als Register angeordnet sind. Die Betonsegmente sollen durch ihre Masse eine gewisse Speicherfähigkeit haben. Energiezäune sind einfache Rohrregister ohne Ummantelung. Beide Wärmetauscherarten sind zu etwa einem Drittel ihrer Fläche eingegraben, rund zwei Drittel sind über der Erdoberfläche. Der oberirdische Teil arbeitet als Absorber für die Wärme aus der Umgebungsluft und die Solarstrahlung. Der eingegrabene Teil nimmt Erdwärme auf.

Für ein effizient funktionierendes System an kalten Wintertagen ohne nennenswerten Solarertrag muss ein ausreichend großer Teil der Wärmetauscherfläche Wärme aus dem Erdreich aufnehmen können. Allerdings ist dies auf Grund der begrenzten Wärmetauscherfläche im Erdreich für diese Zeit nicht möglich.

Erdkörbe gelten als Alternative zu Erdkollektoren, da sie sehr viel weniger Grundstücksfläche beanspruchen. Es sind zylindrische oder kegelstumpfförmige Drahtkörbe, die mit Wärmetauscherrohren umwickelt und in einem bis vier Meter Tiefe vergraben sind. Ihre Bauform und auch die Bodenbeschaffenheit bedingen aber nur eine geringfügig höhere Wärmeentzugsleistung als bei Erdkollektoren.

Eisspeicher nutzt mehrere Primärquellen

Genaugenommen müsste man beim Eisspeichersystem von einem Wärmepumpensystem mit einem Primärquellenspeicher sprechen, der verschiedene Primärquellen verwendet. Ein Primärquellenmanagement regelt dafür die verschiedenen Quellen.

Als Primärquellen werden die Umgebungsluft, die solare Einstrahlung und die Erdwärme genutzt. Der Primärquellenspeicher lagert diese Energien auf niedrigem Temperaturniveau ein und stellt sie als Primärquelle für die Wärmepumpe zur Verfügung. Zur Erweiterung der Kapazität des Speichers wird die frei werdende Energie beim Phasenwechsel genutzt.

Komponenten des Eisspeichers

Das Eisspeichersystem besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Eisspeicherbehälter
- Entzugs- und Regenerationswärmetauscher
- Solar/Luftabsorber
- Sole/Wasser Wärmepumpe
- Wärmequellenmanagement

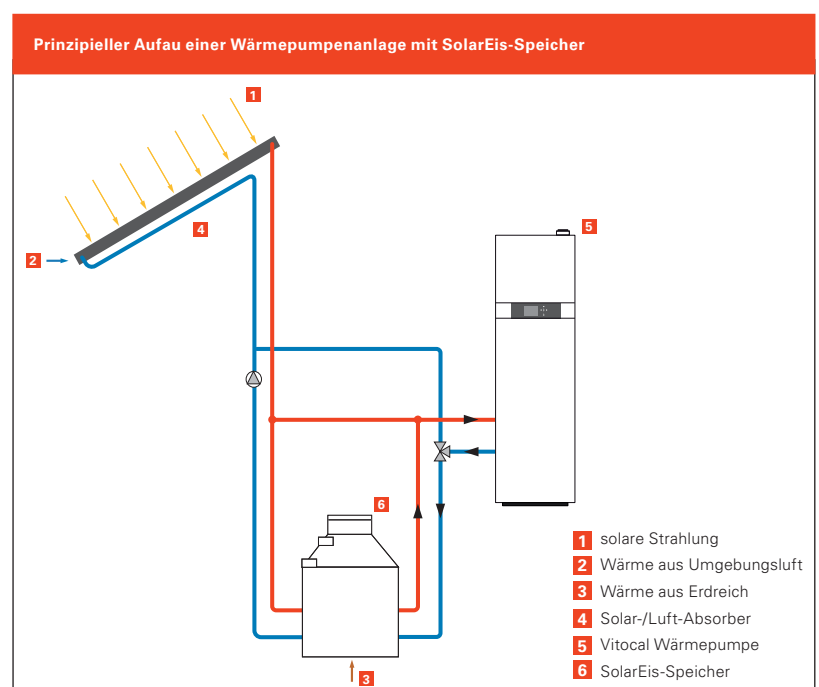
Ausgehend von einem Standardsystem bis 20 kW Heizleistung besteht der Eisspeicherbehälter aus einem oder zwei Betonzylindern (2,5 m Durchmesser, 3,56 m hoch), die ein Wasservolumen von je 10 m³ aufnehmen können. Sie werden vollständig eingegraben und mit Trinkwasser gefüllt. Oberflächen- oder Regenwasser dürfen nicht verwendet werden, da hierbei Algenwachstum und Verschlämmung nicht ausgeschlossen sind. Algen würden zu einem schlechterem Wärmeübergang am Wärmetauscherrohr führen.

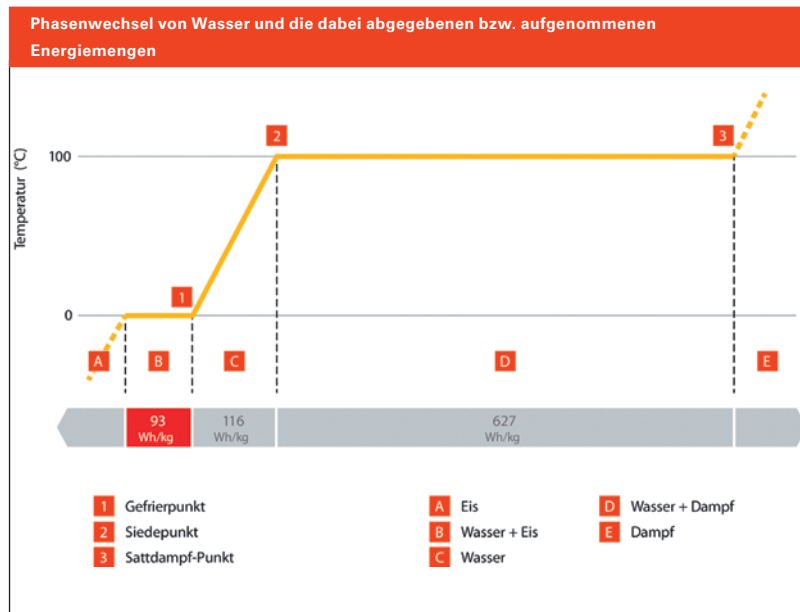
Im Speicherbehälter sind in verschiedenen Ebenen spiralförmig Wärmetauscherrohre aus Kunststoff verlegt, die dem Wasser die Wärme entziehen und der Wärmepumpe als Primärquelle zur Verfügung stellen.

Am äußeren Rand des Behälters befindet sich der Regenerationswärmetauscher. Dieser Wärmetauscher führt die durch den Solar/Luftabsorber bereitgestellte Umweltenergie dem Speicher zu.



Entzugswärmetauscher im Eisspeicher





Einfache Montage der Solar/Luftabsorber

Die Solar/Luftabsorber entziehen der Umwelt sowohl direkte eingestrahlte Sonnenenergie als auch Energie aus der Umgebungsluft. Die Solar/Luftabsorber sind unverglaste Rohrabsorber aus Kunststoff und können leicht auf Flachdächern, Schrägdächern und an Fassaden installiert werden.

Das Wärmequellenmanagement entscheidet über einen Regler je nach Temperaturangebot, ob die Wärmepumpe den Absorber oder den Primärquellenspeicher als Wärmequelle nutzt.

Für das System können Sole/Wasser Wärmepumpen Vitocal 300-G, 333/343-G bzw. die 350er-Baureihe eingesetzt werden. Diese sind mit dem für das Eisspeichersystem notwendigen RCD-System mit elektronisch geregelterm Expansionsventil ausgerüstet.

Funktionsweise des Eisspeichersystems

Das Herzstück bildet der Eisspeicherbehälter. Er dient als Primärquellenpuffer und ist mit Wasser als Speichermedium gefüllt.

Der Energiegehalt von Wasser ist begrenzt und liegt bei $1,163 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$. Wird also ein Liter Wasser um 1 °K abgekühlt, werden $1,163 \text{ Wh}$ Energie frei. Durch die Wärmepumpe wird dem Speicherinhalt diese Wärmeenergie nach und nach entzogen und das Wasser bis auf 0 °C abgekühlt. Der bei weiterer Wärmeentnahme entstehende Vereisungsprozess ist gewollt, denn der Phasenwechsel von Wasser zu Eis bringt einen weiteren Energiegewinn. Hierbei bleibt die Temperatur zwar konstant bei 0 °C , doch es werden weitere $93 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ Kristallisationsenergie frei, die von der Wärmepumpe genutzt werden können (Abb. links). Das entspricht der frei werdenden Energiemenge, wenn Wasser von 80 °C auf 0 °C abgekühlt wird.

Die Eisbildung beginnt um den Entzugswärmeübertrager und setzt sich von innen nach außen fort (Abb. rechts unten). Diese Eisschicht am Kunststoffrohr erzeugt einen zusätzlichen Widerstand für die Wärmeleitung vom Speichermedium zum Solekreis der Wärmepumpe (Abb. rechts oben). Durch die Anordnung der Wärmeübertragerrohre im Speicher vergrößert sich ihre Oberfläche während der Eisbildung kontinuierlich.

Diese Oberflächenvergrößerung durch das Eiswachstum und die gleichzeitige Vergrößerung des Wärmeleitwiderstandes finden in etwa proportional statt. Es wird über die größere Oberfläche mehr Wärme aufgenommen, allerdings schlechter zur Soleflüssigkeit weitergeleitet – der Wärmestrom bleibt durch diesen Zusammenhang nahezu konstant. Die durch den Solar-Luftabsorber gewonnene Energiemenge wird durch den Regenerationswärmetauscher dem Speichermedium zur Verfügung gestellt und erwärmt das Wasser bzw. taut das Eis wieder auf.

Neben der Wärme aus dem Solar/Luftabsorber bezieht der Eisspeicher auch Erdwärme. Sobald die Speicherwassertemperatur unter das Temperaturniveau des umgebenden Erdreichs sinkt, nimmt der Speicher Erdwärme auf. Ist der Speicher vereist, strömt immer noch Wärme aus dem Erdboden nach, um als Wärmequelle zu dienen. Die Höhe des Energieertrags richtet sich nach der Bodenbeschaffenheit.



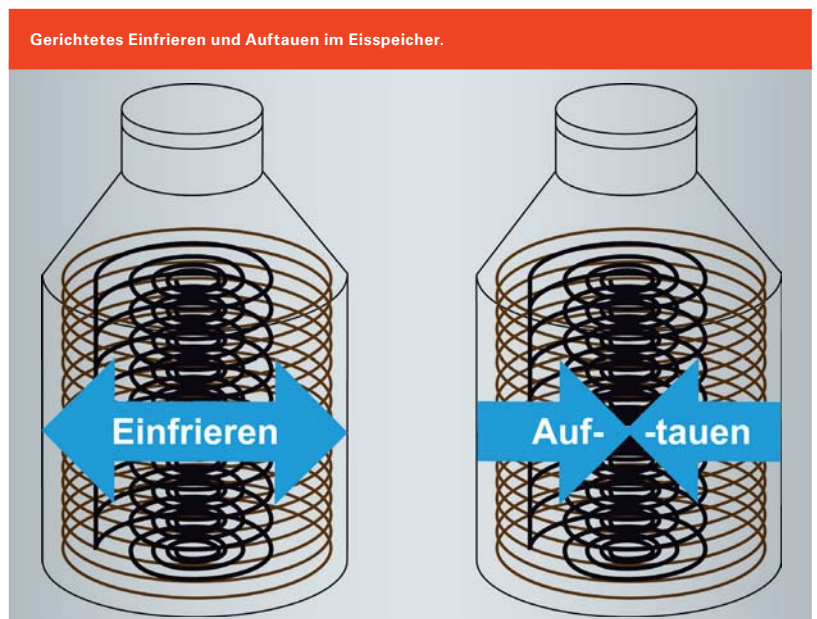
Eisbildung um den Wärmeübertrager im SolarEis-Speicher.

Im Sommer wird dagegen über die Oberfläche des Speichers Wärme an das Erdreich abgegeben. Somit stellt sich ein automatischer Regeleffekt ein, der eine Überhitzung des Speicherinhalts im Sommer verhindert.

Kühlen mit dem Eisspeichersystem

Eine sinnvolle Möglichkeit zur Optimierung des Primärquellensystems ist die Nutzung des Eisspeichers zur natürlichen Kühlung im Sommer. Dafür wird der Eisspeicher zum Ende der Heizperiode vollständig vereist, indem die Regeneration des Speichers unterbrochen wird. Das dann gebildete Eis steht als natürliche Kältequelle zur Verfügung.

Über den Entzugswärmetauscher wird dem Heizungssystem Wärme entzogen und dem Speichermedium zugeführt. Dabei schmilzt das Eis bzw. das Wasser wird erwärmt. Bei größeren erforderlichen Kühlleistungen kann das Wärmepumpensystem neben dem natürlichen Kühlen auch auf aktive Kühlung umgeschaltet werden. Die bei aktiver Kühlung entstehende Wärme wird im Eisspeicher eingelagert und steht als direkte Heizwärme am Anfang der Heizperiode zum Heizen zur Verfügung.





Solar-Luftabsorber für den Betrieb in Anlagen mit Eisspeicher und Wärmepumpe

Exakt aufeinander abgestimmte Systemkomponenten

Die Solar/Luftabsorber zur Aufnahme der Energie aus der Umgebungsluft und der solaren Einstrahlung sind speziell auf den Betrieb mit Eisspeicher und Wärmepumpe ausgelegt. Groß dimensionierte Verteiler- und Sammlerrohre ermöglichen die direkte Durchströmung mit dem Primärmedium (Solekreis) der Wärmepumpe. Mindestvolumenströme können bei geringem Druckverlust eingehalten werden. Die Absorber bestehen aus einem UV-beständigen Kunststoff und sind als Harfenabsorber konzipiert, die für eine möglichst große Oberfläche zweilagig angeordnet sind (Abb. oben).

Der Fokus der Wärmegewinnung liegt bei den Solar/Luftabsorbern auf der Umgebungsluft, da diese Tag und Nacht verfügbar ist. Die solare Einstrahlung ist eine willkommene zusätzliche Wärmequelle, die die Effektivität erhöht.

Die unverglasten Solar-Luftabsorber sind für den Einsatz in Wärmepumpenanlagen deshalb besonders gut geeignet, da sie neben einem attraktiven Preis auch mit den vergleichsweise niedrigen Temperaturen des Solekreises problemlos funktionieren. Bei verglasten Kollektoren bestünde die Gefahr, dass sich Luftfeuchtigkeit auf den Scheiben niederschlägt und die weitere Wärmeaufnahme behindert. Daher sind herkömmliche Solarkollektoren nur bedingt für Anlagen mit SolarEis-Speichern geeignet.

Auch die Wärmepumpe ist eine genau abgestimmte Komponente im System aus Eisspeicher und Solar/Luftabsorbern. Da die Temperaturen im Primärkreis während der Heizperiode zwischen $+25$ und -7 °C betragen können, muss der Kältekreis der Wärmepumpe auf das Eisspeicher-System optimiert werden. Hierfür eignen sich Viessmann Sole/Wasser-Wärmepumpen wie die Vitocal 300-G-Serie mit RCD-System (Refrigerant-Cycle-Diagnostic-System) und einem elektronisch gesteuerten Expansionsventil.

Exakte Regelung mit elektronischen Expansionsventilen

Gegenüber den sonst eingesetzten thermostatischen Expansionsventilen lassen sich elektronische Expansionsventile wesentlich exakter regeln. Angetrieben von einem Schrittmotor regeln sie den Kältemittel-Massenstrom proportional, bieten einen großen Regelbereich zwischen 10 und 100 Prozent und haben sehr kurze Öffnungs- und Schließzeiten. Das daraus resultierende feinfühlige Regelverhalten sorgt für eine konstante Temperatur am Verdampfer-Austritt und für eine gleichbleibende Überhitzung des Kältemittels, unabhängig vom jeweiligen Betriebszustand der Wärmepumpe. So kann der Verdichter stets mit höchstem Wirkungsgrad mit einer hohen Leistungszahl in allen Betriebszuständen betrieben werden.

Grundsätzlich sind elektronische Expansionsventile reine Stellglieder, die zu ihrer Funktion Sensoren und eine Regelung benötigen. Viessmann hat dafür das RCD-System entwickelt. Als Kältemittel-Kreislauf-Diagnose-System überwacht es permanent Temperaturen sowie Drücke an allen wesentlichen Stellen des Kältemittelkreislaufs. Alle wichtigen Werte werden gespeichert und stehen für eine Diagnose zur Verfügung.

Dabei wird auch die Energieaufnahme aus dem Stromnetz und die Wärmeabgabe an das Heizungssystem bilanziert. Zusammen mit dem elektronischen Expansionsventil sorgt das RCD-System durch ständige Überwachung aller relevanten Parameter für ein optimiertes Regelverhalten und damit für eine hohe Effizienz sowie niedrige Betriebskosten der damit ausgestatteten Wärmepumpen.

Sole/Wasser-Wärmepumpe Vitocal 350-G: RCD-System und elektronisches Expansionsventil gewährleisten in jedem Betriebszustand höchste Effizienz (COP = 4,6 bei B0/W35° C nach EN 14511)



Auslegungshinweise

- Für Heizleistungen bis 20 kW sind Systempakete erhältlich
- Dimensionierung der Rohrleitungen im Primärbereich: Volumenströme auf eine Spreizung von 3 bis max. 5 K auslegen
- Frostschutzmittel auf Glycolbasis mit geeigneten Inhibitoren für den Korrosionsschutz bis -15 °C verwenden (bei der Auslegung der Pumpe ist die Viskosität des Fördermediums zu berücksichtigen)
- Ausschachtmaß:
Durchmesser mindestens 3 m
Tiefe bei begehbarem Deckel 3,64 m (Oberkante Feinsandbett)
- Überlaufrohr des Speicherbehälters an ein Entwässerungssystem (Versickerung oder Kanalisation) anschließen

Montagehinweise

- Rohrleitungen, Armaturen und Formstücke der Primärleitungen und Solarleitungen müssen im Gebäude diffusionsdicht isoliert werden (Solemedium kann Temperaturen um den Gefrierpunkt aufweisen)
- Anschlussleitungen des Wärmetauschers spannungsfrei ausführen
- Bei der Inbetriebnahme die Wärmetauscherebenen der Reihe nach befüllen und ausreichend entlüften