Die problemlosere Wärmequelle

Eisspeicher ziehen in den Wohnungsbau ein

Der ebenerdig vergrabene Eisspeicher nahm Bauherrn Wilfried Marschinke (2. v. rechts) vor allem die Sorge, bei alternativen Erdwärmebohrungen eventuell auf Fels zu stoßen und dann auf den Kosten sitzen zu bleiben

Erdreich und Grundwasser als Energiequelle für die Wärmepumpe sind bekanntlich weit ergiebiger als Außenluft. Unter Umständen lassen jedoch die Untere Wasserbehörde wegen der Lage in einem Grundwasserschutzgebiet oder auch der felsige Boden eine Tiefenbohrung nicht zu. Oder es reicht die Grundstücksfläche nicht aus, um einen korrekt dimensionierten Flachkollektor im Garten zu vergraben. Trotzdem müssen diese Verhältnisse nicht das Aus für die Geothermie bedeuten: Der Eisspeicher macht's möglich.

Na, ja, um das gleich klar zu stellen: Der Begriff Eisspeicher berührt die physikalischen Verhältnisse nur am Rande. Eis fällt an, das schon. Aber in erster Linie heizt und kühlt das flüssige Wasser das Haus. Der Wechsel des Aggregatzustands (Wasser/Eis) bindet zusätzlich Latentwärme ein (Schmelzen/Erstarren), was vor allem bedeutet, dass sich das Speichervolumen erheblich reduziert. Der Tiefbauaufwand ist denn auch an zwei Tagen erledigt; der vorgefertigte Tank kommt per Lkw.

Zisterne im Vorgarten

Thermodynamisch gesehen leistet die wassergefüllte Betonzisterne unter dem Vorgartenbeet nicht mehr und nicht weniger als die bekannteren „Explorationsverfahren" zur Nutzung der oberflächennahen Erdwärme. Zwar darf sich der Eisspeicher im Endergebnis eventuell einige COP-Kommastellen gegenüber einer Vertikalsonde zugute halten, das hat aber mit der Bivalenz zu tun: Zur Regeneration ist regelmäßig ein Solarkollektor eingebunden. Insofern hinkt der Vergleich. Eindeutig spricht aber für den Tank, dass er bestimmte geologische wie auch Verfahrens- und Vertragsprobleme umgeht, an der die Erdlanze scheitern könnte.

Denn deshalb entscheiden sich immer mehr Bauherren für diese Lösung: erstens generelles Bohrverbot oder behördlicherseits eine Tiefenbegrenzung bis zum ersten Grundwasser-Stockwerk (teuer, weil jetzt mehr Sonden erforderlich). Zweitens entfällt das eventuell umständliche und bürokratische Genehmigungsverfahren. Drittens kein Bohrerfolgs- und damit Kostenrisiko, das ab der zweiten Ersatzbohrung in der Regel selbst zu tragen ist, viertens ausreichend Kühlenergie für heiße Sommertage, fünftens eine fast immer machbare Alternative zur ineffizienteren

Während der Heizsaison bildet sich um die Rohre im Eisspeicher Eis. Das dient dazu, Latentwärmegewinne am Ende der Heizsaison abzuschöpfen. Im Prinzip ist der Speicher so dimensioniert, dass er nicht vollständig durchfriert. Sollte er das tun, droht aber keine Berstgefahr. Das gefrierende Wasser wird sich nach oben hin ausdehnen, an den Wandungen zum wärmeren Erdreich hin bleibt ohnehin ein Wasserring stehen. Durch die Anordnung des Wärmetauschers und der Rohrleitungen ist gewährleistet, dass das Eis von unten nach oben wie eine Pyramide wächst

180 m² Holzhaus auf den Höhen des Westerwalds. Der Luftwärmetauscher rechts neben dem Haus gehört zur Luft-Wärmepumpe des Nachbargebäudes. Wilfried Marschinke: „Dort wird noch eine Trennwand gesetzt, damit wir das Geräusch nicht so stark hören. Wir haben uns auch aus diesem Grunde gleich von Anfang an für eine geothermische Wärmepumpe von Waterkotte entschieden. Die macht keinen Lärm, hat man uns versprochen."

Luft-Wasser-Wärmepumpe, sechstens Grundstücksgeometrie (Abstand der alternativen Sonden) ohne Belang, siebtens solare Warmwasserbereitung inbegriffen.

Einspruch von der Unteren Wasserbehörde

Stuttgart-Bad Cannstadt, neues Stadtarchiv: Unter dem denkmalgeschützten Fabrikgebäude des Baujahrs 1921 fließt etwa drei Meter unter der Bodengleiche mit sanfter Geschwindigkeit wertvolles Heilwasser. Die Stadt wollte sich nachhaltig geben, gedachte, eine Grundwasser-

Die Wärmepumpe im Stommel-Haus mit einer Heizleistung von 7,5 kW kommt von Waterkotte. Der Herner Hersteller hat mit Stommel-Haus einen entsprechenden Vertrag abgeschlossen. Waltraud Stommel: „Jeder zweite Stommel-Haus-Käufer entscheidet sich bereits heute für eine Wärmepumpe."

Wärmepumpe zu installieren, erhielt dann aber ob der Kostbarkeit – man heizt nicht mit einer Mineralquelle – das Aus von den zuständigen Stellen. Ebenfalls erlaubten die Behörden keine Vertikalsonden, da die 80 oder 100 Meter tiefen Bohrungen Tonschichten durchstoßen und damit zwei Grundwasserstockwerke verbunden hätten.

Das Architekturbüro agn Niederberghaus & Partner GmbH schlug deshalb einen 400 Kubikmeter großen Wassertank oberhalb der ersten trennenden Tonschicht vor. Der Bauherr, das Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung der LHS Stuttgart, stimmte dem Energiekonzept zu. Das muss wegen der teuren Folianten in den Regalen auf kleinste Temperatur- und Feuchteveränderungen rasch reagieren können. Im Mittelpunkt der realisierten Haustechnik steht eine gasbetriebene Absorberwärmepumpen-Anlage, die die Wärme dem Erdspeicher entzieht. Dessen Wasser friert teilweise ein und steht damit dem Archivbereich zur Kühlung und zur Entfeuchtung zu Verfügung.

Außentemperaturen am 13. April 2011, vormittags 11.00 Uhr: 10 °C

Bürogebäude in Düsseldorf: Ein vor Ort betonierter Speicher mit 80 Kubikmeter Inhalt bedient die Wärmepumpenanlage mit einer Heizleistung von 220 kW und einer Kühlleistung von 100 kW.

Hotel „Riva" in Konstanz. Das gehobene 4-Sterne-Hotel in unmittelbarer Nähe zum Bodensee verfügt über 55 Zimmer, drei Konferenzräume, Bar, Restaurants, zwei Küchen sowie einen Wellnessbereich mit Swimmingpool. Heizleistungsbedarf: ca. 300 kW; Kälteleistungsbedarf: ca. 200 kW. Energielieferanten: vier Gas-Absorptionswärmepumpen in Kombination mit einem saisonalen 170-m^3-Eisspeicher und einem Spitzenlastkessel.

Nachhaltiges Stommel-Haus

Stommel-Haus Rengsdorf/Westerwald: Bauherr Wilfried Marschinke wollte schon immer ein „naturnahes" Holzhaus. Bis dato wohnte die Familie – als sie noch eine vollständige Familie war – in Mülheim an der Ruhr. In diese Industrielandschaft passte ein Holzhaus nicht hinein. Mit dem Umzug auf die Höhen des Westerwalds oberhalb des Rheintals zwischen Bonn und Koblenz erfüllte sich das Ehepaar den langjährigen Wunsch. Zur Realisierung trug der Fertighausanbieter Stommel bei. Dessen Angebote lassen individuelle Variationen zu, sowohl was die Architektur als auch die technische Gebäudeausrüstung angeht.

Für Wilfried Marschinke sollte es schon eine Wärmepumpe sein, des nachhaltigen Charakters wegen, passend zum Baumaterial Holz. Stommel arbeitet mit konzessionierten Partnern zusammen. Im Musterungsgespräch beim Fertighaus-Lieferanten schlug das eingebundene Installations- und Planungsunternehmen Metternich Haustechnik statt der ursprünglich angedachten Vertikalsonden einen Eisspeicher mit 12 Kubikmeter Inhalt für das 180 m^2 große Eigenheim vor, der Jahresarbeitszahl wegen.

Geschäftsführer Frank Euteneuer zu den Gründen: „Stommel-Haus hat einen Vertrag mit Waterkotte. Das Herner Unternehmen liefert ohnehin schon mit die besten Wärmepumpen. Das bestätigen die aktuellen Feldmessungen bei neutralen Energieagenturen. Wir können im Verbund mit einem Eisspeicher und einigen Quadratmetern Kollektorfläche auf dem Carport des Anbaus die Jahresarbeitszahl

Eisspeichertemperatur am 13. April 2011, vormittags 11.00 Uhr: minus 0,9 °C

Metternich Haustechnik setzt zur Verrohrung überwiegend das Polypropylen-Rohr „Fusiotherm“ und das Verbundrohr „Climatherm“ ein, unter anderem deshalb, weil deren spezielle Formstücke nicht zu Querschnittsverengungen führen, „und wir folglich mit höheren Volumenströmen bei gleichem Innendurchmesser gegenüber anderen Rohren fahren können“, so Frank Euteneuer, Geschäftsführer Firma Metternich Haustechnik

auf über 5,0 hochpuschen, fünf Kilowattstunden Wärme aus einer Kilowattstunde Strom. Mit Hilfe des Kollektors regeneriert der Speicher in Teilen selbst im Winter. Das geht nicht mit einer Erdsonde. Da läuft Ihnen die Wärme weg, selbst wenn Sie sie im Sommer über die passive Kühlung in den Boden verschieben. Das klappt nicht so gut.“

Kosten ab zweitem Fehlversuch

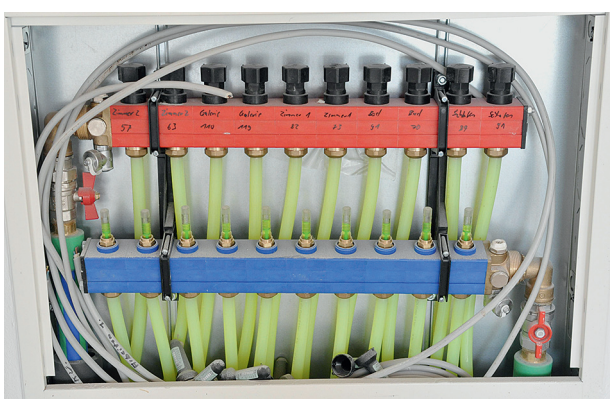
Der Bauherr akzeptierte die 4 000 Euro mehr gegenüber zwei Erdlanzen deshalb, weil am Ort die Wirtschaftlichkeitsrechnung einerseits und das Bohrrisiko andererseits für den Eisspeicher sprach. Auftraggeber Wilfried Marschinke: „Der Vertrag mit dem Bohrunternehmen sah keine Preisgarantie vor. Für den Fall, dass selbst eine vereinbarte eventuelle Ersatzbohrung im Fels stecken geblieben wäre, hätten wir jeden weiteren Versuch zusätzlich bezahlen müssen“. Die lockere obere Bodenschicht demgegenüber drängte sich für einen Eisspeicher förmlich auf.

Der misst in der Höhe 4 m, im Durchmesser 3 m, enthält 12 m³ Wasser und 650 m Wärmetauscherrohre aus Polyethylen mit einem Durchmesser von 32 mm. Er ist ebenerdig vergraben, der Tankdeckel befahrbar. Das geräumige Behältervolumen von rund 40 m³ hat etwas damit zu tun, dass das Wasser nicht bis zur Oberkante gefüllt sein darf, sondern ein ausreichender Abstand bleiben muss, damit der Wasserspiegel selbst im frostigen Winter noch in Höhe der tieferen warmen Erdreichschicht liegt. Denn die Oberfläche des Betonmantels fungiert als Geothermiesammler.

Diese Geothermie kriecht über die Wandung ins Wasser und über den Solekreislauf in die Wärmepumpe. In diesem Punkt unterscheidet sich das Verfahren nicht von dem klassischen Erdkollektor-Prinzip. Maßgeblich für die Wärmeleistung ist also neben dem Inhalt und der Kollektorfläche auch die Größe der Oberfläche der wärmetauschenden Hülle.

Eis als Wärmeleiter

In erster Linie wegen des solaren Ertrags klettert die Speichertemperatur zu Beginn der Heizperiode auf etwa 20 bis 25 °C, im Einzelfall auch noch höher. Im Winter fällt sie auf null Grad herunter. Um die PE-Rohre bildet sich ein Eispanzer. Die physikalischen Eigenschaften von Eis unterscheiden sich erheblich von denen vom Wasser: Die spezifische Wärme liegt nur noch bei 0,5 kcal/kg K. Auf der



Verteiler Fußbodenheizung. Die Zahlen auf dem roten Balken unterhalb der Raumbezeichnung geben zur hydraulischen Einregulierung die Literzahl an

Einige Hinweise zum Eisspeicher-Prinzip

Vorweg: Belastbare wissenschaftliche Wirtschaftlichkeits-Untersuchungen liegen nicht vor. Das hat auch damit etwas zu tun, dass die Wertigkeit der Funktionen Heizen, Kühlen, Warmwasserbereitung im Einzelfall zunächst bestimmt werden müssten, um dann gegenüber einer Luft-Wärmepumpe oder Erdkollektoren bilanzieren zu können. Tatsache ist, dass 1 m³ Eis trotz nur halb so großer eigener spezifischer Wärme im Vergleich zu Wasser immens viel (Latent-)Wärme abpuffern kann, sodass vom Speichervermögen her 1 m³ Eis 10 m³ Wasser entspricht. Man mache sich einfach klar, wie viel Schmelzwärme einem Eisblock zugeführt werden muss, bis er sich schließlich verflüssigt – und das alles bei konstanter Temperatur von 0 °C. Folglich kommt das Eisspeicher-System schon einmal mit relativ kleinem Bauvolumen aus. Das zahlt sich sozusagen ab frostigem Dezember/Januar aus.

Zu Beginn der Heizsaison können nach Erfahrungen des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart die Temperaturen im Behälter wegen eines warmen Sommers mit üppigem Solargewinn auf über 30 °C geklettert sein und somit Speicher- plus Kollektorleistung ausreichen, um ohne Wärmepumpe einige Zeit das Haus zu temperieren. Später schaltet sich die Wärmepumpe ein. Bis etwa 0 °C unterscheidet sich die Thermodynamik einer Wärmepumpenanlage mit Eisspeicher nicht wesentlich von der mit Erdkollektoren. Bei 0 °C setzt der Phasenwechsel ein. Über eine sehr lange Zeit findet jetzt die Wärmeentnahme konstant bei dieser Temperatur statt. Das ist eindeutig der große Vorteil dieses Systems gegenüber einer Luft-Wärmepumpe.

Erst wenn das gesamte Wasser durchgefroren ist, fällt die Eistemperatur auf –5 oder

Im Stommel-Haus paaren sich nachhaltiges Baumaterial und nachhaltige Heiztechnik

anderen Seite gibt das Eis beim Erstarren seine ehedem aufgenommene Kondensationswärme – als es verflüssigte – von rund 80 kcal/kg ab. Ebenfalls hat gefrorenes Wasser eine gute Wärmeleitfähigkeit.

Trotzdem macht sich Eis auf den Rohren als Wärmewiderstand bemerkbar. Es behindert den Wärmetausch vom Wasser im Behälter auf die Sole für die Wärmepumpe. Nach Helmut Lüdemann, Geschäftsführer der Isocal GmbH, Friedrichshafen, jenem Unternehmen, das die Speicher als industrielle Fertigprodukte unter dem Namen „SolarEis“ vertreibt, kompensiert jedoch folgender Effekt diesen Nachteil: „Wenn ein Luft/Luft- oder ein Luft/Wasser-Wärmetauscher vereist, leidet im Allgemeinen der Wärmeübergang aus der Luft auf das andere Medium. Bei unserem System ist das nicht so, die Rohre tauchen vollständig ins Wasser ein. Der zylindrische Eispanzer drum herum, der sich bildet, wenn die Wassertemperatur unter den Gefrierpunkt sinkt, vergrößert die ursprüngliche Oberfläche des PE-Rohres. Diese Oberflächenvergrößerung gleicht die erhöhten Dämmwerte des Eises aus.“

Der Wärmeinhalt des noch nicht erstarrten Wassers außerhalb des Eismantels gelange so letztlich ohne Verluste in die Wärmepumpe. „Wichtig ist deshalb, den Abstand der Schlangen im Behälter ausreichend zu bemessen, um einen Kurzschluss zu vermeiden.“

Die gewinnreiche Phase der Null Grad Celsius

Solange der Tank ein Gemenge von Eis und eiskaltem Wasser bevorratet und damit permanent die versteckte Latentwärme aufnimmt und abgibt, pendelt die Temperatur des Inhalts – und damit die Temperatur der Wärmequelle – stabil um Null Grad Celsius. Selbst wenn die Außentemperatur auf minus 10 oder minus 15 °C fallen sollte. Der ständige Wechsel des Aggregatzustands flüssig/fest, der mit hohen Energieströmen verbunden ist – und die der Phasenübergang dem Umfeld entnimmt oder ihm übergibt – macht’s möglich. Damit sticht das „SolarEis“-System ganz besonders jede Luftwärmepumpe aus, die bei sibirischen Verhältnissen nur noch mit niedrigstem Wirkungsgrad die Restwärme aus der minus 15-grädigen Atmosphäre saugen müsste und damit mit niedrigster Heizzahl arbeiten würde.

Wärmepumpen-Protagonist Klemens Waterkotte, der Ende 1969 erstmals im Wohnungsbau einen Gartenkollektor zur Heizenergieversorgung eines Hauses einsetzte – sein eigenes – und damit als „Entdecker“ der dezentralen Geothermie zur Raumbeheizung gilt (Erdreich-Wasser-Wärmepumpe für ein Einfamilienhaus, Erstveröffentlichung in Fernwärme International, Band 30, 1972), verdeutlicht den Unterschied plakativ mit Zahlen: „Grob gesehen kann 1 Kilogramm Luft maximal 0,25 Kilokalorien Wärme abgeben, wenn man sie um 1 °C abkühlt. Wasser gibt je Kilogramm viermal mehr Kalorien ab, nämlich 1,0 Kilokalorien. Nur entspricht 1 Kilogramm Wasser genau 1 Liter Wasser, während 800 Liter Luft gerade mal 1 Kilogramm wiegen. Man muss also 3 200 Liter Luft um 1 Grad Celsius entwärmen, um ähnlich viel Energie zu gewinnen wie bei der Entwärmung von einem einzigen Liter Wasser“.

Mitte März schließlich dürfte der gesamte Inhalt vereist sein und nun auch seine Temperatur tiefer in den Minusbereich wandern. Latentwärmegewinne fallen jetzt nicht mehr an. Zu diesem Zeitpunkt, Anfang Frühjahr, führt das freilich nicht zu Komforteinbußen. Einfach deshalb nicht, weil naturgemäß ab April der Wärmebedarf des Hauses und der Zimmer sinkt. Die Sole zirkuliert zwischen Wär-

–10 °C – wenn die Nachheizung durch den Solarkollektor überhaupt diesen Zustand zulassen sollte. Der oder das hängt vom Verhältnis Wärmeleistung zu Kollektorfläche zu Speichervolumen ab. Sieht man die reine Heizseite, hätte zu diesem Zeitpunkt der Erdkollektor wegen seiner Temperaturen grundsätzlich im Plusbereich Vorteile.
Dem Abstand der Rohrwendeln im Behälter kommt eine entscheidende Bedeutung zu. Der Inhalt sollte beim Entladen nicht vollständig zu einem Eisblock gefrieren, da Durchströmräume für das Wasser vorhanden sein müssen. Damit zwischen Eispanzer an der Wendel und Wasser ein effizienter Wärmeübergang bis zur Sole im Rohr stattfinden kann. Demzufolge müssen die einzelnen Wärmetauscherrohre genügend Abstand voneinander haben. Das hat einen entsprechenden Platzbedarf zur Folge. Nun könnte man auch auf einige Meter Rohr verzichten – vielleicht 400 statt 650 m –, doch setzt ein attraktiver Latentwärmegewinn eine bestimmte Menge Eis voraus. Nehmen wir als Beispiel gewollt eine Tonne Eis: Je kürzer die Rohrstrecke, desto dicker muss der Eiszylinder je Meter Rohr sein, um eine Tonne zu erhalten. Umso höher wächst leider aber auch der Widerstand der Wärmeübertragung. Hier setzt also die Optimierungsarbeit des Eisspeicher-Lieferanten an.
Für Ein- und Zweifamilienhäuser spielt das nicht die Rolle; bei Mehrfamilienhäusern und Großobjekten addiert sich unter Umständen aufgrund des notwendigerweise größeren Tankvolumens als zweiter Nachteil die Notwendigkeit auf, den Wasserinhalt für einen gleichmäßigen Wärmeentzug in Bewegung halten zu müssen. Um der Gefahr zu begegnen, dass sich fleckenförmig frühzeitig Eispanzer und Eisblöcke als Wärmewiderstand bilden, während in anderen Zonen des Behälters noch Plustemperaturen herrschen.

mequelle und Wärmeerzeuger mit weitgehend denselben konstanten Werten wie zuvor. Die Waterkotte-Wärmepumpe muss lediglich etwas länger laufen oder häufiger anspringen.

Solarkollektor zur Steuerung

Je nach Temperaturverhältnissen regeneriert der Solarkollektor auf dem Carport den Speicher oder aber beliefert den Warmwasserboiler. Diese Optimierungsaufgabe übernehmen Mikroprozessoren. Entsprechend platzierte Fühler melden ihnen, in welche Richtung sie die Weichen für den Wärmestrom zu stellen haben. Ab Übergang April/Mai schmilzt das Eis. Die Speichertemperatur verharrt einige Wochen bei 0 °C, weil die Heizung in der Übergangszeit zunächst von der Schmelzwärme lebt. Die Solarregelung belädt ausschließlich den Brauchwasserboiler.

Zu Beginn der Kühlperiode Ende Frühjahr/Anfang Sommer sparen die noch tiefen Temperaturen des Tanks Transportenergie. Es zirkuliert wenig, aber eine sehr kalte Sole. Die Förderpumpe schleust das Speicherwasser an der Wärmepumpe vorbei direkt zu einem separaten Wärmetauscher für die passive Kühlung. Selbstverständlich muss sich die Temperatur in den Fußbodenrohren am Kondensationspunkt der Luft in den Hohlräumen des Bodens orientieren. Sie darf nicht zu tief liegen, es darf kein Schwitzwasser auftreten. Das täte dem Material nicht gut.

„Ein saisonaler Eisspeicher ist in der Kältetechnik nichts Neues“, sagt Helmut Lüdemann, „wir haben das ganze Verfahren aber so konfiguriert, dass wir viel kurzfristiger den wechselnden Wärme- oder den Kältebedarf abdecken können, da sich der Be- und Entladezyklus vor allem mit Hilfe der Kollektoren steuern lässt.“

Bernd Genath

www.waterkotte.de
www.isocal.de
www.stommel-haus.de
www.metternich-haustechnik.de