



Bild 1. Wasser vom Rhein nach Wuppertal – das Maschinenhaus der Alten Pumpstation Haan. © Bernd Genath

Wärmepumpen: Die hohe Kunst der Eisspeicher-Planung

Dimensionierungsfragen am Beispiel der 120-m³-Anlage Alte Pumpstation Haan

| BERND GENATH

Die aus rotem und braunem Backstein gestaltete Alte Pumpstation Haan (Bild 1) besinnt sich ihrer Existenzgrundlage: dem Wasser. Das Industriedenkmal vor den Toren Düsseldorfs, heute sowohl Bürogebäude als auch Kulturstätte, temperiert sich mit einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe, doch designten die Planer diese Heiz- und Kühltechnik als Hybrid, nämlich in Kombination mit einem Solarzaun. Als Bindeglied ordneten sie zwischen beiden Wärmeerzeugern einen Eisspeicher an.



Bild 2. Der
Eisspeicher in der
Bauphase, Durch-
messer ca. 8 m.

© Bernd Genath

Der Tank im Grundstück (**Bild 2**) lagert nicht nur die Solarwärme ein, um sie der Wärmepumpe (**Bild 3**) zur Verfügung zu stellen, er reichert sich darüber hinaus zusätzlich über die Betonwand als Wärmetauscher mit örtlicher Geothermie an.

Eis für den Sommer

Im Begriff „Eisspeicher“ schwingen neben der Funktion natürlich auch Marketing und Werbung mit: Heizen mit Eis – das ist emotional schwer begreifbar und



Bild 3. Die reversible Viessmann-Wärmepumpe könnte auch im Sommer aktiv kühlen. Dafür ist aber zunächst der „passive“ Eisblock im Speicher zuständig.

© Bernd Genath



Bild 4. Der Solarzaun grenzt das Grundstück zur Bahnlinie ab.

© Bernd Genath



Bild 5. Die Absorberrohre an der Innenwand im Speicher lagern die Solarwärme ein. © Bernd Genath

deswegen Aufmerksamkeit heischend. Tatsächlich bezieht sich „Eisspeicher“ in erster Linie auf die sommerliche Kühlperiode. In der Heizsaison beschränkt sich die Vereisung auf die letzten Winterwochen, weil der Sonnenkollektor dem entgegenwirkt: Der Solarzaun – der tatsächlich auch als Zaun zum Nachbargrundstück fungiert (**Bild 4**) – belädt den Energiepuffer selbst noch bei fehlender Sonne, aber milden Temperaturen. Erst im März/April wird man ihn abschalten und zulassen, dass die Wärmepumpe bis in den Gefrierpunkt hinein den Wasserpuffer entlädt, damit an den Wärmetauscherrohren (**Bild 5**) im Betonbecken ein festes Kältereservoir anwachsen kann.

Wie sieht die Rechnung aus? Im Wasser steckt bereits die Schmelzwärme des ursprünglichen Eises. Diese je nach Blickwinkel Schmelz- oder Erstarrungsenergie beträgt 330 kJ/kg oder 83 kcal/kg. Entnimmt man Wasser von 0°C diese latente Wärme, erstarrt es zu Eis von 0°C. Die von den Stadtwerken gelieferten 120 m³ im Betontank des Grundstücks vor dem historischen Werksgebäude in Haan enthalten mithin, bezogen auf den Kristallisationspunkt von 0°C, diese 83 kcal/kg plus weitere 17 kcal/kg, wegen der Wassertemperatur im Trinkwassernetz von etwa 17°C.

Der Wärmeinhalt

Daraus errechnet sich ein nutzbares Wärmedepot von rund 14 000 kWh. Nämlich: Die Abkühlung von 120 000 L Wasser von 17°C auf 0°C setzt rund 2,0 Mio. kcal frei und die Erstarrung von 120 000 L rund 10 Mio. kcal. Die total 12 Mio. kcal durch 860 kcal/kWh geteilt, ergeben die genannten etwa 14 000 kWh. Die darf

zu seiner Verdampfung das Kältemittel der Wärmepumpe beinahe kostenlos dem Eisspeicher entnehmen.

Allerdings handelt es sich um Anergie, weniger um Exergie. Um diesen Betrag auf ein verwertbares Temperaturniveau anzuheben, bedarf es des Kompressors der Wärmepumpe. Da nach dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik jedoch alle Energie erhalten bleibt, fließt die elektrische Leistungsaufnahme des Verdichters wenig später ebenfalls als Wärme in den Heizungsvorlauf.

Natürlich schaffen der Energieinhalt des Puffers und die Kompressionswärme nur kurzfristig warme Zimmer. Das permanente Defizit in Form von permanenten Verlusten müssen der Kollektorzaun und die Geothermie decken. Die Planer gehen von einem COP, inklusive Warmwasserbereitung, von 5,3 bis 5,4 aus. Das klingt gut. Doch basiert dieser Wert nicht auf ein ΔT von 35 K, nämlich zwischen 0°C Quellen- und 35°C Vorlauftemperatur. Solch einen Ertrag würde die Spreizung kaum zulassen. Vielmehr erwirtschaftet den hohen COP der Solarkollektor, der das Speicherwasser auch im Winter in den Plusbereich anhebt, sodass die Wärmepumpe im Mittel mit einer Umwelttemperatur angefahren wird, die einiges über dem Gefrierpunkt liegt.

Damit steckt eins der Risiken im kalkulierten Solarangebot. Der Eisspeicher als Energiequelle für eine Sole/Wasser-Wärmepumpe steht deshalb nur bedingt in Konkurrenz mit der Erdreich-Vertikalsonde. Denn zur Dimensionierung eines schon fast klassischen Sondenfelds liegen genügend gesicherte Erfahrungswerte vor, die Ausbeute ist relativ exakt berechenbar. Die Entscheider sehen denn auch den Eisspeicher weniger als Alternative zu einer problemlos möglichen geothermischen Wärmepumpe, sondern als Ausweg im Falle einer unmöglichen oder schwierig realisierbaren geothermischen Wärmepumpe.

Auf solch missliche Verhältnisse stießen die TGA-Ingenieure im Umfeld der Renovierung der Alten Pumpstation Haan. Sie mussten mit gleich zwei Schwierigkeiten fertig werden: Zum einen zeigte sich der Boden widerspenstig. Ralf Mních, Chef des Planungsbüros PBS & Partner, Haan, einer der Eigentümer des Objekts und Planer der Anlage: „Wir liegen hier am Ausläufer des Bergischen Landes, das heißt mit Fels- und Kalkgestein unter uns, in das wir hätten bohren müssen. Das wäre erheblich ins Geld gegangen.“

Aufwendiges Genehmigungsverfahren

Des Weiteren befindet sich in 1000 m Luftlinie eine Mineralquelle. „Dort wird Mineralwasser abgefüllt. Im Umkreis der ‚Harder Quelle‘ sehen die Behörden geothermische Bohrungen nicht gerne. Die Betreiber der Quelle haben sich einen Schutz vor eventuellen Verunreinigungen einräumen lassen. Nun dürfte zwar eine sorgsam ausgeführte Tiefenbohrung, die eventuell zwei Grundwasserstockwerke verbindet, die Grundwasserqualität nicht beeinflussen, aber wir hätten uns durch ein aufwendiges Genehmigungs- und Messverfahren kämpfen müssen. Und was dann ganz zum Schluss die Untere Wasserbehörde sagt, weiß auch niemand.“

Der Eisspeicher bot sich mithin sowohl von der Kosten- als auch von der Genehmigungsseite her als die weniger riskante Installation an. „Und über eine Nutzungszeit von 20 oder 25 Jahren gesehen ist er in jedem Fall die ökonomischere Variante gegenüber einer Luft-Wärmepumpe.“

Schon deshalb ökonomischer, weil die Anlage auch passiv kühlen soll. Die Vereisung liefert die Kühlenergie für die Monate ab Ende Mai bis Ende Juni, so die Kalkulation. Der Energieaufwand beschränkt sich in dieser Periode auf den Stromverbrauch der Umwälzpumpen. „Mit der Planung solcher Systeme begeben wir uns eigentlich noch auf Neuland“, räumt Ralf Mnich an. „Wir wissen einiges über das Entladungs- und Beladungsverhalten des Speichers, aber noch nicht alles. Es fehlt des Weiteren an einem anerkannten Regelwerk, zum Beispiel an einer entsprechenden VDI-Richtlinie, es fehlt an Software. Einige Hersteller bieten für Ein- und Zweifamilienhäuser Komplett-Systeme an. Die sind durchkonfiguriert und praxiserprobt. Mit denen liegt man auf der richtigen Seite. Im Objektgeschäft dagegen stecken wir quasi noch in der Pilotphase.“

Geregeltes Einfrieren

Das Optimieren ist ein Taktieren, ganz besonders im Hinblick auf die Prognose zum Jahrestemperaturverlauf. „Womit ist zu rechnen, mit sehr viel Heizenergie oder kommt ein heißer Sommer auf uns zu mit einem hohem Bedarf an Kühlenergie? Diese Frage entscheidet über die Steuerung der Vereisung. Wann soll die einsetzen, Ende Februar oder erst Ende März/Anfang April? Je später, desto preiswerter wird die Kühlsaison. Sollten wir dagegen im März/April schon fröhsommerliche Wochen haben, wird sich kaum noch Eisvolumen aufbauen. Das heißt, die Wärmepumpe müsste in der Kühlsaison aktiv und damit teuer die Temperatur aus den Büroräumen holen.“

Zur Steuerung der Vereisung dient in erster Linie der Solarabsorber als Grundstückszaun. Wegen der realen Zaunfunktion und wegen des Versuchcharakters sparten die Bauherren nicht mit dem Quadratmeter Fläche. Die Einfriedung wird ihrer Aufgabe als „Regenerator“ des Eisspeichers immer nachkommen können. In einer „normalen“ Investitionsrechnung wäre indes der Sonnensammler eine sensible Position: Welche Leistung bildet das wirtschaftliche Optimum? Der Absorber gilt als das wichtigste Glied in der Regelstrecke. Er steuert die Vereisung durch Zu- oder Abschalten seiner ganzen oder nur Teile seiner Fläche.

Wenig Einfluss auf den Jahresnutzungsgrad

Ihre Regeneratorfunktion nimmt die Abgrenzung auch ohne Sonne, mit Außenluft im Plusbereich, wahr. Denn es genügt wenig direkte Einstrahlung, um das Wasserpelster zumindest auf ein Temperaturniveau oberhalb der Erstarrung zu halten. Ralf Mnich erklärt das Schema: „Wir sehen ja an diesem Jahr 2013, dass man damit rechnen muss, noch im April zu heizen. Also denke ich, wir beginnen Ende März/Anfang April mit der Vereisung. Und zwar über einen hohen Wärmeentzug: Wir stellen den Absorber einfach ab, bringen keine Wärme mehr in den Speicher hinein. Dem Wasser die latente Wärme, die Kristallisationswärme, vollständig zu entnehmen, dürfte bei den 120 m³ Inhalt 10 bis 15 Tage dauern. Die Wärmepumpe arbeitet trotzdem mit einem guten COP, weil sich der Phasenwechsel konstant bei 0°C abspielt und trotz Eiskruste anfangs die Soletemperatur nur minimal sinkt. Die spezielle Physik ist ja die Pointe des Verfahrens.“

Was passiert, wenn der Tauscher zu früh Eis produziert? Dann müsste im dritten Drittel der Heizperiode die Wärmepumpe mit einem Null-Grad-Medium fertig wer-

den, also mit einem hohen Delta T, folglich mit einem niedrigen COP arbeiten. „Allerdings“, sagt Ralf Mnich, wäre das nicht so tragisch. Gegen Ende der Heizperiode bewegen sich die Außentemperaturen schon im Plusbereich und der Wärmebedarf der Wohnungen im Teillastbereich. Das kann die Jahresnutzungszahl ohne größere Abstriche verkraften.“

Verschiedene Fließwege

Bei Lufttemperaturen von + 5°C und mehr geht der Umweltwärmestrom nicht über den Eisspeicher. Die Sole zirkuliert direkt vom Absorberzaun zur Wärmepumpe. „Regelungstechnisch ist jedoch darauf zu achten, dass der kalte Rücklauf nicht den Kollektor vereist. Sein unterster Betriebspunkt liegt bei bewölktem Himmel bei den genannten 5°C. Kommt Sonne (Strahlungswärme) hinzu, also tagsüber bei blauem Himmel, funktioniert der Absorber auch unter 5°C.“

Wegen dieser Vielfalt der Möglichkeiten schwärmt Ralf Mnich regelrecht von dem System: „Daraus resultiert die hohe Arbeitszahl. Die Regelung vergleicht permanent die Temperaturen der Wärmequellenseite und steuert entsprechend die Wärmepumpe an. Wenn sich bei Sonnenschein die Sole tagsüber auf 10, 15 oder 20°C temperiert, strömt sie direkt zur Maschine. Die muss dann für den Vorlauf nur noch 10 oder 20°C draufpacken. Das ist kein hoher Hub, das ist ein hoher COP. In der Übergangszeit wird die Anlage vornehmlich nach diesem Fließschema arbeiten.“

Nehmen wir als kältesten Monat den Februar an. Wie sieht dann das Flussbild aus? „Wie gesagt, wir unterscheiden zwischen der Wassertemperatur beziehungsweise der Temperatur im Eisspeicher einerseits und der Soletemperatur andererseits. Der Regler zur Wärmepumpe gibt die jeweils höhere Temperatur frei. Diese verschiedenen Betriebsarten machen den Eisspeicher so spannend. Wir gehen im Jahresmittel von Arbeitszahlen in der Größenordnung von 5,8 bis 6,2 aus, in diesem Fall ohne Warmwasserbereitung gerechnet. Diese Werte stützen sich auf Simulationen der Fachhochschule Biberach. Dort sind solche Systeme installiert und dort werden sie permanent fundiert begleitet und ausgewertet. Solche Arbeitszahlen sind mit konventionellen Erdsondenanlagen nicht zu schaffen. Zugegeben, der Vergleich verbietet sich, weil wir ja einen Kollektor mit einbinden.“

Schema der Kühlung

Auch die Kühlung konzentriert sich nicht auf ein einziges Schema, sondern schöpft das Spektrum des Angebots aus. „Die Wärme- oder Kältekapazität, die im Wechsel des Aggregatzustands steckt, ist enorm. Wir müssen pro 1 kg Eis 330 kJ in den Block hineinstecken, um ihn zunächst einmal zu verflüssigen, um ihn aufzutauen. Die Energie entnehmen wir ausschließlich aus dem Gebäude. Dessen Wärme wollen wir ja abführen. Den Absorber schalten wir weg. Allein das Auftauen dauert seine Zeit. Danach steht uns noch eine Wassertemperatur zum Kühlen bis etwa 18°C zur Verfügung.“

In der Gesamtbilanz sehe es so aus, „dass wohl zu 80 Prozent die Kristallisationsenergie und zu 20 Prozent die sensible Energie für den sommerlichen Temperaturkomfort in den Räumen zuständig ist. Das Zeitfenster kann sehr groß

sein. Bei unserem Gebäude besteht zudem die Möglichkeit, über die Nachtlüftung Wärme abzufahren.“

Hat der Eisspeicher zukünftig die erste Priorität? „Er umgeht viele Schwierigkeiten, die hatten wir ja angesprochen. Man vergesse auch nicht die Notwendigkeit der Erneuerung der Betriebsgenehmigung: Die wasserrechtliche Genehmigung für Brunnen- und Erdsondenbohrungen werden ja nur für die Dauer von 20 Jahren vom Umweltamt oder von den Unteren Wasserbehörden ausgesprochen. Sie verlängern sich nicht automatisch. Der Antrag muss danach erneut gestellt werden. In dieser Zeit kann sich die politische Ansicht zu dieser Technologie ändern, die Geothermie kann sich verändern, der Bebauungsplan kann sich ändern. All diese Ungewissheiten umgeht man mit dem Eisspeicher.“

Das sei sein riesiger Vorteil. „Doch begehen wir mit ihm Neuland. Wenn das Thema Kühlen nicht ansteht und die Bodensituation hinsichtlich Ergiebigkeit und behördlicher Erlaubnis nicht dagegen spricht, steht die Vertikalsonde nach wie vor mit in der Überlegung.“

Kontakt

PBS & PARTNER

Zur Pumpstation 1

D-42781 Haan

Tel. (02129) 375 72-0

Fax (02129) 375 72-23

E-Mail: info@pbs-partner.de

www.pbs-partner.de