

## Unterirdische saisonale Kältespeicherung in den Niederlanden

Guido Bakema & Burkhard Sanner

In den Niederlanden wird seit längerem Grundwasser zur Kühlung von Gebäuden und Industrieprozessen herangezogen. Um die zunehmende Austrocknung von natürlichen und landwirtschaftlich genutzten Gebieten und die Abnahme des Vorrats an qualitativ gutem Grundwasser zu reduzieren, wird durch politische Vorgaben (Verbote,

Abgaben) die reine Kühlung mit Grundwasser unattraktiv oder unmöglich gemacht. Als Alternative wurde die saisonale Kältespeicherung entwickelt, die langfristig ein thermisches und hydraulisches Gleichgewicht in Erdreich und Grundwasser erhält und zudem noch energiesparend wirkt. Saisonale Kältespeicherung ersetzt inzwischen nicht nur Anlagen mit Grundwasserkühlung, sondern kann sich auch gegenüber herkömmlicher Kühltechnik mit Abfuhr der Wärme an die Luft behaupten.

Zwei Varianten sind möglich (Abb. 15):

- Aquiferspeicher im Wechselbetrieb  
Hierbei wird im Winter aus einer Brunnen(galerie) Grundwasser abgepumpt, mit Hilfe der kalten Außenluft abgekühlt und in die andere Brunnen(galerie) wieder eingeleitet. Im Sommer wird der Betrieb umgekehrt, aus dem (den) Brunnen, in die im Winter kaltes Wasser eingeleitet wurde, wird nunmehr gefördert und das durch den Kühlprozeß erwärmte Wasser in den (die) erstgenannten Brunnen eingeleitet. Nach einigen Jahren entstehen „kalte“ und „warme“ Brunnen.
- Aquiferspeicher im Durchflußprinzip  
Während des ganzen Jahres wird aus dem (den) gleichen Brunnen gefördert und in den (die) anderen Brunnen eingeleitet. Dabei wird dem Aquifer im Sommer erwärmtes und im Winter abgekühltes Wasser zugeführt, an dem (den) Entnahmekunnen stellt sich eine Mitteltemperatur ein, die dauerhaft etwa bei der ursprünglichen Grundwassertemperatur liegen sollte.

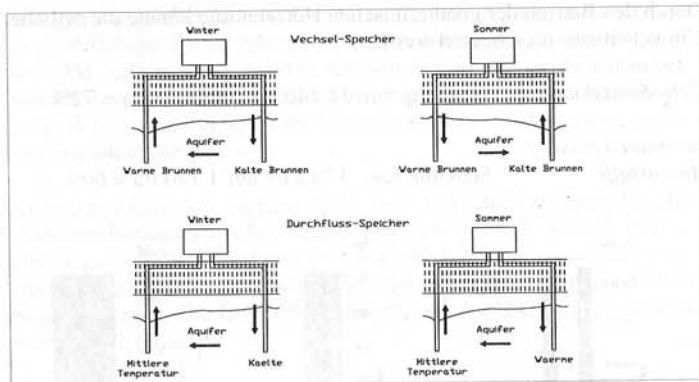


Abb. 15: Schema der saisonalen Kältespeicherung im Wechsel- (oben) bzw. Durchfluß- (unten) Prinzip.

Projekt	Ort	Jahr	Bemerkungen	Betriebsart
Provinzhaus	Zwolle	1985	Bürogebäude, Zuluft und Kollektoren	Wechsel
Perscombinatie	Amsterdam	1987	Druckereihalle, Trockenkühlturm	Wechsel
Bürogebäude	Schiedam	1992	Bürogebäude, Zuluftvorwärmung	Wechsel
Groene Hart	Gouda	1992	Krankenhaus, Zuluftvorwärmung	Wechsel
BAM Büro	Bunnik	1993	Bürogebäude, Zuluftvorwärmung	Wechsel
IBM Büro	Zoetermeer	1993	Bürogebäude/Computer, Kühlturm	Wechsel
Hedera	Luttelgeest	1993	Gewächshaus, Bodenkühlung	Durchfluß
Freesia	Gameren	1993	Gewächshaus, Bodenkühlung	Durchfluß
Jaarbeurs	Utrecht	1993	Mehrzweckhalle, Zuluftvorwärmung	Wechsel
Museonder	Hoge Veluwe	1993	Museumsräume, Wärmepumpe	Durchfluß
Pilzfarm	Gastel	1994	Pilzzucht-Raumkühlung, Zuluft	Durchfluß
Schweinezucht	Raalte	1994	Schweinestall, Zuluftvorwärmung	Durchfluß
<b>Wärmespeicherung:</b>				
Universität	Utrecht	1989	Heizung von Institutsgebäuden, Abwärme von BHKW (bis 90 °C!)	
Heuvelgalerie	Eindhoven	1992	Einkaufszentrum, Wärmepumpen	

Tab. 17: Saisonale Kältespeicher in den Niederlanden, Stand Herbst 1994

Die Abkühlung des Wassers im Winter kann auf verschiedene Weise vorgenommen werden, z.B. durch einfache Luft-Wasser-Wärmetauscher (Trockenkühltürme); das im Winter verhältnismäßig warme Grundwasser kann aber auch zur Vorheizung der den Räumen zugeführten Außenluft dienen, dabei abkühlen und auch noch eine Einsparung an Heizenergie bewirken. An einigen Beispielen aus den Niederlanden sollen die verschiedenen Varianten und Anwendungsmöglichkeiten (Tab. 16) verdeutlicht werden. Tab. 17 gibt einen Überblick über die bis Herbst 1994 gebauten Anlagen.

Kältequellen	Kühlbedarf
Luft	Raumkühlung
Kühlturm	Bürogebäude
Luftkühler	Flughafen
Zuluftvorwärmung	Konzerthalle
	Mehrzweckhalle
	etc.
Wasser	Prozeßkühlung
Fluß	Chemie
Bach	Kunststoffverarbeitung.
Kanal	Nahrungsmittel/Getränke
See	Landwirtschaft
Becken	Gewächshäuser
	Pilzfarmen
	Schweinezucht

Tab. 16: Kältequellen im Winter und Kühlanwendungen

Die Temperatur des Grundwassers in den durch die Speicher erschlossenen Teufen liegt in den Niederlanden bei 11-12 °C. Abgesehen von den beiden Wärmespeicheranlagen sind die Wassertemperaturen bei der Einspeisung nach Wärmeaufnahme während des Kühlprozesses im Sommer immer unter 20 °C, bei der winterlichen Kälteeinspeicherung immer über 4 °C.

Eine der ersten Anlagen zur saisonalen Kältespeicherung in den Niederlanden wurde in der Druckerei Perscombinatie in Amsterdam errichtet. Sie sollte dazu dienen, eine neuerrichtete Halle mit Rotationsdruckmaschinen im Sommer zu kühlen. Dazu wird im Winter Grundwasser entnommen, mit kalter Außenluft auf etwa 9 °C abgekühlt und wieder in den Aquifer geleitet. Im Sommer kann das kalte Wasser mit max. 120 m<sup>3</sup>/h entnommen werden, es versorgt die Raumkühlung mit bis zu 550 kW Kälte und wird danach auf etwa 14 °C erwärmt wieder dem Aquifer zugeführt (Abb. 18). Bis zu einer Anpassung des Systems im Jahre 1992 wurden im Winter 6 °C und im Sommer 10 °C eingeleitet. Die 75 m voneinander entfernten Brunnen erreichen den Aquifer in 60 m Teufe und sind insgesamt 125 m tief. Nach der Anfangsphase sollen jährlich 720 MWh Kälte geliefert werden.

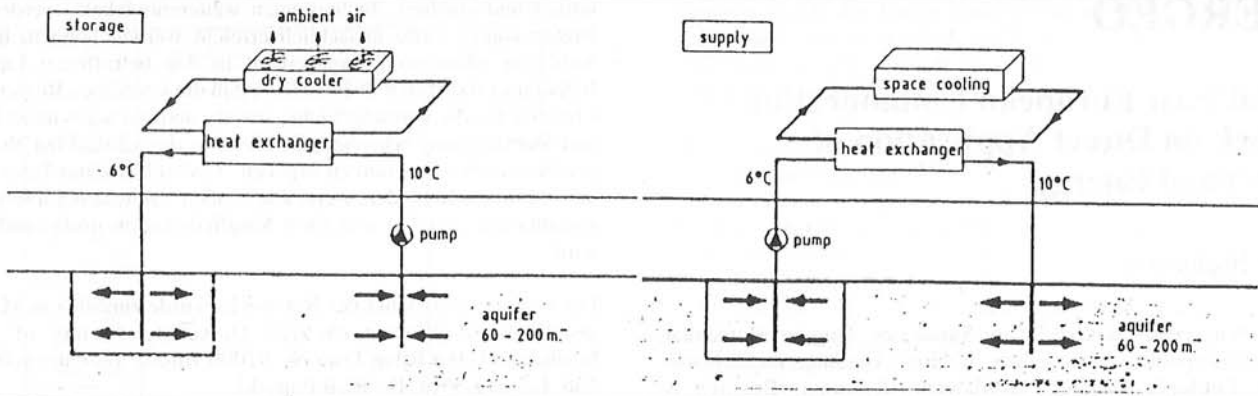


Abb. 18: Schema der Anlage Perscombinatie, Amsterdam (nach KOOIMAN & VAN LOON, 1991)

1993 wurde eine Kältespeicheranlage im Verwaltungsgebäude von IBM in Zoetermeer in Betrieb genommen. Diese Anlage muß eine Kälteleistung von 950 kW erreichen und pro Sommer im Mittel 1200 MWh Kälte liefern. Je 2 kalte und 2 warme Brunnen sind 200 m voneinander entfernt 70 m tief angelegt worden. Das brackische Wasser des Aquifers in Zoetermeer mit recht hohem Methangehalt macht es erforderlich, das gesamte System ständig unter 1,5 bar Druck zu halten. Um die stufenweise regulierbare Pumpleistung in den Brunnen an den jeweiligen Bedarf des Gebäudesystems anzupassen, wurde ein Ausgleichstank vorgesehen. Die Anlage kostete ca. 1,7 Mio. Gulden (etwa 1,5 Mio. DM), die Amortisationszeit beträgt 6 Jahre, konnte durch Gewährung einer staatlichen Förderung jedoch auf 4 Jahre reduziert werden.

Ebenfalls 1993 wurde in der Niederländischen Industriemesse Utrecht (Jaarbeurs) eine neue Mehrzweckhalle eröffnet. Diese Halle („De Prins van Oranje“) ist mit 85 m Breite und 185 m Länge die größte in den Benelux-Ländern. Hier wird die Kälte im Winter durch Vorwärmung der kalten Zuluft zur Halle gewonnen. Das Grundwassersystem ist vom Gebäudesystem durch einen Wärmetauscher getrennt. Wegen der besonderen Betriebsverhältnisse (Veranstaltungen mit bis zu 25.000 Personen) muß das System hohe Spitzenlasten von 2640 kW bewältigen, in der gesamten Kühlsaison werden jedoch nur 400 MWh Kälte benötigt. 2 kalte und 3 warme Brunnen in 200 m Entfernung versorgen das System mit Wasser aus einem Aquifer in 15-45 m Tiefe. Die Kältespeicheranlage war in diesem Fall mit ungefähr 3 Mio. Gulden (2,7 Mio. DM) kostengünstiger als ein entsprechendes konventionelles System mit Kältemaschinen.

Das 450-Betten-Krankenhaus „Groene Hart“ in Gouda (Abb. 19) wird seit Anfang 1993 mit einem saisonalen Kältespeicher gekühlt. Dabei



Abb. 19: Krankenhaus Groene Hart in Gouda

können bis zu 600 kW Kälte mit nur 10 kW elektrischer Antriebsleistung erreicht werden; 310 MWh Kälte sind im Mittel in jedem Sommer durch den Aquifer zu liefern. Die Amortisationszeit der neuen Anlage beträgt 4,6 Jahre.

Bei der hochentwickelten Gartenbautechnik in den Niederlanden ist es nicht verwunderlich, daß Kältespeicherung auch in Gewächshäusern zum Einsatz kommt. So sind für einige Pflanzen zu hohe Temperaturen im Wurzelbereich schädlich. In einer Hedera-Zucht (Efeu) in Luttelgeest werden im Sommer die Alumiumpyramiden, in denen die

Pflanztöpfe sitzen, mit Grundwasser gekühlt. Das Grundwasser wird aus einem 65 m tiefen Brunnen entnommen und in einen weiteren, 70 m entfernten Brunnen wieder eingeleitet. Damit das Grundwasser dadurch nicht stetig erwärmt wird, wird im Winter abgekühltes Grundwasser in den Schluckbrunnen geführt. Somit ist eine Kältespeicheranlage im Durchfluß-Prinzip (Abb. 15) entstanden. Die Anlage kostete 190.000 Gulden gegenüber 150.000 Gulden für eine vergleichbare Anlage mit elektrisch betriebenen Kaltwassersatz. Die jährlichen Betriebskosten liegen jedoch statt bei 9000 Gulden für die konventionelle Variante bei nurmehr 1500 Gulden für den Kältespeicher.

Einige interessante Projekte sind in Vorbereitung, so als Ersatz der reinen Grundwasserkühlung für die Kunststoffabrik WAVIN in Hardenberg mit bis zu 3,6 MW Kühlleistung, und für die neue Hauptverwaltung des Flughafens Schiphol bei Amsterdam mit 2425 kW Kühlleistung. Recht weit fortgeschritten ist der Kältespeicher für das Rijksmuseum in Amsterdam (Abb. 20); die beiden Brunnen wurden im November 1994 fertiggestellt. Aus einem Aquifer in 65-140 m Tiefe werden bis zu 70 m<sup>3</sup>/h Wasser entnommen. Da das Museum über eine alte raumluftechnische Anlage mit niedrigen Temperaturen (4-10 °C) verfügt, die nicht geändert werden sollte, muß zusätzlich zur Kühlung mit dem Grundwasser noch eine Kältemaschine im Einsatz bleiben. Dennoch wird eine Ersparnis an Elektrizitätskosten von 10.000 Gulden pro Jahr und eine entsprechende Umweltentlastung erwartet. Die Kälte im Winter wird direkt durch Außenluft-Wärmetauscher gewonnen, das einzuleitende Wasser soll bis auf 5,7 °C abgekühlt werden. Die Anlage dient als Pilotprojekt für den Einsatz saisonaler Kältespeicherung in regierungsigen Gebäuden in den Niederland

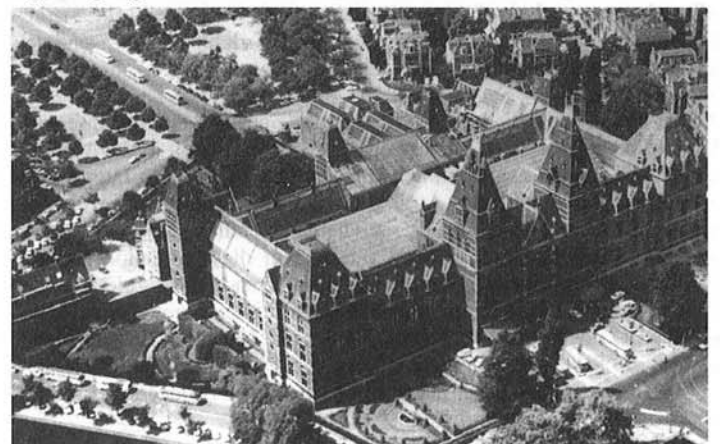


Abb. 20: Das Rijksmuseum in Amsterdam

#### Schriften:

BAKEMA, G., SNIJDERS, A.L. & WILLEMSSEN, A. (1994): Stand der Aquiferkältespeicherung in den Niederlanden. - VDI-Bericht 1168, Düsseldorf, im Druck

KOOIMAN, L. & VAN LOON, L. (1991): Demonstration Project Perscombinatie NV, Amsterdam. - Proc. Thermastock 91, S. 2.6.1.-2.6.6, NOVEM, Utrecht