

NEUE TRENDS UND TECHNOLOGIEN BEI UNTERIRDISCHER THERMISCHER ENERGIE-SPEICHERUNG (UTES)

Dr. Burkhard Sanner

Abstract

After briefly reviewing the evolution of UTES over the past 25 years, the latest technologies and current trends are summarized for low temperature and high temperature UTES. In low temperature UTES, beside widespread use of cold storage and combined cold and heat storage, in particular in Sweden, Canada and the Benelux countries, new applications are demonstrated: industrial process cooling, road de-icing, standardized plants in larger numbers for filling stations or telephone switching stations, etc. Even very low temperature storage for refrigeration purposes is considered. High temperature UTES is tested since about 20 years, but the number of existing demonstration plants is very low. Increased interest in this field hopefully will lead to a new wave of demonstration plants and will establish high temperature UTES on the marketplace, too. Furthermore, the beginning UTES use outside the countries traditionally involved (Central and Northern Europe, USA, Canada, China and Japan) is discussed.

Einleitung

UTES hat etwa 30 Jahre Tradition, beginnend mit Aquifer-Kältespeichern in China (Sun & Ju, 1986; Abb. 1, Tab. 1). Außerhalb Chinas begann der Gedanke zu UTES in den 70er Jahren eher mit theoretischen Arbeiten (z.B. Kazmann, 1971; Rabbimov et al., 1971). Kazmann beschreibt verschiedene Nutzungen von Aquiferen und stellt dann fest, nachdem er sich mit Wärmepumpen befaßt hat (1971:520): „This would utilize the aquifer for the storage of heat on a cyclic basis and would improve the thermodynamic efficiency of the process by the salvage of waste heat“¹. Meyer & Todd (1973a, 1973b) schlagen Aquifere als Lösung für Abwärmeprobleme bei der Erzeugung elektrischen Stroms vor und empfehlen, Wärme mit bis zu ca. 170 °C einzuleiten. Meyer & Todd schreiben dazu (1973a:42): „Heat storage wells may be the key to using the high-quality heat produced as electricity is generated; the seasonal heat loads can, through heat storage, be matched to electrical demand“²⁴.

Es bedurfte fast zweier Jahrzehnte, um diese Idee Realität werden zu lassen, nämlich mit der Speicherung von Abwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung im Aquiferspeicher der Universität Utrecht (Van Loon & Paul, 1991; Sanner, 1996). Zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Zeilen ist dies noch der einzige in regulärem Betrieb befindliche Hochtemperatur-Aquiferspeicher der Welt,

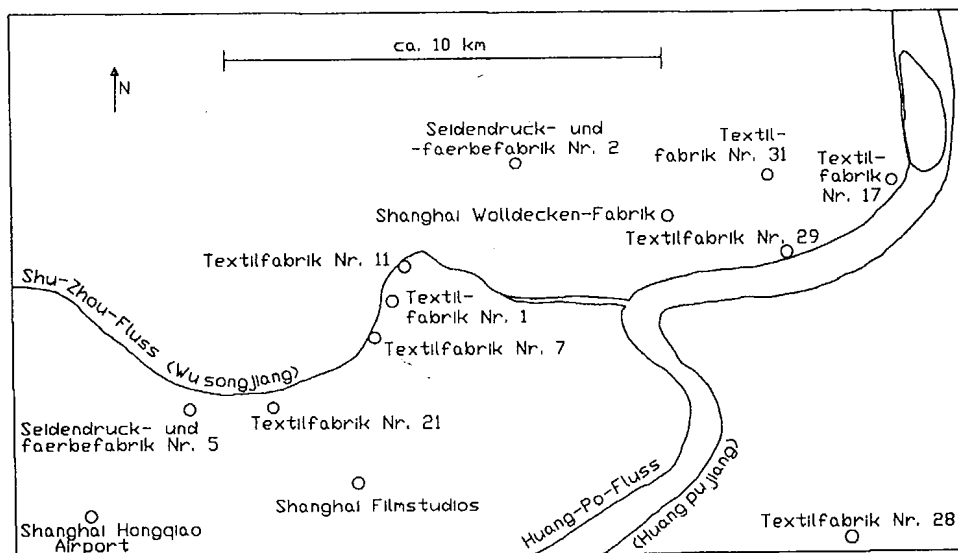


Abb. 1: Aquiferspeicher in Shanghai, China (nach Daten von Sun et al., 1991); die Anlagen werden stetig weiter ausgebaut.

Tab. 1: Aquiferspeicher in der Region Shanghai, China (nach Daten von Sun & Ju, 1986, und Sun et al., 1991)

		Kältespeicher	Wärmespeicher
Insgesamt (1991):	Anzahl Brunnen	> 400	> 130
	Injektion, gesamt	20 Mio. m ³ / Winter	6 Mio. m ³ / Sommer
	Gespeicherte Kälte	139,2 GWh _{th} / Winter	-
Textilindustrie (1986):	Produktion, gesamt	9,8 Mio m ³ / Sommer	3,5 Mio. m ³ / Winter
	Wärme / Kälte	147 GWh _{th} / Sommer	61 GWh _{th} / Winter
Kinos (Kühlung, 1986):	Produktion, gesamt	1,2 Mio m ³ / Sommer	-
	Wärme / Kälte	14 GWh _{th} / Sommer	-

wobei einige weitere Anlagen bald betriebsbereit sein werden (s.u.).

In Europa hatte man sich bereits in den 60er Jahren mit UTES-Konzepten befaßt, gedacht war aber zuerst an die Speicherung von Dampf oder Heißwasser unter Druck in Hohlräumen oder geschlossenen Wärmetauschern (Margen, 1959; Brun, 1964). Ernsthaftere theoretische Arbeiten begannen etwas später, veröffentlicht z.B. bei Kley & Nieskens (1975), Delisle (1977), und Werner & Kley (1977). Ein kurzes Experiment mit der Injektion von warmem Wasser in einen Aquifer fand 1974 am Neuenburger See in der Schweiz statt (Matthey, 1977). Das erste Experiment über einen längeren Zeitraum und mit höheren Temperaturen wurde dann in den USA durchgeführt, an der Auburn University in Alabama (Molz et al., 1979). 1979 beschäftigte sich auch eine internationale Konferenz in Schweden zum ersten Mal mit der thermischen Nutzung des Untergrunds, und verschiedene Vorträge befaßten sich mit UTES (EHPG-CTH, 1979). Ein erstes Buch über Aquiferspeicher erschien 1980 in den USA (Schaetzle, 1980).

In den 80er Jahren explodierte das Interesse an UTES, und eine ganze Reihe von Pilot- und Demonstrationsanlagen wurden gebaut. Diese speicherten Solarwärme (Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage, CSHPSS; Dalenbäck, 1990), Abwärme (z.B. „SPEOS“,

Lausanne; Saugy et al., 1985) oder waren mit Wärmepumpen kombiniert. Tabelle 2 listet einige bedeutende Beispiele auf; es ist offensichtlich, daß 1981-83 ein sehr wichtiger Zeitraum für die UTES-Entwicklung war und den Start einer ganzen Anzahl von Demonstrationsanlagen darstellte. Um 1980 scharte auch Johan Claesson an der schwedischen Universität Lund einige Wissenschaftler um sich, die sich an der mathematischen Modellierung unterirdischer Wärmespeicher versuchten. Diese „Lund Group“ existiert noch heute und hat wesentlich zum Verständnis der Wärmetransportvorgänge und zur Auslegung und Berechnung von Anlagen beigetragen. Ein umfassender Führer zu saisonaler Wärmespeicherung wurde 1988 erstmals veröffentlicht und später in andere Sprachen übersetzt (SIA, 1988). Gegen Ende der 80er Jahre wurde die Speicherung von Kälte zum Thema, und seit 1990 wird Kältespeicherung in einer zunehmenden Zahl von Anlagen in Kanada, den Niederlanden, Schweden und anderen Ländern benutzt. Die Konferenzen unter der Ägide des International Council for Thermal Energy Storage (ICTES), auch „Stock“-Konferenzen genannt seit der 3. Tagung 1985 in Toronto, bieten alle drei Jahre ein Forum für Vorstellung und Diskussion neuer Forschungsergebnisse und praktischer Erfahrungen: Enerstock 1985, Jigastock 1988, Thermastock 1991, Calorstock 1994 und

zuletzt Megastock 1997. Ein Bericht zum Stand der Technik von UTES wurde kürzlich im Annex 8 des IEA Energiespeicherprogrammes fertiggestellt (Bakema et al., 1995).

Nach diesem kurzen Rückblick soll der aktuelle Stand der Technik zusammengefaßt und Anwendungen beschrieben werden, und einige Gedanken zur möglichen zukünftigen Entwicklung sollen sich anschließen.

Tab. 2: Meilensteine der Entwicklung und Verwirklichung von UTES (das Jahr der Inbetriebnahme ist angeführt)

Jahr	Name	Bemerkungen	Ausgewählte Literatur
Seit Mitte der 60er Jahre	versch. Aquiferspeicher in China (Shanghai)		Sun & Ju (1986)
1976	Auburn Univ., Mobile Al., USA	Aquifer Experiment	Molz et al. (1979)
Um 1980	Gründung der „Lund Group“ (Schweden) für mathematische Betrachtung von UTES		
1981	„Sunclay“, Kungsbacka, S	Erdwärmesonden	Holmberg et al. (1986)
1981	12 houses, Cortaillod, CH	Erdwärmesonden	Matthey & Pillonel (1985)
1982	„SPEOS“, Lausanne-Dorigny, CH	Aquifer Experiment	Saugy et al. (1988)
1982	Yamagata Univ., Yonezawa, J	Aquifer Experiment	Umemiya et al. (1988)
1982	Müllverbrennung, Hørsholm, DK	Hochtemp. ATES Experiment	Schleisner Ibsen et al (1991)
1982	Univ. Minnesota, St. Paul, USA	Hochtemp. ATES Experiment	Walton (1986)
1982	Hokkaido Rehabil., Sapporo, J	Aquifer-Wärmespeicher	Ochifuji et al. (1988)
1982	Univ. Alabama, Tuscaloosa, USA	Aquifer-Kältespeicher	Brett & Schaetzle (1985)
1983	Lulevärme, Luleå, S	Bohrlöcher, Hochtemperatur	Nordell (1990)
1983	224 Whg., Aulnay-sous-bois, F	ATES, mit Wärmepumpen	Iris & Viennot (1988)
1984	CSPSS, Groningen, NL	Erdwärmesonden	Wijsman et al. (1988)
1985	Scarborough Ctr., Toronto, CAN	ATES, Heizen und Kühlen	Chant et al. (1991)
1987	Plaisir-Thiverval-Grignon, F	Hochtemp. ATES-Experiment	Pfiffer et al. (1991)
1987	Hauptverw. SAS, Frösundavik, S	ATES, Heizen und Kühlen	Johansson (1992)
1987	Perscombinatie, Amsterdam, NL	ATES, Kältespeicher	Kooiman & Van Loon (1991)
1991	Utrecht Univ., Utrecht, NL	ATES, Hochtemperatur	Van Loon & Paul (1991)

2. Niedertemperaturanwendungen von UTES

Niedertemperatur bedeutet hier die Bandbreite von etwa 0 °C bis zu einem Maximum von ca. 40-50 °C. Dieser Bereich umfaßt thermische Energiespeicherung für Kühlung, kombinierte Heizung und Kühlung, und Niedertemperaturheizung (z.B. als Wärmequelle für Wärmepumpen). Die Grenze zwischen dieser Art von Untergroundspeichern und reinen erdgekoppelten Wärmepumpen ist fließend, und große Wärmepumpenanlagen mit einem zentralen Erdwärmesondenfeld sind in der Tat UTES-Anlagen. Um hier als UTES bezeichnet zu werden, sollte daher ein erdgekoppeltes Wärmepumpensystem keine größere Wärmeabgabe in das oder Wärmeentzug aus dem weiträumig umgebenden Erdreich haben als etwa 25 % des gesamten jährlichen Energieumsatzes in den Erdwärmesonden (s.a. Sanner & Stiles, 1997).

Saisonale Kältespeicherung ist inzwischen zumindest in einigen Ländern auf dem Markt etabliert. Eine relativ neue Datenbasis aus Annex 7 im IEA-Energiespeicherprogramm zeigt etwa 90 verwirklichte Projekte in den 4 Annex-Ländern (Kanada, Deutschland, Schweden und die Niederlande); andere Länder wie die Schweiz und die USA könnten weitere Projekte einbringen. Die gesamte installierte Kühlleistung von unterirdischen Kältespeichern wird auf rund 95 GW geschätzt (Morofsky, 1997). Größe und Leistung der Kältespeicher variiert stark; ein Trend zu sehr großen Systemen ist festzustellen, wie z.B. für

ein Fernkältenetz mit einigen 10er MW, das in Malmö im Bau ist (Andersson, 1996).

Die erste Aquifer-Kältespeicheranlage für einen Industrieprozess ist nunmehr in der Wavin-Kunststofffabrik in den Niederlanden im Betrieb (Bakema, 1996). Ältere Anlagen wie die Zeitungsdruckerei Perscombinatie in Amsterdam (Kooiman & Van Loon, 1991) haben nur Räume gekühlt, in denen Industrieprozesse abläufen; direkte industrielle Prozeßkühlung stellt hohe Anforderungen an Zuverlässigkeit und Redundanz.

Ein anderer Trend bei UTES ist die Verwendung von standardisierten Systemen in größerer Anzahl, wie Tankstellen, Ladenketten oder Telefon-Schaltstationen. Einige Anwendungen mögen nicht als UTES angesehen werden, wie z.B. die wachsende Zahl elektronischer Telefon-Schaltstationen in Schweden, die mit Erdwärmesonden direkt gekühlt werden (Hellström & Gehlin, 1997). Durch die Standardisierung und eine entsprechend große Anzahl von Anlagen ergibt sich ein deutliches Potential

zur Kostensenkung. Besonders interessant sind Tankstellen mit Lebensmittel-Shops in den USA, die Erdwärmesonden als Kältequelle für Raumkühlung, Gefrier- und Kühltheken, Eiswürfelbereiter etc. benutzen, und als Wärmequelle (mit Wärmepumpen) für Heizung, Warmwasser (auch zum Autowaschen), zur Schnee- und Eisfreiheit um Zapfsäulen und Autowaschanlage etc. 1996 wurden mindestens 8 Anlagen durch drei Mineralölketten in den „Case Studies“ des Geothermal Heat Pump Consortium aufgelistet (zugänglich im Internet über: <http://www.geoexchange.org>).

Andererseits werden Industrieprozesse auf einer Vielzahl verschiedener Temperaturniveaus gekühlt, und so können interessante Lösungen mit der Verbindung von Heizen und Kühlen möglich sein. Die Verwendung von industrieller Abwärme für Hochtemperatur-UTES kann in der Tat auch als eine Art industrieller Prozeßkühlung angesehen werden.

Kältespeicherung mit sehr tiefem Temperaturniveau wird momentan für Gefrieranlagen, Lebensmittelkühlung etc. untersucht. Dabei ist auch an Speichertemperaturen unter 0 °C gedacht. Im IEA-Energiespeicherprogramm wird ein neuer Annex zu Tieftemperatur-UTES vorbereitet.

Neue Methoden der Ankopplung an das Erdreich sind in den letzten Jahren hervorgetreten. Besonders interessant und zukunftsreich sind dabei Energiepfähle und erdberührte Betonbauteile (Kapp & Kapp, 1993; Brux, 1993; Sanner, 1995; Preg, 1996). Hierbei werden für die Bauwerksgründung statisch erforderliche Pfähle mit Wärmetauscherrohren ausgestattet, oder Betonteile wie Schlitzwände, Tiefgaragenwände etc. werden zum Erdreich hin mit Wärmetauscherrohren belegt. Tab. 3 führt einige größere Anlagen auf. Ein besonders interessantes Beispiel für Energiepfähle im Einsatz als saisonaler Kältespeicher stellt der im Bau befindliche „Maintower“ der Landesbank Hessen-Thüringen in Frankfurt dar, mit 112 Pfählen von bis zu 50 m Tiefe (Küffner, 1997).

Eine relativ neue Entwicklung ist die Verwendung von UTES zum Schnee- und Eisfreihalten von Straßenoberflächen (Tab. 4). Nach einer frühen Anlage mit Nutzung eines Aquiferspeichers (Umemiya et al., 1988), ging die Entwicklung 1992 mit einigen kleinen Anlagen in Japan weiter (Ochifuji, 1996) und mit einer Demonstrationsanlage für eine Brücke bei Därligen in der Schweiz (Hopkirk et al., 1994). Das jüngste Beispiel ist eine Highway-Brücke bei Amarillo, Texas (Young Kim, 1996); auch in Japan gibt es erste UTES-Straßenheizungen in Brücken, so für die Yokotani-Brücke bei Hiroshima (Ochifuji, 1997). Anders als bei reinen hydrogeothermischen Straßenheizungen wie in Klamath Falls, Oregon, USA (Brown, 1995), wird für UTES die Sonnenstrahlung auf die Straßenoberfläche als Wärmequelle für einen Wärmespeicher benutzt. In Därligen wurden Spitzentemperaturen von ca. 60 °C im Straßenbelag gemessen, was eine Speicherladeratemperatur von 35 °C ermöglicht (Hopkirk et al., 1994). Die Anlage in Därligen wurde sorgfältig beobachtet und wurde erfolgreich durch die Winter seit Herbst 1994 betrieben. Besonders für Brücken in kalten Gebieten kann UTES eine umweltfreundliche Alternative zum Eisfreihalten sein. Andere Anwendungen werden inzwischen ebenso untersucht, so für Flughafen-Rollbahnen oder Sportstätten.

BBI

Gesellschaft für Brunnen und Bohrlochinspektion mbH

Gommern

39245 Gommern, Wiesenstraße 34
 Tel: 039200-50033
 Fax: 039200-50032
 Funk Tel: 0172-3977794
 E-Mail: info@bbi.de
 Internet: http://www.bbi.de

Unsere Dienstleistungen:

- bohrlochgeophysikalische Untersuchungen,
- optische Bohrlochsondierungen,
- horizontierte Probenahme.

Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001

Tab. 3: Größere Anlagen mit Energiepfählen oder erdberührten Betonbauteilen

Name/Ort	Art der Anlage	Leistung
1989 Hunziker, Kerzers CH	Energiepfähle	n.a. (2800 m ³)
1992 Kräutler, Lustenau A Photocol., Kreuzlingen CH	Energiepfähle 93 Epf. je 12 m	n.a. (2700 m ³) ca. 130 kW Heiz-/Kühlleistung
1993 Durrer, Alpnach CH	128 Epf. je 16-26 m	ca. 240 MWh/a Heizung
1994 Schule Triesenberg, FL	Rohre in Fundament	ca. 320 kW Heizleistung
1995 Kinozentrum Buchs CH Pago, Grabs CH	180 Epf. bis 20 m Energiepfähle	n.a. (1760 m ³) 600 kW Kühl-/Heizleistung
1996 Tobler, Sargans CH Festspielhaus, Bregenz A Gartenhof, St. Gallen CH	100 Epf. je 20 m Energiepfähle Schlitzwände	140/75 MWh/a Hzg./Kühlg. n.a. ca. 120 kW Kühlleistung
im Bau Kunsthau, Bregenz A Tourismush., Bregenz A Maintower, Frankfurt D	Schlitzwände Schlitzwände 115/260 Epf. je 50/30 m	n.a. n.a. n.a. („etwa 500 kW“)

3. Hochtemperatur-UTES

Hier soll „Hochtemperatur“ eine Speicherladetemperatur über 50 °C bedeuten. In der frühen Diskussion (Meyer & Todd, 1973) war Hochtemperatur betrachtet worden, und auch einige der frühen Versuchsanlagen nutzten hohe Temperaturen zur Speicherbeladung (s. Tab. 1).

Die höchsten jemals erreichten Temperaturen waren ca. 180 °C in einem Aquifer in etwa 500 m Tiefe in Thival-Grignon in Frankreich (Pfiffer et al., 1991), aber dieser Versuch war nicht erfolgreich und die Wärme konnte wegen technischer Defekte nicht zurückgewonnen werden.

Im Rückblick auf die früheren Versuche ist es offensichtlich, daß z.Zt. Temperaturen knapp unter 100 °C praktisch die obere Grenze für UTES-Anlagen sind. Höhere Temperaturen erzeugen technologische (und wahrscheinlich auch geotechnische und hydrochemische) Probleme, die weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erfordern. Auch mit 80-90 °C sind nur wenige Anlagen vorhanden; die Versuchsanlagen wurden nach Ende der Experimente aufgegeben. Der Bohrloch-Speicher in Luleå war für eine Reihe von Jahren in Betrieb (Nordell, 1990), und der Aquiferspeicher an der Universität Utrecht (Kooiman Van Loon, 1991) wird nach wie vor genutzt. Zwei weitere Hochtemperaturspeicher (Avesta und Lyckebo in Schweden) sind seit 1982 bzw. 1983 in Betrieb, doch handelt es sich um wassergefüllte Felskavernen, und sie werden hier nicht weiter betrachtet. Ebenfalls in Schweden wird seit mehreren Jahren mit Hochtemperatur-Erdwärmesondenspeichern in weichen Tonen experimentiert (Gabrielsson et al., 1997).

Umweltverhalten, hydrochemische und hydrobiologische Fragen von Aquiferspeichern wurden in Annex 6 des IEA-Energiespeicherprogrammes behandelt. Einige Lösungen z.B. zur Wasserbehandlung wurden gefunden, und die Entwicklung ging in einigen Ländern weiter, doch weitere Arbeiten sind erforderlich, um Langlebigkeit und sicheren Betrieb von Hochtemperatur-Aquiferspeichern zu gewährleisten. Im Aquiferspeicher in Utrecht z.B. wurden kürzlich steigende Injektionsdrücke festgestellt, die auf ein Zusetzen des Aquifers hinweisen (Bakema, 1996).

Dennoch sind neue Anlagen in Planung und sogar im Bau, und sie werden weitere Kenntnisse und Erfahrungen liefern (Tab. 5). Die saisonale Speicherung von Sonnenwärme wird in der nahen Zukunft noch nicht wirtschaftlich sein, bleibt aber eine interessante Option für Nahwärmeversorgung aus einer sauberen, erneuerbaren

Tab. 4: UTES für Schneeschmelzen und Eisfreihalten von Straßen

Jahr	Ort	Bemerkungen
Erdwärmesonden:		
1992	Fukui, Fukui Pr., J	Parkplatz, 400 m ² , 48 „Energiepfähle“ 35 m tief
1992	Aomori, Aomori Pr., J	Parkplatz, 118 m ² , 3 Erdwärmesonden 30 m tief
1994	Misawa, Hiroshima Pr., J	Straße, 44 m ² , 12 Erdwärmesonden 10 m tief
1994	„SERSO“, Därligen, CH	Bücke, ca. 1300 m ² , 91 Erdwärmesonden 65 m tief
1995	Kitami, Hokkaido Pr., J	Straße, 100 m ² , 1 Erdwärmesonde 100 m tief
1996	Highway 87, Amarillo Tx., USA	Brücke, 100 Erdwärmesonden 72 m tief
Aquiferspeicher:		
1983	Yonezawa, Yamagata Pr., J	Straße, 435 m ² , 2 Brunnen

Quelle. Um näher an einen wirtschaftlichen Betrieb zu kommen, muß die Wärme für Hochtemperatur-UTES entweder aus der Kraft-Wärme-Kopplung oder als Abwärme aus industriellen Prozessen kommen. Hier sind ökonomische Lösungen möglich, wie Studie z.B. für eine Feuerungsanlage mit Abfallholz (Andersson, 1988) oder für eine Zuckerfabrik (Seibt, 1994) zeigen. Im April 1994 fand in Berlin ein Workshop zu Hochtemperatur-UTES im Rahmen des IEA-Energiespeicherprogrammes statt. Er diente dem Start eines neuen Annex zu Hochtemperatur-UTES, der inzwischen mit einer ersten Phase etabliert wurde. Ein definitiver Trend zu höheren Speichertemperaturen bei Wärmespeicherung kann beobachtet werden, und die Aussichten scheinen recht günstig zu sein.

Kenntnis und Infrastruktur aufgebaut (Dirven, 1997). Die erste größere Anlage mit einem Aquiferspeicher in Belgien ist seit Ende 1996 in Betrieb, es handelt sich um die Hauptverwaltung der CERA-Bank in Leuven; weitere Aquiferspeicher sind in Vorbereitung. Die erste UTES-Anlage in Australien befindet sich am neuen Sitz der Australian Geological Survey Organisation und besteht aus etwa 350 Erdwärmesonden mit je 100 m Tiefe (z.Zt. der Drucklegung konnte der Verfasser noch nicht feststellen, ob diese Anlage inzwischen in Betrieb gegangen ist). In Polen betrachtet eine Studie UTES (Chwieduk, 1997); Aktivitäten sind auch aus Ländern wie Korea, Indonesien und Griechenland zu hören. Möglichkeiten für UTES finden sich auch im Mittelmeerraum: Eine Potentialstudie für die Türkei wurde im Rah-

Tab. 5: Neue Hochtemperatur-UTES-Anlagen im Bau oder in fortgeschrittenem Planungsstadium

Name/Ort	Bemerkungen	Zitat
Reichstagsgebäude, Berlin, D	Aquifer, Wärme aus BHKW	Seibt & Kabus (1997)
Krankenh. „Hooge Burch“, Gouda, NL	Aquifer, Wärme aus BHKW	Bakema (1996)
Amorbach, Neckarsulm, D	Erdwärmesonden, Solarkollektoren	
Fabrik TVR, Schmalkalden, D	Erdwärmes., Wärme aus BHKW	Reuss & Müller (1997)

4. Wachsende regionale Verbreitung von UTES

Die Entwicklung von UTES begann in einigen wenigen Ländern: China, Dänemark, Japan, Schweden, Schweiz und USA, bald gefolgt von Kanada, Finnland, Frankreich, Deutschland und den Niederlanden. Österreich und Italien arbeiteten ebenfalls an UTES, aber die Ergebnisse sind bislang nur einige kleinere erdgekoppelte Wärmepumpen mit solarer Wiederaufheizung. Die größte Zahl von UTES-Anlagen kann immer noch in China und den Niederlanden gefunden werden, gefolgt von Schweden und den USA (dort meist große Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen).

In den letzten Jahren sind weitere Länder zur Gruppe der UTES-Nutzer gestoßen. Ein besonders erfolgreiches Beispiel ist Belgien, dessen nördlicher Teil geologisch den Niederlanden ähnlich ist. In kurzer Zeit wurde mit Hilfe durch niederländische Experten und den Annex 8 im IEA-Energiespeicherprogramm die erforderliche

men des Annex 8 des IEA-Energiespeicherprogramms durchgeführt (Paksoy et al., 1997), und Ideen für Ägypten wurden von Abbas et al. (1996) zusammengetragen. Planungen für einen Aquifer-Kältespeicher für einen Neubau des Universitäts-Krankenhauses in Adana, Türkei, sind fortgeschritten (Paksoy, 1996). Im warmen Klima am Mittelmeer ist es schwierig, entsprechende Kältequellen zur Speicherladung zu finden. In Adana ist dafür der Seyhan-Fluß vorgesehen, der im Frühjahr kaltes Wasser aus der Schneeschmelze im Taurus-Gebirge in die Ebene bringt.

5. Schlußfolgerungen

Die Entwicklung von UTES war sehr stark durch IEA-Zusammenarbeit unterstützt, wie Tab. 6 zeigt. Heute ist Annex 8 des IEA-Energiespeicherprogramms der Brennpunkt der Aktivitäten, und neue Annexes für einzelne Technologien sind geplant.

Die Entwicklung von UTES in der nächsten

Zukunft kann auch ohne prophetische Gaben vorausgesehen werden:

- Schnelles Ansteigen der Zahl von Kältespeichern und kombinierten Wärme-/Kältespeichern, mit Wärmepumpen für alle Speichertypen und bei Aquiferspeichern auch ohne Wärmepumpen
- Steigende Anzahl von Verwirklichung neuer Anwendungen, wie Eisfreihalten von Straßen und Flughafen-Rollbahnen
- Neuer Trend zu hohen Temperaturen, der zu neuen Anlagen führt und von weiterer Forschung und Entwicklung bei spezifischen Hochtemperatur-Problemen begleitet wird.

Tab. 6: IEA-Annexes, die sich zumindest teilweise mit UTES oder für UTES grundlegenden Technologien befaßt haben

- Renewable Energy Working Party:
 - IA Solar Heating and Cooling
 - Task 7, Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage (closed)
- Energy End Use Working Party:
 - IA Heat Pumping Technologies
 - Annex 2, Development of a Vertical Earth Heat Pump System (closed)
 - Annex 8, Advanced In-Ground Heat Exchange Technology for Heat Pumps (closed)
- IA Energy Conservation through Energy Storage
 - Annex 3, ATES-plant SPEOS, Lausanne-Dorigny, Switzerland (closed)
 - Annex 6, Environmental and Chemical Impact of Water Treatment for Aquifer Storage (closed)
 - Annex 7, Innovative and Cost-Effective Seasonal Cold Storage Applications (closed)
 - Annex 8, Implementing Under ground Thermal Energy Storage Systems (ongoing)
 - Planned annexes: High Temperature UTES, Low Temperature UTES, Drilling and Well Design

Literatur:

Abbas, A.M., Sanner, B. & Knoblich, K. (1996): Möglichkeiten zur Nutzung geothermischer Energie und zur unterirdischen thermischen Energiespeicherung in Ägypten. - Tagungsband 4. Geothermische Fachtagung Konstanz, GtV, Neubrandenburg.

Andersson, O. (1988): Akvifervärmelagring i sandsten vid hög temperatur i Ängelholm. - 23 S., SCBR R43:1988, Stockholm

Andersson, O. (1996): Communication at IEA Energy Storage Annex 8, 6th Expert's Meeting, Leuven

Bakema, G., Snijders, A. & Nordell, B. (eds.) (1995): Underground Thermal Energy Storage, State of the Art 1994. - 83 S., IEA ECES Annex 8, IF Technology, Arnhem

Bakema, G. (1996): Communication at IEA Energy Storage Annex 8, 6th Expert's Meeting, Leuven

- Brett, G.E. & Schaetzle, W.J. (1985): Experience with Chilled Water Storage in a Water Table Aquifer. - Proc. 3rd Int. Conf. Energy Storage Enerstock 85, S. 48-52, PWC, Ottawa
- Brown, B. (1995): Klamath Falls Downtown Redevelopment Geothermal Sidewalk Snowmelt. - GHC Bulletin, 16/4, S. 23-26, Klamath Falls OR
- Brun, G. (1964): La régularisation de l'énergie solaire par stockage thermique dans le sol. - Revue Générale de Thermique 44 (Aug. 1964)
- Brux, G. (1993): Energiepfähle - Wärme aus Betonpfählen. - Betonwerk + Fertigteil-Technik 9/1993, S. 134-137
- Chant, V., Lovatt, J. & Morofsky, E. (1991): Canada Centre Building, Scarborough, five year energy systems performance summary. - Proc. 5th int. Conf. Energy Storage Thermastock 91, S. 2.9.1-2.9.6, NOVEM, Utrecht
- Chwieduk, D.A. (1997): Designing of the cold ground storage system for a typical Polish single family house. - Proc. 7th int. Conf. Energy Storage Megastock 97, S. 253-258, Sapporo
- Dalenbäck, J.-O. (ed.) (1990): Central Solar Heating plants with seasonal storage, status report. - 105 S., SCBR D14:1990, Stockholm
- Delisle, M.A.G. (1977): Modellrechnungen zur Speicherung von Abwärme im flachen Untergrund. - VDI-Berichte Nr. 288, S. 55-63, Duesseldorf
- Dirven, P. & Bakema, G. (1997): Rapid Introduction of ATEES to Flanders (Belgium) through exchange of experience and expertise with the Netherlands. - Proc. 7th int. Conf. Energy Storage Megastock 97, S. 907-912, Sapporo
- EHPG-CTH (1979): Nordic Symposium of Earth Heat Pump Systems. - Proc., Earth Heat Pump Group, Chalmers University of Technology, 249 S. + 78 S. in supplement, Gothenburg
- Gabrielsson, A., Moritz, L. & Lehtmetts, M. (1997): Heat storage in soft clay at 35-90 °C - Long term experience. - Proc. 7th int. Conf. Energy Storage Megastock 97, S. 31-36, Sapporo
- Hellström, G. & Gehlin, S. (1997): Direct cooling of telephone switching stations using a borehole heat exchanger. - Proc. 7th int. Conf. Energy Storage Megastock 97, S. 235-240, Sapporo
- Holmberg, P., Berntsson, T. & Schroeder, K. (1986): Sunclay-anläggningen i Kungsbacka, värmeteknisk uppföljning. - CTH Jordvärmegruppen, report 23, Göteborg
- Hopkirk, R.J., Hess, K. & Eugster, W.J. (1994): Erdwärmesonden-Speicher zur Straßenheizung bei Därligen, Schweiz. - IZW-Bericht 1/94, S. 297-307, Karlsruhe
- Iris, P. & Viennot, P. (1988): An Example of Heat Pumps on Aquifer for Collective Dwellings, Comments after 5 Years of Operation. - Proc. 4th int. Conf. Energy Storage JIGASTOCK 88, S. 525-528, AFME, Paris
- Johansson, S. (1992): SAS Frösundavik, an Office heated and cooled by Groundwater. - 27 S., SCBR D5:1992, Stockholm
- Kapp, H. & Kapp, C. (1993): Energiepfähle: Stand der Technik und bisherige Erfahrungen. - Mitt. Schweiz. Ges. Boden- und Felsmechanik, Nr. 127, S. 5-7
- Kazmann, R.G. (1971): Exotic Uses of Aquifers. - J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 97/IR3, S. 515-522, New York
- Kley, W. & Nieskens, H.G. (1975): Möglichkeiten der Wärmespeicherung in einem Porengrundwasserleiter und technische Probleme bei der Rückgewinnung der Energie. - Z. Dtsch. Geol. Ges. 126, S. 397-409, Hannover
- Kooiman, L. & Van Loon, L.J.M. (1991): Demonstration Project Perscombinatie NV, Amsterdam; cold storage in aquifer. - Proc. 5th int. Conf. Energy Storage Thermastock 91, S. 2.6.1-2.6.6, NOVEM, Utrecht
- Küffner, G. (1997): Das Erdreich unter dem Kellerboden wird zum Kältespeicher. - Frankfurter Allgemeine Zeitung 109, 13.5.97, S. T 5, Frankfurt
- Margen, P.H. (1959): Thermal Storage in Rock Chambers. - Nuclear Engineering (GB) 4, S. 259
- Matthey, B. (1977): Development and resorption of a thermal disturbance in a phreatic aquifer with natural convection. - J. of Hydrology 34, S. 315-333, Amsterdam
- Matthey, B. & Pillonel, B. (1985): Solar assisted gas heat pump with ground coupled storage for twelve family houses. - Proc. 2nd WS on SAHPGCS Wien, S. 203-211, Ispra
- Meyer, C.F. & Todd, D.K. (1973a): Are Heat-Storage Wells the Answer? - Electrical World, Aug. 15, 1973, S. 42-45, New York
- Meyer, C.F. & Todd, D.K. (1973b): Heat-Storage Wells. - Water Well Journal 27/10, S. 35-41, Urbana
- Molz, F.J., Parr, A.D., Andersen, P.F., Lucido, V.D. & Warman, J.C. (1979): Thermal Energy Storage in a Confined Aquifer, Experimental Results. - Water Resources Research 15, S. 1509-1514, Washington
- Morofsky, E. (1997): Seasonal cold storage building and process applications: a standard design option? - Proc. 7th int. Conf. Energy Storage Megastock 97, S. 1009-1016, Sapporo
- Nordell, B. (1990): A borehole heat store in rock at the University of Luleå. - 56 S., SCBR D12:1990, Stockholm
- Nordell, B. (1996): Communication at IEA Energy Storage Annex 8, 5th Expert's Meeting, Halifax
- Ochifuji, K., Nakamura, M., Ikenaga, Y. & Kobata, T. (1988): Study on Effect of long term Heat Storage in an Aquifer. - Proc. 4th int. Conf. Energy Storage Jigastock 88, S. 307-310, AFME, Paris
- Ochifuji, K. (1996): Communication at IEA Energy Storage Annex 8, 6th Expert's Meeting, Leuven
- Ochifuji, K. (1997): Communication at IEA Energy Storage Annex 8, 7th Expert's Meeting, Sapporo
- Paksoy, H.O. (1996): Communication at IEA Energy Storage Annex 8, 5th Expert's Meeting, Halifax
- Paksoy, H.O., Evliya, H. & Abaci, S. (1997): Underground thermal energy storage potential in Turkey. - Proc. 7th int. Conf. Energy Storage Megastock 97, S. 949-954, Sapporo
- Pfiffer, M., Durin, M., Despois, J. & Fritz, B. (1991): The heat storage project at Plaisir-Thiverval-Grignon (France), conclusions after three years of field experiments. - Proc. 5th int. Conf. Energy Storage Thermastock 91, S. 1.16.1-1.16.6, NOVEM, Utrecht
- Preg, R. (1996): Wärmegewinnung und Wärmeabfuhr mit erdberührten Betonbauteilen. - Tagungsband Deutscher Kongress Erneuerbare Energie 1996, S. 321-326, Winkra-Recom, Hannover
- Rabbimov, R.T., Umarov, G.Y. & Zakhidov, R.A. (1971): Storage of solar energy in a sandy-gravel ground. - Geliotekhnika 7/5, S. 57-64; Engl. Übers. Applied Solar Energy, New York
- Reuss, M. & Müller, J.P. (1997): Design of a high temperature duct storage for industrial waste heat. - Proc. 7th int. Conf. Energy Storage Megastock 97, S. 133-138, Sapporo
- Sanner, B. (1995): Energiepfähle. - Geothermische Energie 12/95, S. 5-7, Neubrandenburg
- Sanner, B. (1996): Zwei ungewöhnliche thermische Unterspeicher in den Niederlanden und der Schweiz. - Geothermische Energie 16/96, S. 18-21, Neubrandenburg
- Sanner, B. & Stiles, L. (1997): Status of Seasonal Cold Storage in Ground Source Heat Pumps. - Proc. 7th int. Conf. Energy Storage Megastock 97, S. 13-18, Sapporo
- Saugy, B., Miserez, J.J. & Matthey, B. (1988): Stockage saisonnier de chaleur dans l'aquifère, stockage pilote d'énergie par ouvrage souterrain (SPEOS), Résultats de 5 ans de fonctionnement. - Proc. 4th int. Conf. Energy Storage Jigastock 88, S. 325-336, AFME, Paris
- Schaetzle, W. (1980): Thermal Energy Storage in Aquifers. - 109 S., Pergamon Press, Elmsford NY
- Schleisner Ibsen, L., Qvale, B. & Boesen, C. (1991): Windup of the Danish aquifer thermal energy storage plant, answers gained and questions remaining. - Proc. 5th int. Conf. Energy Storage Thermastock 91, S. 1.7.1-1.7.6, NOVEM, Utrecht
- Seibt, P. (1994): Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie für eine Aquifer-Wärmespeicheranlage in Nordostdeutschland. - Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserversorgung 124, S. 69-78, Munich
- Seibt, P. & Kabus, F. (1997): A large-scale aquifer heat and cold storage system right in the middle of Berlin. - Proc. 7th int. Conf. Energy Storage Megastock 97, S. 455-460, Sapporo
- Sun, Y. & Ju, H. (1986): Aquifer Energy Storage Applications in China. - STES-Newsletter VIII/4, S. 2-3, Berkeley
- Sun, Y., Li, Q. & Wu, J. (1991): The experiment of storing cold and warm water in aquifer in Shanghai, P.R. China, and its effect. - Proc. 5th int. Conf. Energy Storage THERMASTOCK 91, S. 1.1.1-1.1.7, NOVEM, Utrecht
- SIA (1988): Guide du stockage saisonnier de chaleur. - SIA/OFEN, ed. Hadorn, J.-C., Document D 028, Zurich
Deutsche Version: Wegleitung zur saisonalen Wärmespeicherung, 1989, SIA Document D 028 d, Zurich
Englische Version: Guide to Seasonal Heat Storage, 1990, Public Works Canada, Ottawa
- Umemiya, H., Ikeda, H. & Kamiyama, T. (1988): Complex Use of Natural Energy in a heavy Snowfall Zone, utilizing an Aquifer Thermal Storage Method. - Proc. 4th int. Conf. Energy Storage Jigastock 88, S. 301-305, AFME, Paris
- Van Loon, L.J.M. & Paul, A. (1991): Aquifer thermal energy storage at the state university of Utrecht, The Netherlands. - Proc. 5th int. Conf. Energy Storage Thermastock 91, S. 1.3.1-1.3.7, NOVEM, Utrecht
- Walton, M. (1986): University of Minnesota Aquifer Heat Storage Project. - STES-Newsletter VIII/3, S. 1-7, Berkeley
- Werner, D. & Kley, W. (1977): Problems of Heat Storage in Aquifers. - J. Hydrol. 34, S. 35-43, Amsterdam
- Wijsman, A.J.T.M. (1988): Monitoring Results of the Groningen CSHPSS. - Proc. 4th int. Conf. Energy Storage Jigastock 88, S. 543-547, AFME, Paris
- Young Kim, H. (1996): Geothermal System for Bridge De-icing under Construction in Amarillo, TX. - The Source 9/5, S. 1+6-7, Stillwater OK

Ann.:
Gerinfügig aktualisierte Übersetzung eines anlässlich von Megastock 97 in Sapporo, Japan, am 19.6.1997 gehaltenen Plenarvortrages.

¹ „Dies würde den Aquifer für die zyklische Speicherung von Wärme verwenden und würde den thermodynamischen Wirkungsgrad des Prozesses (gemeint ist der Wärmepumpenprozess, Ann. d. Verf.) durch die Rettung von Abwärme verbessern“.

² „Wärmespeicherbrunnen könnten der Schlüssel zur Nutzung der hochwertigen Wärme sein, die bei der Stromerzeugung anfällt; der jahreszeitliche Heizbedarf könnte durch Wärmespeicherung an den Strombedarf angepasst werden“