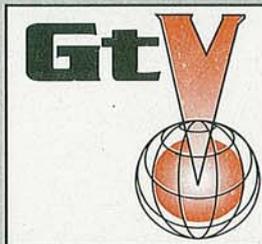


# Geothermische Energie

Mitteilungsblatt der Geothermischen Vereinigung e.V.



Nr. 9

3. Jahrgang

Oktober 1994

## Reichtstag Berlin:

### Vorschlag für einen unterirdischen Wärme-/Kältespeicher

Burkhard Sanner

Bei der Umgestaltung des Reichstagsgebäudes in Berlin sollte auch einer vorbildlichen, ökologisch wie ökonomisch optimalen Energieversorgung Rechnung getragen werden. Hierzu wird als Teil der Heizungs- und Raumkühlungsanlage die saisonale Speicherung von Niedertemperaturwärme und Kälte im Erdreich vorgeschlagen. Dabei sind als Varianten sowohl ein Speicher mit Erdwärmesonden als auch ein Aquiferspeicher denkbar. Die Vorstudien und Berechnungen zeigen die Machbarkeit dieses Konzeptes. Durch die jahreszeitlich stark schwankenden Heiz- und Kühlanforderungen ist ein Energiebedarf gegeben, der sich durch einen saisonalen Wärmespeicher stark reduzieren läßt. Dabei wird im Winter das Erdreich als Wärmequelle verwendet; durch die dabei erfolgende Abkühlung ergeben sich gute Bedingungen für effektive Raumkühlung im Sommer (es wird Kälte gespeichert). Bei der Raumkühlung (direkt oder über Kältemaschinen) wird der Untergrund wieder erwärmt, was für gute Startbedingungen für die Heizperiode sorgt (es wird Wärme gespeichert). Das Prinzip ist in Deutschland bei einigen wenigen Anlagen kleinerer und mittlerer Größenordnung und im Ausland selbst bei Großanlagen demonstriert.

#### Einleitung

Für die neuen Bedürfnisse in der Bundeshauptstadt Berlin soll auch das Reichstagsgebäude als Sitz des Deutschen Bundestages umgebaut werden. Der Entwurf des renommierten Londoner Architekturbüros Sir Norman Foster & Partners ist dafür ausgewählt worden. Auf den ursprünglichen Entwurf mit seinem breiten, das ganze Reichstagsgebäude überspannenden Dach folgte später verschiedene einfachere, mit dem Wunsch des Bundes nach geringeren Kosten Rechnung getragen wurde. Der z.Zt. (September 1994) aktuelle Entwurf sieht eine Annäherung an die ursprüngliche Kuppel vor, es ist eine Leichtbaukuppel mit dem Aussehen eines "gestrickten Eierwärmers" (Rudolf Stegers in "Die Zeit" Nr. 35 vom 26.8.94)

Für die Versorgung des Gebäudes mit Wärme und Kälte hat die Kaiser Bautechnik Ingenieurgesellschaft mbH ein Energiekonzept vorgelegt, das letztlich auf der Verwendung nachwachsender Rohstoffe (Pflanzenöl) als Primärenergie beruht. Um mit dieser Primärenergie möglichst sparsam umzugehen, ist Kraft-Wärme-Kopplung mit Pflanzenölmotoren und der Einsatz von Absorptionswärmepumpen für Heizung und Kühlung vorgesehen. Die zum Betrieb der Absorptionswärmepumpen nötige Wärmequelle/-senke soll durch einen saisonalen Speicher bereitgestellt werden, der entweder als mit Erdwärmesonden

## Inhalt:

Seite

<b>Reichtstag Berlin: Vorschlag für einen unterirdischen Wärme-/Kältespeicher</b> <i>Burkhard Sanner</i>	1
<b>Bad Urach: Zwischenbericht zum Stand der Arbeiten am HDR-Standort</b> <i>Helmut Tenzer</i>	3
<b>Schweiz: Fördermaßnahmen des Bundes</b> <i>Arthur Fehr</i>	6
<b>Riehen: Geothermie im Wärmeverbund</b>	8
<b>Belzig: Projekt Thermalwasser</b> <i>Reinhard Werner</i>	11
<b>Schweden: Unterirdische Thermische Energiespeicherung</b> <i>Burkhard Sanner</i>	12
<b>Japan: Geothermie aktuell</b>	15
<b>Dokumentation - Diskussion</b>	17
<b>Aus der Branche</b>	
<b>Lokal - Regional - Global</b>	19
<b>Tagungen - Kongresse - Termine</b>	25
<b>Bericht von der Calorstock 94, Helsinki</b> <i>Burkhard Sanner</i>	25
<b>Publikationen - Materialien</b>	28
<b>GtVeV intern</b>	30
<b>Impressum</b>	32

oder als Aquiferspeicher ausgebildet sein kann. Der Speicher soll nach Möglichkeit auch eine hohen Anteil direkter Kühlung (ohne Einsatz von Wärmepumpen) erlauben. Die Berechnungen für diesen Speicher wurden am Institut für Angewandte Geo-

wissenschaften der Universität Gießen durchgeführt. Nach einem vorläufigen Lastprofil wurden die durchschnittlichen Energiemengen in der Größenordnung bis 1 MW ermittelt, die in den Speicher eingeleitet bzw. diesem entnommen werden sollen; für die Aquifervariante daneben die korrespondierenden Wassermengen bei einer Temperaturspreizung von 3 K. Ein weiteres Lastprofil wurde für eine Periode maximaler Kühlleistungen im Hochsommer angenommen; hier kommen die höchsten Leistungsspitzen von 3,5 MW zustande.

### Die geologische Situation im Spreebogen

Das Gebiet um Reichstag und Spree liegt im Bereich des weichselkaltzeitlichen Berliner Urstromtals. Bis in eine Tiefe von 60-70 m stehen Schmelzwassersande aus dem Weichselglazial an, darunter folgen miozäne/oligozäne Sande und schließlich in rund 130 m Tiefe die unteroligozänen Rupeltone, die die Basis dieses Grundwasserstockwerks bilden.

Aus Angaben von Bohrungen, die meist nur Teile der pleistozänen Schichtfolge erschliessen, und von drei tieferen Bohrungen aus der Vorkriegszeit konnte ein Standardprofil erstellt werden. Aus diesem Standardprofil wiederum wurden die relevanten hydraulischen und thermischen Eigenschaften des Untergrundes abgeschätzt bzw. berechnet (Auszug in Tab. 1). Für die spätere Detailplanung des Speichers ist noch eine genauere Erfassung geologischer und hydrogeologischer Parameter erforderlich.

Das Grundwasser befindet sich etwa auf Spree-Niveau mit rund 31 m ü. NN. Das Gefälle der Spree ist äußerst gering, was entsprechend auch für die Grundwasseroberfläche gilt. Somit kann trotz guten Durchlässigkeiten von minimaler Fließgeschwindigkeit ausgegangen werden, wobei die Fließrichtung von Ost nach West quer durch den Spreebogen angenommen werden kann.

Tab. 1: Einige Untergrundparameter am Standort Reichstag, berechnete Werte über Gesamtprofil bis 100 m Tiefe

Hydraulische Durchlässigkeit	$3,7 \cdot 10^{-4}$	m/s
Wärmeleitfähigkeit	3,0	W/m/K
Spez. Wärmekapazität $c_p$	2,17	J/g/K
Spez. Wärmekapazität $c_v$	2920000	J/m <sup>3</sup> /K

### Funktionsweise der Speichervarianten

Grundsätzlich sind für den Standort Reichstag Berlin zwei Möglichkeiten gegeben, um thermische Energiespeicherung im Untergrund durchzuführen. Die geologischen Gegebenheiten sind sehr günstig für einen Aquiferspeicher, bei welchem das Grundwasser als Speichermedium dient und zwischen zwei Brunnengalerien umgepumpt wird. Beide Brunnengalerien sollen aus je 4 Brunnen bestehen; die jeweils 60 m tiefen Brunnen sind zur Hälfte direkt östlich des Reichstagsgebäudes geplant (Galerie B) bzw. etwa 100 m nordwestlich des Reichstagsgebäudes (Galerie A). Im Winter soll das Grundwasser aus den Brunnen A abgepumpt, durch Wärmepumpen abgekühlt und in die Brunnen B eingeleitet werden ("kalte" Brunnen), im Sommer soll es aus den "kalten" Brunnen B entnommen und nach Erwärmung durch die Raumkühlung über die Brunnen der Galerie A ("warme" Brunnen) wieder in den Aquifer eingebracht werden (Abb. 1).

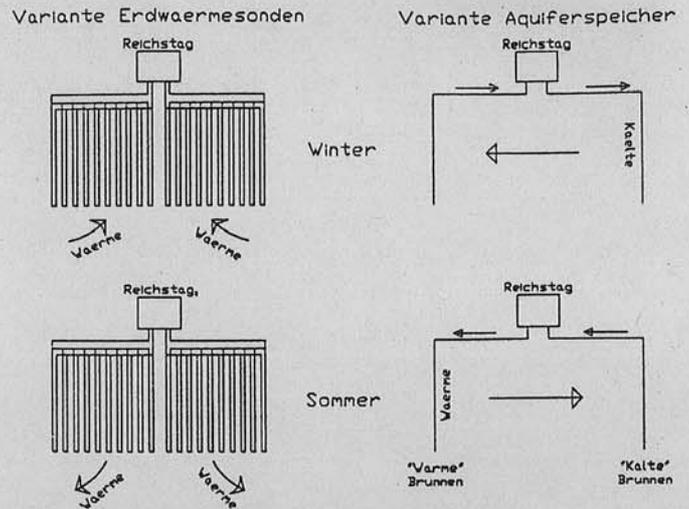


Abb. 1: Schema der beiden Speichervarianten für das Reichstagsgebäude (Erdwärmesonden: nur 20 von 160 dargestellt, Aquifer: nur 2 von 8 Brunnen dargestellt)

Sollte es erforderlich werden, die direkte Nutzung des Grundwassers zu vermeiden, so sind Erdwärmesonden vorgesehen, die in ca. 100 m tiefe Bohrungen eingebaut werden (Abb. 1). Für die Deckung der regelmäßigen Durchschnittslast des Gebäudes sind 160 Erdwärmesonden nötig. Diese könnten in Gruppen ("Modulen") von je 20 Erdwärmesonden angeordnet werden. Zur Deckung hoher Spitzenlasten müssen ggf. weitere Module hinzugefügt oder kurzfristige Speichermöglichkeiten im Gebäude vorgesehen werden. Ebenso wie für den Aquiferspeicher ist eine Abkühlung (hier des umgebenden Erdreiches) im Winter vorgesehen, der dann eine Wiedererwärmung durch die Kühlung im Sommer folgt (Sanner et al., 1994). Das Prinzip wurde bereits früher in Deutschland angewandt, z.B. in Düsseldorf (Sanner et al., 1991).

Die numerische Simulation ergab für den Aquiferspeicher bei geringerem Investitionsaufwand (8 Brunnen statt 160 Erdwärmesonden) ein deutlich besseres Betriebsverhalten. Bei Betriebsbeginn im Oktober bleiben die Temperaturen des im folgenden Sommer zur Kühlung von Brunnengalerie B nach Galerie A umgewälzten Wassers deutlich unter 12 °C und können somit gut zur direkten Kühlung herangezogen werden. Die Temperaturen werden über die berechneten 5 Jahre immer günstiger (Sanner et al., 1994).

Der hydraulische und thermische Einflusbereich des Aquiferspeichers liegt in der Größenordnung von 100-200 m um die Brunnengalerien (näheres s. Sanner et al., 1994). Die mittleren Grundwasserspiegelschwankungen durch den Betrieb des Aquiferspeichers betragen bis zu 25 cm; bei Betrieb mit Spitzenlasten können die Änderungen des Grundwasserspiegels kurzfristig deutlich größer sein, doch gehen sie ebenso schnell wieder auf den Normalzustand zurück.

### Schlußfolgerungen

Mit dem Einsatz eines saisonalen thermischen Energiespeichers kann für das Reichstagsgebäude in Berlin eine umweltverträgliche und zukunftsweisende Energieversorgung unterstützt werden. Dabei hat ein Aquiferspeicher wegen der günstigen hydrogeologischen Voraussetzungen in Berlin erhebliche Vorteile. Aquiferspeicher der erforderlichen Größenordnung sind in anderen Ländern bereits verwirklicht worden (Sanner & Chant, 1992). Speicher mit Erdwärmesonden wurden auch in Deutschland bereits mehrfach gebaut (Sanner, 1992), allerdings nur für

Leistungen im Hundert-kW-Bereich. Erdwärmesonden sind dann geeignet, wenn der Untergrund einen Aquiferspeicher nicht zuläßt; in Berlin könnten die mit Erdwärmesonden verbundenen Mehrkosten jedoch vermieden werden.

Der Betrieb sowohl des Speichers mit Erdwärmesonden als auch des Aquiferspeichers würde nach den durchgeführten Simulationen keine Erwärmung des Grundwassers in der Umgebung des Speichers zur Folge haben, sondern eher eine leichte Abkühlung im näheren Umgebungsbereich bewirken. Wird die Anlage wie vorgesehen primär als Kältespeicher geführt, käme sie somit dem Wunsch nach Reduktion der anthropogenen Grundwassererwärmung im Großstadtgebiet entgegen.

#### Literatur

SANNER, B., KNOBLICH, K., EULER, G. & REICHMANN, J. (1991): Kältespeicherung in erdgekoppelten Wärmepumpensystemen. - eta A4/91, S. 164-167, Essen

SANNER, B. (1992): Erdgekoppelte Wärmepumpen - Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation. - 328 S., IZW-Berichte 2/92, Karlsruhe

SANNER, B. & CHANT, V.G. (1992): Seasonal Cold Storage in the Ground using Heat Pumps. - Newsletter IEA Heat Pump Center 10/1, S. 4-7, Sittard

SANNER, B., KNOBLICH, K., KLUGESCHIED, M. & REICHMANN, J. (1994): Studie für einen saisonalen Wärme-/Kälte-Speicher am Reichstagsgebäude in Berlin. - Proc. 9. Int. Sonnenforum Stuttgart, S. 783-790, DGS Verlag, München

## Bad Urach: Zwischenbericht zum Stand der Arbeiten am HDR-Standort

#### Vorhabenbeschreibung:

Ermittlung von planbaren Diskontinuitäten, Bohrlochwandausbrüchen sowie Spannungsdaten und hydraulischen Parametern im Gneisgebirge der Vertiefungsbohrung Urach 3

Laufzeit des Vorhabens: 01.11.1991 - 30.11.1995

Berichtszeitraum: 01.01.1993 - 31.12.1993

#### Arbeitsprogramm 1993:

Das Projekt ist Teil des europäischen Hot-Dry-Rock-Geothermie-Forschungsprogramms, welches die Erkundung des kristallinen Gebirges am Standort Bad Urach für die Durchführung eines europäischen HDR-Demonstrationsprojektes zum Ziel hat. Mit dem Abteufen der Vertiefungsbohrung Urach 3 (3488-4444 m Teufe) wurden wesentliche Ergebnisse zur Machbarkeitsstudie gewonnen. Für das Berichtsjahr 1993 war folgendes Arbeitsprogramm vorgesehen:

- Auswertung des Bohrlochmeßprogramms in der Bohrung Urach 3 (SWBU und BRGM).
- Auswertung bohrtechnischer Parameter (A. Macek, SWBU)
- Auswertung des Kernprogramms (SWBU, BRGM).
- Petrographische Untersuchungen an Bohrkernen (BRGM, Universität Gießen).

- Strukturanalyse an Bohrkernen (BRGM, SWBU).
- Auswertung der Bohrlochwandausbrüche zur Ermittlung der maximalen horizontalen Hauptspannungsrichtung (GTC, SWBU).
- Ermittlung der Orientierung des Kluftsystems (SWBU).
- Kontinuierliche Messungen der Wasserspiegelabsenkung in der Urach 3 zur Ermittlung hydraulischer Parameter (SWBU, Hydrodata)
- Abschätzung der Spannungsdaten mittels Neuinterpretation der Leak-off- und Influx- sowie Hydraulik Fracturing-Tests (KTB-Feldlabor).
- Ermittlung der Orientierung und Abschätzung der Magnitude der maximalen horizontalen Hauptspannungsrichtung mittels Centerline Fractures und core diskings an Bohrkernen (KTB-Feldlabor, SWBU).
- Erstellung eines Composite-Logs mit Lithologie, Kluftflächen und geophysikalischen Bohrlochmessungen (SWBU).
- Weiterführung der Machbarkeitsstudie zur Durchführung eines HDR-Demonstrationsprojektes nach dem klassischen HDR-Konzept am Standort Bad Urach

#### Wichtigste wissenschaftlich-technischen Ergebnisse:

##### Temperaturfeld

Die Temperaturmessungen konnten nur im nicht beruhigten Zustand der Bohrung erfolgen. Die Temperatur auf Bohrlochsohle in korrigierter vertikaler Teufe von 4394,72 m beträgt 170°C. Messungen von Temperaturaufbaukurven und entsprechende Berechnungen lassen eine Maximaltemperatur in 4500 m Teufe von 172°C-175°C erwarten. Der Temperaturgradient ist somit gleichbleibend mit 3° K/100 m Teufe. Abwärts zirkulierende kalte, natürliche Fluide sind nicht zu erwarten.

##### Bohrlochverlauf (3488-4445 m)

Nach Auswertung der Bohrlochmessungen (Neigung und Azimut) zeigt sich ein überwiegend östlicher, im unteren Bohrlochabschnitt ab ca. 4150 m leicht südöstlicher Bohrungsverlauf (N 110°-130° S). Die durchschnittliche Neigung des vertieften Abschnittes aus der Vertikalen beträgt 14,5°. Der maximale Neigungsaufbau beträgt 19,5° in 3695 m Teufe. Die horizontale Gesamtabweichung zum Bohransatzpunkt beläuft sich auf 335 m bei einer wahren Teufe des Landepunktes der Bohrung in 4394,72 m. Der horizontale Bohrlochverlauf ist in Abb. 1 ersichtlich.

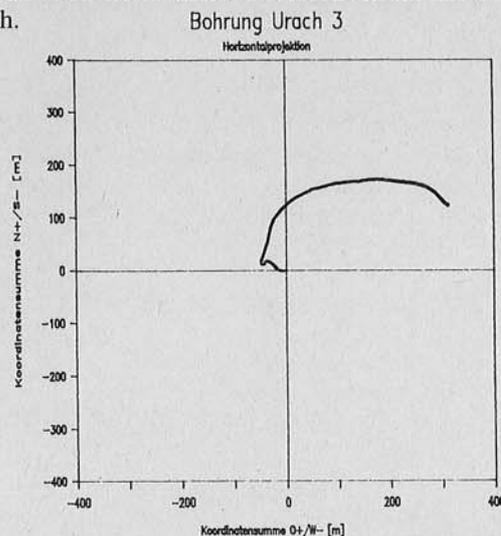


Abb. 1: Bohrungsverlauf in Horizontalprojektion Teufe 0 - 4445 m