

gischen, technischen und wirtschaftlichen Aspekte eines solchen Vorhabens untersucht werden sollen.

Im Ergebnis der von der Geothermie Neubrandenburg erarbeiteten Studie wurde die Machbarkeit des Vorhabens bestätigt. Die geologischen Voraussetzungen sind grundsätzlich gegeben. Sandsteine im Teufenbereich um 850 m und einer Schichttemperatur um 40 °C sind die Zielhorizonte der Erkundung und Erschließung.

Eine Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems energetischer und balneologischer Nutzung kann erreicht werden. Die Stadt hofft auf die weitere Unterstützung durch das Land Brandenburg bei der Fortführung des Projektes.

Schweden: Unterirdische Thermische Energiespeicherung

Dr. Burkhard Sanner

Einleitung

In den letzten Jahren ist der Einsatz von thermischen Energiespeichern zum Ausgleich der Unterschiede in Angebot und Nachfrage von Wärme und Kälte stark angestiegen. Besonders Schweden hat hierbei eine führende Rolle. Im folgenden sollen einige grundsätzliche Gedanken geäußert und anschließend Beispiele vorgestellt werden.

Unterirdische thermische Energiespeicher (UTES) werden in zwei große Gruppen eingeteilt, diejenigen mit Erdwärmesonden (engl. "Duct Storage" oder "Borehole Store") und solche mit Nutzung des natürlichen Grundwassers als Wärmeträger (Aquiferspeicher).

Die für die thermische Energiespeicherung herangezogenen geologischen Regionen Schwedens lassen sich in drei Gruppen unterteilen:

- Kristallin des baltischen Schildes

In Granit und Gneis lassen sich mit Imlochhammer kostengünstig Bohrungen abteufen und Wärmetauscher installieren.

- Phanerozoische Sedimente Südschwedens

Hier sind Erdwärmesonden in Ton oder Kalk untersucht worden, und in klüftigen Kalksteinen im Gebiet von Malmö werden Kluffgrundwasserleiter auch als Aquiferspeicher verwendet.

- Oser (schwed. Ås oder Grusås, engl. Esker)

Meist gut durchlässige Ablagerungen subglazialer Flüsse, die sich sehr gut für die Nutzung als Aquiferspeicher eignen.

Thermische Energiespeicherung wird in Schweden in verschiedenen Zusammenhängen eingesetzt. So gibt es große Solarkollektorfelder, mit denen im Sommer Wasser erwärmt wird, welches anschließend in großen Speichern zur Heizung im Winter aufbewahrt wird. Diese Anlagen werden als "Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage", kurz CSHPSS ("Chips"), bezeichnet. Wegen der großen Wärmeverluste bei der mehrmonatigen Speicherung mit relativ hoher Temperatur sind solche Anlagen nur mit sehr großen Speichern sinnvoll. Als Speicher wurden große Wassertanks (Ingelstad, 5000 m³), isolierte Gruben im Boden (Studsvik, 640 m³; Kronhjorten, 800 m³; Särö, 1200 m³; Lambohov, 10.000 m³) oder Felskavernen (Lyckebo, 105.000 m³) verwendet. Das größte Projekt, Kungälv, soll Fels-

kavernen mit 400.000 m³ Inhalt erhalten, befindet sich aber seit Jahren nur in der Planungsphase. Speicher mit Bohrlöchern oder Aquiferspeicher für reine CSHPSS-Anlagen sind bislang nicht verwirklicht; einige Speicher mit Erdreichwärmetauschern ("ducts") nutzen jedoch Solarkollektoren, um auf niedrigerem Temperaturniveau das Erdreich als Wärmequelle für den winterlichen Wärmepumpenbetrieb im Sommer zu regenerieren, sie sind in Tab. 1 mit aufgeführt.

Wärmespeicher

Eine anderer Einsatz bietet sich in der Speicherung von Abwärme, wie sie z.B. aus Industrieprozessen oder Kraftwerken anfällt, oder bei der Speicherung von Umweltwärme aus Flüssen, Seen oder der Außenluft. Hierbei ist anzumerken, daß das Grundwasser und oberflächennahe Erdreich in Schweden deutlich kälter ist als in Deutschland, von 9 °C im Süden (Malmö) bis zu 2-4 °C im Norden (Luleå); eine Temperaturerhebung auf etwa 15 °C bedeutet somit schon eine deutliche Verbesserung z.B. der Nutzbarkeit als Wärmequelle für Wärmepumpen. In Tabelle 1 sind die bislang gebauten schwedischen Wärmespeicher mit Erdreichwärmetauschern oder Grundwassernutzung (Aquiferspeicher) aufgelistet.

Name	Heizstg. (kW)	Speichert. max (°C)	Speichervolumen (m ³)	Speicherart und Beladung	Baujahr
Wohnhaus, Utby	10	15	1.300	37 Bg. je 10 m, Außenluft	1979
Schule Sunclay, Kungsbacka	600	15	87.000	612 Bg. je 35 m, Solarkoll.	1981
Schule Sunpeat, Härryda	200	16	5.000	horiz. 19200 m PE-Rohr, Solarkoll.	1982
Wohnanl. Kullavik, Kungsb.	62	40	8.100	244 Bg. 8-12 m, Solarkoll.	1983
Universitätsgeb., Luleå	400	80	120.000	120 Bg. je 65 m, Granit, Abwärme	1983
Nahwärmenetz, Klippan	2000	n.a.	ca. 1.000.000	Aquifer, 6+4 Brunnen, Flußwasser	1984
Schule, Falun	440	12	ca. 5.000.000	Aquifer, 3 Brunnen, Seewasser	1985
Schule, Söderköping	ca. 750	32	36.000	384 Bg. je 18 m, Außenluft/WP	1987
Nahwärmenetz, Lomma	3500	15	ca. 6.500.000	Aquifer, 5+5 Brunnen, Flußwasser	1991

Tab. 1: Saisonale unterirdische Wärmespeicher in Schweden

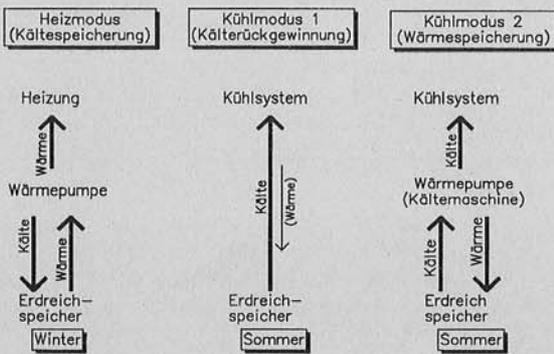
Hervorzuheben ist die Anlage in Luleå, die auf hohe Temperaturen ausgelegt ist. Die Bohrlöcher stehen offen im Gneis, die Wasserzirkulation erfolgt durch ein Rohr im Zentrum der einzelnen Bohrung und den Ringraum, der außen direkt durch das Gestein begrenzt ist. Dadurch läßt sich ein guter Wärmeübergang erreichen. Im Sommer wird überschüssige Wärme im durch Kraftwerkabwärme gespeisten Fernwärmenetz der "Luleå Kraft AB" in den Speicher geleitet und im Winter bei hohem Heizbedarf dem Fernwärmenetz wieder zugeführt. Zwei Wärmepumpen mit zusammen 400 kW Heizleistung stehen bereit, um in Spitzenzeiten die Temperatur der dem Speicher entnommenen Wärme noch zu erhöhen.

In Klippan, Falun und Lomma wird im Sommer warmes Oberflächenwasser in den Aquifer gepumpt, um die durch den Wärmepumpenbetrieb im Winter erfolgte Abkühlung des Grundwassers wieder auszugleichen bzw. zusätzliche Wärme zu speichern; in Utby und Söderköping wird dazu die Wärme der sommerlichen Außenluft über Wärmetauscher genutzt, wobei in Söderköping die Wärmepumpe auch während der Speicherladung zur Temperaturerhöhung arbeitet. Die beiden Anlagen in Kungsbacka und diejenige in Härryda verwenden Wärme aus einfachen Solarkollektoren mit relativ geringer Temperatur. Die maximalen Speichertemperaturen liegen somit in Bereichen, die eine Nutzung des Speichers nur noch über Wärmepumpen zulassen. In Kungsbacka und Söderköping ist das Speichermedium relativ weicher, wassergesättigter Ton. Dieses Material hat eine recht hohe spezifische Wärmekapazität, die Installation der PE-Rohre als Wärmetauscher geht recht einfach (durch Eindrücken!), doch muß man mit geotechnischen Problemen rechnen. Versuche am Schwedischen Geotechnischen Institut in Linköping mit kleinen Versuchsspeichern sollen diese Probleme bei höheren Temperaturen (bis 70 °C) verstehen lernen.

Wärme-/Kältespeicher

Bei Erdrreich und Grundwasser relativ niedriger Temperatur bietet sich die Nutzung zur Kühlung im Sommer an. Sofern dazu die Temperatur im Winter nochmals künstlich erniedrigt wird, kann man von Kältespeicherung sprechen. Die schwedischen Anlagen dieser Art sind in Tab. 2 aufgeführt. Besonders in Fällern, wo Wärmepumpen zum Heizen eingesetzt werden, ergeben sich durch die Verdampferkälte gute Möglichkeiten der saisonalen Kältespeicherung. Das Prinzip ist in Abb. 1 gezeigt, es handelt sich dann um eine kombinierte Wärme-/Kältespeicherung.

Name	Heizstg. (kW)	Speichert. max (°C)	Speichervolumen (m³)	Speicherart und Beladung	Baujahr
Viberga	90	n.a.	n.a.	Bohrungen, WP	1983
Ericsson, Kristianstad	700	25	ca. 30.000	Aquifer, 2 Brunnen, WP	1984
Supermarkt, Finspång	660	25	45.000	24 Bg. je 110 m, WP	1984
Haus Höstvetet, Hagsåtra	75	14	26.000	25 Bg. je 80 m, Glasatrium, WP	1985
SAS Head Office, Frösundavik	2100	15	ca. 800.000	Aquifer, 3+2 Brunnen, WP	1987
Capella	40	n.a.	n.a.	Bohrungen, WP	1988
GLC-Center, Upplands Väsby	480	n.a.	110.000	64 Bg. je 110 m, WP	1989
ONOFF Fabrik	130	n.a.	n.a.	Bohrungen, WP	
Triangeln Center, Malmö	900	11	ca. 200.000	Aquifer, 8+8 Brunnen, WP	1990
Vintergatan	180	n.a.	n.a.	Bohrungen, WP	1991
Sparven Tele-Station, Malmö	500	16	ca. 320.000	Aquifer, 3+3 Brunnen, Luftregister	1991
Hyllie, Malmö	70	n.a.	n.a.	Aquifer, WP, Luftregister	1992
Dalaplän, Malmö	50	n.a.	n.a.	Aquifer, WP, Luftregister	1993



Tab. 2: Saisonale unterirdische Wärme-/Kältespeicher in Schweden

Am Beispiel von zwei Anlagen, die nach dem in Abb. 1 gezeigten Prinzip arbeiten, wird unten die praktische Umsetzung aufgezeigt. Hier noch einige Bemerkungen zu abweichenden Anlagen. Recht einfach ist das Prinzip in der Anlage Höstvetet (auch als "Suncourt" bekannt), wo ein überglastes Atrium eines Wohnkomplexes zur passiven Sonnenenergienutzung dient (Abb. 2). Im Winter ergibt sich ein trockener und nicht zu kalter Bewegungsraum im Innenhof, im Sommer wird die warme Luft aus dem Atrium abgesaugt und damit der Bohrlochspeicher (im Winter Wärmequelle für die Wärmepumpenheizung) aufgeladen, was zur notwendigen Kühlung der Luft im Atrium führt.

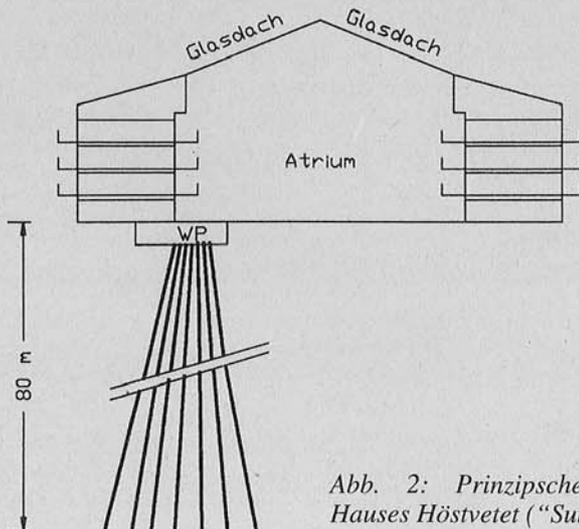


Abb. 2: Prinzipschema des Hauses Höstvetet ("Suncourt")

Die Anlagen Sparven, Hyllie und Dalaplän in Malmö arbeiten als reine Kältespeicher. Im Winter wird Wasser aus dem Aquifer an der kalten Außenluft abgekühlt und wieder eingeleitet, im Sommer wird das Wasser zur Kühlung benutzt. Falls solche Anlagen nicht (wie Sparven) für technische Anwendungen betrieben werden, ist eine separate Wärmeversorgung z.B. über Fernwärme erforderlich. Kältespeicher der letztgenannten Art haben auch in den Niederlanden in den letzten Jahren stärkere Verbreitung erfahren.

SAS-Hauptverwaltung, Frösundavik bei Stockholm Aquiferspeicher

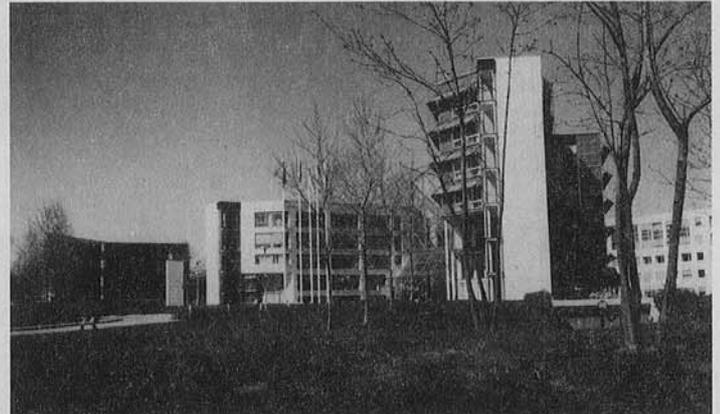


Abb. 3: SAS-Hauptverwaltung, Frösundavik, Ansicht des Gebäudekomplexes von Südosten

Mit dem 1987 erstellten Neubau der Hauptverwaltung der skandinavischen Fluglinie SAS in Frösundavik nördlich Stockholm (Abb. 3) wurde ein Gebäude geschaffen, das sowohl von der Nutzerseite, den Arbeitsbedingungen, als auch vom energetischen Standpunkt aus eine große Zahl zukunftsweisender Konzepte aufweist. Die Bürofläche ist auf mehrere Gebäude aufgeteilt, die sich um eine glasüberdachte "Dorfstraße" gruppieren (Abb. 4). Entlang dieser Dorfstraße gibt es mehrere Geschäfte, Sporthalle, Hallenbad und Cafeteria für die Beschäftigten.



Abb. 4: SAS-Hauptverwaltung, Frösundavik, überglaste "Dorfstraße" im Zentrum des Gebäudekomplexes

Das Gebäude liegt neben und auf einem Os (Esker), der sich, mit Unterbrechungen, über mehr als 50 km von Uppsala nach Stockholm hinzieht. In seinem Kern gibt es eine Zone mit extrem guten hydraulischen Durchlässigkeiten, der kf-Wert liegt dort bei 3.10^{-1} m/s (Abb. 5)! Dieser Aquifer wird durch drei Brunnen direkt südlich des Gebäudes ("kalte Brunnen") und zwei "warmen" Brunnen erschlossen, je einer an der Nordwestecke des Gebäudes und an der südlichen Grundstücksgrenze.

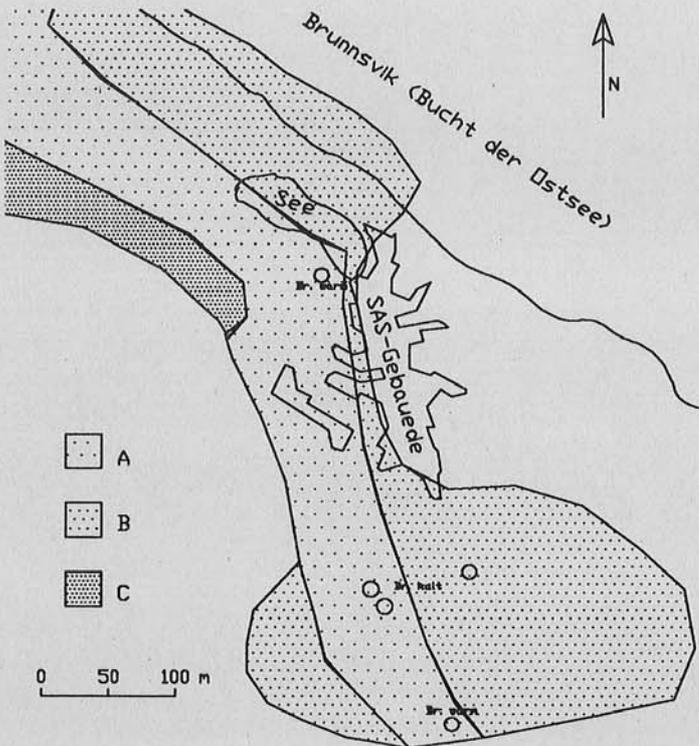


Abb. 5: Lage des SAS-Gebäudes und der Brunnen im Os; A ist die sehr gut durchlässige Kernzone, B und C die noch gut durchlässigen Randbereiche des Os.

In Abb. 6 ist das Arbeitsprinzip der Anlage dargestellt. Im Winter wird aus den warmen Brunnen Grundwasser abgepumpt; es gibt seine Wärme an einen Glykol-Kreislauf ab und wird in den "kalten" Brunnen wieder in den Aquifer eingeleitet. Der Glykol-Kreislauf dient direkt der Vorwärmung der Ventilationsluft und über Wärmepumpen der Heizung und Brauchwassererwärmung. Eine Elektrodirektheizung für Notfälle oder besondere Spitzenlasten ist vorhanden, wird aber im Regelbetrieb nicht benötigt. Im Sommer wird aus den "kalten" Brunnen abgepumpt, über einen Wärmetauscher Wärme aus dem Kühlkreislauf (direkte Kühlung der Ventilationsluft, Kühlpanels in den Räumen) aufgenommen und das erwärmte Wasser in den "warmen" Brunnen wieder versickert. Insgesamt kann der Aquiferspeicher pro saisonalem Zyklus etwa 3 GWh Wärme aufnehmen oder abgeben. Der Betreiber ist mit der Anlage sehr zufrieden, wie der Verfasser bei Besuchen 1992 und 1994 erfahren konnte; umfangreiche Messkampagnen und Auswertungen, unterstützt durch den Bygghörsningsrådet (Swedish Council for Building Research), bestätigen die in die Anlage gesetzten Erwartungen.

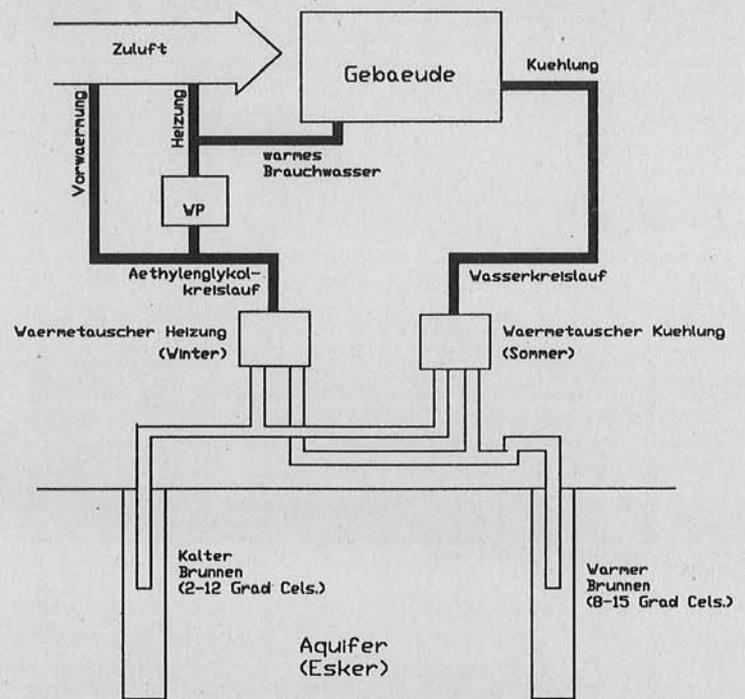


Abb. 6: Betriebsschema der Anlage SAS

GLG-Center, Hotel- und Bürokomplex, Upplands Väsby bei Stockholm Bohrlochspeicher

Etwa 20 km nördlich des SAS-Gebäudes, außerhalb des Os, befindet sich das GLG-Center (Abb. 7). 1989 wurde der erste Bürotrakt (auf Abb. 7 links) sowie der Speicher in Betrieb genommen (der Verfasser konnte im Januar 1990 noch die mit Lüftungs- und Heizungskanälen ausgestatteten Fertigbetondecken in nicht ausgebauten Gebäudeteilen in Augenschein nehmen). Seit 1993 ist der Vollausbau erreicht. Das Gebäude wird über Fernwärme beheizt und konventionell gekühlt, der Speicher ist so in das System integriert, daß er die Abwärme der Kühlung aufnehmen und im Winter an das Heizsystem abgeben kann. Bei einer Gebäudeheizlast von 3,5 MW soll der Speicher bis zu 0,5 MW beitragen, in einem saisonalen Zyklus können 720 MWh gespeichert werden. Der Speicher befindet sich in Granit und Gneis unter einem Wiesenstück von ca. 35 x 35 m hinter dem Gebäude.



Abb. 7: GLG-Center, Upplands Väsby, Ansicht von Süden; links und rechts Bürotrakt, im Zentrum Turm des Scandic Crown Hotel mit dem dahinterliegenden überdachten tropischen Garten

Im GLG-Center sind nicht alle Möglichkeiten zu energiesparendem Bauen genutzt worden. Besonders die Halle des Scandic Crown Hotels (hinter dem Turm in einem 9 Stockwerke hohen

Innenhof) trägt zum Heizbedarf bei, ist sie doch als tropische Garten mit Palmen und Wasserlauf ausgestattet. Es soll sich dabei um den größten tropischen Garten Nordeuropas handeln, wie dem Verfasser bei einer Besichtigung im Mai 1994 mitgeteilt wurde. Eine Meßkampagne im Auftrag des Byggforskingsrådet brachte leider bis jetzt keine aussagefähigen Ergebnisse.

Zusammenfassung

Saisonale thermische Energiespeicherung hat in Schweden einen beachtlichen technischen Stand erreicht, was allein durch die mindestens 22 vorhandenen Anlagen bestätigt wird. Die Anlagengrößen reichen dabei von 10 bis 3500 kW. Besonders Anlagen mit kombinierter Wärme-/Kältespeicherung und Wärmepumpen haben durch ihre weite Anwendbarkeit und die Anpassungsmöglichkeit an den Untergrund (Aquifer oder Erdreichwärmetauscher) gute Zukunftschancen.

Japan: Geothermie aktuell

Nachrichten zur Situation der Geothermie in Japan hat die GtE immer wieder aufgegriffen. Die nachfolgenden Informationen sollen nun einen möglichst aktuellen Überblick zum gegenwärtigen Stand liefern. Der Beitrag faßt Daten und Materialien aus den IGA-News und verschiedenen Informationen der NEDO zusammen.

Japan gilt als eines der vulkanisch aktivsten Länder der Erde und verfügt über dementsprechend ergiebige geothermischen Ressourcen. Bei der prekären Rohstoffknappheit des ostasiatischen Inselstaates spielt die Erdwärme als eine der wenigen einheimischen Energiequellen verständlicherweise eine bedeutende Rolle. Deren verschiedene Nutzungsvarianten sind in der nachfolgenden Abbildung wiedergegeben.

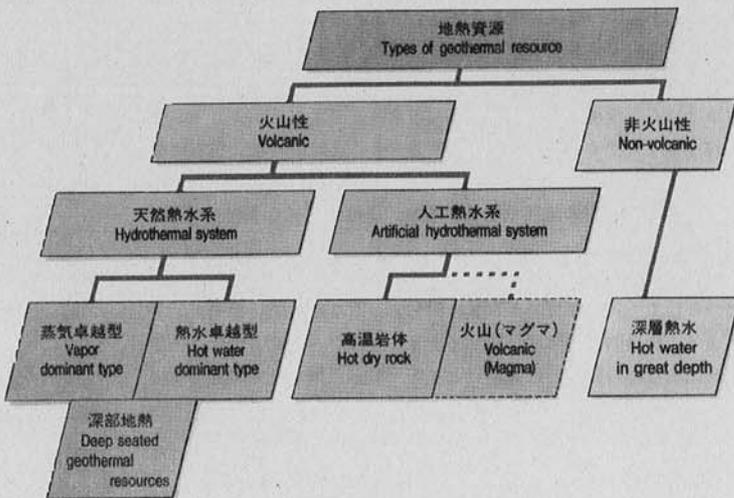


Abbildung: Nutzungsvarianten geothermischer Energie in Japan

Unter diesen gehört die Produktion von elektrischem Strom aus Dampfzylinderstätten zu den wichtigsten Verfahren.

Operational Status of Japan's Geothermal Power Plants

Name of Power Plant (Operator)	Rated Output (MW)	Annual Energy Prod. (MWh)	Maximum Power (MW)	Operation Factor (%)	Load Factor (%)	Utilization Factor (%)	Auxiliary Power Ratio (%)
Matsukawa (Japan Metals & Chemicals Co., Ltd.)	23.500	164,588	23.50	82.2	80.0	80.0	6.9
Otake (Kyushu Electric Power Co., Inc.)	12.500	100,023	12.50	92.3	91.3	99.8	10.3
Onuma (Mitsubishi Materials Corporation)	9.500	69,860	8.90	95.3	89.6	84.0	8.4
Hatchobaru I (Kyushu Electric Power Co., Inc.)	55.000	327,544	47.00	100.0	95.0	68.0	9.3
Hatchobaru II (Kyushu Electric Power Co., Inc.)	55.000	363,505	55.00	100.1	75.4	79.7	8.8
Onikobe (Electric Power Development Co.)	12.500	93,423	12.50	92.3	82.3	85.3	10.3
Kakkonda (Japan Metals & Chemicals Co., Ltd. and Tohoku Electric Power Co., Inc.)	50.000	374,929	49.90	91.0	85.8	85.6	4.9
Mori (Donan Geothermal Energy Co., Ltd. and Hokkaido Electric Power Co., Inc.)	50.000	175,783	29.00	85.5	69.2	40.1	13.7
Uenotai (Akita Geothermal Energy Co., Ltd. and Tohoku Electric Power Co., Inc.)	27.500	42,125	27.50	26.3	55.0	55.0	6.0
Suginoi (Suginoi Hotel)	3.000	10,249	1.47	95.1	79.6	39.0	24.2
Kirishima International Hotel (Daiwabo Kanko Co., Ltd.)	0.100	343	0.10	100.0	39.1	39.1	0.3
Takenoyu (Hirose Trading Co., Ltd.)	0.105	—	—	—	—	—	—
Total / Average	298.705	1,722,372	267.37	—	76.8	70.4	—

1) Annual Energy Production covers the one year period April 1993-March 1994. 2) Maximum Power indicates the maximum power generated in one hour. 3) Operation Factor is defined as (Operating Days / Calendar Days) x 100%. 4) Load Factor is defined as (Year's Average Power / Maximum Power) x 100%. 5) Utilization Factor is defined as (Year's Average Power / Rated Output) x 100%. 6) Auxiliary Power Ratio is defined as (Auxiliary Power / Annual Energy Production) x 100%.

Tabelle: Geothermische Kraftwerke in Japan

Sämtliche geothermischen Kraftwerke Japans haben bisher zufriedenstellend gearbeitet. Der 1993er Jahresnutzungsgrad betrug 70.4%. Matsukawa, Japans ältestes Kraftwerk dieser Art ist seit nunmehr über 27 Jahren im Betrieb. Die "Dampftraktion" wird gegenwärtig weiter ausgebaut. Dazu einige Beispiele aus jüngster Zeit:

Am 4. März 1994 nahm in Yuzawa das Uenotai-Kraftwerk seinen kommerziellen Betrieb auf. Die 27,5 MW Anlage wird von der Tohoku Electric Power Co. betrieben. Die Dampflieferung erfolgt aus fünf Förderbohrungen, die der Akita Geothermal Energy Co. gehören.

地点名 districts	発電部門 Power generator	開発事業者 Developer	開発目標 Planning Output	運転開始予定 Start of Operation Plan
澁川 Sumikawa	東北電力(株) Tohoku Electric Power Co., Inc.	三菱マテリアル(株) Mitsubishi Material Co., Ltd.	50,000kW	1995.3
山川 Yamagawa	九州電力(株) Kyushu Electric Power Co., Inc.	九州地熱(株) Kyushu Geothermal Co., Ltd.	30,000kW	1995.3
柳津西山 Yanaizu Nishiyama	東北電力(株) Tohoku Electric Power Co., Inc.	奥会津地熱(株) Okuizu Geothermal Co., Ltd.	65,000kW	1995.5
葛根田2号 Kakkonda No.2	東北電力(株) Tohoku Electric Power Co., Inc.	東北地熱エネルギー(株) Tohoku Geothermal Energy Co., Ltd.	30,000kW	1996.3
大霧 Oguni	九州電力(株) Kyushu Electric Power Co., Inc.	日鉄鹿兒島地熱(株) Nitetsu Kagoshima Geothermal Co., Ltd.	30,000kW	1996.3
滝上 Takigami	九州電力(株) Kyushu Electric Power Co., Inc.	出光大分地熱(株) Idemitsu Oita Geothermal Co., Ltd.	25,000kW	1996.11
小国 Oguni	電源開発(株) Electric Power Development Co., Ltd.	電源開発(株) Electric Power Development Co., Ltd.	未定 Undetermined	未定 Undetermined

Tabelle: Übersicht Neue geothermische Kraftwerksprojekte (Bau- oder Planungsbeginn ab Ende 1993)

Dieser für Japan "konventionelle" geothermischen Kraftwerkspark soll nun durch weitere Nutzungen ergänzt werden. Mit der New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) verfügt das Land über eine Organisation, die sich besonders um die Forschung und Entwicklung der Geothermie bemüht. Die folgende Karten zeigen die verschiedenen NEDO-Aktivitäten im Überblick.

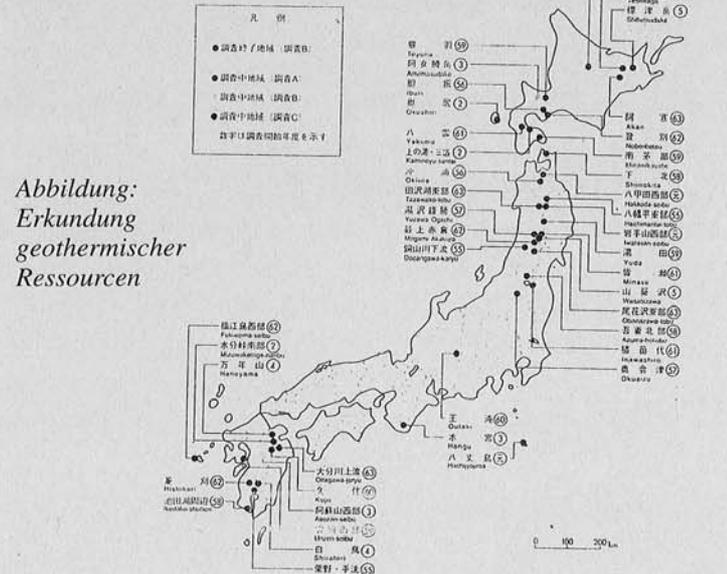


Abbildung: Erkundung geothermischer Ressourcen