

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105 (1987)  
**Heft:** 42

**Artikel:** Geothermisches Kraftwerk: ein Innovationsprojekt nach dem Konzept K. Brunnschweiler  
**Autor:** Escher, Fritz C.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76730>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Geothermisches Kraftwerk

## Ein Innovationsprojekt nach dem Konzept K. Brunnschweiler

Von Fritz C. Escher

Aus der breit gefächerten Palette der unter der Flagge Aktion Innovation segelnden Projekte sei das Erdwärmekraftwerk Konzept K. Brunnschweiler herausgegriffen und im nachfolgenden Artikel einer breiteren, technisch interessierten Leserschaft vorgestellt. Es handelt sich um ein kühnes, zukunftsweisendes und in seiner Bedeutung einzigartiges Projekt. Die Idee eines solchen Erdwärmekraftwerkes begegnete vor einem Jahrzehnt noch grosser Skepsis, ja Ablehnung. In der Zwischenzeit haben jedoch neue Technologien ganz markante Fortschritte gemacht und damit neue Möglichkeiten eröffnet. Ausserdem haben viele Detailuntersuchungen Lösungswege für Einzelprobleme aufgezeigt, bzw. wo durch Forschung und Entwicklung die Lücken unserer Kenntnisse noch zu schliessen sind. Die Aufgaben sind konkret gestellt, und der Zeitpunkt, sie in Angriff zu nehmen, ist gekommen.

### Nutzung der Erdwärme

Vulkane und heisse Quellen haben wohl schon vor Jahrtausenden der Menschheit bewusst gemacht, dass in der Erde praktisch unendliche Mengen Energie in Form von Wärme gespeichert sind. Als einfachste Form der Nutzung sind uns die Thermalbäder oder das Garen der Nahrung einzelner Völker im siedend heissen Wasser überliefert. Eine kulturelle Blütezeit erreichte diese Wärmenutzung in der Antike durch die berühmten Thermen der Römer, die nach dem Untergang des römischen Reiches z. T. dem Ruin und der Vergessenheit anheimfielen. Doch die warmen Quellen flossen weiter, und das erwachende Mittelalter hat sie wieder entdeckt und nutzbar gemacht. Das nächstliegende Beispiel dieser Entwicklung ist Baden im Aargau.

Eine neue Ära in der Nutzung der Erdwärme begann sich in der Neuzeit mit dem Eintritt in die Industrialisierung langsam abzuzeichnen. Nach der Erfindung der Dampfmaschine und der Dampfturbine zusammen mit der Erzeugung und Fortleitung der Elektrizität und später auch mit der Möglichkeit der Fernheizung rückte die Nutzung der Erdwärme in den Mittelpunkt des Interesses.

Schon 1905 erfolgte die erste Nutzung der Erdwärme in der Zentrale *Larderello* in der Toskana, welche mit trockenem Erddampf betrieben wird und im heutigen Ausbau eine Leistung von 420 MW erreicht. Die im Jahre 1960 in Betrieb genommene Anlage der Geyser in Kalifornien ist die grösste dieser Art. Mit einer Leistung von über 500 MW produziert sie den billigsten Strom in USA.

Heute dürften über fünfzig geothermische Kraftwerke in Betrieb sein, wovon ein Teil mit Dampf aus Tiefbohrungen nach dem «Hot Dry Rock»-Verfahren arbeitet. Sehr rasch hat sich die geothermische Fernheizung in den letzten beiden Jahrzehnten entwickelt, sind doch in vielen Gebieten ergiebige Aquifere mit Temperaturen von 50 °C bis 80 °C schon in Tiefen ab mehreren 100 m erreichbar. So stehen beispielsweise in der Region von Prais in einem Umkreis von 50 km heute schon über dreissig geothermische Fernheizungen in Betrieb.

Die Nutzbarmachung der Erdwärme zur Erzeugung von elektrischer Energie dürfte aus naheliegenden Gründen sehr rasch grosse Bedeutung erlangen. In USA (Los Alamos, New Mexico) steht nach 14-jährigen Versuchen seit 1986 ein «Hot Dry Rock»-Versuchskraftwerk mit 176 °C heissem Dampf aus 4000 m Tiefe in Betrieb. Japan hat sich für dieses Projekt interessiert und soll eine eigene Anlage in Hijioi nördlich von Tokio in Betrieb genommen haben. Ein «Hot Dry Rock»-Versuch läuft, allerdings in bescheidenem Rahmen, auch in Cornwall/GB mit vermutlich 650 m Bohrtiefe. Ein ähnliches Projekt der EG besteht in Soultz im Elsass. Schliesslich soll auch die Sowjetunion drei Versuchsprojekte verfolgen. Im Umfeld dieser Entwicklung und angesichts unseres grossen Energiebedarfes ist es nur erstaunlich, dass massgebende Körperschaften und Instanzen in der Schweiz der Nutzung der Erdenergie bzw. der Forschung und Entwicklung dieser Sparte bisher so wenig Interesse und Unterstützung geliehen haben. Vor etwa zehn Jahren veröffentlichte Studien und Beurteilungen mögen wohl als Hemmschuh gewirkt ha-

ben, doch die Geschichte nimmt einen andern Verlauf.

Das schon erwähnte «Hot Dry Rock»-Konzept (HDR), auch Hydraulic Fracturing Konzept (HF) genannt, wurde in Los Alamos, wo auch die Atombombentests stattfinden, entwickelt. Es besteht kurz gefasst darin, dass in einer bestimmten Distanz zwei Bohrungen bis ins heisse Gestein abgeteuft werden. Anschliessend wird durch die eine Bohrung Wasser eingeführt, das verdampft und dabei die im Gestein vermuteten Klüfte aufsprengt. Durch diese sucht sich das heisse Wasser bzw. der Dampf seinen Weg und soll so die andere Bohrung finden und darin zur Oberfläche, d. h. in die Turbine gelangen. Der Abstand der beiden Bohrungen darf nicht

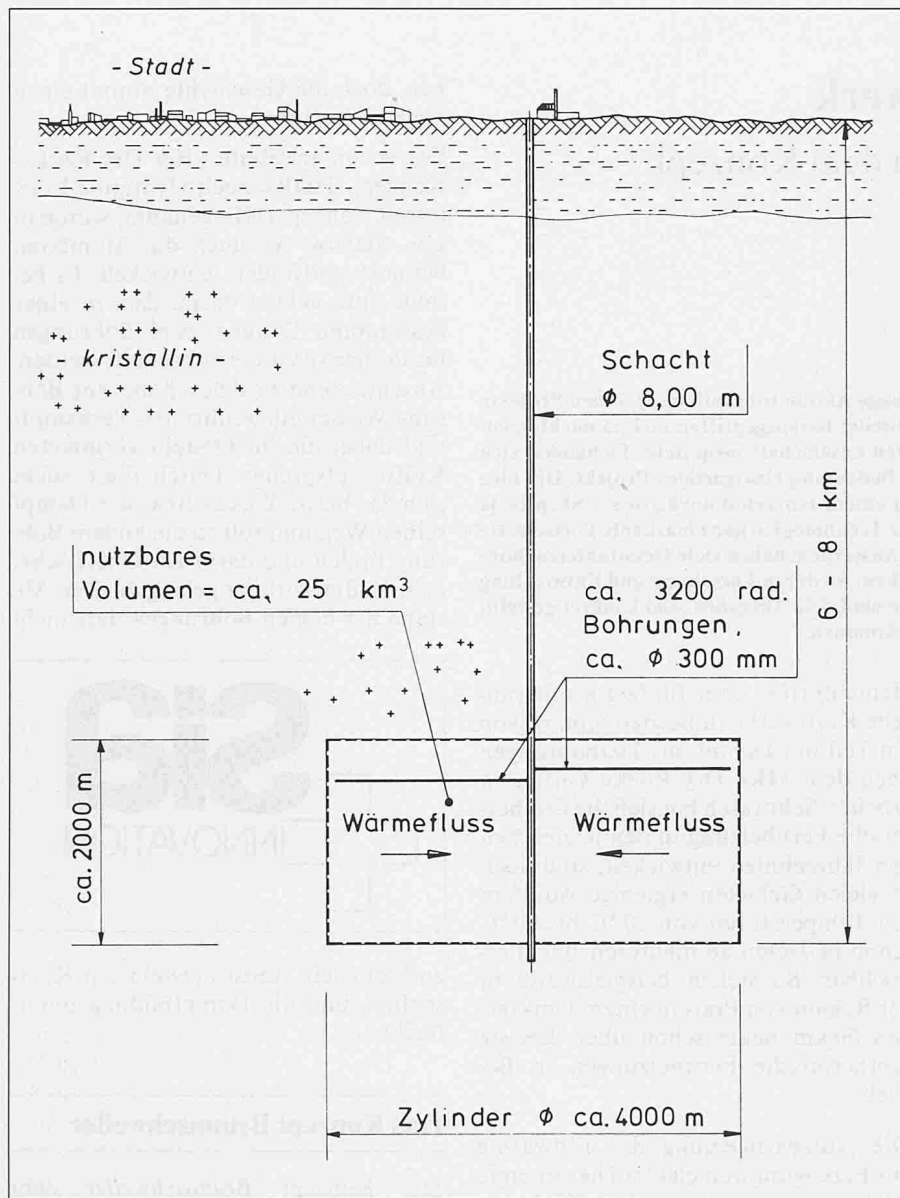


zu klein sein, sonst entsteht ein Kurzschluss, und die Dampfbildung unterbleibt.

### Das Konzept Brunnschweiler

Das Konzept *Brunnschweiler* sieht ebenfalls vor, aus dem heissen trockenen Fels Energie zu gewinnen, indem in einem in grosser Tiefe liegenden Felsvolumen von 25 km<sup>3</sup> Wasserdampf erzeugt wird. Bei einem mittleren Temperaturgradienten von 30 ° pro km können in einer Tiefe von 4 bis 5 km Temperaturen von 140 bis 160 °C erreicht werden. Dies würde für ein Heizwerk durchaus genügen. Für ein Kraftwerk zur Elektrizitätserzeugung sind jedoch Dampftemperaturen in der Grössenordnung bis zu 300 °C erforderlich. Diese werden in Tiefen von 8 bis 10 km erreicht. Das Konzept Brunnschweiler sieht dafür folgende Anordnung vor (Bild 1):

- ein vertikaler Schacht von 8 m Durchmesser bis in eine Tiefe von 8 bis 10 km
- auf den untersten 2 km des vertikalen Schachts 3200 horizontale Bohrlocher von etwa 300 mm Durchmesser, angeordnet in 200 Ebenen zu je 16 radial angesetzten Bohrungen von 2 km Länge entsprechend einer Rohrwandfläche von  $6 \cdot 10^4 \text{ m}^2$



Schematischer Schnitt durch die Gesamtanlage

- Der Schacht ist isoliert, abgedichtet und oben druckfest verschlossen.
- Durch Fallrohre wird das Wasser in die Tiefe und durch Verteilrohre ans Ende jeder horizontalen Bohrung geführt, worin es verdampft und in den Vertikalschacht austritt und darin aufsteigt.
- Vom Ende des Schachtes, der als Dampfsammler wirkt, wird der Dampf in das Dampfkraftwerk geführt.

Dieses System von Schacht und Bohrungen erfüllt somit die Funktion des Dampferzeugers des Kraftwerkes wie ein konventioneller Dampfkessel oder ein Kernreaktor.

#### Energievorrat und Wärmeleistung

Durch die Bohrungen wird ein Gesteinsvolumen von 25 km<sup>3</sup> erschlossen. Diesem Wärmespeicher wird durch das System der Bohrungen bzw. durch die darin erfolgende Verdampfung Wärme

entzogen. Geht man von den folgenden für Granit bekannten Werten aus

- Dichte  $\rho = 2,26$  bis  $2,67$  kg/dm<sup>3</sup> bzw. t/m<sup>3</sup>, Annahme: Mittel =  $2,4$  t/m<sup>3</sup>
- Spez. Wärme  $c = 0,20$  kcal/kg grad bzw. Mcal/t·grad,

so ergibt sich für den Wärmespeicher ein Mass von

$m = 25 \cdot 10^9 \cdot 2,4 = 60 \cdot 10^9$  t. Bei Absenkung der Temperatur um  $1^\circ$  wird eine Wärmemenge von  $w = 60 \cdot 10^9 \cdot 0,2 = 12 \cdot 10^9$  Mcal frei oder da  $860$  Mcal =  $1$  MWh, wird  $w = 12 \cdot 10^9 / 860 =$  rund  $14 \cdot 10^6$  MWh.

Wird diese Wärme während eines Jahres (= 8600 h) entzogen, ergibt dies über diese Zeitdauer eine Wärmeleistung von  $N = 14 \cdot 10^6 / 8600 =$  rund  $1620$  MW thermisch.

Unter Annahme eines Gesamtwirkungsgrades von  $\eta_{tot} = 31\%$  erreicht das Kraftwerk eine Nutzleistung von  $N_{el} = 1620 \cdot 0,31 =$  rund  $500$  MW elektrisch.

Als entsprechende Dampfdaten können überschläglich angenommen werden

Dampfmenge 460 kg/s  
Dampfdruck 55 bar  
Dampftemperatur (satt) 270 °C.

Durch die Verdampfung wird der durch die Bohrungen erschlossene Gesteinsblock abgekühlt, und es setzt ein Wärmefluss aus den umgebenden Gesteinsmassen ein. In Analogie zur Hydrologie kann man von einer thermischen Senke sprechen. Somit lässt sich der Zufluss der Wärme nach analogen Ansätzen berechnen, sofern die massgebenden Grössen bekannt sind.

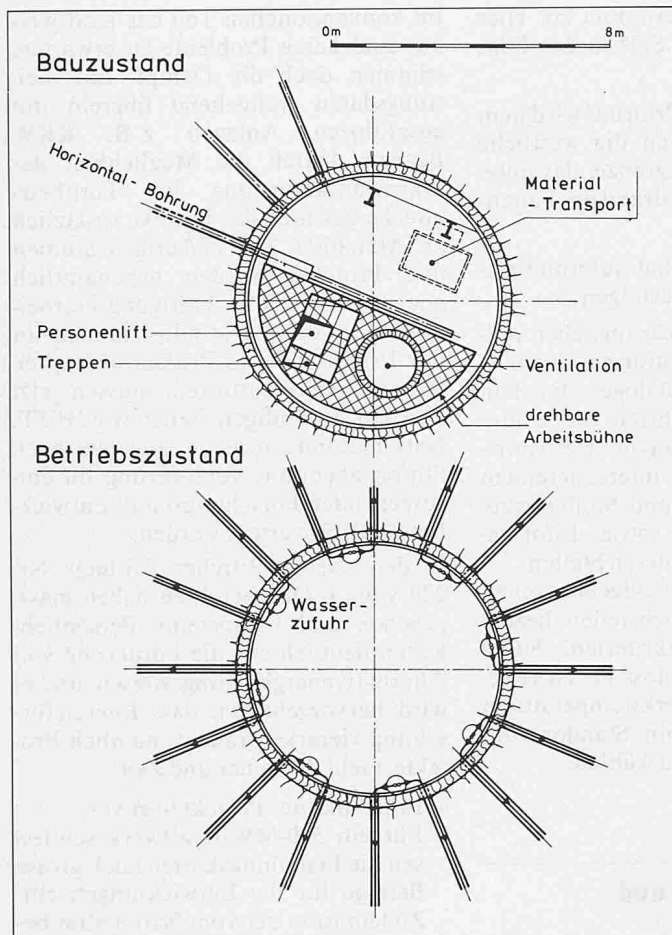
Aufgrund dieser Betrachtungsweise lässt sich bestimmen, wie lange eine konstante Leistung (Nennleistung) = Wärmemenge pro Zeiteinheit erbracht werden kann, bis eine Abnahme der Leistung in Funktion der Zeit einsetzt. Daraus kann eine Definition der Lebensdauer abgeleitet werden.

Aus der strahlenförmigen Anordnung der horizontalen Bohrung folgt, dass mit zunehmender Entfernung vom Schacht das Gesteinsvolumen pro Meter zunimmt und damit auch die pro Meter zur Verfügung stehende Wärmemenge. Die Anlage wird also um so wirtschaftlicher, je länger die horizontalen Kanäle gebohrt werden können, oder anders ausgedrückt: Bei einer bestimmten Dauerleistung ist die Lebensdauer, während welcher diese Leistung bezogen werden kann, durch die Länge der Bohrungen gegeben. Eine kleinere Ausbeute ist dann weiterhin noch möglich. Bei Teillast, z. B. im Sommer, ist auch eine Wiederaufladung des «Speichers» zu erwarten, so dass sich das Werk auch gut zur Spitzendeckung eignet. Nach vorsichtigen Abschätzungen beträgt die oben definierte Lebensdauer

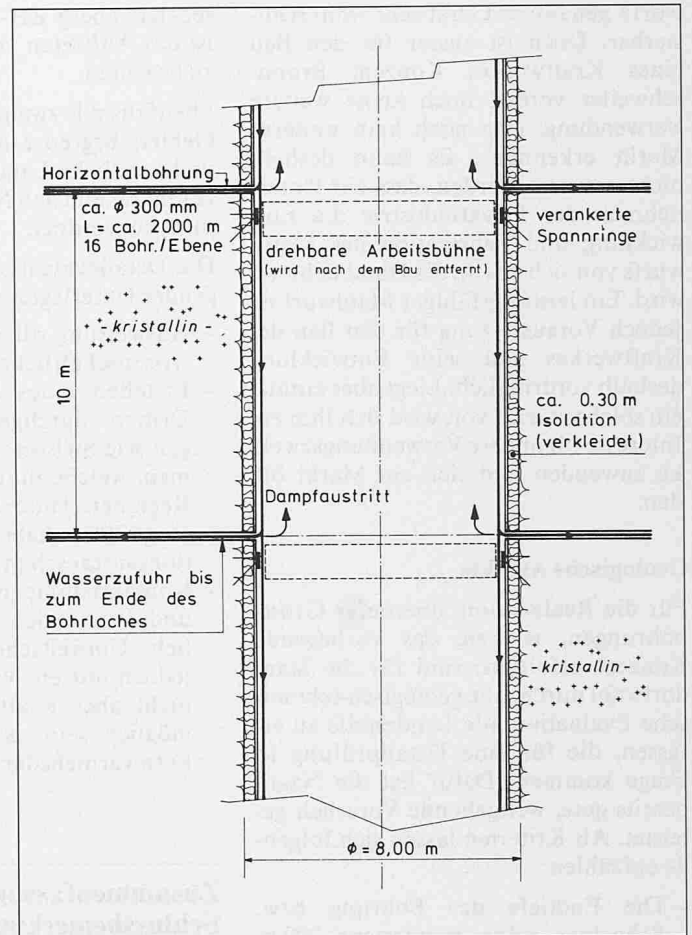
bei 20 m Kanallänge	etwa 1 Jahr
bei 1000 m Kanallänge	50 Jahre
bei 2000 m Kanallänge	100 Jahre

bezogen auf eine Dauerleistung von 500 MW.

Im Auftrag des NEFF arbeiten massgebliche Stellen wie Institute der ETHZ, EPFL, Motor Columbus an einem umfangreichen Forschungsprogramm über die Ausbeutung der Aquifere zu Wärmezwecken, doch scheint es im Hinblick auf die Zukunft unserer Elektrizitätswirtschaft dringend geboten, ein Forschungsprogramm in Angriff zu nehmen, das sich mit der Geothermie im Temperaturbereich von 250 bis 350 °C, also mit Bohrtiefen von 8000 bis 10 000 m im trockenen Kristallin und den damit verbundenen geologischen und seismischen Fragen befasst. Ein breiter Fächer von Teilproblemen kann heute durch Modellrech-



Schematische Horizontalschnitte durch den Schacht



Schematischer Vertikalschnitt durch den Schacht

nungen mit Computerprogrammen dargestellt und derart gelöst werden.

In diesem Zusammenhang sei auch auf den Bericht über die Studientagung «Geothermie» vom 5. November 1982 in Zürich hingewiesen. Die Ausführungen von Prof. François Descœudres an der EPFL enthalten sehr interessante Hinweise.

### Die Abteufung des Schachtes

Bisher wurde noch kein Schacht von 10 km Tiefe gebaut. Die tiefsten bekannten Schächte erreichen in den süd-afrikanischen Bergwerken 4 km, in Nordamerika 2,5 km. Die Schächte bieten jedoch einen zu einfachen Vergleich gegenüber dem Konzept Brunnschweiler, da sie in einen kühleren Untergrund (Südafrika 59 °C) hinabreichen. Nach dem Konzept Brunnschweiler sollen aber 300 °C erreicht werden. Es stellen sich also drei zentrale Probleme

- der wirtschaftliche Gesteinsbau beim Abteufen
- die Klimatisierung des Schachtes
- der hohe Luftdruck infolge des Höhenunterschiedes

Für die Abteufleistung dürfte der maschinelle Gesteinsabbau in erster Linie in Frage kommen. Im Vordergrund ste-

hen Blindabteufmaschinen, wie sie von der bekannten amerikanischen Firma Robbins entwickelt werden und mit deren wirtschaftlichem Einsatz demnächst gerechnet werden kann. Für eine Bauzeit des Schachtes von fünf Jahren sind Abteufleistungen von etwa 6 m/Tag erforderlich, was im Granit auf dem heutigen Stand der Technik hoch, aber machbar erscheint.

Für die Isolation und Kühlung des Schachtes liegen plausible Konzepte vor, nach denen ein gutes Klima für Mensch und Maschine aufrechterhalten werden kann.

Das Problem des höheren Luftdruckes bei tiefen Schächten kann ebenfalls bewältigt werden. Es ergeben sich daraus keine unüberwindbaren Hindernisse für das Konzept Brunnschweiler.

### Die Horizontalbohrungen

Das Kernproblem des Konzeptes Brunnschweiler liegt in den Horizontalbohrungen. Neuerdings sind in Japan Sondierbohrungen über 2 km Länge ausgeführt worden, jedoch nicht unter derart erschwerenden Bedingungen bezüglich Temperatur und Gesteinsdruck wie sie im vorliegenden Konzept zu erwarten sind. Die Verhältnisse gestalten sich aber insofern einfacher, als nur Voll-

bohrungen ohne Probekernentnahme in sehr gleichbleibendem Gestein auszuführen sind. Trotz der grossen Anzahl Bohrungen kann die Bauzeit in realistischen Grenzen gehalten werden, wenn die verschiedenen Bohrlochhorizonte mit je einer Serie radialer Bohrungen gleichzeitig in Angriff genommen werden. Die auf bisherigen Technologien beruhenden Bohrpreise sind prohibitiv hoch und haben vor Jahren zu negativen Beurteilungen des Konzeptes Brunnschweiler geführt, so z. B. im MAGES-Katalog. Dem ist entgegenzuhalten, dass seither das Problem der Horizontalbohrungen intensiv weiter verfolgt wurde. Zur Erreichung dieses Zieles sind folgende Teilaufgaben zu lösen:

- Bohrgerät für extreme Beanspruchung
- Steuerung der Bohrrichtung
- Energiezuleitung
- Entfernen des Bohrkleins
- Bohrlochdeformation und Rückzug des Bohrgerätes.

Ein Bohrgerät, das den Anforderungen des Konzeptes Brunnschweiler entspricht, wurde bisher noch nicht gebaut. Aufgrund der langjährigen Studien und Besprechungen mit der zuständigen Abteilung von SIG erscheint ein solches von Brunnschweiler «Maul-

wurf» genanntes Gerät sehr wohl realisierbar. Doch ist ausser für den Bau eines Kraftwerkes Konzept Brunnschweiler vorerst noch keine weitere Verwendung, also noch kein weiterer Markt erkennbar. Es kann deshalb nicht erwartet werden, dass ein Unternehmen der Privatindustrie die Entwicklung und Fabrikation des Maulwurfs von sich aus an die Hand nehmen wird. Ein leistungsfähiger Maulwurf ist jedoch Voraussetzung für den Bau des Kraftwerkes und seine Entwicklung deshalb vordringlich. Liegt aber einmal ein solches Gerät vor, wird sich ihm ein Interesse für andere Verwendungszwecke zuwenden und sich ein Markt bilden.

### Geologische Aspekte

Für die Realisierung übertiefer Grossbohrungen, wie sie das vorliegende Konzept erfordert, sind für die Standortwahl durch eine geologisch-tektonische Evaluation alle Landesteile zu erfassen, die für eine Detailprüfung in Frage kommen. Dafür hat die Nagra bereits gute, weitgehende Vorarbeit geleistet. Als Kriterien lassen sich folgende aufzählen:

- Die Endtiefe der Bohrung bzw. Schachtes sollte mindestens 200 m unter die Kristalloberfläche hinabreichen.
- Die Sedimentfolge sollte keine Steinsalzlager grösserer Mächtigkeit einschliessen.
- Gebiete mit genutzten Thermalquellen sind zu vermeiden.
- Zu vermeiden sind auch Gebiete, in welchen allgemein grössere Bohrschwierigkeiten zu erwarten sind.
- Einfacher tektonischer Baustil
- Gebiete mit horizontal oder schief gerichtetem Gebirgsdruck sind ungeeignet.
- Schliesslich ist die Sedimentüberlagerung des Kristallins von mehr als 500 m sicherzustellen, und es darf keine potentielle Erdöl-Erdgas-Struktur angefahren werden (weitgehend geklärt durch Arbeiten der Erdölforschung und der Nagra).

Als interessierende Gebiete bieten sich für eine detaillierte Evaluation folgende Regionen an:

Mit erster Priorität das Mittelland Hochrhein-Bodensee, begrenzt durch die nördliche Landesgrenze und die Linie Romanshorn TG-Kilchberg ZH-Zürichsee-unteres Glattal. Durch die Arbeiten der SEAG und der Nagra liegt eine entsprechende hohe Inforamtionsdichte vor.

Zweite Priorität kommt dem Gebiete umschlossen durch den Jura-Südrand und die Linie unteres Glattal-Zürich-

see-Kilchberg ZH-Bern-Biel zu. Hier ist das Auftreten von Salz in der Trias zu beachten.

Ebenfalls nur zweite Priorität wird dem Gebiet, begrenzt durch die westliche und nördliche Landesgrenze, das untere Glattal und den Nordrand des Faltenjuras zugeordnet.

Die Detailevaluation hat aufgrund folgender Unterlagen zu erfolgen:

- Auswertung aller zugänglicher erdwissenschaftlicher Informationen.
- Erstellen eines Kataloges der von Dritten durchgeführten Forschungen wie Swissgas, Nagra, Tiefbaufirmen, welche in den interessierenden Regionen Tunnel- und Stollenbaute ausgeführt haben sowie Informationsaustausch mit diesen Stellen.
- Kontaktnahme mit eidgenössischen und kantonalen Fachstellen bezüglich Umweltschutzkriterien. Sollte jedoch nur ein Vorstoss bis zu Heiznicht aber Kraftwerkstemperaturen möglich sein, ist ein Standort mit Fernwärmebedarf zu wählen.

### Zusammenfassung und Schlussbemerkung

Das Projekt eines Kraftwerkes Konzept K. Brunnschweiler wurde in die Aktion Innovation des SIA aufgenommen in vollem Bewusstsein, dass die damit verbundenen Aufwendungen den Rahmen und die Möglichkeiten des SIA bei weitem übersteigen. Es entspricht aber ganz der Absicht, Impulse zu geben und Ziele, auch fernere, zu setzen. Das Projekt hat angesichts der heutigen Lage in der Energieversorgung und -politik unseres Landes ganz erheblich an Aktualität gewonnen und eine erstrangige Bedeutung. In heutiger Sicht ist das Projekt realisierbar. Die Probleme, die angegangen werden müssen, liegen in folgenden drei Stossrichtungen

- Weiterentwicklung der bestehenden Schachtabaufmethoden bis zu Tiefen von 10 000 m unter Einbezug der Klimatisierung
- Entwicklung und Realisierung eines geeigneten Bohrgerätes. Umsetzung vorhandener Entwürfe in Konstruktion und Herstellung unter Einschluss der heutigen Möglichkeiten der Elektronik und Robotertechnik
- Ergänzung der geologischen Kenntnisse durch Sondierbohrungen in ausgewählten Gebieten. Von äusserster Wichtigkeit sind Erkenntnisse über das Verhalten des Gesteins unter Druck und Wärme in den angestrebten Tiefen (Deformation der Bohrungen).

Im konventionellen Teil des Kraftwerkes sind keine Probleme zu erwarten, stimmen doch die Dampf- und Leistungsdaten weitgehend überein mit ausgeführten Anlagen z. B. KKW Beznau. Durch die Möglichkeit der Wärmeauskoppelung für Fernheizzwecke gewinnt das Projekt zusätzlich an Aktualität. Die bisherigen Studien und Projekte wurden nebenamtlich oder als Freizeitbeschäftigung erarbeitet. Sofern die Privatindustrie nicht in der Lage ist, dieses Projekt aufzugreifen und weiterzuführen, müssen jetzt von den zuständigen Stellen wie NEFF, Nationalfonds u. a. in angemessenen Stufen, aber ohne Verzögerung, die entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsaufträge erteilt werden.

In der «Neuen Zürcher Zeitung» Nr. 229 vom 3. Oktober 1986 haben massgebende und kompetente Persönlichkeiten deutlich auf die Förderung von Alternativenergien hingewiesen, und es wird hervorgehoben, dass Energieforschung viererlei braucht: nämlich Projekte, Geld, Forscher und Zeit:

- Ein konkretes Projekt liegt vor.
- Für ein 500-MW-Kraftwerk schliessen die Erstellungskosten auch grosse Beträge für die Entwicklungen ein. Zudem ist in der vom Nationalrat bewilligten Forschungsmilliarde auch ein Betrag für Energieforschung enthalten.
- Die Forscher müssen nicht gesucht werden. Es können Firmen und Fachleute, die jetzt schon in den betreffenden Fachgebieten tätig sind, angesprochen werden.
- Zeit braucht jede Forschung und Entwicklung, aber sie darf nicht sorglos ausgedehnt werden oder gar ungenutzt verstreichen.

Die Schweiz als hochentwickelter Industrie-, Forschungs- und Finanzplatz hat die Chance, eine Pionierleistung zu vollbringen.

Adresse des Verfassers: Fritz C. Escher, dipl. Ing. ETH/SIA, Obere Heslibachstrasse 44, 8700 Küsnacht.

Arbeitsgruppe Erdwärmekraftwerk Konzept  
Kurt Brunnschweiler, Bischofszell:

Moderator:  
Otto Vettiger, dipl. Bauing., Salmsach

Mitarbeiter:  
Prof. ETH Max Berchtold, Küsnacht; Dr. Ulrich Büchi, Ber. Geologe, Benglen; Peter Clerc, Ingenieur, Zürich; Dr. Erwin Kessler, Ber. Ing., Tuttwil; J. P. Brunnschwiler, Amberg Ing.-Büro AG, Sargans.