Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 81 (1990)

Heft: 4

Artikel: Strom aus Erdwärme

Autor: Gebhardt, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903089

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 03.02.2026

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

Strom aus Erdwärme

O. Gebhardt

In zahlreichen Nationen trägt geothermische Energie einen Teil zur Deckung des Wärmebedarfs bei. Auch in der Schweiz werden verschiedene Erdwärme-Projekte verfolgt. Viele Länder produzieren mittels Erdwärme zum Teil schon seit Jahrzehnten auch elektrische Energie. Wie die Beschreibung des geothermischen Kraftwerkes Wairakei in Neuseeland zeigt, ist diese Art der Energiegewinnung aber nur bedingt umweltfreundlich.

Dans de nombreux pays, la chaleur provenant du noyau terrestre contribue à la couverture des besoins en chaleur. La Suisse réalise, elle aussi divers projets de ce genre. Il est à relever que plusieurs pays produisent également de l'énergie électrique au moyen de géothermie, et ceci en partie depuis déjà bien des années. Comme le montre toutefois la description de l'installation Wairakei en Nouvelle-Zélande, ce genre d'exploitation de la chaleur n'est pas sans avoir un certain impact sur l'environnemet.

Adresse des Autors
Otto Gebhardt,
Himmeristr. 56, 8052 Zürich

Alle Energiequellen nutzen

Der Weltenergieverbrauch wird – daran besteht kein Zweifel – auch in nächster Zukunft ansteigen. Die Internationale Energie-Agentur (es gehören ihr 21 Nationen der westlichen Welt an) rechnet mit einem jährlichen Verbrauchszuwachs von 1,3 Prozent bis zum Jahr 2005. Das ist zwar weniger als die Zunahme des Bruttosozialproduktes (Schätzung: +2,7% bis zum Jahr 2005), aber trotzdem kein Grund zum Aufatmen. «Es zeichnet sich kein signifikanter Rückgang des Total-Energie-Importes der Mitgliedländer ab», schreiben die IEA-Experten. Der Anteil des Öls am gesamten Energieverbrauch wird von 43% im Jahr 1987 auf 39% im Jahr 2005 zurückgehen (Tab. I). Die Ölimport-Abhängigkeit der OECD-Länder wird hingegen gemäss den IEA-Prognosen von 55% im Jahr 1988 auf 70% im Jahr 2005 ansteigen (Nettoimporte in Prozenten des Totalölverbrauchs).

Die Elektrizitätsnachfrage wird in den IEA-Ländern bis ins Jahr 2005 jährlich um 2,5% zunehmen und somit die höchste Zuwachsrate aller Energieformen aufweisen. Da die Produktion von Nuklearstrom seit Tschernobyl und Three Miles Islands auch dort auf zunehmenden Widerstand stösst, wo man der Kernkraft bisher relativ wohlgesinnt war, wird intensiver als bisher nach anderen Möglichkeiten zur Stromproduktion gesucht. Unter anderem käme zum Beispiel die geothermische Energie in Frage.

	1987	1995	2005
Total Mrd TOE (=100%)	3887	4342	4895
Anteil:			
Öl	43%	41%	39%
Erdgas	19%	19%	19%
Feste Brennstoffe (Kohle, Holz)	24%	24%	26%
Kernenergie	8%	9%	9%
Wasserkraft und andere	7%	7%	7%

Tabelle 1 Entwicklung des Primärenenergiebedarfs der OECD-Länder

Energiereserven im Erdinnern

Die Erde weist in ihrem Innern sehr hohe Temperaturen auf. Sie werden um so höher, je tiefer man vorstösst. Als Richtwert gelten in unseren Breitengraden drei Grad Celsius pro 100 m. Die gesamte Wärmeenergie in der Erdkruste bis zu einer Tiefe von 10 km entspricht nach einer Berechnung des US-Geological Survey (USGS) rund 4 Millionen mal dem Total-Weltenergieverbrauch des Jahres 1975. Allerdings kann nur ein kleiner Teil dieses enormen Vorrates als echte Ressource bezeichnet werden. Würde man nämlich der Erdkruste einen wesentlichen Teil dieser Wärme entziehen, wäre dies nicht nur unwirtschaftlich und technologisch kaum durchführbar, sondern hätte auch seismische Störungen zur Folge. Immerhin sei allein in den USA geothermische Energie in der Grössenordnung von 70 000 Megawatt (für eine Dauer von 30 Jahren) in bereits bekannten Systemen vorhanden, die mit heutiger Technologie erschliessbar wären. Der USGS geht dabei von Bohrtiefen bis zu maximal 3000 m aus.

Erdwärme seit Jahrtausenden bekannt

Als Wärmespender ist die geothermische Energie seit Jahrtausenden bekannt, nutzten doch schon Griechen und Römer heisse Quellen für ihre Bäder. In vielen Ländern liefert sie einen

substantiellen Anteil am Gesamtenergieverbrauch. Im sogenannten Pariser Becken werden bereits seit 20 Jahren zahlreiche Grossüberbauungen mit Fernwärme aus dem Erdinnern versorgt.

Pilotprojekte in Reinach...

Geforscht wird auch in der Schweiz. So wurde im Jahr 1989 in Reinach BL ein grösseres Pilotprojekt durchgeführt. Die Bohrarbeiten verliefen mit hoher Genauigkeit, was keine Selbstverständlichkeit ist. In einer Tiefe von 1700 m stiess man auf 70 °C heisses Wasser. Kantonsgeologe Dr. Lukas Hauber, Professor an der Uni Basel, hat dieses Vorhaben wissenschaftlich betreut. Obwohl die letzten Ergebnisse noch nicht vorliegen, ist er der Meinung, dass eine kommerzielle Ausbeutung vorläufig nicht in Frage kommt. Die Ergiebigkeit des Vorkommens ist zu gering. Man hat zwar versucht, durch die Einleitung von Säure noch gewisse Gesteinsklüfte zu öffnen, was aber auch nicht zum erwünschten Resultat führte. Der Initiant für dieses rund 5 Millionen Franken kostende Pilotprojekt war der Kanton. Der Bund hat eine 50prozentige Risikogarantie zugesichert.

... in Riehen

Mehr Erfolg verzeichnet ein Projekt in Riehen. In der Basel-Städter Gemeinde wurden 1988 zwei Bohrungen in eine Tiefe von 1200 bzw. 1400 m niedergebracht. Mit dem heissen Wasser wird der Dorfkern versorgt. Gemäss Dr. Hauber ist das Ganze aber technisch nicht sehr einfach. Das Tiefenwasser ist – wie fast überall – sehr mineralhaltig und greift Installationen und Rohre an. Um die Oberflächengewässer nicht zu belasten, wird es nach Gebrauch wieder ins Erdinnere gepumpt. Dies erfordert wiederum einen beträchtlichen Energieaufwand. In die Kosten teilen sich Gemeinde und Kanton.

... und in Genf

In Genf sollen gar 8,7 Millionen Franken für eine erste, 2300 m tiefe Bohrung investiert werden. Nach Meinung von Jean-Philippe Maitre, dem Chef des Genfer Volkswirtschaftsdepartementes, würde das heisse Wasser aus dem Untergrund bei einer Temperatur von 60 °C enorme Mengen an Erdöl einsparen und rund 5 Prozent des Genfer Energieverbrauchs decken. Das Projekt wird gegenwärtig von Experten bei Bund und Kanton diskutiert.

Was ist geothermische Energie?

Vereinfacht unterscheidet man folgende drei Haupt-Erscheinungsformen von Erdwärme:

- Heisswasserfelder mit Temperaturen von 90 bis 150 °C. Geeignet zur Nutzung im Niedertemperaturbereich.
- Hochtemperatur-Heisswasser-Systeme (über 150 °C) mit Dampfausbrüchen, die sich für die Krafterzeugung eignen und die ausserdem grosse Mengen an Heisswasser hervorbringen, das sich als Wärme im Niedertemperaturbereich verwenden lässt.
- Felder, die Trockendampf mit so hohen Temperaturen hervorbringen, dass damit wirtschaftlich Kraft erzeugt werden kann.

Vorläufig kein Geschäft

Dr. Lukas Hauber unterstreicht, dass alle diese Projekte beim heutigen Ölpreis nicht wirtschaftlich sein können. Bei einer Verteuerung des schwarzen Saftes um das Doppelte sei geothermische Energie dagegen bereits konkurrenzfähig. Es gehe aber in der Schweiz vor allem darum, Erfahrungen zu sammeln. Deshalb beteilige sich auch der Bund an solchen wissenschaftlichen Studien. Als grössten Vorteil der Geothermie bezeichnet Hauber die Tatsache, dass die Luftbelastung völlig wegfällt. Wenn man die Wasserbilanz nicht störe (indem das verbrauchte Tiefenwasser wieder zurückgepumpt wird), könne man von einer praktisch hundertprozentig sauberen Technik sprechen. Dieser Aspekt werde bisher politisch aber noch zu wenig in Betracht gezogen. Die Luft sei eben, im Gegensatz zum Wasser, immer noch gratis erhältlich. Für den Betrieb der Pumpen müsse aber ausreichend elektrische Energie zur Verfügung stehen.

Geothermische Elektrizitätserzeugung

Noch 1977 gab es weltweit nur 17 geothermische Kraftwerke. Sie hatten eine Gesamtleistung von 1472 MW. Seither haben immer mehr Länder Wärmequellen im Erdinnern erschlossen. Insbesondere in den USA sind aber Konflikte bei der weiteren Erschliessung vorprogrammiert: Die Ländereien, unter denen man Heisswasser vermutet, gehören dort zahllosen Eigentümern.

1985 waren es bereits 17 Länder, die mit insgesamt 188 Anlagen Strom produzierten (siehe Tabelle II). In dieser Aufstellung sind allerdings zahlreiche kleine und kleinste Kraftwerke enthalten. Das grösste bekannte geothermische Kraftwerk, mit einer Leistung

Tabelle II Weltweit bekannte geothermische Kraftwerke*

Land	Anzahl Anlagen	Leistung in MW_e
USA	56	2022
Philippinen	21	894
Mexiko	16	645
Italien	43	520
Japan	9	215
Neuseeland	10	167
El Salvador	3	95
Kenia	3	45
Island	5	39
Nicaragua	1	35
Indonesien	3	32
Türkei	2	20
China	12	15
Sowjetunion	1	11
Guadeloupe (FR)	1	4
Azoren (P)	1	3
Griechenland (Milos)	1	2
Total	188	4764

* Stand 1985. In dieser Aufstellung sind auch jene Anlagen enthalten, mit deren Fertigstellung bis Ende 1985 gerechnet wurde [3]

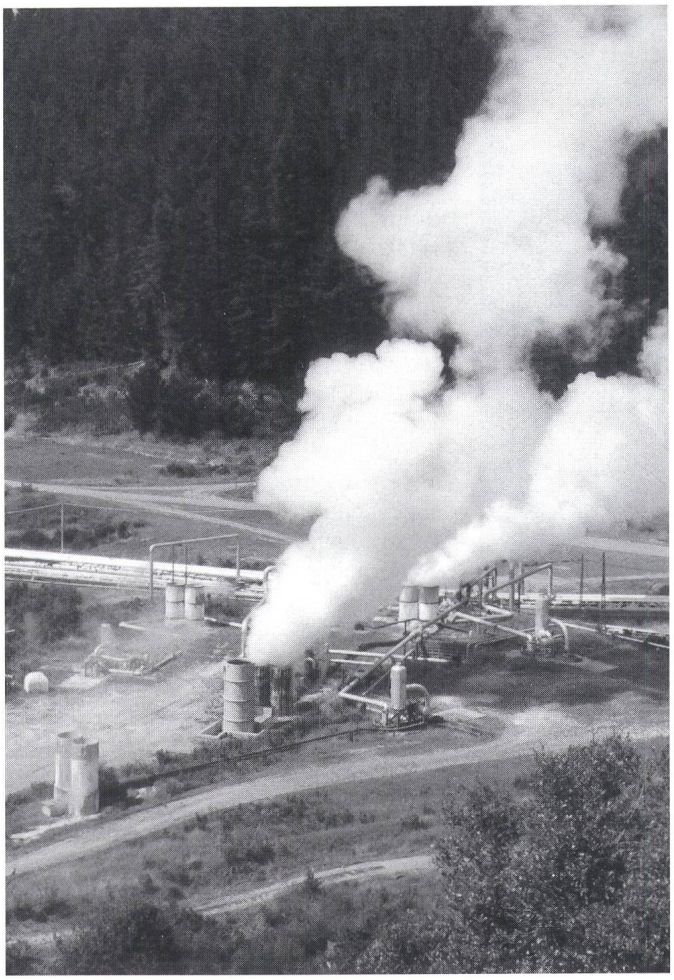


Bild 1 Geothermische Kraftwerke haben einen enormen Flächenbedarf. Wasser und Dampf aus dem Innern der Erde gelangen in kilometerlangen Pipelines vom geothermischen Feld zur Zentrale, die sich in der Nähe eines Flusses befinden muss.

von 500 MW, ist The Geysers in Nordkalifornien. Bereits seit 1904 produziert man auch in Larderello in der Toskana durchschnittlich 380 MW Strom aus Erdwärme. Beide Anlagen werden mit Trockendampf betrieben, der relativ «sauber» ist und sich deshalb zum direkten Antrieb von Dampfturbinen eignet. Ein bedeutender Teil der geothermischen Kraftwerke in aller Welt schöpft aber seine Energie aus Heisswasserreservoirs.

Zum Beispiel Neuseeland

Das ferne Neuseeland ist in mancher Weise mit der Schweiz vergleichbar: ähnliches Klima, Berge, Seen und Wälder, hoher Lebensstandard. Strom gibt es in dem dünnbesiedelten Land (3,5 Mio Einwohner/270 000 km²) im hintersten Weiler. Schon vor 50 Jahren verfügten 93 Prozent der Bevölkerung über Elektrizität. Die Kernkraft ist für die Neuseeländer tabu. Ihre Stromversorgung beruht zur Hauptsache auf Wasserkraft (rund 36% des Gesamt-Elektrizitäts-Verbrauchs). Daneben gibt es Öl-, Gas-, Kohle- und geothermische Kraftwerke.

Wairakei

Das geothermische Kraftwerk Wairakei auf der Nordinsel ist mit rund 150 MW die grösste Anlage der Welt, die aus «nassem» Dampf Strom erzeugt. Schon von weitem sind mächtige Dampffahnen sichtbar, die das grüne Tal auch bei schönstem Wetter in Nebel hüllen (Bild 1). Das Werk deckt etwa 5% des neuseeländischen Strombedarfs und beschäftigt nicht weniger als 140 Mitarbeiter. Der aus Dutzenden von Bohrungen (Bild 2) kommende Dampf schiesst mit einer Geschwindigkeit von 160 km/h durch ein kilometerlanges Röhrensystem (Bild 3) zur Zentrale am Ufer des Waikoto-Rivers.

Chlor und Arsen im Wasser

Das geothermische Feld «produziert» aber nicht nur Dampf, sondern auch jährlich 45 Millionen Tonnen heisses Wasser. Und das ist hier keineswegs eine willkommene Wärmequelle, sondern eher ein Grund zur Sorge. Sowohl der Druck im Feld als auch die Temperatur gingen im Laufe der Jahre zurück. Dadurch reduzierte sich auch die Dampfmenge für die Stromgewinnung. Bedeutend gravierender aber ist, dass dieses Wasser in den Waikoto River «entsorgt» wird. Und das hat Folgen.

Das neuseeländische Energieministerium macht daraus kein Geheimnis und informiert ganz offen: 66 000 Tonnen Chlorverbindungen, 40 000 Tonnen Natrium, 16 000 Tonnen Kieselerde, 5000 Tonnen Kalium, je 1000 Tonnen Kalzium und Bor, 150 Tonnen Arsen und 4 Kilo reines Quecksilber pro Jahr mutet man dem ohnehin schon stark belasteten Fluss zu. Sein Wasser

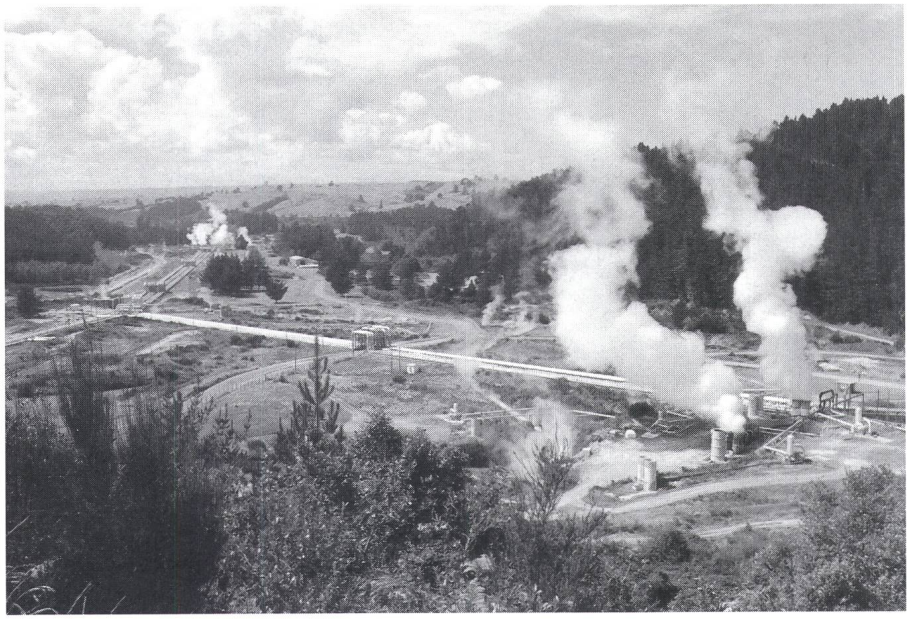


Bild 2 Die einzelnen Entnahmestellen sind durch ein umfangreiches Röhrensystem miteinander verbunden.

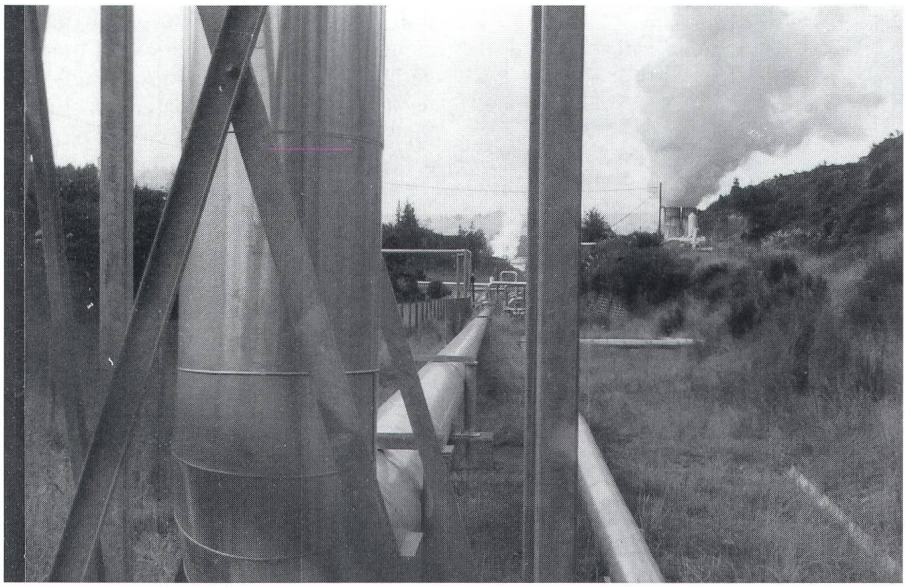


Bild 3 Die Krümmungen in den Leitungen sind erforderlich, um Dehnungen und Schrumpfungen auszugleichen. Auf einer Länge von 3 Kilometern kann die Längenänderung je nach Temperatur bis zu 6 m betragen.

wird auch als Kühlmedium benutzt. Hinter dem Kraftwerk ist der Waikoto River dann um rund ein Grad wärmer. Ob letzteres Folgen hat, darüber streiten sich die Gelehrten. Dass aber die Zufuhr von jährlich 130 000 Tonnen chemischen Stoffen nicht spurlos an einem Fluss vorübergeht, weiss man auch in Neuseeland.

Ein ganz gewichtiger negativer Effekt kommt noch dazu: Die Region ist geprägt von heissen Quellen, blubbernden Schlammtümpeln, Geysiren usw. Der Tourismus ist ein bedeutender Wirtschaftsfaktor (Bild 4). Die grösste Attraktion ist der Pohutu Geysir, der bis zu 30 m in die Höhe zischt und täglich ausbricht. Es scheint, dass die Entnahme der Erdwärme - obwohl viele Meilen entfernt - dieses Naturwunder beeinträchtigt. Die Tourismus-Verantwortlichen liegen mit den Kraftwerksbetreibern im Clinch.

Tochter-Werk mit Kühlturm

Ganz in der Nähe von Wairakei wurde soeben ein zweites, hochmodernes Werk fertiggestellt. Die «Ohaaki Geothermal Power Station» kostete rund 200 Millionen Franken. Das geothermische Feld liefert ebenfalls eine Mischung aus 150 °C heissem Wasser, Dampf und Gas (hauptsächlich Kohlendioxid). Es wurden 45 Bohrungen niedergebracht. Rund die Hälfte ergab positive Ergebnisse. Die Bohrtiefe schwankt zwischen 500 und 1800 m. Die Dampf/Wasser-Mischung muss in fünf Anlagen voneinander getrennt werden. Im Gegensatz zu Wairakei wird hier das heisse Wasser wieder ins Feld zurückgepumpt. Die Drücke betragen bis zu 40 bar. Der Energieaufwand dafür beträgt beachtliche 5 MW. Ursprünglich wollte man mit dem Zurückpumpen lediglich die chemische Belastung des Waikoto Rivers reduzieren. Neuere Untersuchungen ergaben, dass aber dadurch auch die Stabilität des Untergrundes und die Förderbedingungen verbessert werden.

Die Gesamtleistung des neuen Werks beträgt 103 Megawatt. Die Turbinen wurden von Mitsubishi geliefert. Dies ist keineswegs ein Zufall, wird doch die Wirtschaft Neuseelands immer stärker und in immer schnellerem Tempo von Japan abhängig.

Nachdem der heisse Dampf seine Arbeit getan hat, kann er nicht einfach in die Luft entlassen werden, würde man doch sonst die ganze Gegend in stinkenden Nebel hüllen. Im Unterschied zu Wairakei verfügt das neue Werk - wie auch viele KKWs - über einen 105 m hohen Kühlturm. Um den Dampf wieder zu kondensieren, benötigt man pro Stunde 20 000 Tonnen Kühlwasser. Die vom Kühlturm «vernichtete» Wärme verdampft ungenutzt in die Luft. Im Unterschied zu einem Kernkraftwerk besteht die über dem Kühlturm schwebende Wolke aber nicht aus reinem Wasserdampf. Sie enthält neben anderen chemischen Verbindungen auch hochgiftigen Schwefelwasserstoff. Es zeigt sich somit auch an diesem jüngsten geothermischen Kraftwerk der Welt, dass die Energie aus den Tiefen unserer Erde mitnichten unproblematisch ist.

Bild 4 In der Nähe von Wairakei befindet sich das Naturwunder Orakei Korako mit Sinter-Terrassen, Geysiren, Höhlen, heissen Bächen usw. Fotos: Otto Gebhardt

Literatur

[1] «Energy Policies and Programmes of IEA Countries, 1988 Review», OECD, Paris, 1989.

[2] «Geological Survey Circular», Nr. 726, 1975.

[3] Encyclopedia of Physical Science and Technology, Vol. 6, 1987, «Geothermal Resources» (R. DiPippo, Int. Symp. Geotherm. Energy, 1985).

RUTSCHMANN

Transformatorenstation Typ T 87

- Architektonisch sehr attraktiv, nur 1,5 m über Terrain
- Grösste Dauerhaftigkeit dank Beton und Chromstahl
- Bis vier Hochspannungsfelder 24 kV
- Grosse Niederspannungsverteilung
- Transformator 630 kVA
- Natürliche Kühlung
- Ideal in Fällen, bei denen eine Innenraumbedienung ausser Betracht fällt.

Qualität und Preis überzeugen.

Verlangen Sie nähere Unterlagen bei

RUTSCHMANN

Rutschmann AG
8627 Grüningen, Tel. 01/935 21 56
Fax 01/935 21 76

Inserieren Sie im

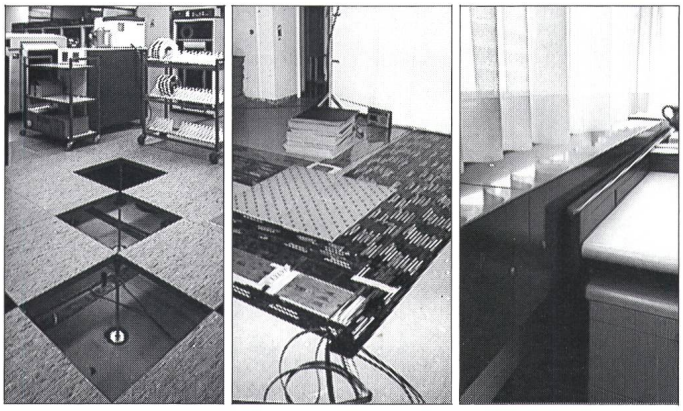
Bulletin SEV/VSE

86% der Leser sind Elektroingenieure ETH/HTL

91% der Leser haben Einkaufsentscheide zu treffen

Sie treffen ihr Zielpublikum

Wir beraten Sie kompetent
Tel. 01/207 86 32



Lanz Doppelböden Lanz Flachkabel Lanz Brüstungskanäle

3 moderne Möglichkeiten um Kabel und Leitungen in Büro- und Verwaltungsgebäuden verlegen zu können:

- **ein Gespräch und eine Offerte schaffen Klarheit über Kosten, Montage, Ausbaumöglichkeit**
- **die Besichtigung von Referenzobjekten erlaubt Vergleiche mit den eigenen Bedürfnissen**

Rufen Sie an: 062/78 21 21 lanz oensingen ag

☐ **Doppelböden** ☐ **Flachkabel** ☐ **Brüstungskanäle** **interessieren mich! Bitte senden Sie Unterlagen.**

☐ **Könnten Sie mich/uns besuchen? Bitte Voranmeldung!**

Name/Adresse: _____

lanz oensingen ag
CH-4702 Oensingen · Telefon 062 78 21 21

Messdatenerfassung im Energienetz

MEMOBOX 601 die kleinste

Praxisgerecht und wirtschaftlich, hohe Speicherkapazität für 3 Wechselströme.

COMBILOG 300 der universelle

jetzt leistungsfähiger und preisgünstiger dank RAM-Speicherkarte mit 3facher Speicherkapazität, interessant auch für kleinere Betriebe.

PC-Auswertung

Schnelle und klare Auswertung mit leistungsstarker PC-Software, Tabellen und Grafik.

Verbrauchsmessungen werden zunehmend lohnender. Verlangen Sie Unterlagen!

ELMES

ELMES STAUB + CO AG
Systeme für die Messtechnik
Bergstrasse 43
CH-8805 **Richterswil**
Telefon 01-784 22 22