

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103 (1985)
Heft: 1/2

Artikel: Energetische Bewirtschaftung des Untergrundes
Autor: Tuffli, Andrea / Handke, Andreas / Bodmer, Philippe
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75702>

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: 20.01.2026

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

(4000 MW Solarzellenleistung entsprechen etwa einem Grosskraftwerk, weil die typische jährliche Vollast-Stundenzahl nur etwa 1500 beträgt, bei einem Grosskraftwerk aber etwa 6000.)

Auswirkungen der neuen Biotechnik – beispielsweise auf die Produktion oder Umwandlung von *Biomasse* – können beträchtlich sein. Sie werden sich aber erst nach Jahrzehnten, also jenseits des

Literatur

- [1] Nussbaum, M., u.a.: Bauliche Massnahmen zur passiven Solar Nutzung im Falle einer Ölkrise. Studie BEW, Inst. f. Hochbau- forsch. ETH 1983
- [2] SOFAS: Wirtschaftlichkeit solarer Anlagen. Studie BEW, 1983
- [3] Frei, U.: Lebensdauer und Betriebssicherheit von Solaranlagen. IEA Task III, Zwi- schenber. 1983. Interkant. Techn. Rappers- wil 1983
- [4] Real, M.: Solarzellenanlagen; Abschätzung des Potentials in der Schweiz. Studie BEW, 1983
- [5] Aiulfi, D., u.a.: Investigation of the performance of solar heating systems; validation of active systems. IEA Task I. Lab. Therm. Appl. EPFL, 1983
- [6] Statistisches Jahrbuch der Schweiz. Bern: EDMZ 1982
- [7] Toinet, M.: La formation de capital- physique. Lausanne: Thèse EPFL 1982

hier gewählten Betrachtungshorizonts von 15 Jahren, auswirken.

Stellenwert der erneuerbaren Energie

Gut durchdachte, klar und einfach konzipierte Anlagen mit der Nutzung erneuerbarer Energie sind schon heute in vielen Fällen wirtschaftlich, wobei integrale Planung vom Vorprojektstadium an die besten Voraussetzungen liefert. Die Betriebssicherheit und die Lebensdauer sind gross, nachdem der in der Anfangsphase neuer Techniken häufig begangene Fehler eliminiert ist, nämlich durch raffinierte Kompliziertheit einem trügerischen Optimum nachzujagen.

Erneuerbare Energien sind zudem umweltschonend. Natürlich muss auch Energie aufgewendet werden, um die Anlagen für erneuerbare Energien herzustellen. Sie wird benötigt als Prozessenergie bei der Rohmaterialherstellung (Aluminium, Glas, Stahl usw.), als Transportenergie für Menschen und Güter, als Brennstoff für die Heizung der Fabriken und Geschäftsräume, als

Antriebsenergie für Werkzeugmaschinen usw.

Die korrekte Betrachtung ganzer Prozessketten ist sehr aufwendig und schwierig, doch können obere Grenzen für die in einer Anlage investierte Energie aus Energiebilanzen ganzer Wirtschaftsräume und Branchen gewonnen werden (s. beispielsweise [7]). Das Verhältnis der investierten Energie zur jährlich gelieferten Nutzenergie ergibt die Energierückzahldauer, der Quotient von Lebensdauer zu Rückzahldauer den sogenannten Erntefaktor, der natürlich grösser als 1 sein sollte. Detaillierte Betrachtungen zeigen, dass er für zweckmässige Anlagen heute stets grösser als 1 (2 bis 5).

Erneuerbare Energien können deshalb schon in absehbarer Zeit einen bescheidenen, aber sehr willkommenen Beitrag zur Energieversorgung von Gebäuden leisten, viel mehr noch aber auf längere Sicht (50 Jahre) unsere Umwelt- und Ressourcenprobleme wirksam lösen helfen.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. P. Suter, Labor für Energiesysteme, Inst. für Energietechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

Energetische Bewirtschaftung des Untergrundes

Von Andrea Tuffli, Chur, Andreas Handke, Chur, und Philippe Bodmer, Zürich

Das vorliegende Forschungsprojekt zeigt am Fallbeispiel des Churer Rheintales, wie natürliche und technische Wärmequellen quantifiziert und einer energetischen Nutzung zugeführt werden können. Das ermittelte Potential ist beträchtlich. Der regionale Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitung könnte zu 40 bis 50 Prozent aus diesem Potential gedeckt werden. Die Kostenberechnung bestätigt, dass von den untersuchten 16 Varianten verschiedene Versorgungssysteme im wirtschaftlichen Bereich liegen. Vorgeschlagen wird die Realisierung kleinerer bis mittlerer Fernwärmeprojekte mit einer erforderlichen Heizleistung von 2 bis 5 MW.

Based on the actual situation along the Rhine valley near Chur (Grison) the research project demonstrates how natural and man-made heat sources can be estimated and integrated in a global energy management system. The energy potential available is considerable. About 40–50% of the regional energy demand for domestic heating and warm water supply can be provided by heat pump systems using the ground water heat resource. A cost evaluation of 16 different energy supply concepts revealed that competitive conditions can be expected in many cases. The results of the project suggest the realization of several small to medium-sized district heating systems, each producing 2–5 MW.

Einleitung

Ausgangslage

Aus der Erfahrung mit der Projektierung und Ausführung von Wärmepumpenanlagen zur Nutzung der Grundwasserwärme entstand die Idee des vor-

liegenden Forschungsprojektes. Es ging vorab um folgende Fragestellungen:

- Was geschieht in hydrologischer und thermischer Hinsicht bei einer Abkühlung des Grundwassers?
- Wo liegen die Einsatzgrenzen und -möglichkeiten der energetischen Grundwassernutzung?

– Wie kann der Untergrund – im weitesten Sinne – bewirtschaftet werden?

Nachdem für das Churer Rheintal durch das Amt für Gewässerschutz Graubünden im Rahmen verschiedener Projekte bereits umfassende Grundlagen erarbeitet wurden, entschied man sich für das Untersuchungsgebiet Igis/Landquart bis und mit Domat/Ems.

Projektziele

Das Schwergewicht des Projektes lag auf der angewandten Forschung. Einerseits ging es um die Erarbeitung allgemein gültiger Grundlagen und anderseits um die praktische Anwendung am Fallbeispiel des Churer Rheintales.

Nach den Hauptthemen gegliedert, wurden folgende Projektziele vorgegeben:

Energiekonzept (Hauptstudie)

- Ermittlung der nutzbaren Potentiale aus natürlichen und technischen Wärmequellen
- Ermittlung möglicher Versorgungsgebiete
- Untersuchung verschiedener Nutzungsvarianten in bezug auf System, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Realisierbarkeit

Grundwasser (Teilstudie)

- Ermittlung und Beurteilung der Beeinflussungsfaktoren für eine energetische Nutzung des Grundwassers
- Ermittlung der nutzbaren Gebiete und Abschätzung der Potentiale, nach Gemeinden untergliedert

Geothermie (Teilstudie)

- Untersuchungen und Analysen zur Beurteilung einer geothermischen Energiegewinnung

Konzessionierung (Teilstudie)

- Ermittlung der relevanten Kriterien im Zusammenhang mit der Bewilligung von Grundwasser-Wärmepumpenanlagen

Im folgenden wird auf die Projektteile «Grundwasser», «Geothermie» und «Energiekonzept» näher eingetreten.

Tabelle 1. Theoretisch nutzbares Wärmepotential im Grundwasser des Churer Rheintales (1 GWh entspricht dem Heizwert von etwa 85 t Öl)

Gemeinden	Wärmepotential (GWh pro Jahr) aus Gebieten mit Pflicht zur Kaltwasserrückgabe in den Grundwasserstrom				Wärmepotential (GWh pro Jahr) aus Gebieten ohne Pflicht zur Kaltwasserrückgabe in den Grundwasserstrom (Vorflutgebiete)	
	Gebiete 1. Priorität Distanz Terrain-Aquifer < 50 m		Gebiete 2. Priorität Distanz Terrain-Aquifer > 50 m			
	Abkühlung 4 °C	Abkühlung 6 °C	Abkühlung 4 °C	Abkühlung 6 °C	Abkühlung 4 °C	Abkühlung 6 °C
Domat/Ems	9	14	1	1	95	142
Chur	8	10	1	2	-	-
Felsberg	3	5	-	-	-	-
Haldenstein	2	3	-	-	-	-
Trimmis	4	6	-	1	44	67
Untervaz	5	7	-	-	95	142
Zizers	6	9	-	-	36	53
Igis-Landquart	9	14	-	-	53	78

Grundwasser

Grundwasser als Energieträger

Grundwasser befindet sich meist verhältnismässig nahe der Erdoberfläche und liegt im Einflussbereich atmosphärischer Wärmequellen. Diese verleihen dem Grundwasser ausgeglichene Temperaturen und einen bestimmten Energieinhalt. Dank der Entwicklung der Wärmepumpentechnologie wurde der Zugriff zu dieser Umgebungsenergie möglich und damit die Erschliessung eines respektablen Energiepotentials eingeleitet.

Ein beachtliches Energiepotential enthalten beispielsweise die Grundwasservorkommen des Churer Rheintales. Untersuchungen des Amtes für Gewässerschutz Graubünden [2] zeigen, dass in diesem Rheintal-Abschnitt bis mehrere hundert Meter mächtige, eiszeitliche und nacheiszeitliche Ablagerungen vorliegen, wobei grundwasserführende

Schotter bis in Tiefen von 100 bis 150 m vorherrschen. Nach Berechnungen laut [2] existieren ausgedehnte Grundwasserströmungen mit sehr hohen Durchflussmengen von einigen 100 l/s bis über 1000 l/s. Die Temperaturen des Grundwassers betragen dabei 9 °C bis 10 °C.

Zur Veranschaulichung des Energieinhaltes von Grundwasser mag folgendes Beispiel dienen: Bei einer Grundwasserentnahme von 1000 l/min und einer Abkühlung um 4 °C entspricht der Energieinhalt während einer Heizperiode etwa 100 t Öl. Das Churer Rheintal beherbergt somit einen Energieträger von beachtlicher Grösse (vgl. Tabelle 1).

Grundwasser-Schutzmassnahmen

Das Grundwasser besitzt jedoch gleichermaßen eine grosse, im allgemeinen vorrangige Bedeutung als Trinkwasserreserve, so dass die energetische Nutzung nur unter einschränkenden Bedingungen zulässig ist. Eine

grundätzliche Bedingung [1] besteht darin, dass das abgekühlte Wasser in der Regel wieder dem gleichen Grundwasserstrom zurückgeführt wird. Auf diese Weise wird das Grundwasser mengenmässig erhalten. Genutzt wird dabei nur der Wärmeinhalt. Das Zurückführen des abgekühlten Wassers bringt aber eine Reihe von Folgeerscheinungen mit sich, die im Hinblick auf den Grundwasserschutz zu berücksichtigen sind.

Zunächst entsteht eine wachsende Temperaturanomalie im Untergrund. Sie bewirkt einen Wärmenachfluss aus der Umgebung, der hauptsächlich von der Erdoberfläche gespiesen wird. Erst nach längerer Zeit, wenn die Temperaturanomalie eine genügende Grösse erreicht hat, kann sich ein Gleichgewicht zwischen Wärmenachfluss und Wärmeentnahme einstellen.

Daraus sieht man, dass die Wärmeentnahme langfristig durch den Wärmenachfluss von der Erdoberfläche begrenzt wird. Will man eine übermässige

Bild 1. Temperaturanomalie-Ausdehnung in Funktion der Zeit seit Inbetriebnahme der Wärmepumpe und in Funktion der Wärmeentnahme bei einer Abkühlung des Grundwassers um 4 °C (gültig für das Churer Rheintal)

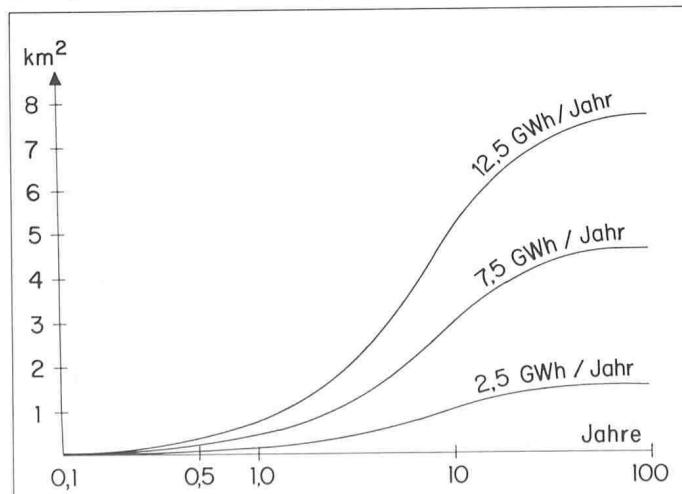
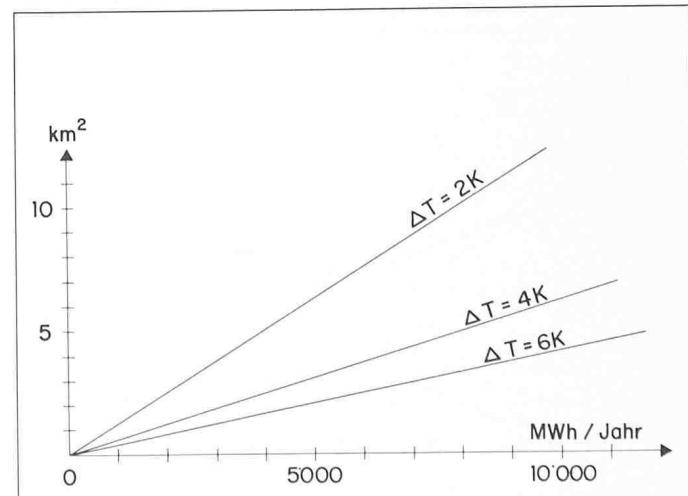


Bild 2. Maximale Temperatur-Anomalie-Ausdehnung in Funktion der Wärmeentnahme und in Funktion der Grundwasserabkühlung. (Gültig für das Churer Rheintal)



Ausbreitung der Temperaturanomalie ausserhalb abgegrenzter Nutzungsgebiete und gegenseitiges «Energieabgraben» vermeiden, so muss die Wärmenutzung nach Massgabe der Grösse des Nutzungsgebietes beschränkt werden. Im Rahmen dieser Studie wurde die Grösse der Temperaturanomalie in Abhängigkeit der Wärmeentnahme auf der Grundlage einer einfachen Energiebilanz abgeschätzt.

Sie lautet

$$(1) \quad W_p = W_u + W_a + W_n$$

für das Anfangsstadium der Anomalieausbreitung und

$$(2) \quad P_p = P_u + P_n$$

für den Gleichgewichtszustand. W bedeutet Wärmemenge, wobei die Indizes jene Mengen bezeichnen, welche durch die Wärmepumpe (Index p), durch Abkühlung des Untergrundes (Index u) entnommen, von der Atmosphäre durch Wärmeleitung (Index a) und durch versickernden Niederschlag (Index n) zugeführt wird. Für die Bedingungen des Churer Rheintales resultieren aus dieser Energiebilanz die Ausdehnungen der Anomalie in Abhängigkeit verschiedener Wärmeentnahmen gemäss Bild 1 und Bild 2. Weiterhin entstehen als Folge dieser Temperaturanomalien Änderungen der physikalischen, chemischen und bakteriologischen Eigenschaften des Grundwassers. Die Zusammenhänge sind zur Zeit noch nicht ausreichend bekannt. Denkbar wären allenfalls eine Verminderung des sogenannten Selbstreinigungsvermögens des Untergrundes sowie eine Verminderung der Durchlässigkeit.

Da das Grundwasser des Churer Rheintales bereits sehr intensiv für Trinkwasserzwecke genutzt wird und nach Menge und Güte fast überall als Trinkwasser geeignet ist, muss bei der Wärmegegenwart mit besonderer Vorsicht vorgegangen werden. Um den Folgeerscheinungen der Wärmeentnahme

Rechnung zu tragen, wurden im Rahmen dieser Studie weitere Massnahmen in Anlehnung an [1] vorgesehen. Als wichtigste davon sind:

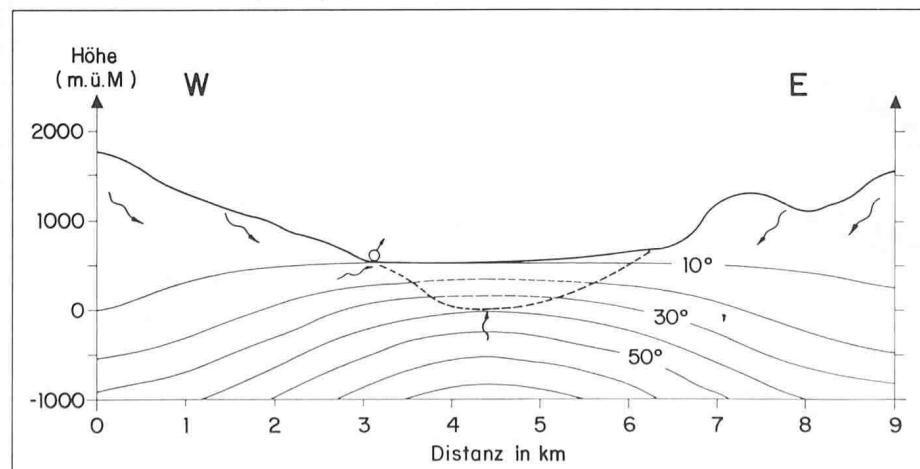
- das Verbot von Grundwasserabkühlungen in Grundwasser-Schutzonen und Schutzarealen
- die Beschränkung der minimalen Temperatur des Rückgabewassers auf 4 °C
- die Beschränkung der Temperatur-Anomalieausdehnung auf das zur Verfügung stehende Nutzungsgebiet.

In Ausnahmefällen soll auf die Pflicht zur Rückgabe des abgekühlten Wassers in den Grundwasserstrom verzichtet und damit die Energienutzung begünstigt werden können. Solche Ausnahmefälle existieren in sogenannten Vorflutgebieten, wo das Grundwasser natürlicherweise ins Oberflächengewässer (Vorfluter) tritt. Hier kann das abgekühlte Grundwasser ohne Bedenken direkt dem Vorfluter übergeben werden, wo es auch ohne menschlichen Eingriff hinfließen würde. Als Vorflutgebiet wird ein zum Vorfluter paralleler Saum von 300 m Grundwasser-Fliessdistanz bezeichnet. Die zulässige Entnahmemenge soll durch die natürliche Vorflutmenge begrenzt sein. Für den Rhein als Vorfluter ist zu beachten, dass eine maximale Abkühlung des Vorfluters um 3 °C, jedoch nicht unter die Temperatur von 1 °C zugelassen wird [1]. Die vorgeschlagenen Massnahmen garantieren die Erhaltung des heute und in näherer Zukunft genutzten Trinkwassers.

Wärmenutzungsgebiete und Wärmepotential

Als geeignete Gebiete zur Nutzung von Grundwasserwärme können im Sinne der vorhergegangenen Ausführungen allgemein alle Gebiete des Churer Rheintales mit genügendem Wasserangebot, ausgenommen die Grundwasserschutzonen und Schutzareale, bezeichnet werden.

Bild 3. Simulation des Temperaturfeldes Profil Untervaz, konvektives Modell



Besonders geeignet sind Gebiete, wo das abgekühlte Wasser direkt in den Vorfluter eingeleitet werden könnte (Vorflutgebiete). Solche Gebiete sind entlang des Rheins vorhanden und liefern beträchtliche Wassermengen.

Das theoretisch gewinnbare Wärmepotential wurde für die Gebiete mit Pflicht zur Kaltwasserrückgabe ins Grundwasser mit Hilfe der Wärmebilanz [2] ermittelt (Tabelle 1). Es richtet sich nach der Grösse der zur Verfügung stehenden Nutzungsgebiete. In den Gebieten ohne Pflicht zur Kaltwasserrückgabe ins Grundwasser (Vorflutgebiete) steht der Wärmeinhalt der natürlicherweise in den Vorfluter austretenden Wassermengen zur Verfügung. Das theoretische Wärmepotential wurde mit Hilfe der allgemein bekannten Wärmeinhaltsgleichung für Grundwasser berechnet (Tabelle 1). Es beträgt insgesamt ein Zehnfaches aller übrigen Gebiete.

Für die praktische Gewinnung wird ein Ausnutzungsgrad von 50 Prozent für die Vorflutgebiete bzw. 80 bis 100 Prozent für die übrigen Gebiete geschätzt. Im Vergleich zum heutigen Energiebedarf für die Region Chur stellt das Wärmepotential aus dem Grundwasser somit einen massgebenden Faktor dar.

Geothermie

Die Teilstudie «Geothermische Prospektion» wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geophysik der ETH Zürich erstellt und umfasst neben der Kompilation publizierter geothermischer Daten auch die Beschaffung und Interpretation von Informationen von ausgewählten Quellen sowie aus bereits bestehenden Bohrungen, Stollen und Tunnels.

Es ist bereits seit langem bekannt, dass das Churer Rheintal einen markanten und tiefen Einschnitt in den Alpenbau darstellt. Aufgrund der deutlich verschiedenen geologischen Beschaffenheit und Herkunft beider Talflanken kann angenommen werden, dass diese Diskontinuitätszone bereits während der Bildung der Alpen bestanden hat. Das Rheintal, dessen Felsuntergrund in grossen Tiefen bis zu einigen hundert Metern unter der Erdoberfläche liegt, ist gefüllt von jungem und teilweise gut wasserdurchlässigem Lockergesteinsmaterial.

Diverse Temperaturmessungen in Tiefbohrungen entlang der Talachse haben gezeigt, dass praktisch die Gesamtheit dieser Lockergesteinsfüllung durch den Grundwasserstrom des Alpenrheins ausgekühlt ist und Temperaturen im

Bereich der mittleren Oberflächentemperatur aufweist. Zudem konnte mit Hilfe weiterer Temperaturdaten aus Bohrungen, Stollen und Quellen gezeigt werden, dass die topographischen Hochlagen im Bereich der Talflanken infolge Infiltration von kaltem Oberflächenwasser ebenfalls stark ausgekühlt sind. Auf der anderen Seite haben geochemische Indikatoren (temperaturabhängige Konzentrationen von Natrium, Calcium, Kalium, Magnesium und Sulfat) zahlreicher Wasserproben aus Mineral- und subthermalen Quellen gezeigt, dass die Felsoberfläche des Rheintals und der grösseren Nebentäler wichtige regionale Drainagezonen bilden, die den Warmwasseraufstieg aus mehreren Kilometern Tiefe ermöglichen und dass entsprechend in den tiefstliegenden Bereichen dieser Felsoberfläche Thermalwasseraustritte erwartet werden können. In den Randbereichen der Talachse hingegen können aufgrund der relativ geringen Eindringtiefe der Wasserzirkulationssysteme höchstens subthermale Wässer vorkommen wie beispielsweise die Quellen von Fries bei Untervaz mit 12 bis 13 °C.

Zur Illustration der geologischen Vorgänge im Untergrund und der daraus resultierenden Temperaturverhältnisse wurden einfache Simulationsrechnungen durchgeführt, wovon in Bild 3 ein Beispiel dargestellt ist. Das Bild zeigt, dass nur im zentralen Teil erhöhte Temperaturen anzutreffen sind und wegen der Auskühlung der Talfüllung durch den Grundwasserstrom lediglich unterhalb der Felsoberfläche.

Da die Gesteine des Felsuntergrundes (vorwiegend Kalke, untergeordnet Dolomite) generell als wasserundurchlässig betrachtet werden müssen, sind geothermisch nutzbare Wasserzirkulationssysteme an Zonen erhöhter Fissuration infolge Brüchen oder Klüften gebunden, woraus ein gewisses Explorationsrisiko bei der Erschliessung dieser geothermischen Vorkommen entsteht. Aufgrund einer vorläufigen Interpretation der Fissurationsverhältnisse aufgrund von Satellitenbildern (Infrarot-

aufnahmen) werden besonders günstige Verhältnisse in den Talabschnitten Jenins-Landquart, Zizers-Untervaz, Chur SW-Domat/Ems und Tamins-Rhätzüns erwartet.

Als Schlussfolgerung aus den Ergebnissen der geothermischen Studie kann das Churer Rheintal als geothermisch erfolgversprechende und interessante Zone betrachtet werden. Nutzenswerte Vorkommen sind jedoch an den zentralen Teil des Tales im Bereich unterhalb der Felsoberfläche gebunden. Ein endgültiger und direkter Nachweis dieser Vorkommen, der zu einer Berechnung des erwarteten geothermischen Potentials führt, kann erst nach Abteufen einer oder mehrerer Probebohrungen von minimal 500 bis 600 m erbracht werden.

Energiekonzept

Dem Energiekonzept als Hauptstudie dieses Forschungsprojektes sind die in der Einleitung aufgeführten Projektziele zugrunde gelegt worden.

Natürliche Wärmequellen

Im Rahmen dieser Studie gelten als natürliche Wärmequellen jene Energiequellen, welche die Natur «liefert». Sie sind regenerierbar und eignen sich daher in besonderem Masse für eine energetische Nutzung. Das Potential des Grundwassers ist in der Teilstudie «Grundwasser» abgeklärt worden. In Tabelle 1 sind die Resultate enthalten. Das gleiche gilt auch für das Potential der geothermischen Energie. Im Untersuchungsgebiet liegen die Oberflächengewässer Rhein, Plessur und Landquart. An allen 3 Flüssen sind Abflussmengen-Messstellen des Bundes installiert. Aus dem Hydrologischen Jahrbuch der Schweiz [6] konnten somit die Durchflussmengen und die durchschnittlichen Wassertemperaturen ermittelt werden. Die Wegleitung zur Wärmenutzung aus Wasser und Boden des BUS [1] empfiehlt eine Abkühlung

nicht mehr als 3 °C und die Einhaltung einer minimalen Temperatur von +1 °C. Die tiefen Wassertemperaturen, aber auch technische Gründe, erlauben nur eine Teilnutzung dieses Potentials. Die Quellen Fries (Gemeinde Untervaz) liefern durchschnittlich Wassermengen von etwa 2400 l/min. Die mittleren Temperaturen betragen etwa 12 bis 13 °C. Sie weisen eine ziemlich konstante Menge und Temperatur auf und deuten auf einen thermalen Ursprung hin.

Atmosphärische Luft steht überall in fast beliebigen Mengen als Wärmequelle zur Verfügung. Aus der Sicht des Umweltschutzes ist eine Nutzung dieser Wärme völlig unproblematisch. Folgende Nachteile sind hier jedoch zu berücksichtigen:

- geringe, spezifische Wärmekapazität
- ungünstige Wärmeübergangseigenschaften
- Reifbildung bei tiefen Temperaturen
- starkes Abfallen des Wärmeinhaltes bei kaltem Wetter, also bei grösster Wärmenachfrage.

In Tabelle 2 ist die praktisch nutzbare Wärmemenge – ohne Antriebsenergie der Wärmepumpen – enthalten.

Technische Wärmequellen

Die Auswertung beschränkt sich auf die grösseren Abwärmelieferanten (Kläranlagen, Industriebetriebe usw.). In der Region befinden sich weitere Abwärmequellen, deren Nutzung durchaus sinnvoll und wirtschaftlich sein kann.

Die Abklärungen zeigen, dass die meisten Abwärmequellen firmenintern nicht genutzt werden können. Der Bedarf an niedrigerwertiger Energie ist gering. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die abgegebenen Abwärmen für die Nutzung durch Dritte zur Verfügung stehen. Das praktisch nutzbare Potential der technischen Wärmequellen ist – ohne Antriebsenergie der Wärmepumpen – in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3. Potential der technischen Wärmequellen

Art der Wärmequelle	Nutzungspotential ¹	
	Wintersemester (1.10.-31.3.) GWh	Sommersemester (1.4.-30.9.) GWh
Grundwasser	165	42
Flüsse	457	116
Thermalquellen	6	2
Geothermie	48	12
Total Heizöl-Äquivalent	676 57 000 t	172 14 000 t
Kühlwasser		44
Prozessabwasser		7
Abgase		10
Abluft		27
ARA-Abwasser		31
Total Heizöl-Äquivalent		119 10 000 t
		44 3700 t

Tabelle 2. Potential der natürlichen Wärmequellen

Art der Wärmequelle	Nutzungspotential ¹	
	Wintersemester (1.10.-31.3.) GWh	Sommersemester (1.4.-30.9.) GWh
Grundwasser	165	42
Flüsse	457	116
Thermalquellen	6	2
Geothermie	48	12
Total Heizöl-Äquivalent	676 57 000 t	172 14 000 t

¹ praktisch nutzbare Wärmemenge (ohne Antriebsmenge für Wärmepumpen)

¹ praktisch nutzbare Wärmemenge (ohne Antriebsenergie für Wärmepumpen)

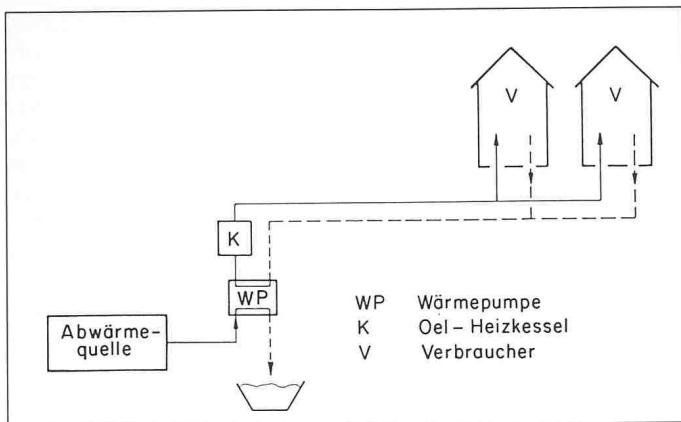


Bild 4. Versorgungssystem

Bild 5. Energie- und Leistungsbedarf (für Raumwärme und Brauchwärme wasser)

Wärmeabnehmer

In diesem Abschnitt geht es darum, potentielle Wärmeabnehmer zu eruieren und zu strukturieren. Vorwiegend handelt es sich dabei um Wohn-, Verwaltungs- und Geschäftsbauten. Im Vordergrund steht daher die Abgabe von Wärmeenergie für die Raumheizung und Warmwasseraufbereitung. Die Berechnungen wurden für den heutigen Überbauungszustand sowie für den sogenannten Vollausbau durchgeführt. Vollausbau ist dann der Fall, wenn sämtliche Grundstücke der einzelnen Gebiete überbaut sind.

Für einen Anschluss an FernwärmeverSORGUNGEN kommen aus technischen und wirtschaftlichen Überlegungen nur Objekte mit Zentralheizungen in Frage. Diese sogenannte Anschlussmöglichkeit wurde für jedes strukturierte Gebiet gesondert abgeschätzt.

Wärmepumpe im Zentrum

Die untersuchten Wärmequellen fallen durchwegs auf einem relativ tiefen

Temperaturniveau an (unter 20 °C). Eine energetische Nutzung ist daher nur mittels Wärmepumpen in Kombination mit weiteren Energieträgern (z. B. Heizöl, Strom, Holz, Kohle) möglich. Aufgrund verschiedener Untersuchungen und Überlegungen sind folgende Annahmen gemacht worden:

- Bivalente Versorgungssysteme:
 - Grundlast mit Wärmepumpe (65% des gesamten Leistungsbedarfes)
 - Spitzenlast mit Ölheizung (35%)
- Wärmepumpenantrieb mit Elektromotor
- Heizungs-Vorlauftemperaturen
 - ab Wärmepumpe (mit Kältemittel Freon R 12) 60 °C
 - ab Ölheizung 75 °C
- Deckung des Energiebedarfes
 - Wärmequelle 67%
 - Strom (Antriebsenergie für Wärmepumpe) 28%
 - Heizöl (Spitzenbedarf) 5%
- Warmwasser-Fernwärmesystem mit Wärmepumpe und Zusatzheizung bei der Abwärmequelle (2-Rohr-System)

Die getroffenen Annahmen sind in einer nächstfolgenden Untersuchung näher abzuklären. Dies gilt insbesondere für die Wahl des Versorgungssystems, der Antriebs- und Spitzenenergie.

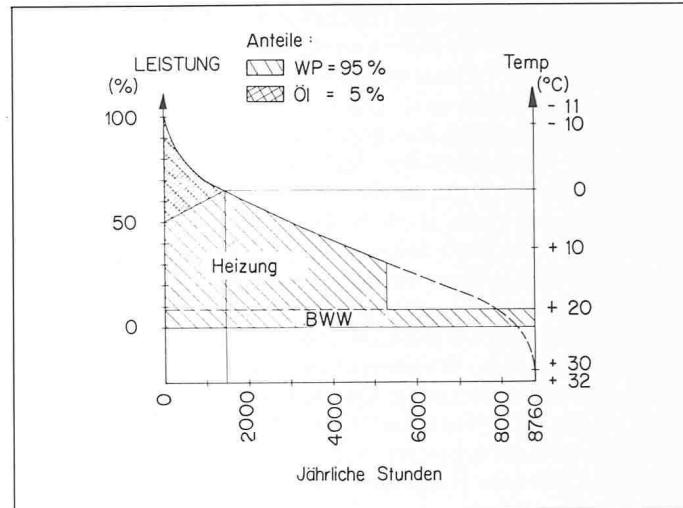
In Bild 4 ist das gewählte Versorgungssystem dargestellt. Die Bilder 5 und 6 sowie Tabellen zeigen zudem den jährlichen und monatlichen Energie- und Leistungsbedarf.

Tabelle 4. Energiebedarf und -deckung (vgl. Bild 6)

Bedarf (%)	Raumwärme	Brauchwärme	Total
Deckung (%)			
Strom	25	3	28
Abwärme	59	8	67
Öl	4	1	5
Total	88	12	100

Tabelle 5. Gegenüberstellung der Wärmegestehungskosten (vgl. Bild 7)

Energiepreissteigerung pro Jahr (%)	Variante Wärmepumpe (Fr./MWh)	Variante Ölheizung (Fr./MWh)
0	91.-	85.-
2	100.-	102.-
4	113.-	124.-
6	130.-	153.-
8	153.-	192.-
10	185.-	244.-



gliedern sich wie folgt:

- Wärmegewinnung
 - Pumpen, Zu- und Ableitungen zu Wärmepumpe
 - bauliche Anpassungsarbeiten bei Wasserentnahme
 - Zentralausrüstung, Gebäudekosten
- Wärmeerzeugung
 - Wärmepumpe, Ölheizkessel und Brenner
 - Zubehör und Regelungen
- Wärmetransport
 - Transportleitungen Fernwärmezentrale-Versorgungsgebiet
- Wärmeverteilung
 - Verbindungsleitungen Transportleitung-einzelne Objekte
- Wärmeübergabe
 - Warmwasserspeicher, Wärmezähler
 - Verrohrung und Armaturen, Regelgeräte und Instrumente
 - Anpassung an das hausinterne Vertriebssystem

Für jede untersuchte Variante sind die Kosten nach dieser Gliederung ermittelt worden. Die Kapitalkosten setzen sich zusammen aus den Kosten für Amortisation und Verzinsung der Investitionen. Die Nebenkosten umfassen sämtliche Aufwendungen für Unterhalt, Bedienung, Administration und Konzession. Der Berechnung liegen die aktuellen Energiepreise zugrunde. Die jährliche Energiepreissteigerung wurde für Strom mit 2 Prozent und Heizöl mit 4 Prozent angenommen.

Die Anschlussentwicklung sagt aus, in welchem Zeitraum wieviele Abnehmer an die FernwärmeverSORGUNGEN anschliessen. Sie beeinflusst stark die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen. Wichtig in diesem Zusammenhang sind:

- aktive Absatzpolitik
- attraktive Tarifgestaltung
- volumfähige Unterstützung durch Behörden.

Der Einfluss der Anschlussentwicklung wird an einem Beispiel verdeutlicht:

Fall 1:

bis 3. Jahr 60%

bis 10. Jahr 100%

Gestehungskosten 98.– Fr./MWh

Fall 2:

bis 5. Jahr 30%

bis 15. Jahr 100%

Gestehungskosten 125.– Fr./MWh

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sowie zum Vergleich der einzelnen Varianten sind die Wärmegestehungskosten nach der sogenannten Kapital- bzw. Barwertmethode ermittelt worden. Darunter werden die mittleren Kosten während des gewählten Betrachtungszeitraumes verstanden. Sie setzen sich zusammen aus Kapital-, Neben- und Energiekosten. Der Betrachtungszeitraum wurde auf 25 Jahre festgelegt. Diese Zeit erscheint unter Berücksichtigung der Anlagenlebensdauer sowie des technologischen Fortschrittes als angemessen. Der Einfluss der Energiepreisentwicklung auf die Wärmegestehungskosten wird an einem Beispiel verdeutlicht (siehe Bild 7 sowie Tabelle 5).

Schlussfolgerungen

Die Studie bezweckt, die Potentiale der natürlichen und technischen Wärmequellen im Churer Rheintal zu ermitteln und deren energietechnische Nutzung abzuklären. Im Mittelpunkt stand dabei die energetische Bewirtschaftung, im besonderen die «Energielieferung», des Untergrundes.

Das Thema «Energiespeicherung» ist Gegenstand eines anderen Forschungsprojektes. Diese Technologie spielt auch für das Untersuchungsgebiet eine nicht unbedeutende Rolle. Es ist daher empfehlenswert, die Resultate zu gegebener Zeit mitzuverarbeiten.

Die Ergebnisse dieser Studie basieren auf groben Annahmen und Schätzungen. Sie genügen für eine erste Einordnung der Möglichkeiten und Prioritäten.

Unter den gewählten Annahmen liegen die Wärmegestehungskosten für die untersuchten 16 Varianten zwischen 90 und 150 Franken pro MWh. Danach können im Vergleich zu konventionellen Ölheizungen rund $\frac{2}{3}$ der Varianten

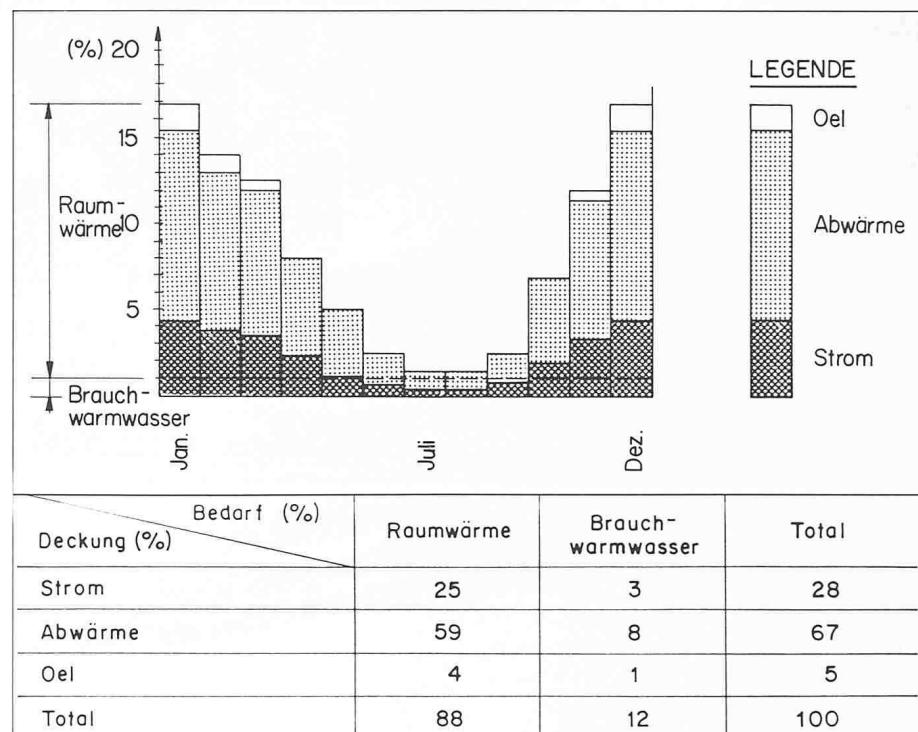
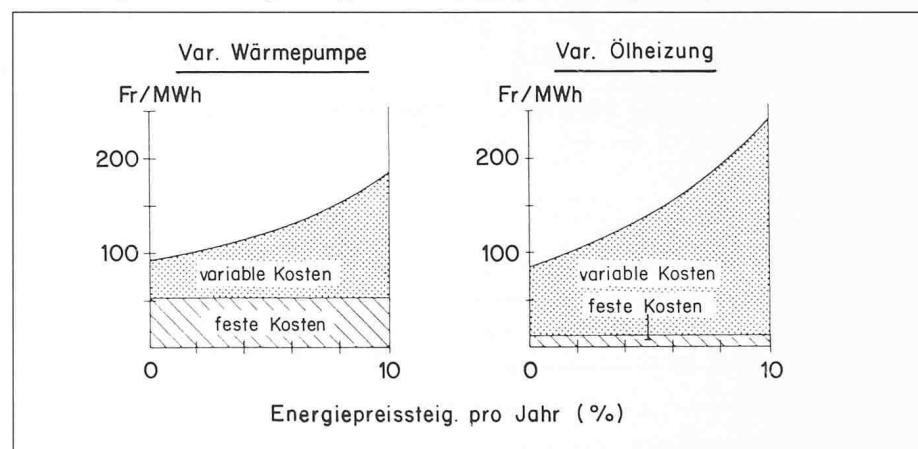


Bild 6. Monatlicher Nutzenergiebedarf und -abdeckung

Bild 7. Vergleich der Wärmegestehungskosten Wärmepumpe/Ölheizung am Beispiel ARA Chur-Lacuna



als wirtschaftlich interessant beurteilt werden.

Die nutzbaren Potentiale der natürlichen und technischen Wärmequellen sind im Churer Rheintal gross. Verschiedene Gründe (u.a. Anschlusswilligkeit, Gebäudeausrüstung, Temperaturniveau, Investitionskosten) werden dazu führen, dass nur Teile davon schliesslich genutzt werden können.

Ein untersuchtes Szenario für eine Wärmeversorgung zeigt, dass regional der zukünftige Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasseraufbereitung zu etwa 45 Prozent mit Wärmepumpenanlagen gedeckt werden könnte.

Adressen der Verfasser: *A. Tuffli, Ingenieur SIA* (Projektleiter), c/o Tuffli & Partner, Ingenieurbüro, Quaderstrasse 16, 7000 Chur. *A. Handke, dipl. natw. ETH, Geologe SIA, c/o Büchi + Müller AG*, Beratende Geologen SIA/ASIC, Quaderstrasse 5, 7000 Chur. *Ph. Bodmer, Dr. Sc. natw. ETH, c/o Dr. U. P. Büchi AG*, Geologische Forschungen und Expertisen, 8121 Benglen.

Literatur

- [1] Bundesamt für Umweltschutz, Schweiz: Wegleitung zur Wärmenutzung aus Wasser und Boden, 1982
- [2] Amt für Gewässerschutz Graubünden: Erarbeitung eines Modells zur Simulation und Bilanzierung der Grundwasserströmungen im Bündnerischen Rheintal, Bericht Nr. 1101 von Büchi + Müller AG, Chur, 1981
- [3] Glazel, W.-D., und Heise, K.D.: Wärmepumpen und Gewässerschutz. Ökologische Auswirkungen von Wärmepumpen mit Wärmeentzug aus Wasser. Berichtsband zum Statusseminar am 19. und 20. November 1979 in Berlin, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin.
- [4] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Grundlagen zur Beurteilung des Einsatzes von Wärmepumpen aus wasserwirtschaftlicher Sicht, Stuttgart, 1980
- [5] Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg, Institut für Wasser und Abfallwirtschaft: Grundwasser-Temperatur und thermische Nutzung, 1979
- [6] Bundesamt für Umweltschutz: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz

Projekt-Trägerschaft

Nationaler Energie-Forschungsfonds (NEFF), Kanton Graubünden
Gemeinden Chur, Domat/Ems, Felsberg, Haldenstein, Igis, Trimmis, Untervaz