

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 94 (1996)

Heft: 3

Artikel: Wärme aus Wasser und Boden : die Wärmepumpenprojekte des Kantons Bern

Autor: Frei, J. / Berdat, F. / Flühler, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-235236>

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: 05.07.2025

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

Wärme aus Wasser und Boden

Die Wärmepumpenprojekte des Kantons Bern

J. Frei, F. Berdat, H. Flühler

Der Kanton Bern hat als einer der ersten Kantone im Jahre 1981 ein Energiegesetz eingeführt. Dieses fördert das Energiesparen und die effiziente Energieanwendung, unter anderem durch die Nutzung der Umgebungswärme. Der Kanton Bern hat seit 1985 grosse Anstrengungen unternommen, mit umfangreichen Grundsatzuntersuchungen, das Wissen um die Nutzung des Wassers und des Bodens als Wärmequelle zu festigen, insbesondere auch bezüglich den Auswirkungen auf den Boden, das Grundwasser und die Vegetation.

Berne a, comme un des premiers cantons, introduit en 1981 une loi sur l'énergie. Celle-ci encourage l'économie et l'efficacité dans l'utilisation de l'énergie, entre autre par l'emploi de la chaleur ambiante. En procédant à des recherches fondamentales, le canton de Berne a fourni de gros efforts depuis 1985 pour approfondir les connaissances en matière d'utilisation de l'eau et du sol comme sources de chaleur et plus particulièrement en ce qui concerne les effets sur le sol, les eaux souterraines et la végétation.

Il Canton Berna è stato uno dei primi a introdurre nel 1981 una legge sull'energia. Quest'ultima promuove il risparmio energetico e l'impiego efficiente dell'energia, sfruttando anche il calore dell'ambiente. Dal 1985 il Canton Berna ha fatto grossi sforzi, accompagnati da ricerche approfondite, per migliorare le conoscenze relative allo sfruttamento dell'acqua e del terreno come fonte di calore, in particolare esaminando anche gli effetti sul terreno, sulla falda freatica e sulla vegetazione.

Was war der Sinn der Wärmepumpenprojekte?

J. Frei

Ende 1984 gab es im Kanton Bern folgende Wärmepumpenheizungen mit Wasser oder Boden als Wärmequelle:

- mit Grundwasser 448 Anlagen
- mit Oberflächenwasser 70 Anlagen
- mit Erdwärmesonden 94 Anlagen.

Heute sind es rund 6000 Anlagen. Damals gingen alle Energieszenarien von der Annahme aus, Wärmepumpen vermöchten nur einige wenige Prozente des Heizenergiebedarfs zu decken. Wir standen deshalb vor der Frage, ob Wärmepumpen nur halbherzig geduldet oder im Gegenteil gezielt gefördert werden sollten. Wir entschieden uns für die zweite Option, was aber Folgen hatte; denn energiepolitisch ist der Einsatz von Wärmepumpen nur sinnvoll, wenn sie einen bedeutenden Beitrag zur Substitution der fossilen Brennstoffe leisten. Dazu muss die Wärme von Wasser und Boden gezielt und in Kenntnis der Einflüsse auf die Umwelt genutzt werden. Zudem muss der Über-

gang von der individuellen zur kollektiven Anlage unter aktiver Mithilfe der öffentlichen Hand vollzogen werden.

Unsere Überzeugung, dass Wasser und Boden gewaltige Energiemengen enthalten, die ohne Schaden für die Umwelt mit Wärmepumpen nutzbar gemacht werden könnte, musste wissenschaftlich, neutral und umfassend belegt werden. Allen mög-

lichen und natürlich auch unmöglichen Argumenten war zu begegnen. Gleichzeitig musste es das Ziel sein, die positiven, die Wärmepumpen-Anwendung fördernden Argumente, wissenschaftlich und technisch zu stützen. Diese Vorgaben lösten sechs grössere, mehrjährige Untersuchungsprogramme aus, für die das bernische Kantonsparlament jeweils die notwendigen Kredite genehmigte, insgesamt fast 9.5 Mio. Franken. Die Grundlage dazu war das kantonale Energiegesetz aus dem Jahre 1981. Für alle Projekte wurde eine eigene Projektorganisation gebildet, der Fachleute aller davon betroffenen Sachgebiete angehörten. Das waren Ingenieure mehrerer Fachrichtungen, Bodenphysiker, Geologen, Hydrologen, Messtechniker, Informatiker, Zoologen, Agronomen, Juristen, Betriebswirtschaftler, Studenten, Installateure, Bohrfirmen aus der Privatwirtschaft, Hoch- und Ingenieurschulen und der Verwaltung.

Resultate der Projekte

F. Berdat

Wärmebilanz Grundwasser

Dank seiner auch im Winter hohen Temperatur eignet sich das Grundwasser besonders gut als Wärmequelle von Wärmepumpen. Um dieses brachliegende Wärmepotential gezielt und systematisch nutzen zu können, mussten wesentliche Kenntnislücken geschlossen werden. Zu diesem Zweck wurde in einem Testgebiet zwischen Hasle und Burgdorf eine Wärmebilanz des Grundwasserstromes erstellt. Damit konnte die nutzbare Wärmemenge berechnet werden. Diese würde ausreichen, um die ganze, im Testgebiet

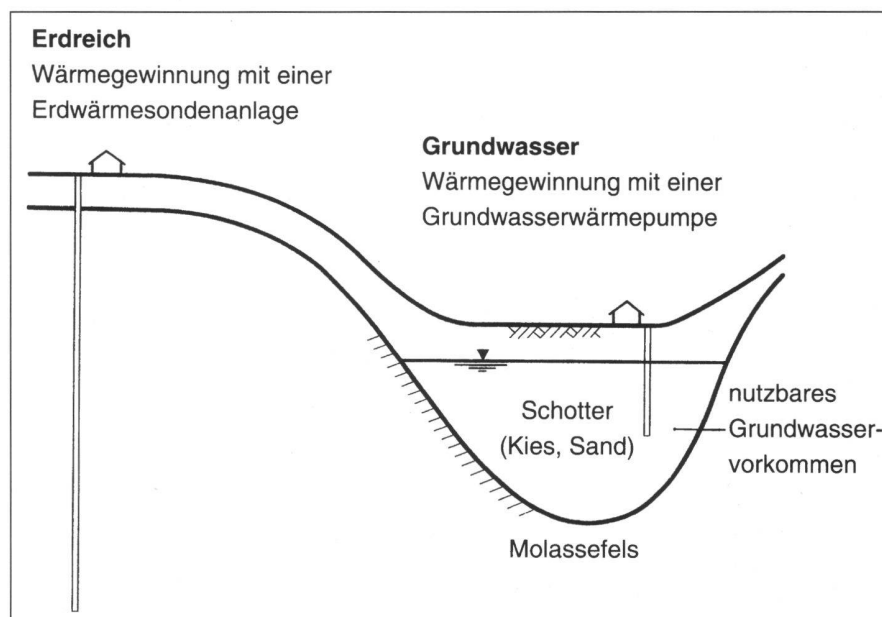


Abb. 1: Wärme aus Wasser und Boden: Grundwasserwärmepumpe und Erdwärmesonden.

Zusammenfassung der Referate anlässlich der Fachtagungen an der Ingenieurschule Burgdorf vom 31. Januar, 7. und 21. Februar 1996.

gelegene Gemeinde Oberburg, die 3000 Einwohner zählt, problemlos mit Wärme zu versorgen.

Grundwassertemperatur und Pflanzenwachstum

Bei der Wärmegegewinnung wird das Grundwasser um 2–4°C abgekühlt. Da dieses zu seiner mengenmässigen Erhaltung in der Regel wieder in den Grundwasserleiter zurückgegeben werden muss, entsteht im Grundwasser eine Kältefahne. Wenn der Grundwasserspiegel mehr als 4–5 m unter der Bodenoberfläche liegt, wirkt sich das kalte Grundwasser nicht auf die Temperatur des durchwurzelten Bodens aus. Ungeklärt war die Frage, ob eine Abkühlung entsteht, wenn der Grundwasserspiegel höher liegt und ob sich eine solche Abkühlung durch eine Verzögerung des Vegetationsbeginnes auf die land- und forstwirtschaftlichen Erträge auswirkt. Um diese Frage zu beantworten, wurde in Aefligen-Utzenstorf ein Testfeld gezielt bepflanzt, das darunter fliessende Grundwasser auf einem Teil der Fläche abgekühlt und mit der gewonnenen Wärme der andere Teil erwärmt. Die Ergebnisse der dreijährigen Feldbeobachtungen und Laboranalysen zeigten, dass sich diese Störungen des natürlichen Wärmehaushaltes nicht auf die Pflanzenenerträge auswirkten.

Fernwärmeversorgung mit Wärmepumpen

Bis jetzt wurden Heizungen vorwiegend in Neubauten installiert, und zwar meist als individuelle Anlage. Dies kann jedoch aus mehreren Gründen nicht das System der Zukunft sein:

- Das Heizöl-Substitutionspotential besteht vor allem in der Heizungsumrüstung von bestehenden Gebäuden.
- Eine entscheidende Verbreitung der Wärmepumpen mit Wasser als Wärmequelle kann nicht mit individuellen Anlagen erreicht werden, weil bei solchen Anlagen die Wärmequelle im eigenen Grundstück oder in unmittelbarer Nähe davon zur Verfügung stehen muss. Je grösser eine kollektive Anlage ist, desto kleiner ist die örtliche Bindung an die Wärmequelle.
- Individuelle Anlagen sind technisch, betrieblich und wirtschaftlich grösseren Anlagen unterlegen. Dies hat schon viele Bauherren davon abgehalten, eine eigene Wärmepumpenheizung zu installieren.

Aus all diesen Gründen bedarf es vermehrter Anstrengungen hin zu eigentlichen Wärmeverbünden, die auch – und vor allem – bestehende Gebäude erfassen. Dies stellt grosse Anforderungen an die technische, rechtliche und finanzielle Ausgestaltung solcher Projekte. Aus die-

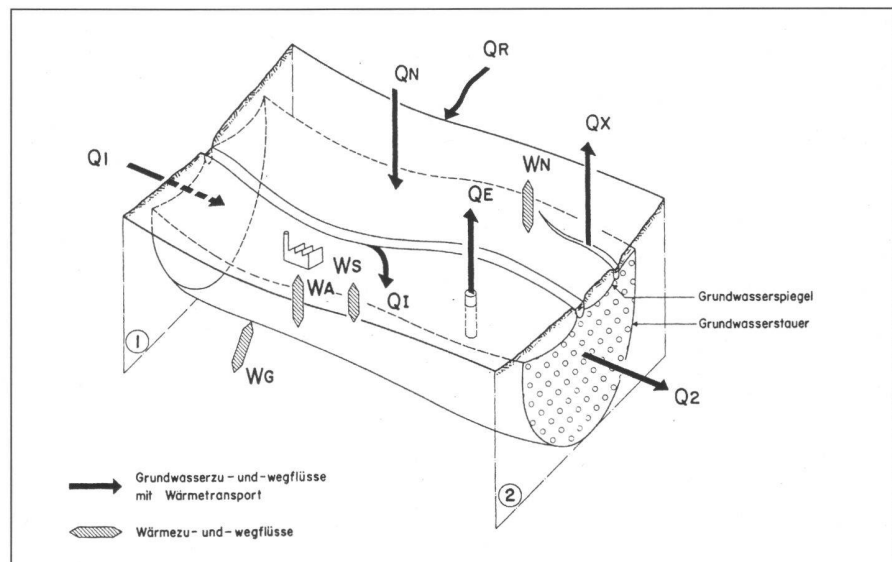


Abb. 2: Wärmebilanz Grundwasser: Bilanzierungskörper.

Legende zu Abb. 2:

WA	Wärmefluss zwischen der Über- und Unterwasserspiegelzone
WE/WP	Wärmefluss durch Grundwasserentnahme, Grundwassernutzung
WG	Geothermischer Wärmefluss
WI	Wärmefluss bedingt durch Infiltration
WN	Wärmefluss bedingt durch direkte Grundwasserneubildung
WR	Wärmefluss bedingt durch Massenfluss durch Seitenränder
WS	Wärmefluss bedingt durch Spiegelschwankungen
WX	Wärmefluss bedingt durch Exfiltration
W1/W2	Wärmefluss bedingt durch Massenfluss bei Ein- und Ausströmprofilen

sen Überlegungen ist die «Wegleitung zur praktischen Realisierung der Fernwärmeversorgung mit Wärmepumpen» entstanden.

Wärmebilanz Fliessgewässer

Bis jetzt werden Fliessgewässer in erstaunlich geringem Mass für die Wärmegegewinnung herangezogen. Es ist aber unbestritten, dass das nutzbare Wärmepotential der bernischen Fliessgewässer sehr gross ist. Das Projekt bezweckte, die Kenntnisse über die lokal als Wärmequelle nutzbare Wärmemenge derart zu vertiefen, dass eine gezielte Wärmebewirtschaftung betrieben werden kann. Die Wärmebilanz wurde an der Schüss durchgeführt. Es zeigte sich, dass ihr ohne ökologische Bedenken rund 20 Megawatt Wärme entzogen werden könnten. Diese Leistung reicht für die ganze Bevölkerung des St. Immertales.

Thermoprogramm Grundwasser

An und für sich war das Verhalten der Kältefahnen von abgekühltem Grundwasser schon vielfach beobachtet worden. Hingegen lagen praktisch keine Untersuchungen über das dynamische Verhalten von Kältefahnen als Folge rasch wech-

selnder Betriebszustände vor. In den Siedlungsgebieten war die Kenntnis dieser Vorgänge entscheidend für die mögliche Wärmepumpendichte, weil diese von der gegenseitigen Beeinflussung der Anlagen abhängt. Es zeigte sich erfreulicherweise, dass auch bei hoher Anlagendichte keine unzulässige Abkühlung des Grundwassers zu befürchten ist, die zu gegenseitigen Wärmediebstählen führen könnte.

Thermoprogramm Erdwärmesonden

Mit der Anzahl wächst auch die Bedeutung der vertikalen Sonden, mit denen Erdwärme für den Entzug durch Wärmepumpen gewonnen wird. Diese relativ neue Technik war mit offenen Fragen behaftet, namentlich was die Wärmezerstörung im Boden und damit die langfristige Betriebssicherheit betrifft. Dieser Fragestellung war unser Projekt gewidmet. Dabei wurden auch ausgedehnte Messreihen über die Leistungs- und Arbeitszahlen, die Dimensionierung von Sondenfeldern und die Bedeutung der Wiederaufladung durch einen künstlichen Wärmeeintrag untersucht. Das Projekt hat bestätigt, dass das mit Erdwärmesonden nutzbare Wärmepotential beträchtlich ist.

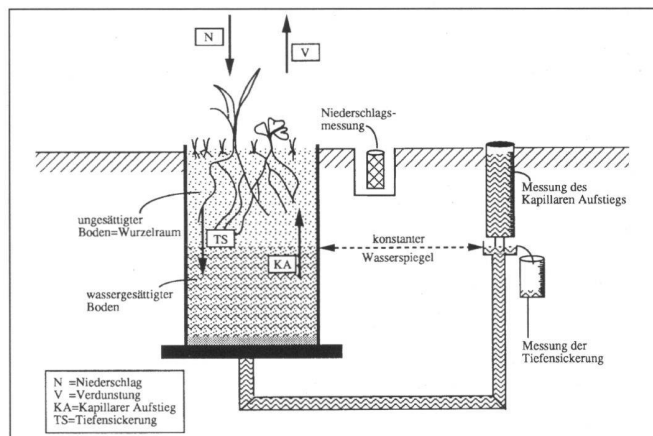
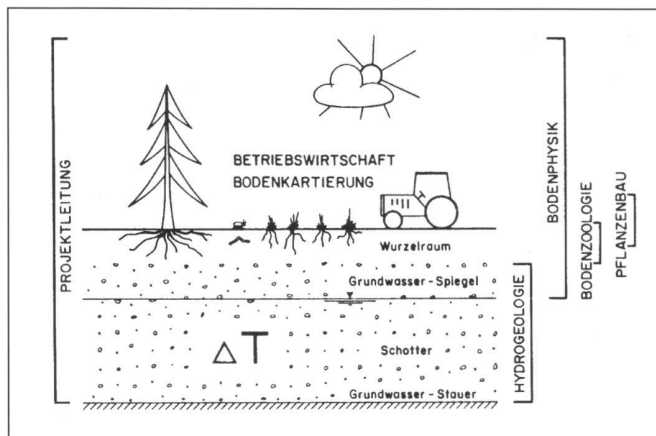


Abb. 3 und 4: Grundwassertemperatur und Pflanzenwachstum: Zusammenwirkung der verschiedenen Fachgebiete (links) und Schemaskizze des Lysimeters im Versuchsfeld Altwidn (rechts).

Bodentemperatur und Pflanzenwachstum

H. Flühler

Wenn die Bodentemperatur im Frühjahr den Schwellenwert von 5°C überschreitet, dann erwacht die Vegetation. Der Wärmespeicher «Boden» puffert die witterungsbedingten Temperaturschwankungen weitgehend ab. Eine Wärmenutzung im Grundwasser konkurrenziert die Bodennutzung höchstens im Frühjahr und nur an speziellen, grundwassernahen Standorten. Eine temperaturbedingte Verzögerung des Vegetationsbeginnes ist effizient überprüfbar. Während der Vegetationsruhe verhindert eine mässige Grundwasserabkühlung Frostschäden. Ausgangspunkt für unsere experimentellen Untersuchungen über den Bodenwärmehaushalt war die Frage nach möglichen Nutzungskonflikten zwischen einer traditionellen land- und forstwirtschaftlichen Bodennutzung und einer Wärmenutzung im oberflächennahen Grundwasser. Diese Problematik war Gegenstand von Auseinandersetzungen in konzessionsrechtlichen Verfahren zur Nutzung von

Grundwasser als Wärmequelle für Wärmepumpen.

Ich beleuchte zwei Aspekte dieser Mehrfachnutzung natürlicher Ressourcen:

- Von welchen Faktoren hängt das natürliche Wärmeregime im Boden ab, und wie stark können (dürfen) wir es ohne Einbusse an Ertrag und Umweltqualität stören?
- Wie reagieren Pflanzen auf Änderungen des Wärmeregimes im Wurzelraum?

Wärmehaushalt im Boden

Der Boden ist nicht nur ein Speicher für Wasser und Nährstoffe, sondern auch für Wärme. Gleichzeitig ist er ein Isolator zwischen dem Wärmehaushalt des Untergrundes und der Atmosphäre. Die Bodentemperatur wird durch die Wärme flüsse durch den oberen und unteren Rand des Wurzelraumes bestimmt. Der Wärmeaustausch an der Bodenoberfläche dominiert das Wärmeregime im Boden. Allerdings gleicht der Wärmespeicher Boden die kurzfristigen, witterungsbedingten Temperaturänderungen sehr stark aus. Im Untergrund ist der Wärme fluss wesentlich kleiner und langsamer, aber stetig und

geht über längere Perioden in der gleichen Richtung, im Winter nach unten und im Sommer nach oben in den Wurzelraum hinein. Eine Abkühlung des Grundwassers beeinflusst die Bodentemperatur nur dann, wenn sich der Grundwasserspiegel in Reichweite der Wurzel befindet und nur dann, wenn zwischen Grundwasser und Wurzelraum keine kiesig-sandige Schicht (Kapillarsperre) liegt.

Bodenwärmehaushalt und Pflanze

Eine Abkühlung des Bodens reduziert die Aktivität aller Bodenorganismen, also auch der Wurzeln und drosselt die Verdunstung der Pflanzen. Während der Vegetationsruhe (Winter) ist dies ein Schutz vor unzeitigem Austreiben und Frostwirkung, und im Sommer bedeutet dies eine Reduktion des Wachstums von Blättern, Stengel und Stamm, aber nicht notwendigerweise des Früchte-, Körner- und Knollenertrages. Eine Bodenabkühlung verkürzt die Dauer der Vegetationsperiode um einige Tage. Unterschiedliche Bewirtschaftung und ein unterschiedlicher Witterungsverlauf im Spätwinter und Frühjahr beeinflussen den Beginn der Vegetationsperiode stärker als stark gekühltes, oberflächennahes Grundwasser.

Untersuchungsgebiet	Utzenstorf-Aefligen					
Testareal	Neuwiden	Altwiden Süd		Aefligen	Altwiden Nord	
Beeinflussung der Grundwasser (GW)-Temperatur	Klima + Emme-Infiltrat (→ kaltes Grundwasser im Frühjahr)			Klima		
Flurabstand	5–6 m	1–3 m		3–5 m	1–2 m	
Bodenbeschaffenheit auf Höhe GW-Spiegel	kiesig	fein-sandig	kiesig	kiesig	fein-sandig	kiesig
Landwirtschaftliche Versuchsstelle	RG5	RG1	RG3	RG6	RG2	RG4
Forstwirtschaftliche Versuchsstelle	–	FW7		FW9	FW8	

Tab. 1: Grundwassertemperatur und Pflanzenwachstum: Charakteristische Standorteigenschaften der Testareale sowie der land- und forstwirtschaftlichen Versuchsstellen.

Adressen der Verfasser:

Jörg Frei
dipl. Kulturingenieur ETH
Vorsteher des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern
Reiterstrasse 11
CH-3011 Bern

Francis Berdat
dipl. Kulturingenieur ETH
Abteilungsleiter Wasserwirtschaft im Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Reiterstrasse 11
CH-3011 Bern

Prof. Dr. Hannes Flühler
Institut für terrestrische Ökologie
ETH Zürich
CH-8092 Zürich