

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 84 (1992)
Heft: 11-12

Artikel: Der Heisswasserbohrer und seine Anwendung in der glaziologischen Forschung
Autor: Iken, Almut
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940610>

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: 10.02.2026

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

Der Heisswasserbohrer und seine Anwendung in der glaziologischen Forschung

Almut Iken

Zusammenfassung

Gletscher können in wenigen Stunden mit einem Strahl heissen Wassers durchbohrt werden. Dieses Verfahren sowie verschiedene in den Bohrlöchern durchgeführte Messungen werden beschrieben.

Abstract: The hot-water drill for glaciological research

Holes, reaching the bed of a glacier can be drilled with a hot-water jet within a few hours. This method and various types of borehole-measurements are described.

Résumé: Le forage à l'aide d'un jet d'eau chaude pour la recherche glaciologique

Au moyen d'un jet d'eau chaude, il est possible de perforer un glacier en quelques heures. La méthode ainsi que différentes mesures que l'on peut faire dans le trou de forage sont décrites.

Einleitung

Gletscher sind nicht immer nur träge, unmerklich langsam dahinfließende Eismassen. Bei schnellen Gletschervorstössen, vor allem bei «surges», aber auch bei Rutschungen steiler Hängegletscher, können sich in kurzer Zeit Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Tag – oder pro Stunde – entwickeln. Für alle markanten Geschwindigkeitsänderungen sind Prozesse an der Gletschersohle die Ursache. Da sich diese Prozesse der direkten Beobachtung entziehen, sind sie erst ansatzweise bekannt. Es liegen zwar verschiedene theoretische Untersuchungen über das Gleiten der Gletscher vor und neuerdings auch über Wechselwirkungen von Gleiten und subglazialen Abfluss u.a. von Lliboutry (1968, 1978), Nye (1969), Kamb (1970, 1987), Morland (1976) und Fowler (1986). Hingegen gibt es erst wenige experimentelle Untersuchungen. Hier eröffnet das Heisswasser-Bohrverfahren neue Möglichkeiten. Das gilt natürlich auch für intraglaziale Untersuchungen, insbesondere Messungen der Eistemperaturen und des Fliessverhaltens. Mit einem Heisswasserbohrer können mit relativ wenig Aufwand in kurzer Zeit Löcher gebohrt werden, die bis ans Gletscherbett reichen.

Erstmals wurde ein Heisswasserbohrer 1956 durch die «Forages et Cie.» für Tiefensondierungen im Glacier de Saleina eingesetzt. In den 70er Jahren wurde diese Me-

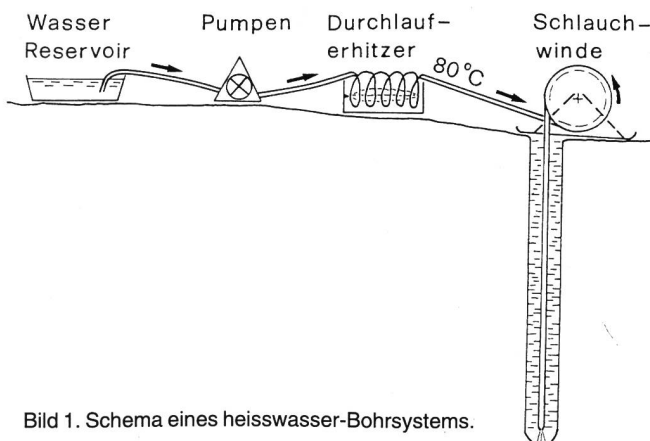


Bild 1. Schema eines heisswasser-Bohrsystems.



Bild 2. Testlauf vor Beginn einer Bohrung im «Konkordiaplatz» (Grosser Aletschgletscher): Überprüfung der Düse an der Bohrstange. Links im Bild die Schlauchwinde.

thode dann von verschiedenen Forschungsgruppen für glaziologische Untersuchungen verwendet. Auf Anregung von Prof. Hans Röthlisberger wurde bereits 1972 ein leichter Heisswasserbohrer an der VAW konstruiert (Iken et al., 1977) und zur Überprüfung der Theorie des stationären Schmelzwasser-Abflusses (Röthlisberger, 1972) am Gornegletscher und am Oberaletschgletscher eingesetzt. In den folgenden Jahren wurde die Apparatur weiterentwickelt, so dass 1979 bereits Bohrtiefen bis zu 430 m erreicht werden konnten. Untersuchungen im Jakobshavngletscher (Grönland), wo Eistiefen über 1000 m vorkommen, erforderten einen weiteren Entwicklungsschritt. 1989 wurde auf der Nordseite des Jakobshavngletschers mit einem Heisswasserbohrer die bisher grösste Tiefe, nämlich 1630 m erreicht (Iken et al., im Druck). Die Bohrdauer für diese Tiefe beträgt rund 24 Stunden.

Im folgenden werden die Bohrmethode und einige Anwendungen erläutert.

Die Bohrmethode

Bild 1 zeigt das Schema eines Heisswasserbohrers: Wasser wird aus einem Gletscherbach oder dem Bohrlöch selbst angesaugt, mit Durchlauferhitzern auf 60 bis 90°C erwärmt und unter hohem Druck (bis zu 100 bar bzw. 10⁷ Pa) durch den Bohrschlauch zur Bohrstange gepumpt. Die Bohrstange ist ein wärmeisoliertes, doppelwandiges Rohr, das am untern Ende mit Bleischrot beschwert ist. Am Ausgang ist eine feine Düse befestigt, aus welcher das heisse Wasser in einem scharfen Strahl herausspritzt und das darunterliegende Eis zum Schmelzen bringt. Bild 2 zeigt einen Probelauf auf dem Grossen Aletschgletscher, bei welchem überprüft wird, ob der Wasserstrahl axialsymmetrisch ist. Die Bohrgeschwindigkeit, dL/dt , ist proportional zu der an der Bohrspitze in der Zeiteinheit austretenden Wärmemenge und damit proportional zu Wassertemperatur φ und Durchfluss Q :

$$dL/dt = C \rho_w c_w Q \varphi \quad (1)$$

Hier sind ρ_w und c_w die Dichte und Wärmekapazität von Wasser, φ die Wassertemperatur und C ist die spezifische Bohrgeschwindigkeit, welche zum Düsenquerschnitt umgekehrt proportional ist (Iken, 1988).

Auf dem Weg zur Bohrstange nimmt die Wassertemperatur im Schlauch ab, und zwar exponentiell mit der Tiefe L . (Die Abnahme mit der Tiefe ist annähernd exponentiell, weil der Wärmeverlust vom Schlauch proportional zur Dif-

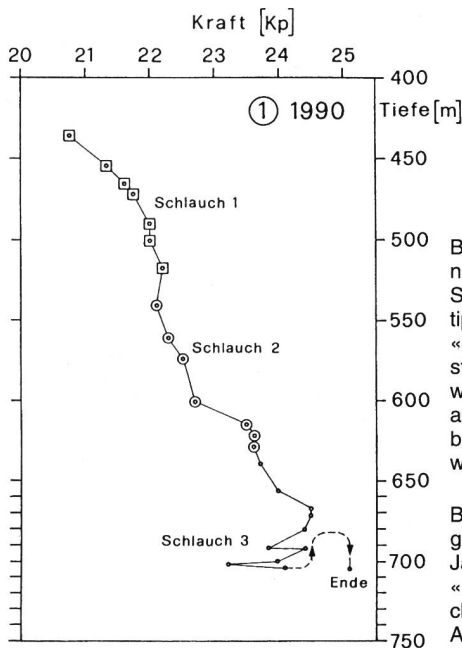
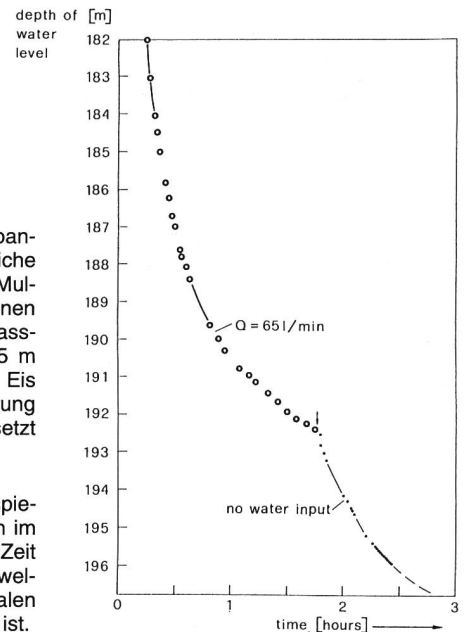


Bild 3, links. Zunahme der Schlauchspannung mit der Bohrtiefe. (Die tatsächliche Schlauchspannung ergibt sich durch Multiplikation der am Kraftgeber abgelesenen «Kraft» mit einem einstellbaren Massstabsfaktor.) Bei einer Tiefe von 665 m wurden bei dieser Bohrung Steine im Eis angetroffen; jedoch konnte die Bohrung bis zu einer Tiefe von 705 m fortgesetzt werden.

Bild 5, rechts. Absinken des Wasserspiegels in einem 1540 m tiefen Bohrloch im Jakobshavngletscher, Grönland. Die Zeit «Null» entspricht dem Zeitpunkt, an welchem das Bohrloch mit dem subglazialen Abflusssystem in Verbindung getreten ist.



ferenz der Temperaturen innerhalb und ausserhalb des Schlauches ist. Ausserhalb des Schlauches, d.h. im wassergefüllten Bohrloch, beträgt die Temperatur 0°C.)

$$\varphi(L) = \varphi_0 e^{-L/(R \rho_w c_w Q)} \quad (2)$$

Hier ist

$\varphi(L)$ die Wassertemperatur in der Tiefe L ,
 φ_0 die Wassertemperatur am oberen Ende des Bohrlochs und

R der effektive thermische Widerstand von Schlauch und Bohrloch.

R hängt in erster Linie von der Wärmeleitfähigkeit des Schlauchmaterials und vom Verhältnis von Innen- und Aussenradius des Schlauches ab, aber auch vom Bohrradius und den Strömungsverhältnissen im Bohrloch. Beispielsweise betrug R etwa 0,3 mh°K/kcal bei den in Grönland durchgeführten Bohrungen; dort wurde ein Standard-Mitteldruckschlauch mit 19 mm Aussendurchmesser verwendet. Die maximal mögliche Bohrtiefe ist mit diesem System erreicht, wenn der Wasserstrahl praktisch kalt aus der Düse spritzt, also wenn

$$e^{-L/(R \rho_w c_w Q)} \leq 0,1 \quad (3)$$

Während bei geringen Tiefen – einigen 100 Metern – auch mit einem Durchfluss von nur 20 l/min noch Bohrgeschwindigkeiten von über 100 m/h erreicht werden können, war es bei Tiefen über 1000 m in Grönland notwendig, mit einem Durchfluss von 60 bis 80 l/min zu bohren, zumal im -20°C kalten Eis Löcher mit einem Anfangsradius von 0,08 bis 0,10 m benötigt werden, um vorzeitiges Zufrieren zu verhindern.

Beispiele von Bohrlochmessungen

Erste Hinweise auf die Beschaffenheit des basalen Eises und des Gletscherbettes werden schon während des Bohrens gewonnen: Ein Kraftmesser an der Schlauchwinde zeigt die Schlauchspannung an, die deutlich abnimmt, sobald die Bohrspitze nicht mehr frei hängt, sondern auf einem Stein aufsteht. Nach kurzem Anheben kann die Bohrspitze an kleineren Steinen vorbeigleiten. Insgesamt ergibt sich jedoch in schutthaltigem Eis ein stark verlangsamter Vortrieb mit deutlichen Variationen der Schlauch-

spannung. Diese Verhältnisse wurden zum Beispiel bei den bis zu 900 m tiefen Bohrungen im «Konkordiaplatz» des Grossen Aletschgletschers angetroffen (Bild 3). Ganz anders verliefen Bohrungen an der Nordseite des Gornergletschers; hier konnte das Eis mit der vollen Bohrgeschwindigkeit durchbohrt werden bis zu dem Zeitpunkt, an welchem die Bohrspitze auf dem Felsbett aufstand. Anschliessend ausgeführte Messungen der elektrischen Leitfähigkeit fielen an beiden Gletschern ebenso unter-

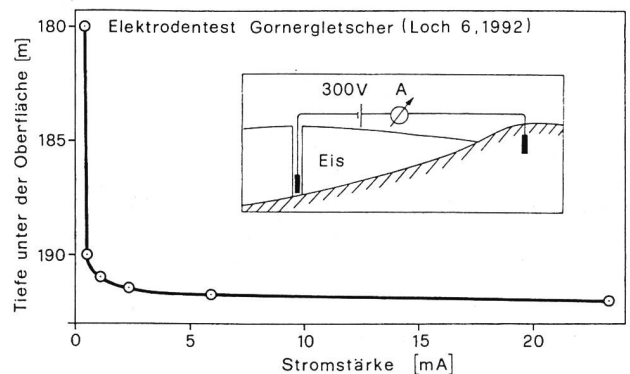


Bild 4a. Elektrodentest in einem Bohrloch im Gornergletscher. Der gemessene elektrische Strom ist als Funktion der Tiefe der Bohrlochelektrode aufgetragen. Wenn sich die Bohrlochelektrode dem Gletscherbett, hier in 192 m Tiefe, nähert, steigt der Strom stark an. Im «Kasten» ist die Messanordnung skizziert.

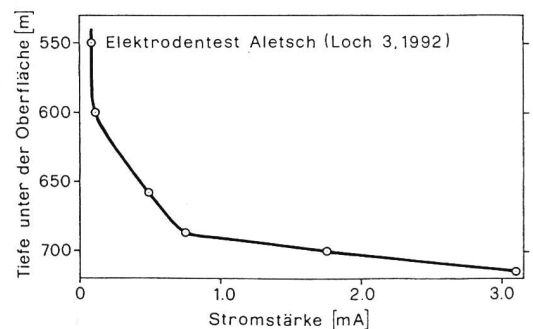


Bild 4b. Elektrodentest in einem 715 m tiefen Bohrloch im «Konkordiaplatz» des Grossen Aletschgletschers. Auch hier nimmt der Strom nahe dem Bett zu, jedoch allmählicher als in Bild 4a.

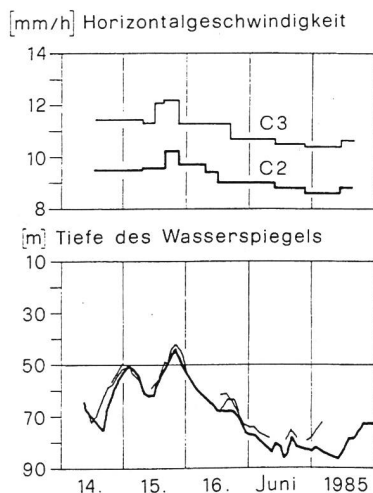
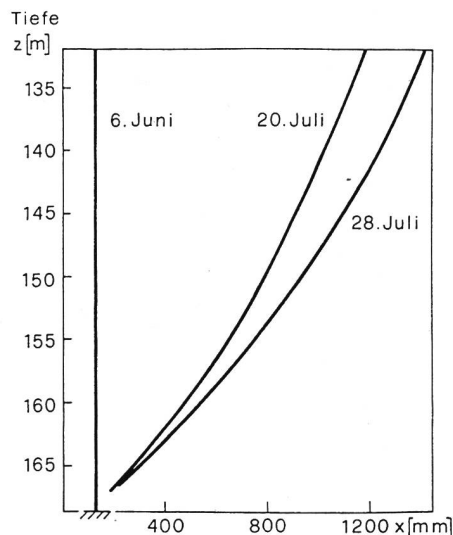


Bild 6, links. Gletscherbewegung und subglazialer Wasserdruck. Oben: Geschwindigkeit zweier Stangen im Findelengletscher (1985). Stange C3 befindet sich in der Nähe der Gletschermitte, Stange C2 ist näher am Rand gelegen. Bei C3 beträgt die Eistiefe 165 m. Unten: Tiefe des Wasserspiegels in drei Bohrlöchern im gleichen Gebiet.

Bild 7, rechts. Allmähliche Verbiegung eines Bohrlochs im Findelengletscher in der Nähe der Stange C3 im Juni und Juli 1985.



schiedlich aus. Bei dieser Methode wird eine Elektrode ausserhalb des Gletschers eingegraben, die zweite ins Bohrloch hinuntergelassen (Haeberli und Fisch, 1984). Sobald sich die zweite Elektrode dem Gletscherbett nähert, steigt der Strom zwischen den Elektroden stark an. Während der Strom in den untersten zwei Metern des Gornergletschers um mehr als das Dreissigfache ansteigt (Bild 4a), nimmt er im «Konkordiaplatz» sehr allmählich zu; diese Zunahme beginnt schon in einer Distanz von über 100 Metern vom Bett (Bild 4b). Die Elektrodenmessungen bestätigen also den unterschiedlichen Schuttgehalt an der Basis beider Gletscher.

Wenn ein Bohrloch bis zum Gletscherbett abgeteufelt ist, kommt in den meisten Fällen eine Verbindung mit dem subglazialen Abflusssystem zustande. Der Wasserspiegel im Bohrloch sinkt dann bis auf das Niveau ab, das dem Druck im subglazialen Abflusssystem entspricht. Die Höhe dieses Niveaus gibt bereits eine erste Information über die Beschaffenheit des Abflusssystems: Je besser kanalisiert dieses ist – oder je grösser die subglazialen Gerinne sind – desto tiefer ist der Druck im Abflusssystem. Weitere Aufschlüsse über das subglaziale Abflusssystem können durch Tracerversuche und durch kurzzeitige oder kontinuierliche Pumpversuche gewonnen werden. Bei den Tracerversuchen wird eine organische Farbstofflösung oder eine Salzlösung in ein Bohrloch geleitet und die Ausbreitung dieser Lösung im Abflusssystem durch Leitfähigkeitsmessungen bzw. Probenentnahmen in benachbarten Bohrlöchern und am Gletschertor verfolgt. Bei den Pumpversuchen wird Wasser in ein Bohrloch hinein- oder herausgepumpt und die dadurch hervorgerufene Änderung der Höhe des Wasserspiegels registriert. Bild 5 zeigt das Absinken des Wasserspiegels in einem Bohrloch im Jakobshavngletscher (Grönland), welches in 1540 m Tiefe das Gletscherbett erreicht. Der linke Teil der Graphik zeigt die Annäherung an ein konstantes Niveau bei einem Zufluss von 65 l/min im Bohrloch, der rechte Teil zeigt ein geringfügig tieferes Absinken nach Abstellen des Zuflusses. Die tiefe Lage, welcher sich der Wasserspiegel annähert – dem Überlagerungsdruck des Eises würde nur eine Spiegeltiefe von 131 m entsprechen –, und der geringe Unterschied der Spiegeltiefen mit und ohne Zufluss ins Bohrloch, weisen auf das Vorhandensein eines gut entwickelten Abflusssystems mit beträchtlicher Speicherkapazität hin (Iken et al., im Druck). Vermutlich ist in diesem Gebiet an der Gletschersohle ein System von miteinander verbundenen, wassergefüllten Hohlräumen vorhanden. Diese Hohlräume bilden sich, wenn ein Glet-

scher genügend schnell über ein undeformierbares Bett gleitet (zum Beispiel Lliboutry, 1968, und Kamb, 1987).

Der Druck in einem subglazialen Abflusssystem ist täglichen Schwankungen unterworfen, die dem Zufluss und Abfluss von Schmelzwasser entsprechen. Ist das Abflusssystem weitverzweigt, so dass es einen grossen Teil der Gletschersohle benetzt, dann können diese Druckschwankungen deutliche Variationen der Gleitgeschwindigkeit hervorrufen (Bild 6). Solche Verhältnisse wurden beim Findelengletscher im Frühsommer mehrerer Jahre beobachtet (Iken und Bindshadler 1986). Bild 7 zeigt die mit einem Inklinometer gemessene Verbiegung des unteren Teils eines Bohrlochs im gleichen Gebiet während einer Zeitspanne von 14 bzw. 22 Tagen. Aus der Geometrie des Gletschers wurde eine basale Scherspannung von 1 bar (10^5 Pa) abgeschätzt. Unter der Annahme, dass die gemessene Bohrlochverbiegung nur auf einfache Scherung zurückzuführen ist, ergeben sich die Fließparameter $n \approx 4$ und $A \approx 0,195 \text{ bar}^{-4} \text{ a}^{-1}$ in einem Fließgesetz der Form

$$\dot{\epsilon} = A \tau_{xy}^n \quad (4)$$

Hier ist τ_{xy} die bettparallele Scherspannung und $\dot{\epsilon}_{xy}$ die entsprechende Scherdeformationsrate.

Mit diesem Fließgesetz kann der Anteil der Oberflächengeschwindigkeit berechnet werden, der auf interne Deformation des Eises zurückzuführen ist: Im Gebiet der Stange C3, wo das Eis 165 m dick ist, erhält man 12,9 m pro Jahr oder 1,5 mm/h. Das sind nur rund 13% der gemessenen Geschwindigkeit der Stange C3. Der Beitrag des Gleitens an die Gesamtbewegung beträgt demnach in diesem Fall 87%.

Ausblick

Die hier skizzierten Messverfahren sind nur ein kleiner Teil der in den Alpen und den arktischen Eisschilden durchgeführten Bohrlochmessungen. Neben Probenentnahmen und Deformationsmessungen in Sedimenten unter Eisströmen – ein gegenwärtiges Forschungsgebiet des California Institute of Technology – liefern auch Eistemperaturmessungen in Bohrlöchern (s. z. B. Haeberli und Funk, 1991) wesentliche Informationen. Sie sind die Grundlage zum Verständnis der Dynamik und Stabilität kalter Gletscher und Eisströme.

Erhebliche Anstrengungen werden zurzeit zur Erforschung der Klimageschichte mittels der Analyse von Eisbohrkernen unternommen. Kernbohrungen bis zum Bett der polaren Eisschilde sind Grossprojekte, die sich über

Jahre hinziehen. Gerade die untersten Eisschichten enthalten die ältesten Informationen über das Klima und die Zusammensetzung der Atmosphäre. Auch bei der Gewinnung dieser fossilen Eisproben könnte der Einsatz von Heisswasserbohrern von Nutzen sein: Die höher gelegenen Eisschichten könnten mit diesen sehr schnell durchbohrt werden und die aufwendigen Kernbohrungen auf die gewünschten Tiefen beschränkt werden.

Literatur

- Fowler, A., 1986. A sliding law for glaciers of constant viscosity in the presence of subglacial cavitation. *Proceedings of the Royal Society of London, Ser. A*, Vol. 407, p. 147–170.
- Haeblerli, W., and Fisch, W., 1984. Electrical resistivity soundings of glacier beds: A test study on Grubengletscher, Wallis, Swiss Alps. *Journal of Glaciology*, Vol. 30, No 106, 373–376.
- Haeblerli, W., and Funk, M., 1991. Borehole temperatures at the Colle Gnifetti core-drilling site (Monte Rosa, Swiss Alps). *Journal of Glaciology*, Vol. 37, No 125, 37–46.
- Iken, A., Röthlisberger, H., and Hutter, K., 1977. Deep drilling with a hot-water jet. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Bd. XII, Heft 2, 143–156.
- Iken, A., and Bindenschadler, R., 1986. Combined measurements of subglacial water pressure and surface velocity of Findelengletscher, Switzerland: Conclusions about drainage system and sliding mechanism. *Journal of Glaciology*, Vol. 32, No 110, 101–119.
- Iken, A., 1988. Adaption of the hot-water drilling method for drilling to great depth. *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. Mitt. 94*, S. 211–229. Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.

Iken, A., Echelmeyer, K., Harrison, W., and Funk, M., in press. Mechanism of fast flow in Jakobshavn Isbrae, Greenland, Part I: Measurements of temperature and water level in deep boreholes. *Journal of Glaciology*.

Kamb, W., 1970. Sliding motion of glaciers: theory and observation. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, Vol. 8, No 4, 673–728.

Kamb, W., 1987. Glacier surge mechanism based on linked-cavity configuration of basal water conduit system. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 92, No B9, 9093–9100.

Lliboutry, L. A., 1968. General theory of subglacial cavitation and sliding of temperate glaciers. *Journal of Glaciology*, Vol. 7, No 49, 21–58.

Lliboutry, L. A., 1978. Glissement d'un glacier sur un plan parsemé d'obstacles hémisphériques. *Annales de Géophysique*, Tome 34, No 1, 147–162.

Morland, L. W., 1976. Glacier sliding down an inclined wavy bed. *Journal of Glaciology*, Vol. 17, No 77, 447–462.

Nye, J. F., 1969. A calculation on the sliding of ice over a wavy surface using a Newtonian viscous approximation. *Proceedings of the Royal Society of London, Ser. A*, Vol. 311, No 1506, 445–467.

Röthlisberger, H., 1972. Water pressure in intra- and subglacial channels. *Journal of Glaciology*, Vol. 11, No 62, 177–203.

Adresse der Verfasserin: Dr. Almut Iken, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

Gesundheitsgefährdende Dioxin- und Schwermetallbelastungen in Zürcher Böden?

Die Baudirektion des Kantons Zürich teilt mit:

In der Sendung «Kassensturz» vom Dienstag, 24. November, wurde von kontaminierten Böden an drei Stellen im Kanton Zürich berichtet, die teilweise denjenigen der «Todeszone» von Seveso entsprechen sollen. Im weiteren wurde den kantonalen Behörden Untätigkeit vorgeworfen. Die Sendung muss begreiflicherweise grosse Versunsicherung unter der betroffenen Bevölkerung auslösen, weshalb sich einige ergänzende Informationen und Richtigstellungen aufdrängen.

Richtig ist, dass das Amt für Gewässerschutz und Wasserbau sich geweigert hat, in der Sendung aufzutreten, weil nach ersten Gesprächen festgestellt werden musste, dass die Redaktion des «Kassensturzes» mit einer vorgefassten Meinung an die Thematik herangegangen und zu unzulässigen Schlussfolgerungen gelangte.

Aufgrund der Erhebungen des «Kassensturzes» und eigener Messungen steht im heutigen Zeitpunkt fest:

1. Niederglatt

Im weitem Umfeld des stillgelegten Aluminiumschmelzwerkes Refonda hat der Kanton an 32 Stellen Oberbodenproben auf Dioxine und Schwermetalle untersucht, die eine Fläche von etwa 700 ha eingrenzen. Alle gemessenen Dioxin-Werte im Oberboden ausserhalb des Werkgeländes der Refonda liegen unterhalb von 40 Nanogramm pro kg Boden (ng/kg). Oberhalb dieses provisorischen deutschen Richtwertes wären die landwirtschaftlichen Produkte laufend auf Dioxin zu untersuchen. An 18 Stellen im engern Umfeld um den Betrieb auf einer Fläche von 32 ha wurden Werte zwischen 5 und 40 ng/kg gemessen.

Den betroffenen Grundeigentümern wurden vorsorgliche Bewirtschaftungsempfehlungen abgegeben: Graswirtschaft (nur Dürrfutter) bzw. Getreideanbau mit der Verpflichtung zur sofortigen Wiederbegrünung.

Hinsichtlich Schwermetalle wurden an drei sehr nahe beim Werkareal bzw. auf früheren Ablagerungsplätzen gelegenen Standorten ein- bis zweifache Richtwertüberschreitungen von Cadmium und Kupfer gemäss eidgenössischer Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo) festgestellt. Dies bedeutet keine unmittelbare Gefahr, sondern ist ein Hinweis, dass längerfristig die Bodenfruchtbarkeit gefährdet ist. Mit der Stilllegung der Fabrik ist die Emissionsquelle unterbunden. Der Gemeinderat Niederglatt sowie die betroffene Bevölkerung wurden bereits im Juli 1992 orientiert.

2. Buchs

Die Blockmetall AG stellt seit längerer Zeit einen Sanierungsfall dar, und konkrete Anordnungen wurden im Bereich der Entwässerung und der Lagerung von Schlacken- und Spänmulden getroffen. Soweit die Massnahmen nicht bereits vollzogen sind, wird dies in den nächsten Wochen geschehen. Innerhalb des Fabrikareals sind aufgrund einer Voruntersuchung Altlasten vorhanden, die nach einem von der Firma eingereichten Sanierungskonzept behoben werden müssen.

Die von der EMPA im Auftrag des «Kassensturzes» erhobenen und auf Dioxin untersuchten vier Bodenproben liegen in einem Umkreis von 40 m maximal 150 m vom Fabrikareal entfernt. Drei Proben ergaben unbedenkliche Werte von maximal 4,82 Nanogramm pro kg Boden. Eine Probe, die lediglich oberflächlich an einer Stelle zwischen der Filterstaub-Abfüllanlage und der SBB-Linie erhoben wurde, wo keine landwirtschaftliche Nutzung stattfindet, ergab den vom «Kassensturz» dargelegten Wert. Die Untersuchung des «Kassensturzes» zeigt selbst, dass ange-