

**Zeitschrift:** Bulletin Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik  
**Band:** 97 (2006)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Einfluss der Klimaerwärmung auf die Energieerzeugung von Schweizer Wasserkraftwerken  
**Autor:** Schächli, André  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-857644>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 17.03.2025

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

# Einfluss der Klimaerwärmung auf die Energieerzeugung von Schweizer Wasserkraftwerken

Das Bundesamt für Energie (BFE) hat im Herbst 2005 eine in ihrem Auftrag ausgeführte Studie der EPF Lausanne veröffentlicht, die unter anderem den Einfluss einer möglichen Klimaerwärmung auf den Wasserabfluss aus dem Schweizer Alpenraum untersuchte. Das Bulletin VSE sprach mit Michel Piot vom BFE über die Hintergründe und denkbare Auswirkungen für die schweizerische Energiewirtschaft.

■ André Schäppi

## Klimaveränderungen

Es ist eine unbestrittene Tatsache, dass sich die Erdatmosphäre aufgrund des erhöhten CO<sub>2</sub>-Ausstosses der letzten Jahrzehnte erwärmt, was möglicherweise grössere Klimaveränderungen verursacht. Das kann sogar zu einer Verlangsamung des Golfstroms führen, wie britische Ozeanographen aufgrund von Messungen festgestellt haben, deren Daten sie kürzlich im renommierten Fachmagazin «Nature» veröffentlichten (H. Bryden, L. H. Longworth und S. Cunningham in Nature, 438. 665–657 [2005]). Allerdings könnte eine Klimaveränderung auch die Schweizer Energieerzeugung treffen. Zu diesem Schluss kommt die in englischer Sprache erschienene Studie «Prediction of climate change impacts on Alpine discharge regimes under A2 and B2 SREs emission scenarios for two future time periods» von Horton et al. der Ecole Polytechnique in Lausanne (EPFL), welche im Auftrag des BFE erstellt und im Herbst 2005 veröffentlicht wurde.

## Einbettung in Energieperspektiven

Mit 55% der Stromproduktion bildet die Wasserkraft nach wie vor das Rückgrat der Schweizerischen Energieerzeugung. Dieser Anteil betrug per 1. Januar 2005 rund 35 TWh und wurde von 518

Wasserkraftwerken mit einer Leistung von mindestens 300 kW erzeugt.

Als zentral eingebettetes Land in Europa hat die Schweiz eine Scharnierfunktion im Bereich der Stromübertragung und ist vor allem mit seinen Speichermöglichkeiten ein wichtiger Mitspieler im europäischen Netzverbund.

Das BFE überarbeitet regelmässig seine Energieperspektiven. Die letzte grös-



Bild 1 Die Klimaerwärmung könnte in absehbarer Zeit einen gravierenden Einfluss auf die Schweizer Wasserkraft haben. Im Bild Stauseen im Grimselgebiet (Quelle KWO, R. Bösch)

Adresse des Autors  
André Schäppi  
Dipl. El. Ing. FH  
Freier Fachjournalist  
Zürichbergstrasse 66  
8044 Zürich  
E-Mail: schaeppi@communicat.info



Bild 2 Michel Piot, BFE: «Ein Temperaturanstieg der Atmosphäre um ein Grad könnte in der Schweiz die Produktion bei Lauf- und Speicherkraftwerken um 7% reduzieren.»

sere Neubeurteilung im Zusammenhang mit der Schweizer Wasserkraft wurde 2004 in der Studie «Ausbaupotenzial der Wasserkraft» der Elektrowatt-Econo vorgenommen. Sie trug der Tatsache Rechnung, dass die Wasserkraft ein wichtiges Standbein der schweizerischen Elektrizitätsversorgung ist und die letzte Schätzung über deren Ausbaupotenzial in der Schweiz damals über 10 Jahre zurücklag. Der Zeithorizont der Studie umfasste auf jährlicher Basis die Periode bis 2035 und mit gröberer Auflösung die «Vision 2050». In der Studie wurden zwanzig Treiber identifiziert, die einen Einfluss auf das Ausbaupotenzial der Wasserkraft haben. Der Einfluss dieser Treiber auf das Ausbaupotenzial und deren Steuerbarkeit wurde untersucht. Es zeigte sich, dass die Treiber Liberalisierung, Förderbeiträge, Angebot/Nachfrage, Baukosten und Elektrizitätspreise den grössten Einfluss auf das Ausbaupotenzial haben. Aufgrund verschiedener Szenarien kam die Studie zum Schluss, dass bis 2050 im besten Fall eine maximale Steigerung der Wasserkraft auf 40 656 GWh möglich

wäre. Dieser Wert dürfte mit der nun vorliegenden Studie nach unten korrigiert werden müssen, denn der Treiber Angebot/Nachfrage wird unter der Voraussetzung einer Klimaerwärmung und der damit verbundenen Veränderung des Wasserangebots (durch einen geringeren Wasserabfluss) stark beeinflusst.

### Wissenslücken füllen

Bereits im Januar 2004 hatte das BFE eine Kurzstudie zur Klimaentwicklung in der Schweiz bis 2050 erstellt, darin jedoch festgestellt, dass für die Schweiz wenige Daten vorhanden sind und deshalb nur sehr unsichere Aussagen möglich sind. Die neue Studie aus dem Herbst 2005 ergänzt nun einerseits die Wasserkraftstudie und andererseits die Klimastudie und versucht, bestehende Wissenslücken zu füllen. Gemäss Dr. Michel Piot, beim BFE im Rahmen der Energieperspektiven verantwortlich für das Energieangebot, fliessen die Erkenntnisse als Sensitivität in das Referenzszenario der

Energieperspektiven. Diese Rahmenentwicklung beinhaltet Grössen wie Wirtschaftswachstum oder den Ölpreis. Zum ersten Mal habe man auch eine mögliche Klimaerwärmung berücksichtigen wollen, weil der Einfluss auf das Energieangebot und die Energienachfrage erheblich sein kann. Intuitiv sei es schwierig, Aussagen über den Einfluss der Klimaerwärmung auf die Wasserabflussmenge im Alpenraum machen zu wollen, sagt Piot. Deshalb hat man Fachleute gesucht, die dieses Phänomen schon in einer anderen Form untersucht haben. Fündig geworden ist man bei der EPFL. Dort hatte man im Rahmen einer Dissertation das Abflussverhalten des Stausees Mauvoisin mit einem hydrologischen Modell untersucht. Dieses Wissen habe man nun auf den Alpenraum angewendet und elf Einzugsgebiete mit unterschiedlichem Vergletscherungsgrad und Höhenprofil untersucht. Als Grundlage dienten dabei regionale Klimamodelle aus dem EU-Projekt «Prudence», die im betrachteten Gebiet von einem Temperaturanstieg von rund 1,2 Grad Celsius zwischen 2020 und 2050 ausgehen. Diese Klimamodelle sind sehr kompliziert und beschreiben sowohl regionale Gegebenheiten wie auch eine Entwicklung eines Gebietes unter verschiedenen Gesichtspunkten. Regionale Szenarien werden auf lokales Niveau heruntergebrochen, da die klimatischen Unterschiede im Alpenraum beträchtlich sein können.

### Auswirkungen auf den Wasserhaushalt

«Die Ergebnisse zeigen, dass die Niederschlagsmengen um durchschnittlich zwei Prozent reduziert werden, was zu einer Abnahme des mittleren Wasserabflusses von sieben Prozent führen wird», so Piot. Das ist auf den ersten Blick nicht plausibel, umso mehr, als dass durch eine erhöhte Gletscherschmelze eigentlich eine Zunahme zu erwarten wäre. Allerdings ist die Gletscherwassermenge im Vergleich zum Niederschlag klein. Den grösseren Einfluss hat die erhöhte Wasserverdunstung als Folge der höheren Temperatur, die zusätzlich mit geringem Niederschlag gekoppelt ist.

Am Beispiel des Roseggebiets (einem der elf Einzugsgebiete) kann dies gut illustriert werden. Das Val Roseg liegt im Bernina-Massiv. Der Rosegbach (mittlerer jährlicher Abfluss =  $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) wird hauptsächlich vom Schmelzwasser des Rosegletschers, der in einen Gletschersee mündet, und des Tschervagletschers gespeist. Das Einzugsgebiet beträgt 67

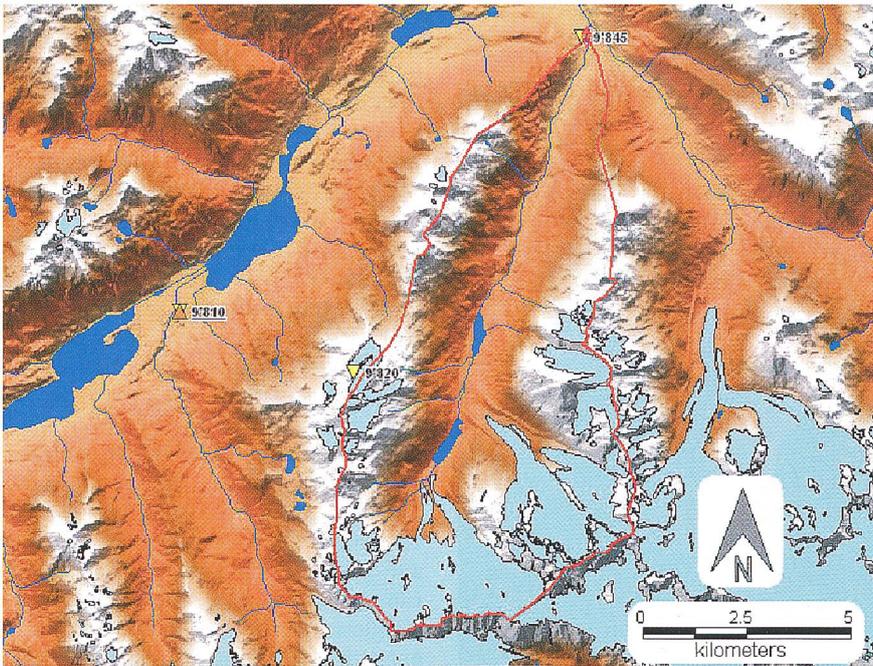


Bild 3 Beispiel Rosegbach-Gebiet (rot umrandet). Gemäss Modellierung wird die Niederschlagsmenge im Winter um 6% zunehmen, im Sommer hingegen um 8% abnehmen.

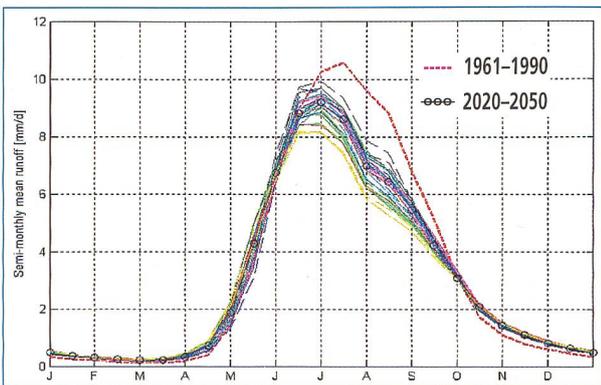


Bild 4 Abflüsse am Beispiel Roseg-Gebiets. Deutlich erkennbar die Abnahme der Spitze sowie deren Verschiebung gegen Ende Juni.

## Die Studie in Kürze

Die im Rahmen der «Energieperspektiven 2035/2050» vom Bundesamt für Energie (BFE) in Auftrag gegebene Studie untersuchte den Einfluss einer möglichen Klimaerwärmung auf den Wasserabfluss aus dem Schweizer Alpenraum für den Zeitraum zwischen 2020 und 2050. In der englischsprachigen Studie wurde der Wasserabfluss aus dem Alpenraum anhand von elf Einzugsgebieten mit unterschiedlichem Vergletscherungsgrad und Höhenprofil untersucht. Als Grundlage dienten dabei regionale Klimamodelle aus dem EU-Projekt «Prudence», die im betrachteten Gebiet von einem Temperaturanstieg von rund 1,2 °C zwischen 2020 und 2050 ausgehen. Dazu wurden Rechenmodelle der EPF Lausanne benutzt, die die Berechnungen auch ausführten.

Die wichtigsten Resultate der Studie im Überblick:

- Die Niederschlagsmengen werden um durchschnittlich zwei Prozent reduziert.
- Der Vergletscherungsgrad wird in den Einzugsgebieten massiv abnehmen.
- Der maximale Wasserabfluss verschiebt sich vom Juli in den Juni.
- Der mittlere Wasserabfluss wird um sieben Prozent abnehmen. Dies als Folge der geringeren Niederschlagsmenge und der erhöhten Wasserverdunstung.

Mit dem Rückgang der Abflussmenge würde sich auch die natürliche Zuflussmenge für die Wasserkraft reduzieren, was negative Auswirkungen auf die Stromproduktion von Speicherkraft- und Laufwasserkraftwerke haben könnte. Die Ergebnisse der Studie fliessen in die laufenden Arbeiten des BFE zu den «Energieperspektiven 2035/2050» ein.

km<sup>2</sup>, ist zu 27% vergletschert, der durchschnittliche Niederschlag pro Jahr beträgt 1412 mm. Es zeigt sich, dass mit dem hydrologischen Modell die Niederschlagsmengen im Winter (Dezember bis Februar) um 6% zunehmen, im Sommer (Juni bis August) hingegen um 8% abnehmen werden. Im Frühjahr ist die Entwicklung unklar, im Herbst ist eher eine Verringerung zu erwarten. Als Folge davon wird sich der Sommerabfluss (April bis September) reduzieren, während sich der Winterabfluss (Oktober bis März) leicht erhöht. Die Abflussspitze verlagert sich also, bedingt durch die frühere Schneeschmelze, um rund einen halben Monat nach vorne, und zwar von Mitte Juli auf Ende Juni. Das könnte natürlich bei den für Stromproduzenten interessanten Sommermonaten zu Veränderungen beim Stromangebot führen (Stichwort Spotpreise) oder etwa die Revisionen von Atomkraftwerken, die in den Sommermonaten revidiert werden, tangieren.

## Auswirkungen auf die Wasserkraftproduktion

Wie schon angetönt, wird eine Klimaerwärmung beträchtliche Auswirkungen auf die Schweizer Energieerzeugung, das Stromangebot und dementsprechend auf die Wasserkraftproduktion haben. Das BFE hat deshalb die Effekte für die verschiedenen Kraftwerkstypen wie Lauf- und Speicherkraftwerke sowie die Pumpspeicherung erfasst.

Es wird davon ausgegangen, dass der verminderte Wasserabfluss aus dem Alpengebiet die Produktion der Laufwasserkraftwerke um 7% vermindern wird. Ob eine verstärkte Verdunstung im Mittelland stattfindet, die das Wasserangebot noch weiter reduzieren könnte, wurde in der Studie nicht untersucht. Man rechnet aber damit, dass dieser Effekt durch verminderte Überläufe im Sommer kompensiert werden könnte. Auch bei den Speicherkraftwerken führt die Verminderung der natürlichen Zuflüsse zu einer um 7% reduzierten Produktion. Keinen Einfluss hingegen hat die kleinere Abflussmenge auf die Pumpspeicherung, da sie ja nur kurzfristige Regelleistung zur Verfügung stellt und für die Spitzenbedarfsdeckung eingesetzt wird.

## Perspektiven bis 2035

Unter der Annahme einer Klimaerwärmung wird im Referenzszenario der Energieperspektiven eine durchschnittliche jährliche Erhöhung des Stromver-

brauchs von 0.8% erwartet. Dementsprechend würde die Schweiz im Jahre 2035 einen Verbrauch von mehr als 71 TWh aufweisen, verglichen mit 56 TWh im Jahr 2004. Davon werden 35 TWh der Stromproduktion durch die Wasserkraft abgedeckt. «Berücksichtigt man die Folgen einer Klimaerwärmung und geht von einer Reduktion der Wasserkraftproduktion von rund 7% aus, so würde die Wasserkraft im Jahre 2035 nur noch 46% der Stromerzeugung abdecken können, gemessen am Gesamtverbrauch», so Michel Piot. Dabei werden mögliche Zubaupotenziale durch Ausrüstungsersatz, Umbauten und Erweiterungen, die rund 2 TWh betragen, und die Restwasserbestimmungen, welche bis 2030 eine Minderproduktion von rund 1 TWh zur Folge haben dürften, nicht berücksichtigt.

Im Entwurf zum Stromversorgungsgesetz (StromVG) ist eine Erhöhung der durchschnittlichen Jahreserzeugung von Elektrizität aus erneuerbaren Energien bis 2030 um 5,4 TWh als Ziel vorgesehen. Unter dem Referenzszenario allein mit Annahme einer Klimaerwärmung müssten also bis ins Jahr 2030 rund 8 TWh zusätzlich aus erneuerbaren Energien produziert werden. Technisch wäre dies wohl unter Einsatz unterschiedlicher Quellen wie Windenergie, Biomasse, Geothermie und Photovoltaik durchaus möglich. Wie weit es allerdings aus wirtschaftlichen, naturschützerischen oder anderen Standpunkten sinnvoll wäre, kann heute nicht abgeschätzt werden.

### Noch drastischer bis 2099

In der Studie der Ecole Polytechnique Lausanne wird darüber hinaus die Zeitperiode 2070 bis 2099 betrachtet. Bis dann dürften die Auswirkungen noch weit gravierender ausfallen als für die Periode 2020 bis 2049. Schätzungen gehen davon aus, dass die mittleren Temperaturerhöhungen 3,0 bis 4,0 °C betragen werden. Diese massiven Werte könnten zu einer jährlichen Verminderung der Niederschlagsmenge von rund 7% führen; im Sommer eine Reduktion um 25 bis 30%, je nach dem zugrunde gelegten Szenario, im Winter eine Erhöhung um rund 15%. Insgesamt ist bis dann mit einem erwarteten Rückgang des Wasserabflusses um 17% zu rechnen. Die Vergletscherung in den Testgebieten dürfte auf Null zurückgehen oder höchstens noch wenige Procente betragen.

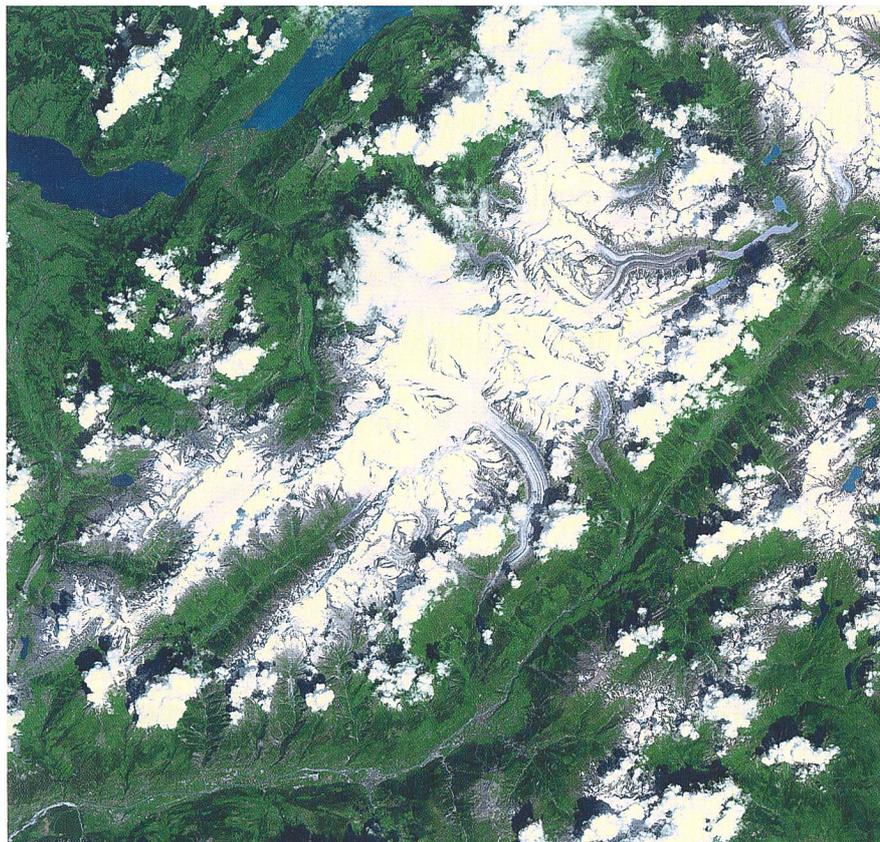


Bild 5 Bis 2099 könnten die Auswirkungen noch weit gravierender ausfallen als für die Periode 2020 bis 2049. Die Vergletscherung in den Testgebieten dürfte höchstens noch wenige Procente betragen (im Bild Aletschgebiet 2000).

## Les experts s'attendent à une diminution du débit de l'eau provenant des Alpes suisses

(ofen) Dans le cadre des «Perspectives énergétiques 2035/2050», l'Office fédéral de l'énergie publie une étude de l'EPF de Lausanne qui analyse entre autres l'influence d'un éventuel réchauffement climatique sur le débit de l'eau provenant des Alpes suisses pour la période 2020 à 2050. Les auteurs concluent que le débit d'eau moyen diminuera de sept pour-cent au cours de cette période.

L'étude réalisée en anglais a analysé le débit de l'eau provenant des Alpes au moyen de onze bassins versants présentant divers degrés de glaciation et altitudes. L'étude se base sur des modèles climatiques régionaux tirés du projet PRUDENCE de l'UE qui, dans la région concernée, partent d'une augmentation de la température d'environ 1,2 degré Celsius entre 2020 et 2050.

Aperçu des résultats les plus importants de l'enquête:

- Les précipitations baisseront en moyenne de deux pour-cent.
- Le degré de glaciation diminuera considérablement dans les bassins versants.
- Le débit maximal sera enregistré en juin et non plus en juillet.
- Le débit moyen enregistrera une baisse de sept pour-cent du fait d'une diminution des précipitations et d'une augmentation de l'évaporation de l'eau.

La diminution du débit d'eau pourrait influencer à la baisse le débit entrant naturel pour l'énergie hydraulique, ce qui pourrait avoir des répercussions négatives sur la production d'électricité des centrales à accumulation et au fil de l'eau.

Les résultats de l'étude sont intégrés dans les travaux en cours de l'OFEN concernant les « perspectives énergétiques 2035/2050 ».



## Im Stahlwasserbau ist Künz schon lange ein fester Begriff.

Die Welt braucht Energie. In vielen Wasserkraftwerken sorgt innovative Technologie von Künz dafür, dass die Prozesse der Energiegewinnung reibungslos ablaufen können. Stunde um Stunde, Tag für Tag.

# künz

Innovation and Competence

Hans Künz GmbH  
6971 Hard - Austria  
T +43 5574 6883 0  
F +43 5574 6883 19  
www.kuenz.com  
sales@kuenz.com  
service@kuenz.com



## LANZ moderne Kabelführung aus rostfreiem Stahl A4

- Kabelschonend
- Korrosionsbeständig
- Koordinierbar
- E 30 / E 90
- Preisgünstig

**LANZ fabriziert** für die Lebensmittelindustrie, chem. Industrie, Abwasserreinigungs- und Kehrlichtverbrennungsanlagen, unterirdische Bauten, Bahn- und Strassentunnel:

- Multibahnen\*- und Weitspann-Mb 100 mm – 400 mm 6 m lang, mit verzahntem MULTIFIX-Trägermaterial
- LANZ Gitterbahnen 100 mm – 400 mm Breite
- LANZ G-Kanäle\* 50 × 50 mm bis 75 × 100 mm
- ESTA Elektro-Installationsrohre Ø M16 – M63
- LANZ Rohrschellen für koordinierbare Installationen

- ➔ Stahl A4 WN 1.4571 und 1.4539 max. korrosionsresistent
- ➔ Schockgeprüft 3 bar und Basisschutz
- ➔ \*Geprüft für Funktionserhalt im Brandfall E 30 / E 90

Mich interessieren .....

..... Bitte senden Sie Unterlagen.

Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!

Name / Adresse / Tel. \_\_\_\_\_

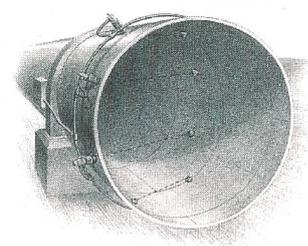
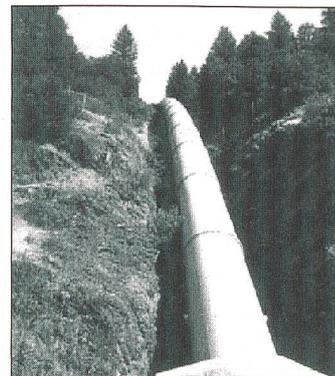
K2

**LANZ** **lanz oensingen ag**  
CH-4702 Oensingen      Südringstrasse 2  
Telefon 062 388 21 21      Fax 062 388 24 24  
www.lanz-oens.com      info@lanz-oens.com

**witronic** CH-1072 Forel, Tél. +41 21 729 8646  
www.witronic.ch, admin@witronic.ch

## GENAUE Durchflussmesser von ACCUSONIC

- für : - Rohre bis 15 m Durchmesser  
- offene Kanäle, Flüsse



**witronic** CH-4800 Zofingen, Tel. +41 62 745 8877  
www.witronic.ch zofingen@witronic.ch