

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 84 (1992)  
**Heft:** 3-4

**Artikel:** Stoffgesetze für Felsfundationen von Betonsperren  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940547>

#### **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>**

Die auf die Schadstoffbelastung der Luft zurückgehenden Probleme haben längst globale Dimensionen erreicht: Die Zerstörung der schützenden Ozonschicht und die Erwärmung der Atmosphäre sind Stichworte dazu. In der Schweiz beunruhigen die in der warmen Jahreszeit regelmässig und weiträumig auftretenden Sommersmoglagen mit ihren zum Teil markanten Überschreitungen der Belastungsgrenzwerte. Diese Belastungen sind grösstenteils hausgemacht und lediglich zu einem geringen Teil aus dem Ausland importiert.

### ***Neue Methoden für die Bestimmung der Luftverschmutzung***

Sechs der insgesamt 41 Forschungsprojekte waren der Entwicklung und praktischen Erprobung neuer Verfahren zur Bestimmung von Luftschaadstoffen gewidmet. Für diesen Forschungsbereich wurden etwa 2,2 Millionen Franken eingesetzt. Schwerpunkte lagen bei der Entwicklung eines Messverfahrens, das mittels Laserstrahlen Herkunft und Verbreitung von vier wichtigen Schadstoffen auf Distanz dreidimensional erfassen kann, sowie der Bereitstellung eines aussagekräftigen, die Gesamtbelastung durch Luftschaadstoffe von der Immissionsseite her widerspiegelnden Bio-Indikationssystems. Während die am Botanischen Institut der Universität Bern ausgearbeitete Flechten-Indikationsmethode heute weit verbreitet ist, steht der am Zentrum für angewandte Laserforschung der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne entwickelte Prototyp einer mobilen Lidar-Messeinheit für praktische Einsätze nicht zur Verfügung.

### ***Modelle liefern Entscheidungsgrundlagen für Stadt- und Regionalplaner***

Im Zentrum der Untersuchungen zur Wirkungskette vom Schadstoffausstoss (Emission) über die Ausbreitung und Umwandlung von Schadstoffen bis zur Schadstoffeinwirkung (Immission) standen umfassende lufthygienische und meteorologische Datenerhebungen in einer ländlichen (Broyetal) und einer städtischen (Biel) Testregion. Dabei sind sowohl physikalische Modellierungen im Windkanal als auch numerische Computermodelle entwickelt und auf ihre spezifische Eignung für bestimmte Fragestellungen überprüft worden. Insbesondere bei der Bieler Klimastudie ist es in beispielhafter Art und Weise gelungen, die Resultate und Schlussfolgerungen der Forschungsarbeiten in die konkrete Raum-, Energie- und Verkehrsplanung einfließen zu lassen.

### ***Wirkung von Luftschaadstoffen auf höherentwickelte Organismen bleibt ungeklärt***

Die Forschungsarbeiten in der 1983 vom Bundesrat zusätzlich verabschiedeten wissenschaftlichen Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Luftverschmutzung und dem als «Waldsterben» in den achtziger Jahren heiss diskutierten Phänomen neuartiger Waldschäden konzentrierten sich auf drei unterschiedlichen Höhenstufen zuzurechnende Waldtestflächen: An der Lägern, im schwyzerischen Alptal und in Davos wurden während fünf Jahren 26 Forschungsprojekte durchgeführt, die wertvolle Erkenntnisschritte erbrachten, insgesamt aber den vermuteten ursächlichen Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und den festgestellten Waldschäden nicht bestätigten.

Der über mehrere Jahrhunderte gewachsene Wald erwies sich als überaus komplexes, anpassungsfähiges natürliches System, das sich einer auf einfache Ursache/Wir-

kung-Zusammenhänge angelegten Betrachtungsweise weitgehend entzieht. Bereits das, was als Normalzustand oder als krankhafte Veränderung anzusprechen ist, lässt sich heute noch nicht eindeutig definieren. Eine allein auf das Merkmal der Nadel- oder Blattverluste abgestützte Waldschadenerhebung erweist sich deshalb als unzureichend. Nicht zuletzt aufgrund der im NFP 14 erarbeiteten Erkenntnisse wird künftig die Methodik der Waldschadenerhebung der komplexen Aufgabenstellung angepasst und die Waldbeobachtung verbessert.

### ***Luftreinhaltepolitik soll präventiv wirken***

Die Programmverantwortlichen betonen in ihrem Schlussbericht zum NFP 14, dass der Wald nach wie vor nicht erklärbare Schädigungen zeigt (auch wenn von einem eigentlichen Waldsterben zurzeit nicht gesprochen werden kann) und dass die Luftverschmutzung auch in der Schweiz einen Grad erreicht hat, der an Pflanzen und an Sachgütern nachweislich Schäden verursacht. Sie sprechen sich deshalb für die vorrangige Realisierung der in der Luftreinhalteverordnung und im Luftreinhaltekonzzept vorgesehenen lufthygienischen Massnahmen aus und fordern eine am Präventionsgedanken orientierte, umfassende Luftreinhaltepolitik zum Schutz des Menschen und seiner Umwelt.

Programmleitung des NFP 14: *Ulrich Roth, Sigraplan, Zähringerstrasse 61, CH-3012 Bern.*

### ***Stoffgesetze für Felsfundationen von Betonsperren***

Die Probleme der Felsmechanik können in der Bauingenieurkunst im wesentlichen in drei Komplexe zusammengefasst werden, und zwar in Probleme der Festigkeit der Felssmassen, Probleme der Verformbarkeit derselben und kombinierte Probleme [1]. Als typische Festigkeitsprobleme kann man die Gleitsicherheitsuntersuchungen an Felshängen ansehen, bei denen die vorkommenden Verformungen in der Regel nebensächlich sind. Als Beispiel von kombinierten oder statisch hochgradig unbestimmten Problemen können Stabilitätsuntersuchungen von unterirdischen Hohlräumen betrachtet werden, bei denen die Festigkeit des Gebirges die Ausdehnung der Bruch- oder plastischen Zonen bestimmt. Sobald hingegen nachgewiesen werden kann, dass die Stabilität und die Sicherheit der Felswiderlager einer Betonsperre ausreichend sind, tritt in der statischen Untersuchung des Bauwerkes die Verformbarkeit der Felssmassen in den Vordergrund. Diese Bauwerke, besonders aber Bogensperren, sind steife, statisch hochgradig unbestimmte Tragwerke, die auf Nachgiebigkeit von Widerlagern recht empfindlich reagieren.

Die klassischen Verfahren der Bauwerkstatik setzen bestenfalls das elastische Verhalten der Felswiderlager gegenüber den einwirkenden Kräften voraus. Heute ist aber bekannt, dass die Verformungen in vielen Fällen nur bedingt elastisch, in der Regel nicht linear und häufig auch nicht reversibel sind. Ferner kann der in den Klüften wirkende Wasserdurck die Verformbarkeit der Felssmassen wesentlich beeinflussen.

Aus der Notwendigkeit einer besseren Kenntnis der Zusammenhänge wurde das *Felsmodell F.E.S.* (Fissured Elastic Saturated Rock Mass) [2] aufgestellt. Dieses Modell stellt die Beziehungen her zwischen den Spannungen, den Verformungen, dem neutralen Wasserdruck und dem Schliessgrad der Klüfte in Abhängigkeit von der Geometrie.

Nachträglich wurde das Modell unter Einbeziehung eines elastoplastischen Verhaltens erweitert. Das erste Anwendungsbeispiel ist der bekannte Fall der *Sperre Zeuzier*. Die 170 m hohe Bogenstaumauer war seit über 25 Jahren ohne Probleme in Betrieb, als im Herbst 1978 Verformungen und daraus folgend schwere Schäden der Sperre festgestellt wurden. Mit F.E.S. konnten als Ursache eindeutig Setzungen (bis 13 cm) nachgewiesen werden, die als Folge der Drainage des Gebirges durch einen

Sondierstollen für einen künftigen Strassentunnel im Sperrenbereich eingetreten sind. Nachdem in den Jahren 1981/83, als die Setzungen praktisch abgeklungen waren, die Sperre mittels Kunstrarzinjektionen instandgesetzt werden konnte, ist sie seit 1988 nach einem stufenweisen Wiederaufbau wieder ohne Einschränkung in Betrieb.

Das zweite Beispiel ist der bedeutende Fall der *Sperre Kölnbrein*, für den man mit F.E.S. den Anteil der nichtreversiblen Verformungen des beanspruchten Felsens und die Verformbarkeit der Felsmasse infolge der Injektionsdrücke ermittelt hat; dabei musste berücksichtigt werden, dass im Fundamentbereich verschiedene Felsarten vorkommen,

und zwar massiger und plattiger Gneis sowie Schiefergesteine in verschiedenen Ausprägungen. Nach diesen Daten wird derzeit die 200 m hohe Bogenstaumauer durch ein luftseitiges, 70 m hohes Stützgewölbe (0,47 Mio m<sup>3</sup> Beton) und Stabilisierung der Risszonen durch Injektionen saniert. Diese Beispiele zeigen die mannigfaltigen Anwendungsmöglichkeiten von Stoffgesetzen zur Behandlung von felsmechanischen Problemen für Felsfundationen von Betonsperrern.

Anlässlich der Behandlung von felsmechanischen Problemen bestehen häufig Schwierigkeiten in der Ermittlung der massgebenden physikalischen Kennwerte; das gezeigte Modell gestattet in solchen Fällen, fehlende Werte indirekt zu ermitteln oder mindestens abzuschätzen. *BG*

#### Literatur

- [1] Lombardi, G.: 39. Geomechanik-Kolloquium, Salzburg 1990. Vgl. *Felsbau* 9 (1991) 2, S. 73–78.
- [2] Lombardi, G.: The F.E.S. model and foundations for concrete dams. De Mello Volume, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, Brazil, 1989, S. 271–283.

## *Aiuto di sviluppo nel proprio paese*

### *Elettricità anche per i contadini di montagna*

*La munigitura avviene a mano oppure con delle vecchie munigritrici meccaniche a benzina, la stalla e il salotto vengono illuminati con lampade a petrolio e candele... Il ventesimo secolo, famoso per le sue conquiste tecnologiche, anche in Svizzera non ha ancora raggiunto tutte le valli e le colline. La regione delle Prealpi «Hirzboden» situata sopra Adelboden è proprio una di quelle regioni dimenticate. Dodici apprendisti elettricisti di Zurigo e dintorni in un campo d'addestramento di Hirzboden hanno girato la ruota del tempo un po' verso il «presente» e molto disinteressatamente hanno aiutato tre imprese agricole di montagna a procurarsi energia elettrica.*

*Fritz Schüpbach*, tecnico pensionato di Kloten e promotore di questa azione di aiuto per la montagna ha elaborato un progetto che prevedeva la presa del piccolo ruscello situato sopra le tre dimore. Nacque così l'idea di una piccola centrale elettrica. Un pozzo intubato raccoglie l'acqua a circa trecento metri sotto la sorgente e la spinge attraverso una condotta forzata, sotterranea ad una profondità di circa 60 cm, fino all'impianto rubine. Circa quattro litri d'acqua al secondo, un tubo in materia sintetica con un diametro di 9 centimetri e una lunghezza di 400 metri come pure 100 metri di salto utile bastano per ricavare 2,5 kW di potenza elettrica da una piccola turbina.

I tre contadini di montagna con circa 30 mucche e bovini vivono nelle Prealpi di Hirzboden per la maggior parte fra i mesi da maggio a dicembre. Per quanto possa essere bello il paesaggio lassù: Hirzboden è caratterizzato dal clima rigido dei 1600 metri di altitudine e i contadini, malgrado la bella vista, devono condurre le loro imprese secondo la legge della redditività. Lassù l'elettricità non è certo un lusso. Tuttavia con un'eventuale accettazione dell'iniziativa «Per la salvaguardia delle nostre acque» messa in votazione per il 1992, l'esistenza della piccola nuova centrale elettrica sarebbe in pericolo.

Il progetto è stato reso possibile in prima linea tramite la società elettrotecnica Schibli AG di Zurigo. Da oltre un decen-

nio questa ditta organizza regolarmente dei campi per apprendisti in favore di determinati progetti di aiuto alla montagna e questo al prezzo di costo del materiale nonché vitto ed alloggio per gli apprendisti. Grazie all'efficace collaborazione dei tre contadini e grazie alla competenza professionale e molto senso d'improvvisazione i dodici giovani elettricisti hanno eseguito il loro compito in modo completamente indipendente in due settimane. Il «padre spirituale» del progetto – anche lui ha lavorato per un onorario simbolico – ha provato nel terreno antistante anche l'impiego di energia solare. Però questa soluzione sarebbe costata sette volte di più a parità di potenza. *UCS*



Ruscello di montagna per impianto di turbina.