

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 89 (1998)

**Heft:** 18

**Artikel:** PSEL : Förderung der einheimischen Wasserkraft

**Autor:** Huber, Daniela

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902108>

### **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:** 14.01.2026

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

In gekürzter Form, als Auszug aus dem Tätigkeitsbericht 1997 des Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL), stellen wir ein laufendes Projekt zum Thema «Verhalten von Schutzschichten bei Beanspruchung durch Kavitation» vor sowie zwei neue Projekte, deren Forschungstätigkeit sich auf die einheimische Wasserkraft bezieht: «Strömung in Saugrohren von Turbinen» und «Energieverluste an Einlaufrechen von Flusskraftwerken».

# PSEL: Förderung der einheimischen Wasserkraft

■ Daniela Huber

## Einheimische Wasserkraft im Vordergrund

1997 bewilligte die PSEL-Kommission 17 neue Projekte, welche mit einem Betrag von rund 4,2 Millionen Franken unterstützt werden. Seit der Gründung des PSEL 1992 ist die Zahl der unterstützten Projekte auf 100 angestiegen, was einer finanziellen Beteiligung des PSEL von 23 Millionen Franken entspricht. Die kumulative Projektstatistik (1992–1997) zeigt, dass für die Bereiche Wasserkraft (17,1%), Übertragung und Verteilung (24,6%), Rationelle Energie-

nutzung (14,1%) sowie Energie- und Speichertechniken (11,3%) zusammen mehr als zwei Drittel der Mittel zugesagt wurden (Bild 1).

Mit dem Geschäftsbericht 1997 informiert der Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL) über das sechste Jahr seiner Tätigkeit. Die Verteilung der vom PSEL von 1992 bis 1997 zugesprochenen Mittel zeigt, dass die Kategorien «Transport und Verteilung» sowie «Wasserkraft» mit einer Unterstützung von je 5,6 und 4 Millionen Franken an der Spitze liegen. Dass der Schwerpunkt der finanziellen Unterstützung auf diesen beiden Kategorien lastet, widerspiegelt auch die Bedeutung der Forschungstätigkeit für die Elektrizitätswirt-

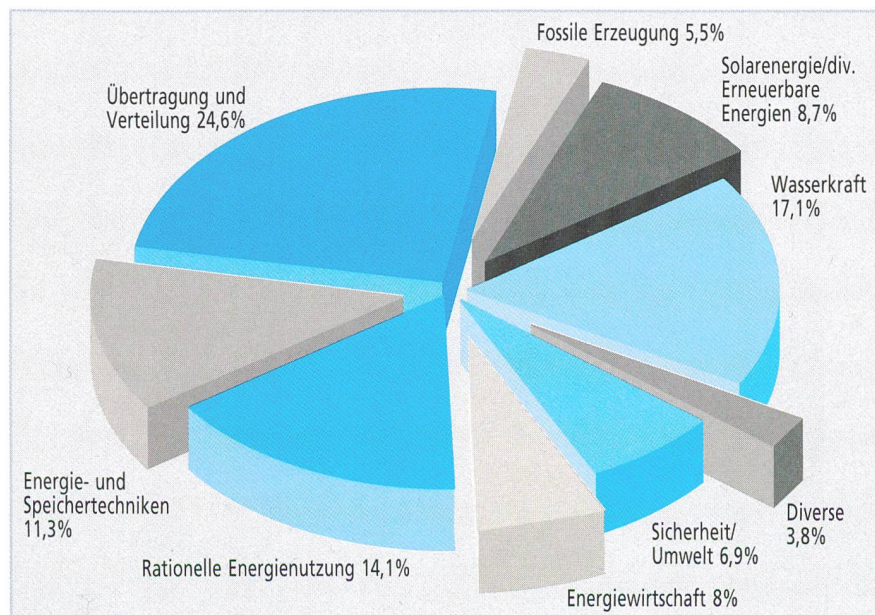


Bild 1 Aufteilung der Fördermittel 1992–1997 nach Fachbereichen.

Adresse der Autorin  
 Daniela Huber  
 Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
 Postfach 6140  
 8023 Zürich



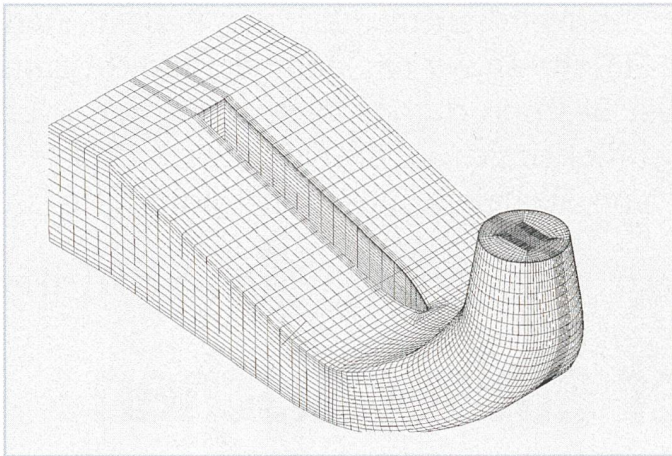


Bild 2 Rechen-  
netzaufteilung des  
Diffusors einer  
Francis-Turbine.

schaft, stammen doch rund 60% der inländischen Stromproduktion aus Wasserkraft. Insgesamt konnten im Berichtsjahr 1997 total 10 Projekte abgeschlossen werden.

### Neues Projekt: Untersuchung der Strömung in Saugrohren schnellauflender Turbinen (Flindt-Projekt)

In einigen Fällen kann eine Steigerung des Wirkungsgrades durch den einfachen Austausch des Laufrades erzielt werden. Jedoch stellt sich das Problem der Anpassung einer neuen hydraulischen Laufradform an ein bestehendes Saugrohr. Eine wesentliche Funktion dieser Komponente ist die Rückgewinnung der Druckenergie zwischen der Turbine und dem Unterwasserkanal. Die meisten Probleme der Fluidodynamik bestehen in diesem Bereich. Daher muss die Strömung in den Saugrohren untersucht werden, um eine

Verbesserung der Einheit Rad/Saugrohr zu erzielen (Bild 2).

Das Forschungsprogramm wird in zwei simultan geführte Hauptphasen unterteilt: 1. in eine Versuchsphase, während der die Datenbank aufgebaut wird und 2. in eine theoretische Phase, aus der sich Methoden und Instrumente für die Untersuchung der Strömung in den Saugrohren ergeben sollen. Am Schluss des Projektes sollen sowohl technische Ziele (Wirkungsgradverbesserung, Betriebsstabilität, Umweltaspekte) wie auch wissenschaftliche Ziele erreicht werden.

Im abgelaufenen Jahr untersuchte das Forschungsteam (ETH Lausanne, Prof. F. Avellan und Sulzer Hydro AG) verschiedene Strömungskonfigurationen und wählte die betreffende Geometrie aus, die für den weiteren Verlauf des Projektes verwendet werden wird.

Die ersten Untersuchungen haben gezeigt, dass die angestrebten Ziele realistisch sind.

### Neues Projekt: Energieverluste an Einlaufrechen von Flusskraftwerken

Unmittelbar vor den Eintrittsöffnungen von Niederdruck-Wasserkraftwerken wird im Normalfall ein Einlaufrechen angeordnet. Die Rechenstäbe stehen meist in Abständen von 20 bis etwa 300 mm senkrecht zur mittleren Hauptzuflussrichtung und müssen durch Querträger gehalten werden. Zweck der Rechen ist das Auffangen und Rückweisen von Schwimm- und Schwebstoffen zum Schutz der Turbinen. Trotz heutzutage leistungsstarker Rechenreinigungsmaschinen sind Teilbelegungen einzelner Rechenfelder häufig. Dies ist eine der Ursachen, welche die strömungsbedingten Energieverluste am Rechen zusätzlich und überproportional anheben.

Bereits vor Jahrzehnten wurden Formeln für die Strömungsverluste an Rechen publiziert; einige haben sich mittlerweile in der Praxis fest verankert; dazu gehört die Beziehung von Kirschmer aus dem Jahre 1926. Die Formeln basieren meist auf den idealen Randbedingungen der Versuchsstände im Laboratorium. Überraschenderweise unterscheiden sich bereits die publizierten Resultate der mit diesen Formeln berechneten Rechenverluste für die klar definierten Randbedingungen.

Zusätzliche Phänomene, wie nicht gleichmässige Geschwindigkeitsverteilung, die schon erwähnte Teilbelegung, Turbulenzen und Wirbelstrukturen sind kaum wissenschaftlich erfasst oder gar analysiert worden (Bild 3).

### Untersuchungsziele

Aus den genannten Tatsachen stellen sich für die vorliegende Arbeit somit folgende Fragen:

- Wie wirkt sich die unvermeidliche Teilbelegung auf Verlust und Abströmung eines Rechenfeldes aus?
- Wie verändern sich die Verluste bei inhomogener Anströmung und starker Rotation, wie sie zum Beispiel im Bereich von Pfeilern auftreten?
- Wie sind im Konkreten die heutigen Rechenströmungen der Schweizerischen Flusskraftwerke zu beurteilen und wie sähen mögliche hydraulische Verbesserungsmaßnahmen aus?
- Wie können in Zukunft die Energieverluste an Rechen praxisnaher abgeschätzt werden?

Das Projekt von Dr. P. Volkart, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ( ETHZ) hat eine Laufzeit von 36 Monaten.

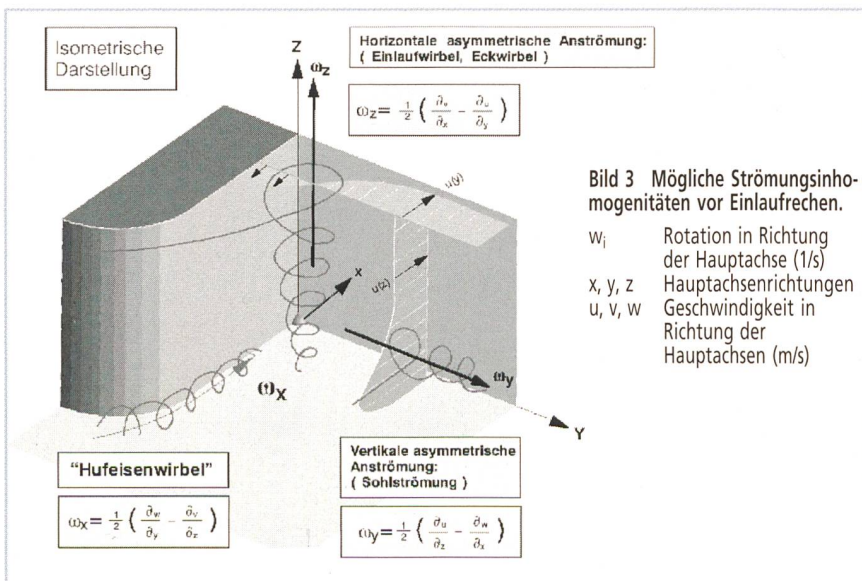


Bild 3 Mögliche Strömungsinhomogenitäten vor Einlaufrechen.

$\omega_i$  Rotation in Richtung der Hauptachse (1/s)  
 $x, y, z$  Hauptachsenrichtungen  
 $u, v, w$  Geschwindigkeit in Richtung der Hauptachsen (m/s)



## Laufendes Projekt: «Verhalten von Schutzschichten bei Beanspruchung durch Kavitation»

Ziel dieses Projekts ist es, ein Verfahren zu erarbeiten und zu testen, das eine Klassifizierung von Materialien bezüglich Resistenz gegenüber Kavitation und die Übertragung auf Verhältnisse in realen Anlagen und Maschinen erlaubt. Zu diesem Zweck wurde eine bekannte Prüfmethode weiterentwickelt, die mit zwei verschiedenen Testverfahren verglichen wird. Diese weiterentwickelte Prüfmethode soll einen Vergleich von unterschiedlichen Materialien mit geringem Aufwand ermöglichen.

Über die ersten drei der insgesamt sechs Teilprojekte liegen folgende Ergebnisse vor:

### 1. Grundlegendes Verständnis des Erosionsprozesses

Es wurde ein Verfahren zur Untersuchung der Einwirkung der Kavitation von Einzelblasen auf die Beschichtung entwickelt. Dabei stellten sich zwei wesentliche Schwierigkeiten. Der Ort der Einwirkung auf einer relativ rauen Oberfläche musste gefunden werden. War der Ort gefunden, mussten die sehr kleinen Veränderungen, hervorgerufen durch den Kavitationsimpakt, ausgemessen werden. Dieses Verfahren funktioniert, ist aber sehr aufwendig. Die Versuche werden in einem speziellen Prüfstand der EPF Lausanne durchgeführt. Ein Vergleich der Abrasionsmechanismen für die unterschiedlichen Beschichtungen liegt noch nicht vor.

Im gleichen Prüfstand wurden auch Vergleichsmessungen zur Überprüfung der Ergebnisse des neuen Prüfstands (Bild 4) durchgeführt.

### 2. Konstruktion und Bau eines neuen Prüfstandes

Zum Vergleich und zur Klassifizierung von Beschichtungen hinsichtlich deren Verhalten gegenüber Kavitation wurde ein Prüfstand basierend auf einer bekannten Versuchsmethode konstruiert und gebaut.

Gemessen werden Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt und Leitfähigkeit des Wassers und der Druck vor der Blende sowie in der Kammer. Der Abtrag durch Kavitation wird mit Hilfe einer einfachen Gewichtsmessung bestimmt. Die Oberflächen der Proben werden mit dem Rasterelektronenmikroskop untersucht. Die Proben werden in einem relativ schnellen Rhythmus der Kavitation durch den

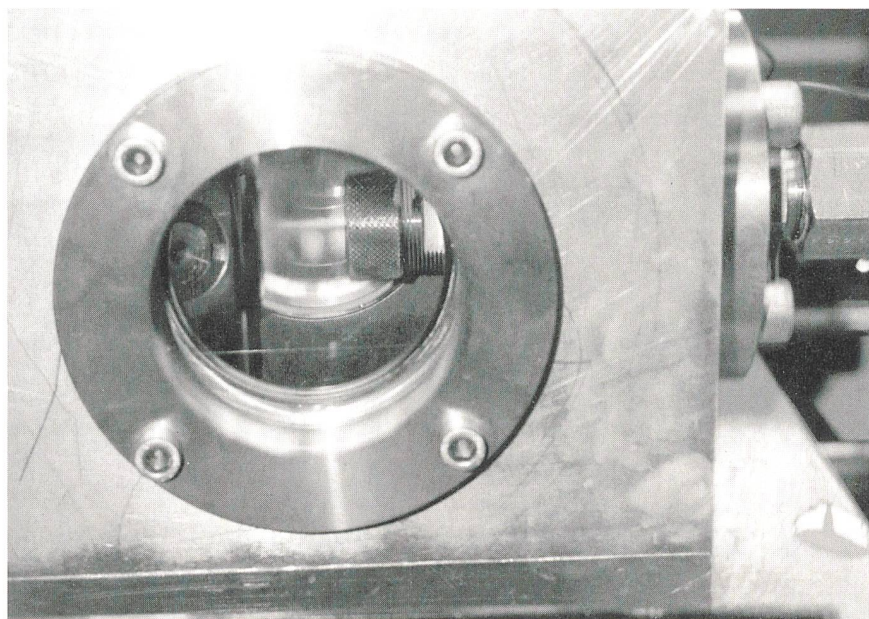


Bild 4 Die Versuchskammer in Betrieb. Der Strahl prallt auf die Materialprobe auf.

Strahl ausgesetzt, um gleiche Versuchsbedingungen während des gesamten Versuchs für alle Proben zu garantieren.

### 3. Versuche mit Schutzschichten

Eine erste Serie von Beschichtungsproben wurde schon im Prüfstand untersucht. Die Bewertung der Ergebnisse und die Klassifizierung der Beschichtungen wird Anfang 1998 durchgeführt.

Das Forschungsteam (bestehend aus Sulzer Innotec AG, Zentralschweizerischem Technikum Horw und der EPFL, Prof. F. Avellan) plant nach der Auswertung

der ersten Serie von Beschichtungen einen weiteren Versuch im neuen Prüfstand. Dabei werden weitere oder aufgrund der ersten Versuche verbesserte Beschichtungen untersucht. Eine Auswahl dieser Beschichtungen wird im Kavitationskanal der EPF Lausanne auf ihr Kavitationsverhalten unter sehr realitätsnahen Bedingungen getestet.

Der vollständige Tätigkeitsbericht 1997 des PSEL kann beim VSE, Telefon 01 211 51 91/Fax 01 221 04 42, bezogen werden.

## Rapport d'activité du PSEL 1997: faire progresser la force hydraulique

L'ensemble des engagements financiers pour le soutien des 100 demandes, qui ont été approuvées depuis l'instauration du Fonds en 1992, atteint un total de 23 millions à fin 1997.

Le Rapport d'activité du PSEL 1997 se réfère à la sixième année de son activité. La répartition des moyens accordés par le PSEL montre que les catégories «transport et distribution» et «force hydraulique» occupent les deux premières places avec un soutien financier de, respectivement, 5,6 et 4 millions de francs. La part significative du financement accordé à ces deux catégories est le reflet à la fois de l'activité de recherche qui s'y rapporte et de son importance pour la branche électrique. L'article montre en extrait trois projets décrits dans le Rapport d'activité 1997: «Comportement de couches de protection lors de la cavitation», «Analyse de l'écoulement dans les aspirateurs de turbines rapides» et «Pertes d'énergie aux grilles amont d'usine au fil d'eau».