

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	87 (1996)
<b>Heft:</b>	20
<b>Artikel:</b>	Der PSEL investiert in Wasserkraft- und Solarenergieforschung
<b>Autor:</b>	Fry, Elisabet
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-902376">https://doi.org/10.5169/seals-902376</a>

### 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:** 23.01.2026

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

Seit 1992, der Gründung des Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL), sind bereits 63 Unterstützungsgesuche bewilligt und 14,2 Millionen Franken dafür verwendet worden. Auch im vergangenen Geschäftsjahr unterstützte der PSEL verschiedene Energietechnologien; drei davon werden hier vorgestellt. Im Bereich der Wasserkraft wird eine Methode zur Überwachung der Kavitationserosion erarbeitet. Bei der Solarenergie werden Solarzellen aus amorphem Silizium auf Plastiksubstraten entwickelt. Bei beiden Projekten handelt es sich um erneuerbare Energie. Ein weiteres Projekt betrifft die Vor-Ort-Diagnose und Überwachung des Isolationszustandes von Grosstransformatoren.

## Der PSEL investiert in Wasserkraft- und Solarenergieforschung

■ Elisabet Fry, VSE

### 14,2 Millionen Franken für Forschung

Bereits 63 Forschungsprojekte hat der PSEL seit seiner Gründung 1992 unterstützt und dafür 14,2 Millionen Franken

ausgegeben. 1995 bewilligte der PSEL 17 Projekte für total 4,4 Millionen Franken. Mehr als ein Drittel davon wurden in Forschungsprojekte für Wasserkraft und erneuerbare Energien investiert. Knapp 30% flossen in die Übertragungs- und Verteilungstechnik. Der Rest wurde für Energie- und Speichertechnik, rationelle Energienutzung, Energiewirtschaft sowie Sicherheit und Umwelt verwendet/eingesetzt (Bild 1).

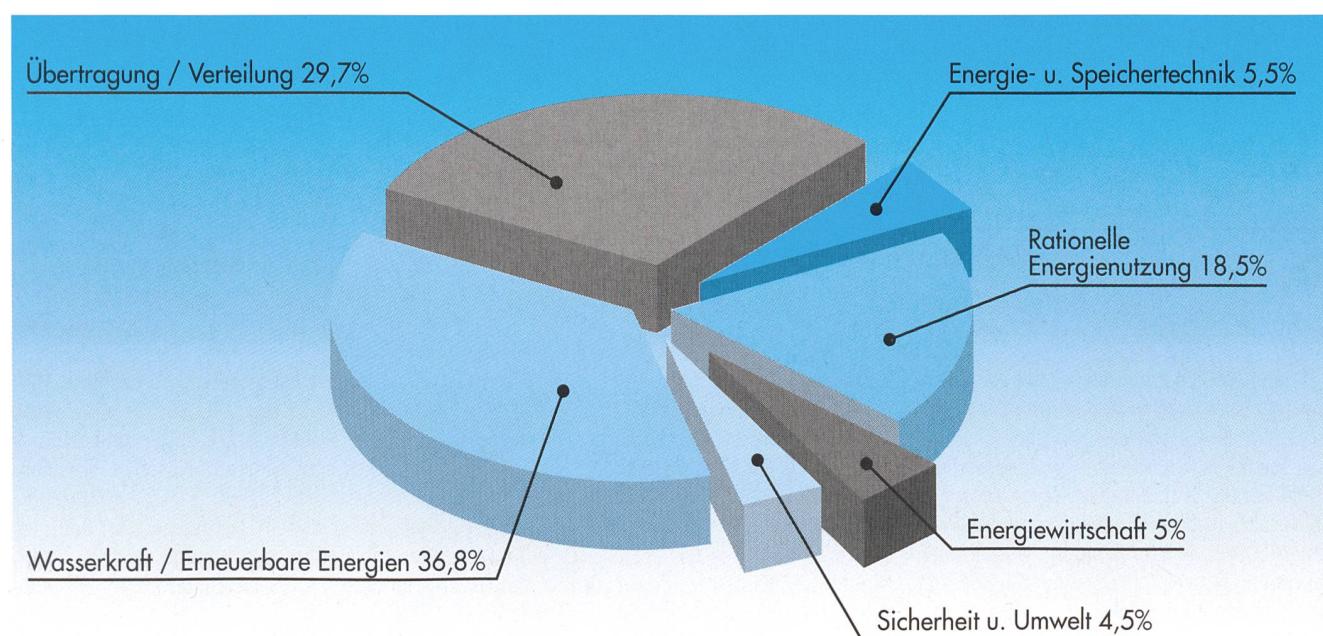


Bild 1 Prozentuale Aufteilung nach Fachbereichen der 1995 bewilligten Projekte.

### Überwachung der Kavitations-erosion bei hydraulischen Anlagen

Bei der Kavitationserosion handelt es sich um einen durch Luftblasen (Bild 2) hervorgerufenen Verschleiss von Teilen in hydraulischen Anlagen, hauptsächlich Turbinen. Dadurch wird eine beträchtliche Nutzungsminderung verursacht.

Betreiber der Anlage teuer zu stehen kommen. Im Fall von Kraftwerken, bei denen die Leistung ausschlaggebend ist, bleibt dem Betreiber nichts anderes übrig, als seine Anlage regelmässig kontrollieren zu lassen. Dies hat jedoch einen beträchtlichen Produktionsverlust zur Folge, um so mehr als eventuelle Reparaturarbeiten nicht geplant werden können.

Das neue Analysesystem erlaubt eine Nutzungsoptimierung der Wasserkraftwerke: Es gibt Auskunft über den Verschleiss der Anlage und verhindert gefährliche Betriebszustände, ohne jedoch eine Unternützung der Anlage zu provozieren.

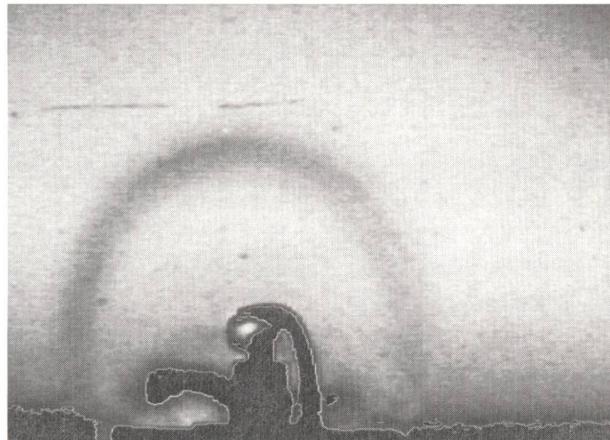


Bild 2 Explosion einer Blase mit Emission einer Schockwelle.

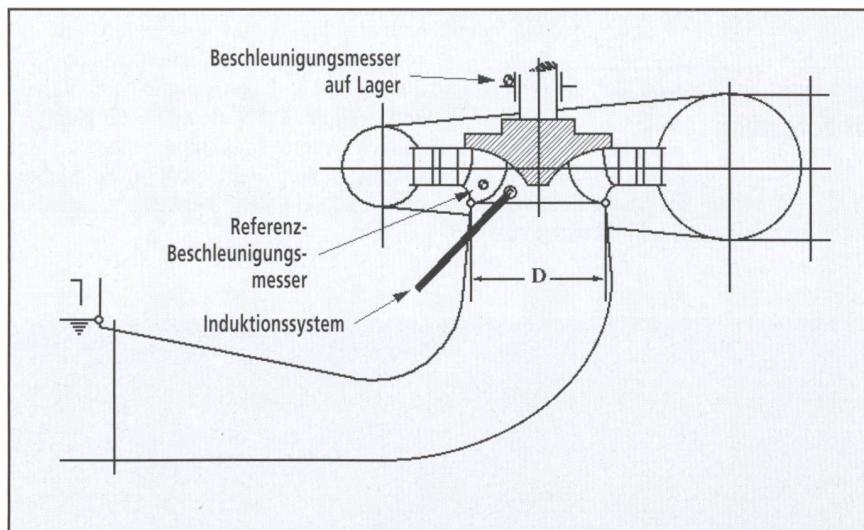


Bild 3 Installation eines Induktionssystems – das die Explosion, dann die Implosion einer Dampfblase provoziert – in einer Francisturbine.

Diese Nutzungsminderung ist entweder durch Leistungsverluste bedingt oder durch die Erosion, welche die Kavitation erzeugen kann. Während ein Leistungsverlust direkt bei der Nutzung der Maschine quantifizierbar ist, kann die Erosion nur bei vor-gängigen Versuchen an einem Modell oder bei regelmässigen Untersuchungen der Anlage festgestellt werden.

Die nur sehr partiellen Kenntnisse der Funktionsarten, die ein erhöhtes Risiko für Kavitationserosion bergen, können den

### Messung vor Ort

Das Projekt von Prof. F. Avellan des IMHEF (Institut de machines et de mécanique des fluides) an der EPF Lausanne entwickelt deshalb ein Analysesystem, das die Messung und Quantifizierung der Kavitationserosion vor Ort erlaubt (Bild 3). Da heute bei Kraftwerksrenovationen häufig nur die Leistung erhöht wird, was eine Kavitationsentwicklung begünstigt, sind die Betreiber von Kraftwerken sehr an einem solchen Analysesystem interessiert.

### Innovative Photovoltaik-Fassadenelemente

In einem dreijährigen Projekt sollen die Grundlagen der Produktion von innovativen Photovoltaik-Fassadenelementen erarbeitet werden. Das Projekt wird von Prof. A. Shah des Institut de Microtechnique der Universität Neuenburg geleitet und von der interessierten Schweizer Industrie unterstützt.

Diese Technik bietet vor allem zwei Vorteile: erstens die schnelle VHF-Abseheidung (very high frequency) von amorphen Siliziumsolarzellen auf flexiblen Plastikfolien (Bild 4), und zweitens die Verarbeitung dieser Solarzellen zu neuartigen, glaslosen photovoltaischen Fassadenelementen.

Dünnschichtsolarzellen aus amorphem Silizium sind wirtschaftlich sowie ökologisch für eine Solarzellenherstellung im grösseren Stil aus folgenden Gründen gut geeignet:

- Silizium ist unbeschränkt vorhanden und ökologisch unbedenklich
- die Herstellungsprozesse sind bereits industriell erprobte und für eine Massenproduktion geeignet
- der Energieverbrauch für die Herstellung der amorphen Siliziumzelle ist sehr klein

### Doppelfunktion

Heutzutage wird weltweit eine bauintegrierte Anwendung der Photovoltaik angestrebt. Diese Verbindung von Photovoltaik mit bestehenden Strukturen erlaubt ein interessantes Kostenreduktionspotential durch einerseits Doppelfunktionen der Photovoltaikelemente (Gebäudehaut) und andererseits reduzierte Kosten für die Photovoltaiknutzung, da die Trägerstrukturen wegfallen.

Als Substratmaterial für amorphes Silizium kommen Glas, Metall oder Kunststoff in Frage. Heute werden in der industriellen Produktion fast ausschliesslich Glasscheiben verwendet. Diese bieten zwar einen hervorragenden Witterungsschutz, doch ist der Fabrikationsprozess und die Weiterverarbeitung zu Fassadenelementen schwierig und teuer.

Im Gegensatz dazu ist mit Metall oder Kunststoff – die bei amorphem Silizium als Substrat verwendet werden können – eine

kontinuierliche Abscheidung auf flexible Substrate möglich («Roll-to-Roll»-Verfahren). In Kombination mit dem schnellen VHF-Prozess ist diese Methode besonders vorteilhaft (Bild 5).

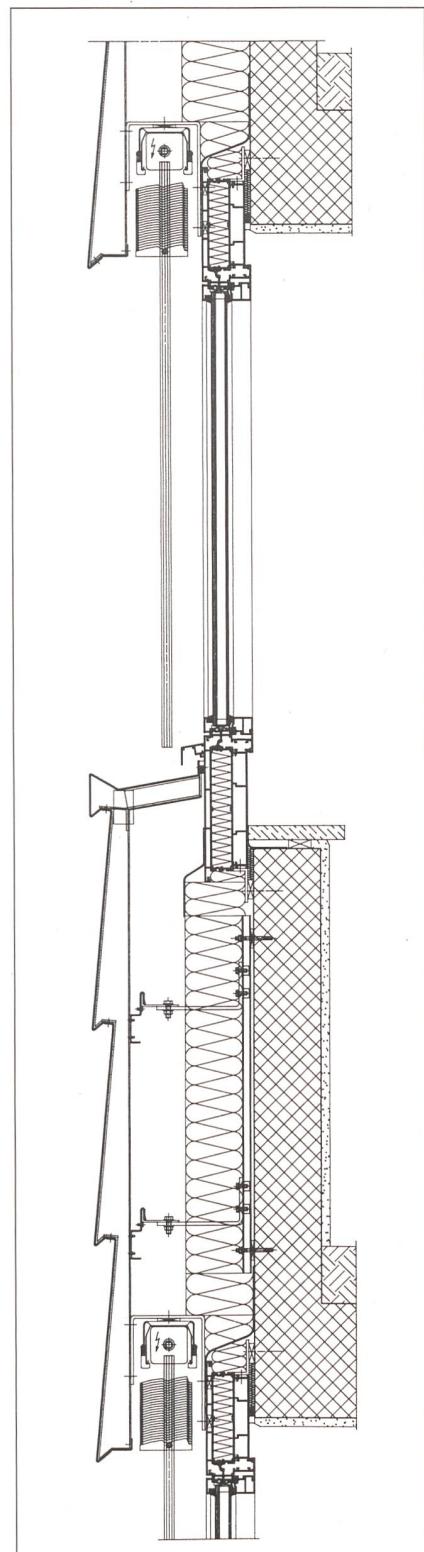


Bild 5 Photovoltaikmetallfassade der Firma Ernst Schweizer AG (Zellen auf Inox-Substrat ohne Serie-verschaltung). Deutlich erkennbar ist das photo-voltaische Fassadenelement im Brüstungsbereich, aufgebaut aus drei Blechelementen mit auflaminierten Solarzellen.

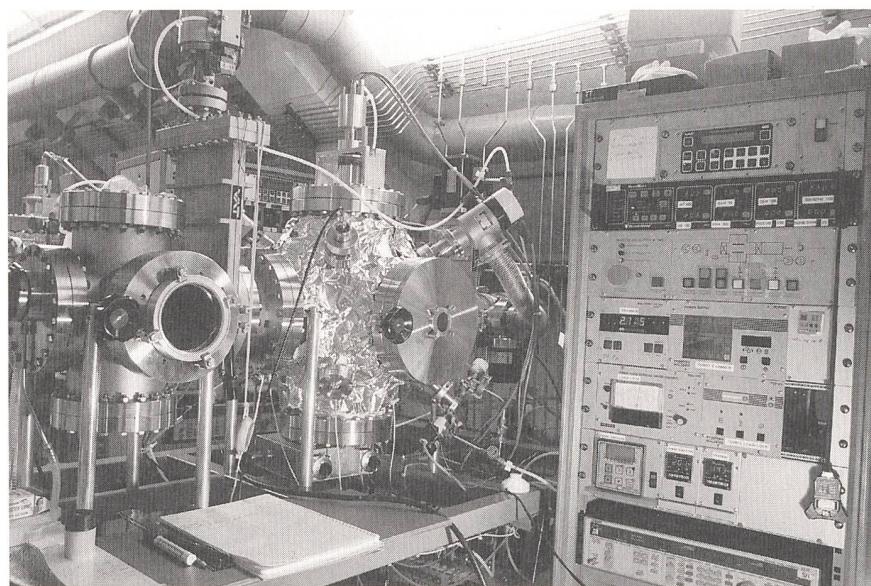


Bild 4 Plasmareaktor zur Untersuchung der schnellen Abscheidung von Solarzellen aus amorphem Silizium mit dem VHF-Verfahren am Institut de Microtechnique der Universität Neuenburg.

### Vor-Ort-Diagnose und Überwachung des Isolationszustandes von Grosstransformatoren

Das Isolationssystem eines Transformators ist einem kontinuierlichen Alterungsprozess unterworfen. Dieses Projekt erprobt deshalb mehrere Vor-Ort-Diagnoseverfahren zur Beurteilung des Isolationszustandes von Leistungstransformatoren. Zudem prüft es ein Online-Monitoring-System zur kontinuierlichen Überwachung

von Grosstransformatoren, damit Anomalien frühzeitig erkannt werden können.

Grosstransformatoren gehören zu den kapitalintensivsten Komponenten des elektrischen Energieübertragungssystems. In Anbetracht der hohen Anschaffungs- und der erheblichen Folgekosten beim Ausfall einer grösseren Transformatoreneinheit (z.B. Maschinentransformator eines Kernkraftwerks) werden besonders hohe Anforderungen bezüglich Ausfallsicherheit und Lebensdauer gestellt. Die Betreiber und Hersteller von Grosstransformatoren haben

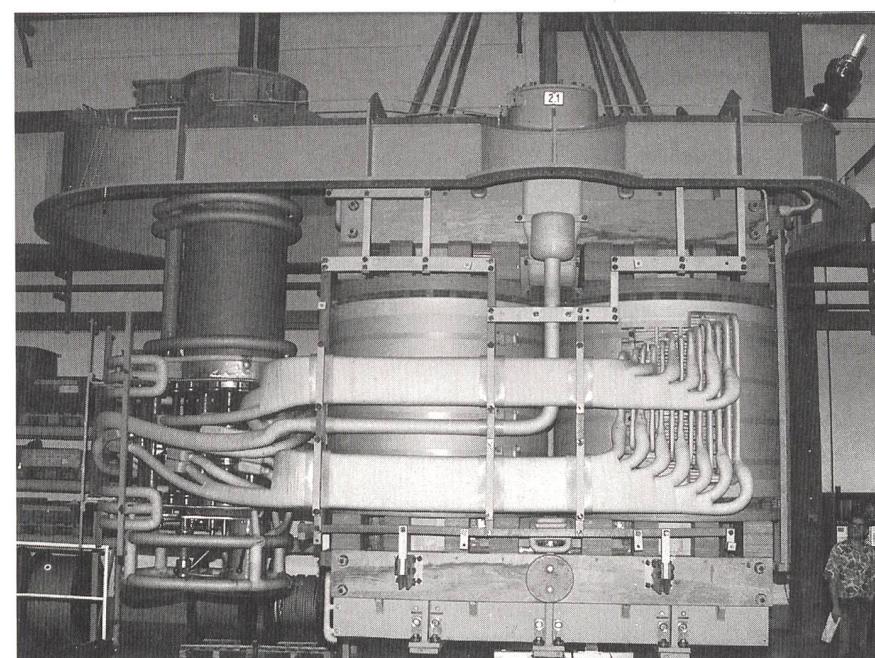


Bild 6 Aktivteil eines 190-MVA-Reguliertransformators ( $16/247 \pm 11 \times 3,6$  kV). Links: Stufenschalter, rechts: Wicklungen mit Hauptisolation.

## Forschung und Entwicklung

deshalb ein grosses Interesse, Fehler und Anomalien im Isolationssystem eines Transformators frühzeitig zu erkennen, um rechtzeitig Massnahmen zur Verhinderung einzuleiten.

### Komplex und vielfältig

Generell ist die Konstruktion von grossen Leistungstransformatoren durch einen komplexen Aufbau gekennzeichnet (Bild 6). Eine einheitliche Beurteilung des Isolationszustandes wird durch die grosse Konstruktionsvielfalt, aber auch durch die verschiedenen Anwendungsbereiche (Maschinen-, Netzkupplungs-, Regulierungstransformatoren) und die stark unterschiedlichen Betriebsbedingungen erschwert. Durch die Kenntnisse über den Aufbau und das dielektrische Verhalten der Isolierstoffe sowie durch den innovativen Einsatz moderner Sensorik und Messtechnik ist es heute jedoch möglich, neue Diagnose- und Überwachungsmethoden zu entwickeln und einzusetzen (Bild 7 und 8).

### Breit abgestützt

Bei der Zielsetzung wurden die speziellen Betriebsbedingungen und Bedürfnisse der schweizerischen Trafobetreiber berücksichtigt. Das Gesamtprojekt ist durch eine aktive Beteiligung von Unternehmungen der elektrischen Energieversorgung (Trafobetreiber), der schweizerischen Trafoindustrie (inkl. Zulieferanten) sowie der einschlägigen Forschungsinstitutionen (ETH Zürich, EPF Lausanne und Fachkommission für Hochspannungsfragen) breit abgestützt.

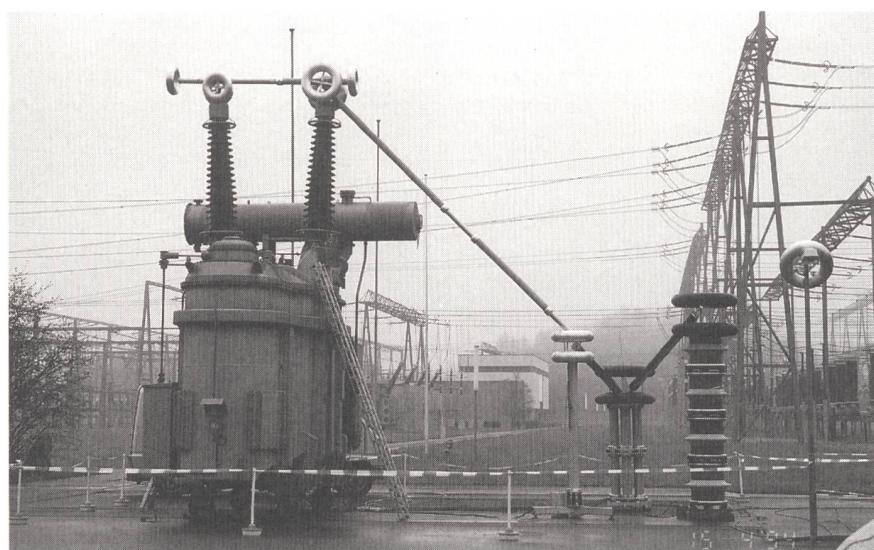


Bild 7 Fremdspannungsprüfung mit Teilentladungsmessung an einem 220-kV-Regulierpol in einem Unterwerk. Die Prüfspannung wird mit einer Serie-Resonanzprüf'anlage erzeugt (rechts).

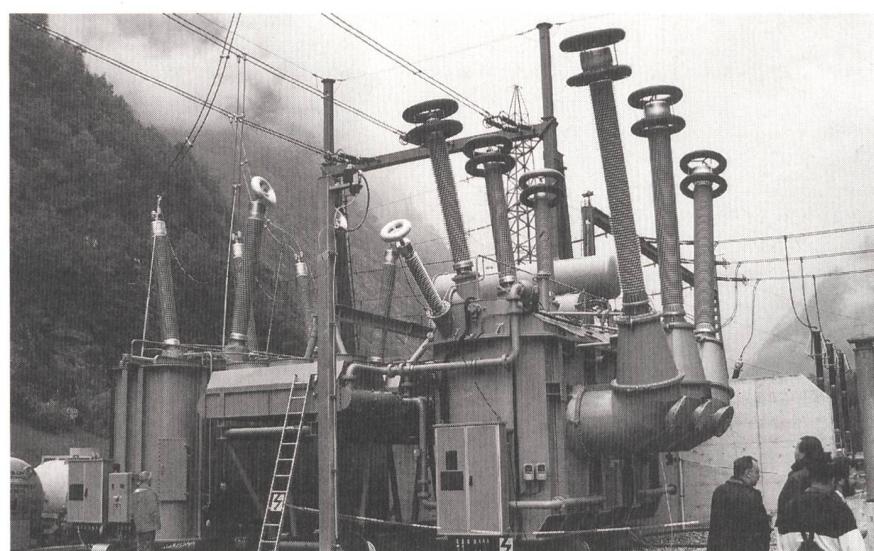


Bild 8 Vor-Ort-Diagnose-Prüfung an einem 220/380-kV-Netzkupplungstransformator, links: Regulierpol, rechts: Hauptpol bei der induzierten Spannungsprüfung.

## Le PSEL investit dans la recherche dans la force hydraulique et l'énergie solaire

Depuis 1992, date de l'instauration du Fonds pour projets et études de l'économie électrique (PSEL), 63 demandes de subsides ont déjà été acceptées et 14,2 millions de francs utilisés à cet effet. En 1995, le PSEL a accepté 17 projets totalisant 4,4 millions de francs. Plus d'un tiers de ce montant a été investi dans des projets de recherche consacrés à la force hydraulique et aux énergies renouvelables. L'un d'eux élabore un système d'analyse permettant de mesurer et quantifier l'érosion de cavitation sur site. L'exploitant peut ainsi éviter une perte de production importante due à l'inspections régulière de la machine. Un autre projet développe des éléments de façades photovoltaïque en couche mince de silicium. Les points essentiels d'une future production sont d'une part, la déposition VHF (very high frequency) rapide de cellules solaires de silicium amorphe sur des films de plastique flexibles et d'autre part, le traitement de ces cellules solaires pour en faire des éléments de façade photovoltaïque exempts de verre.

A peine 30% ont été investi dans la technique de transport et de distribution. Le but d'un projet important est d'expérimenter plusieurs procédures de diagnostic d'évaluation sur site de l'état d'isolation de transformateurs de puissance ainsi qu'un système Online-Monitoring à grande puissance.