

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 101 (2009)
Heft: 4

Artikel: Das hydraulische Labor der Hochschule Luzern im Wandel der Zeit
Autor: Staubli, Thomas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941967>

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: 20.02.2026

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

Das hydraulische Labor der Hochschule Luzern im Wandel der Zeit

■ Thomas Staubli

Das «Laboratorium für Hydraulik und Hydraulische Maschinen» am damaligen Zentralschweizerischen Technikum konnte 1974 den Schulbetrieb aufnehmen. Bruno Schupp, Dozent für Strömungsmechanik und hydraulische Maschinen, verfasste damals eine Schrift, in der er in einem einleitenden Abschnitt über «die Bedeutung des Laboratoriums im Unterricht» schrieb. Dies soll auch so in diesem Beitrag erfolgen, denn der praktische Unterricht hat an seiner zentralen Bedeutung nichts verloren. Sicher haben die Einrichtungen, die Messgeräte, die Analysemethoden geändert – die heutigen Studierenden beherrschen die Technik des Hand- und Kopfrechnens nicht mehr und hatten wohl noch nie einen Rechenschieber in der Hand. Herr Schupp ist jeweils im weissen Kittel und mit dem Rechenschieber im Labor erschienen. Beim Rechnen mit dem Rechenschieber musste man sich die Grössenordnung der Resultate selbst überlegen, was den heutigen Studierenden häufig schwer fällt, da sie den Resultaten des Rechners zu sehr vertrauen.

Der didaktische Grundnutzen des Labors ist in den letzten Jahrzehnten aber identisch geblieben. Die Vermittlung des Wissens im Technik-Unterricht auf drei Stufen ist auch heute noch optimal: Theorie, Anwendung und Umsetzung in Beispielen und in Laborversuchen. Die didaktischen Methoden, welche dabei im Labor eingesetzt werden können, sind wahrscheinlich noch vielfältiger als die Methoden bei der Theorievermittlung. Ein passives Verhalten und sich vom Stoff berieseln lassen sind im Labor nicht möglich. Die Rückmeldungen der Studierenden auf den Laborunterricht sind meist sehr positiv. Eine sehr häufig zu hörende Aussage ist: «Endlich habe ich begriffen...».

Erstaunlich ist, dass gerade nicht bis ins letzte Detail ausformulierte Aufgabenstellungen geschätzt werden, wie zum Beispiel: «So, jetzt misst einmal den Wirkungsgrad der Pumpe.» Eine solche nur grob gestellte Aufgabe zwingt dazu, sich

zuerst zu überlegen, wie überhaupt ein Wirkungsgrad definiert ist, welche Energien eigentlich umgesetzt werden, was diese Energieumsetzung bewirkt, welche physikalischen Grössen dazu gemessen werden müssen, welche Messinstrumente dabei eingesetzt werden können, welche Probleme mit einem Messaufbau oder der elektrischen Messdatenerfassung verbunden sein können, usw.

Das hydraulische Labor wurde von vielen Dozierenden rege genutzt, auch über die Abteilungsgrenzen hinaus. Josef Bachmann, Nachfolger von Herrn Schupp, hat ein interessantes Konzept verfolgt, indem bei ihm solche Laborübungen sich über gesamthaft neun Labornachmittage erstreckt haben. Es waren dies grössere Projekte mit einer Reihe von Teilaufgaben. Weitere Dozenten waren Robert Kälin, Walter Simmen, Helmut Obermoser, Ludwig Becke, Richard Meyer, Fredy Tresch und Ruedi Haller.

Neben diesen anspruchsvollen grösseren Laborprojekten liegen auf der anderen Seite der didaktischen Möglichkeiten Laborübungen, welche in grösseren Gruppen durchgeführt werden und eher einen Demonstrationscharakter haben. Für solche Übungen ist die Messdatenerfassung vorbereitet. Die Studierenden müssen nur noch Werte in bereits vorbereitete Auswertungsprotokolle eintragen und dann die Resultate interpretieren. Dieser Stil hat vielfach den frühen Laborunterricht dominiert, wobei heute, nach einer starken Reduktion des Laboranteils im Unterricht, wieder auf diese Methodik zurückgegriffen wird.

Für die Studierenden bedeuten die offen gestellten Aufgaben meist auch einen grossen zeitlichen Aufwand. Im Gegenzug bewirkt die aktive Verknüpfung von Theorie und Praxis eine ausgezeichnete Vertiefung des Stoffes. Die im Labor gemachten Erfahrungen werden im Langzeitgedächtnis gespeichert und die Theorie wird begriffen.

Was ist konkret der Lerneffekt?

Im hydraulischen Labor lernen die Studierenden die physikalische Bedeutung der Erhaltungssätze als Bilanzierung von Flüssen (Massenströme, Impuls- oder Drallströmen und Energieflüssen) in ihrer praktischen Umsetzung kennen. Sie lernen viel zu messtechnischen Geräten und Methoden – von Standardgeräten bis hin zu komplexen Instrumentierungen, wie sie in den Forschungsprojekten im Labor eingesetzt werden. Sie lernen die Resultate der Experimente mit den abstrakten Grundlagen zu verknüpfen. Neben der Vertiefung des technikbezogenen Fachwissens ist der Laborunterricht auch exzellent für die Stärkung der «softskills» geeignet. Die Studierenden lernen die Problemlösungsmethodik einzusetzen. Sie werden mit englischsprachigen Anleitungen konfrontiert. Sie arbeiten in Gruppen und üben sich im Verfassen von Berichten und im Präsentieren ihrer Aufgabe, des Messaufbaus und des Konzentrates ihrer Ergebnisse. Wenn man etwas erklären muss, wird man zur Präzision der Gedanken gezwungen, was inhärent nachhaltigen Lernerfolg bringt. Da die Studierenden auf dem Niveau ihrer Kollegen präsentieren, stellt auch die Stoffvermittlung untereinander ein wesentliches Element dar. Auch in der Weiterbildung kommt das hydraulische Labor zum Zuge. In den hier blockweise durchgeführten Kursen für Ingenieure in der Praxis stellen Laboraufgaben eine Ergänzung und willkommene Auflockerung des sehr intensiven Frontalunterrichts dar.

Der wohl spannendste Einsatz des Labors aus der Sicht der Dozierenden sind die durchgeführten Industrieprojekte, Vertiefungsprojekte und Diplomarbeiten im Rahmen der Bachelor- und Masterausbildung. Hier kommt es zu erstaunlichen «Höhenflügen» einzelner Studierender. Die Motivation erlebt einen Höhepunkt und, wenn auf einem fundierten Fachwissen aufgebaut werden kann, wird die Vorbereitung für die zukünftige Tätigkeit in der Industrie optimal.

Als Beispiel aus einer solchen Auf-



Bild 1. Semesterarbeit «Wirbelbildung an einer dynamisch belasteten Finne», Jens Stahel, 1997, Strömung von links nach rechts, Visualisierung mit der Wasserstoffblasentechnik.

gabe und zur Überleitung in den nächsten Abschnitt, wo die Strömungsforschung gestreift wird, ist das *Bild 1* aufgeführt, welches 1997 von Jens Stahel im Rahmen seiner Diplomarbeit aufgenommen wurde. Es stellt eine dynamisch belastete Surfbrettfinne dar. Die Aufnahme erfolgte von unten im Plexiglasskanal des hydraulischen Labors. Zur Visualisierung wurde die Wasserstoffblasentechnik eingesetzt, welche als Methode bereits von Bruno Schupp in seiner oben erwähnten Schrift zur Inauguration des hydraulischen Labors angewendet wurde. Zeitlich gepulste Streifen von Wasserstoffblasen, welche als weisse Streifen auf dem Foto zu sehen sind, werden bei der Umströmung der Finne verformt und erlauben einen visuellen Überblick über die entstehenden Strömungsphänomene, im Film auch im zeitlichen Ablauf.

Ein Labor kostet. Die Infrastruktur muss unterhalten werden, neue Prüfstände konzipiert und die Messinstrumentierung aktuell gehalten werden. Komplexe Messsysteme, wie Laser-Doppler-Anemometer, brauchen viel Know-how und eine längere Einarbeitungszeit. Auch der Betreuungsaufwand von Laborübungen ist gross. Der Einsatz von Assistierenden bewährt sich hier ausgezeichnet. Ihnen gegenüber ist unter anderem für Studierende die Hemmschwelle tiefer, Fragen zu stellen.

Optimal wird ein so grosses Labor, wie es das hydraulische Labor ist, auch im erweiterten Leistungsauftrag – Forschung und Dienstleistung – eingesetzt. Als der Autor vor 13 Jahren das Labor in Horw

übernahm, hat er von der ETH-Zürich kommend in einer Pressemitteilung angekündigt, dass er angewandte Forschung auf dem Gebiet der Strömungsmechanik und im Speziellen der Hydromaschinen abwickeln werde. Nur wusste er noch nicht sicher, wie und ob dies überhaupt umsetzbar sei. Werden die Mitarbeiter Projekte auf genügend hohem Niveau abwickeln können? Wird es von der Industrie her einen Bedarf geben? Nun, die Kontinuität der Projekte und die konsequente Umsetzung brachten nachhaltigen Erfolg. Hoch motivierte Mitarbeiter, welche ihr Wissen nach dem Diplom oder Bachelorabschluss noch vertiefen wollen, haben gezeigt, dass die Idee durchaus realisiert werden konnte.

Nun zum Exkurs zu Forschungsthemen: Allgemeingültige Fragestellungen zur Strömungsmesstechnik können anhand des *Bildes 1* kurz diskutiert werden. Strömungen in allen technischen Anwendungen sind dreidimensional und meist zeitlich veränderlich. Die Strömung um das Ende der Surfbrettfinne ist natürlich auch dreidimensional, aber ein Stück weiter oben wird die Strömung weitgehend durch die Wirbel dominiert, welche in der visualisierten Ebene beobachtet werden können. Die Linien der Wasserstoffbläschen in der Zuströmung sind ungestört. Daraus kann geschlossen werden, dass die Zuströmung laminar und nicht turbulent ist. Die Wirbel im Nachlauf, stromab des Profils formen sich mit der Bewegung der Finne, welche periodisch um eine Achse vor der Eintrittskante gedreht wird. Mit diesen Wirbeln kann die Kraftwirkung auf die Finne und

deren zeitlicher Verlauf verstanden werden. Von einer Kraft- oder Drehmomentmessung alleine könnte man ohne weitere Informationen niemals die physikalischen Vorgänge beschreiben oder verstehen, genauso wenig wie mithilfe einer lokalen Geschwindigkeitsmessung. Eine anfängliche Strömungsvisualisierung bringt für das Verständnis komplexer, zeitlich veränderlicher Strömungen enorme Vorteile, indem bereits eine Vielzahl von Fragestellungen geklärt werden können, wie zum Beispiel, ob die Strömung turbulent oder laminar ist, ob sie abgelöst ist, ob zeitliche Veränderungen zufällig, periodisch oder quasi-periodisch sind, welche Zeitmassstäbe (Frequenzen) wesentlich sind und welche Grössenmassstäbe der Strukturen die Strömung dominieren.

Was lernen wir daraus? Eine Strömungsmessung macht nur Sinn, wenn bereits wesentliche Vorkenntnisse vorhanden sind, denn nur so kann man eine brauchbare Messung konzipieren. Dies kann Wissen sein, das auf Erfahrung aufbaut oder auf Erkenntnissen aus der numerischen Strömungsberechnung. Standardmässige Fragen, die man sich beim experimentellen Arbeiten stellen sollte, sind: Was ist die angestrebte Aussage, das Ziel der Messung, wie kann dieses Ziel erreicht werden, gibt es eine Hypothese zu bestätigen, was und wo soll gemessen werden, welche Sensoren erlauben genügende zeitliche und örtliche Auflösung, um das angestrebte Ziel auch wirklich zu erreichen, stört die Messeinrichtung die Strömung nur in vertretbarer Weise? Nur wenn alle Fragen zufriedenstellend beantwortet sind, darf man mit einem Projekt fortfahren, ansonsten ist es besser aufzuhören. Denn irgend etwas zu messen ist nicht besser, als gar nichts zu messen, nur teurer.

Ein Forschungsprojekt, bei dem sich das ganze Spektrum der obigen Fragen gestellt hat, wurde in den Jahren 2006–2009 abgewickelt und sei hier kurz erwähnt. Reversible Pumpenturbinen werden zum Pumpen von Wasser zur Speicherung von Energie in höher gelegenen Stauseen eingesetzt, um dann mit den gleichen Maschinen – diesmal im Turbinenbetrieb – bei Spitzenbedarf wiederum Strom ins Netz einspeisen zu können. Seit Jahrzehnten werden alle grossen Hersteller von Hydromaschinen bei manchen Pumpenturbinentypen mit einem sehr unangenehmen Schwingungsproblem konfrontiert. Dieses Instabilitätsphänomen der Maschinen tritt beim Anfahren Turbinenbetrieb während des Synchronisationsvorganges mit dem elektrischen Netz auf. Das ambitionöse Ziel

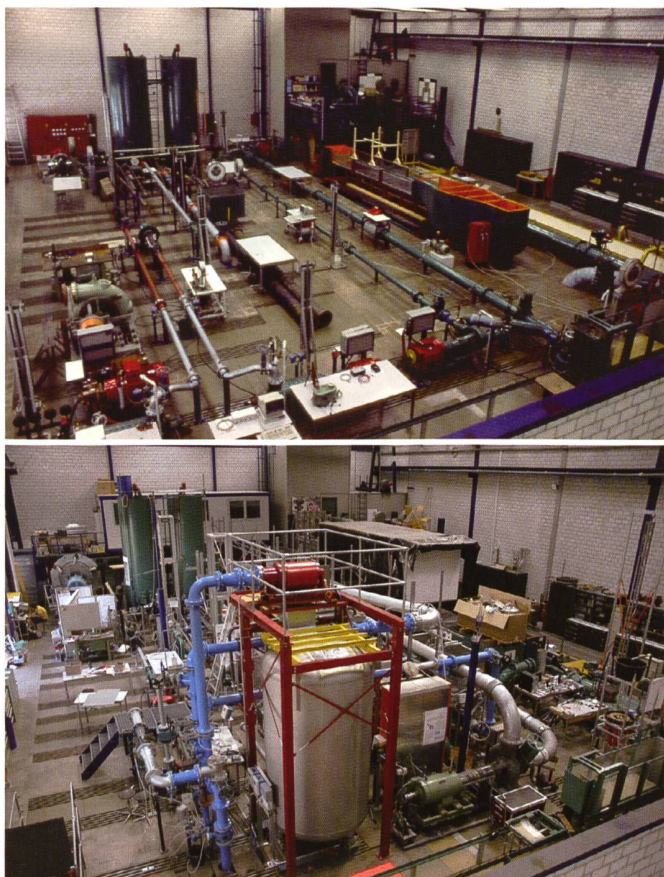


Bild 2. Hydraulisches Labor im Jahr 1986 (oben) und 2009 (unten).

des Projektes war, eine Lösung zur Verhinderung der störenden Instabilität zu finden. Zu Beginn des Projektes waren die Ursache der Strömungsinstabilität und deren Lokalisierung vollkommen unbekannt. Systematisches Zusammentragen von vorhandenem Wissen, ein gutes Stück Intuition haben dann zu einer Hypothese geführt, die obwohl falsch, die Suche in die richtige Richtung gelenkt hat. Bei mit grossem Aufwand durchgeführten numerischen Strömungsberechnungen konnte die Strömung in der Maschine bei diesen von abgelösten Strömungen dominierten Betriebspunkten simuliert werden. Aus diesen Ergebnissen konnte eine neue Hypothese abgeleitet werden. Diese zweite Hypothese hat sich nun als voller Erfolg erwiesen. Sie konnte im Labor bestätigt werden und eine instabilitätsfreie Pump-turbine konnte aufgrund der Erkenntnisse entwickelt werden. In der industriellen Umsetzung wird dies dem Industriepartner einen wesentlichen Marktvorteil bringen.

Um dem Image der Wasserturbine entgegenzuwirken, als einem aus Urgeschichte der industriellen Entwicklung stammenden und nicht mehr verbesserbaren Produkt, sei kurz ein weiteres Projekt mit einem grossen Hersteller von Hydromaschinen beschrieben, welcher einen

die dabei parallel laufende Beratung sehr geschätzt. Es handelt sich dabei um Produkte wie: Rührwerke für Biofermenter, Pumpen für Kläranlagen, Pelton-turbinen für Meerwasserentsalzungsanlagen, Dispergiermaschinen, um nur einige Beispiele zu nennen.

Viele Projekte und neue Versuchsaufbauten verändern das Erscheinungsbild des Labors. *Bild 2* zeigt eine Ansicht des Labors aus dem Jahre 1986 und, im Vergleich dazu, dieselbe Ansicht aus dem Jahre 2009.

Herr Schupp hat das hydraulische Labor damals mit grosser Weitsicht geplant. Seine schon früh formulierte Zielsetzung, ein flexibles Labor mit vielseitig einsetzbarer Infrastruktur aufzustellen, hat er konsequent verfolgt und umgesetzt. Seine Planung war durchdacht, und die Infrastruktur kann auch heute noch optimal genutzt werden, auch wenn viele der Maschinen ausgewechselt wurden. Während dem Ingenieur Schupp höchstes Lob zukommt, so gilt dies nicht in gleichem Masse für die Entscheidungsträger, denn just als das Labor fertig gestellt war, ist die grosse Zeit des Ausbaus der schweizerischen Wasserkraft vorbei gewesen. Eigentlich war damals abzusehen, dass der Bedarf an einschlägig ausgebildeten

neuen Turbinentyp für einen mittleren Leistungsbereich im hydraulischen Labor der Hochschule Luzern testen liess. Die Tests haben einen durchschlagenden Erfolg gebracht und das Produkt wird als kostengünstige Variante gute Marktchancen haben. Als Miterfinder eines verlustreduzierenden Elementes in der Zuströmung dieses patentierten Turbinentyps ist der Autor dieses Artikels aufgeführt. Die im hydraulischen Labor angebotenen Dienstleistungen kommen vor allem der lokalen Industrie, die auch stark international tätig ist, zugute. Insbesondere wird auch

Ingenieuren für die nächsten 20 Jahre gedeckt war. Da es aber an allen Schulen entsprechende hydraulische Labors gab oder aufgebaut wurden, konnten die Entscheidungen im Trend der Zeit gefällt werden. Nur entsprechende Know-how-Träger hätten damals das Wissen gehabt, um in die Zukunft zu schauen. Dass die Ausbauphase der schweizerischen Wasserkraft zu Ende war, hätte man damals einfach aus der Anzahl der noch in Planung oder noch in Diskussion stehenden Anlagen ersehen können (siehe *Bild 3*). Die Planung von Wasserkraftanlagen ist keine kurzfristige Angelegenheit, sie dauert Jahre.

Bild 3 zeigt die Entwicklung der Wasserkraftanlagen der Schweiz. Nach 1975 erreicht der Verlauf der schweizweit installierten Leistung einen Plafond, welcher erst 1999 mit der Anlage von Cleuson-Dixence mit 1300 MW sprunghaft erhöht wurde. Einzig der Ausbau der Kleinwasserkraft hat in der Phase nach 1975 dafür gesorgt, dass die Anzahl neuer Anlagen nicht auf ein marginales Niveau sank. Zur Steigerung der installierten Leistung haben diese aber wenig beigetragen. Aktuell ist eine ganze Reihe von Pumpspeichieranlagen im Bau oder in Planung und weitere werden diskutiert. Es handelt sich um knapp ein Dutzend Anlagen mit einer Gesamtleistung in der Grössenordnung von 4000 MW. Mit diesen Anlagen wird wieder ein gewaltiger Boom der Wasserkraft in Gang gesetzt, welcher mit Sicherheit ein Jahrzehnt anhalten wird. Auch wenn mit Pumpspeichieranlagen nicht zusätzliche Energie erzeugt werden kann, so erlauben diese gewaltigen Anlagen, dann Strom ins europäische Verbundnetz zu liefern, wenn er zu Spitzenzeiten benötigt wird. Überschüssige Energie, die während schwachen Bedarfszeiten produziert wird, z.B. von Windkraftanlagen, kann zum Pumpen und somit zur Speicherung der Energie verwendet werden.

Zurück zum hydraulischen Labor: Interessant ist, dass kurz vor der Phase der neuen, grossen Investitionstätigkeit in Wasserkraft über eine mögliche Aufhebung des hydraulischen Labors gesprochen wurde. Nicht zuletzt dank dem weitsichtigen und grossen Engagements von Viktor P. Herzog, dem damaligen Direktor des Atis, konnte dies abgewendet werden. Für den Autor dieses Beitrags, der damals ein externes Gutachten erstellen durfte, war dies die Ausgangslage, von der ETH-Zürich nach Horw zu wechseln, um diesem auch im internationalen Vergleich ausgezeichneten Labor eine neue Dynamik zu bringen.

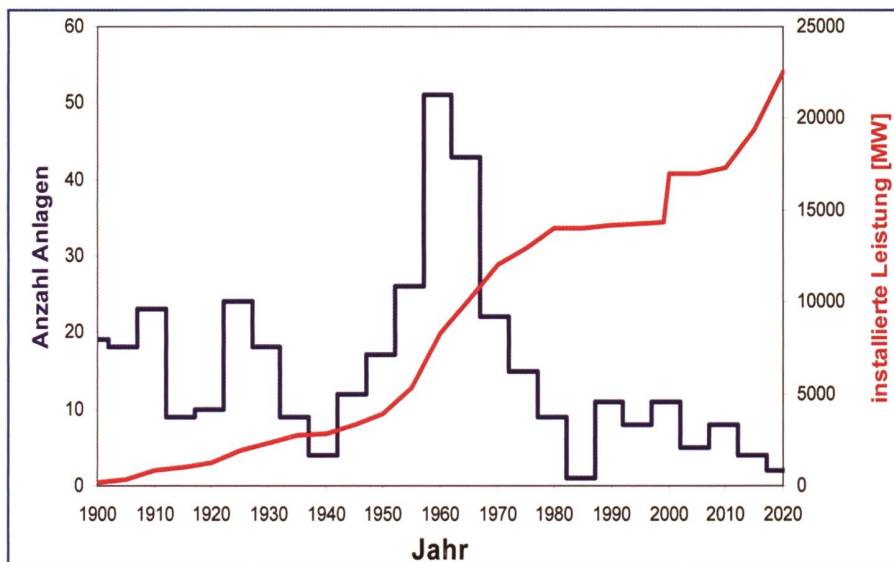


Bild 3. Anzahl neuer Wasserkraftanlagen mit Leistung > 1 MW in Fünf-Jahr-Intervallen (blau) und die aufsummierte Leistung aller Anlagen inkl. Pump-Speichieranlagen (rot).

Heute steht die Bedeutung der Wasserkraft nicht mehr in Frage. Das Thema der erneuerbaren Energie ist in aller Munde. Es werden Anlagen erneuert, die Effizienz gesteigert und neue Anlagen gebaut. Headhunter strecken ihre Fühler aus, um qualifizierte Ingenieure mit Ausbildung im Gebiet der Wasserkraft zu finden. Dies ist eine schwierige Aufgabe, denn die

Ingenieure aus der grossen Ausbauphase der Wasserkraft sind im Ruhestand und die Förderung des Nachwuchses wurde von den Verantwortlichen der Elektrizitätswirtschaft in der Vergangenheit vernachlässigt. Die Gewohnheit, von den Hydromaschinenherstellern ausgebildete Fachpersonen zu übernehmen, und die Verunsicherungen in der Phase der Strom-

marktliberalisierung mögen dazu beigetragen haben. Der Mangel an Ingenieuren in der Schweiz im Umfeld der Wasserkraft wird heute vor allem durch Rekrutierung im Ausland gedeckt.

In der Ausbildung zeichnet sich in Nordamerika zurzeit eine Trendwende ab, die mit Bestimmtheit auch bei uns einsetzen wird. Die Studierenden an Universitäten überfluten die Vorlesungen im Themenbereich der Energieerzeugung, wobei neben der rein technischen Ausbildung, auch transdisziplinäre Fragestellungen interessieren, die vernetzt auch politische, ökonomische und ökologische Themen einbeziehen. Das Umweltthema beschäftigt die Studierenden und ihnen ist bewusst, dass die Wasserkraft den weltweit grössten Anteil erneuerbarer Energie zur Stromerzeugung darstellt. Die Wasserkraft wird somit tragender Pfeiler unserer Energiezukunft in der Schweiz und der Welt sein.

Dieser Beitrag stammt aus dem Buch «Berufsbegleitende Ingenieur- und Architekturstudien in der Zentralschweiz Studium 1946–2009», 2010. Herausgeber: Dr. Beat Balmer, Viktor P. Herzog, Edgar Unternährer
Druck Brunner AG Kriens

Stollen unter dem Bosphorus zur Wasserversorgung Istanbuls

■ Gunther Brux

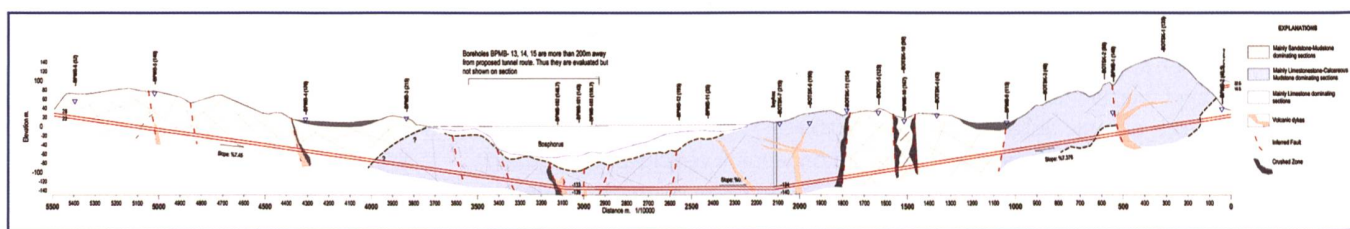


Bild 1. Geologischer Längsschnitt der Stollentrasse Melen 7.

Mitte April 2009 war der Durchschlag eines mit einem Erddruckschild unter dem Bosphorus aufgefahrenen Stollens, durch den nach dem Ausbau der europäische Teil von Istanbul künftig mit Wasser aus dem asiatischen Teil versorgt werden soll. Die Trasse verläuft an ihrer tiefsten Stelle 135 m unter dem Wasserspiegel der Meer-

enge. Der maschinelle Vortrieb unter dem Bosphorus dauerte 13.5 Monate.

Mit dem Grossprojekt «Melen» will man die Wasserversorgung der Hauptstadt Istanbul, die heute über zehn Millionen Einwohner zählt, langfristig verbessern. Dazu wird auf der asiatischen Seite, 170 km vor den Toren der Stadt, der Fluss

Melen sieben Kilometer vor der Mündung in das Schwarze Meer aufgestaut und das Wasser aus diesem niederschlagsreichen Gebiet nach Istanbul geleitet. Damit das Wasser auch in den europäischen Stadtteil gelangen kann, wo es für die Trinkwasserversorgung der Bewohner und der dortigen Industrie benötigt wird, muss ein