

# Wasserbauliche Forschung für die Praxis

Autor(en): **Chervet, André / Volkart, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **72 (1980)**

Heft 9

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941408>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Aus der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) an der ETH Zürich

Die nachfolgenden vier Aufsätze erfüllen einen doppelten Zweck: Einerseits sind sie Prof. Dr. h. c. *Gerald Schnitter*, dem früheren Direktor der VAW, gewidmet, der am 25. Oktober 1980 seinen 80. Geburtstag feiert. Andererseits nehmen sie das 50jährige Bestehen der VAW zum Anlass, einige Schwerpunkte der Tätigkeit der VAW zu beschreiben und damit einer breiteren Öffentlichkeit vorzustellen.

Den vier Abteilungen der VAW entsprechend lauten die vier Themen:

- Hydraulische Forschung für die Praxis (Wasserbau)
- Physikalisch-limnologische Untersuchungen (Wasserwirtschaft)
- Wasserhaushalt und Wärmehaushalt (Hydrologie)
- Gletscherbewegung und Wasserabfluss (Glaziologie).

Prof. Dr. Daniel Vischer, Direktor der VAW, ETH- Zentrum, 8092 Zürich

## Wasserbauliche Forschung für die Praxis

André Chervet und Peter Volkart

### Zusammenfassung

Anlässlich des 50-Jahr-Jubiläums der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH wird der hydraulische Modellversuch, der aus Gründen der Betriebssicherheit, Umweltgefährdung oder Wirtschaftlichkeit heute wie früher unersetzliches Hilfsmittel bei der Gestaltung grösserer Wasserbauten darstellt, in Wort und Bild vorgestellt. Die Abwicklung einer Auftragsstudie wird skizziert. Beispiele hydraulischer Forschungsarbeiten werden präsentiert. Auftragsforschung einerseits und Grundlagenforschung andererseits befruchten sich gegenseitig. Ein wesentlicher Wertmassstab für die Beurteilung der erarbeiteten Resultate stellt deren tatsächliche Anwendbarkeit in der Praxis dar.

### Summary: Some Aspects of Applied Research in Hydraulics

To mark the 50-year jubilee of the Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology, annexed to the Zurich Federal Institute of Technology, some sample applications and

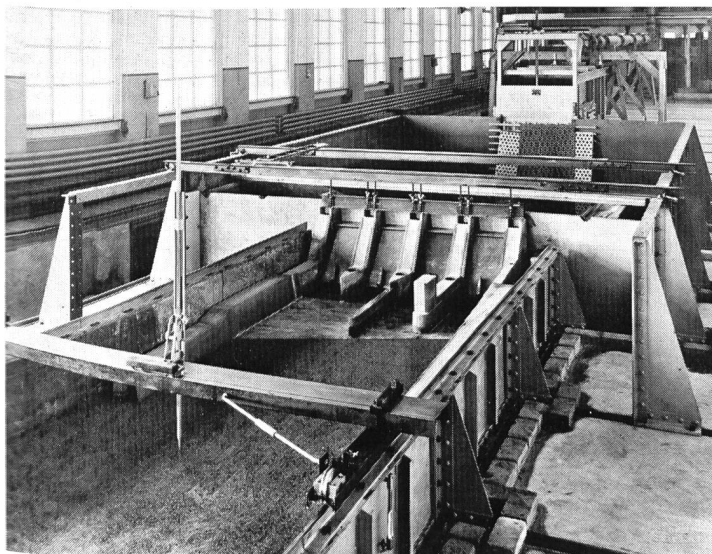
research on model tests are presented. Engineers use hydraulic model tests to obtain economic solutions to design problems, to ensure that structures will work as planned and to estimate their influence on the environment. The progress of a model study for a contractor is followed. Examples of basic research work carried out at the laboratory are briefly described. Commissioned studies and research compliment and are of benefit to one another.

### Résumé: Aspects de la recherche appliquée en hydraulique

A l'occasion des 50 ans d'activité du laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques de l'EPF-Z, quelques applications d'essais et de recherches sur modèle réduit sont présentées. Pour assurer le bon fonctionnement d'un ouvrage hydraulique, estimer son impact sur l'environnement ou encore en garantir la rentabilité, l'ingénieur dispose d'un moyen particulièrement adéquat, voire indispensable: l'essai sur modèle. Le déroulement d'une étude exécutée à la demande d'un commettant est esquissé. De plus, quelques exemples de travaux de recherche réalisés au laboratoire sont brièvement exposés. Les études mandatées par des tiers et la recherche se complètent et se fructifient réciproquement. L'application pratique des résultats de recherche offre un critère de jugement efficace quant à leur validité.

Bild 1, links. Erstes, im Jahre 1930 erstelltes Modell in der Versuchshalle der VAW: Nachbildung des Stauwehres des Limmatwerkes Wettingen im Massstab 1:40.

Bild 2, rechts. Bau eines Modelles in einer der Versuchshallen der VAW. Nachbildung der Topographie.



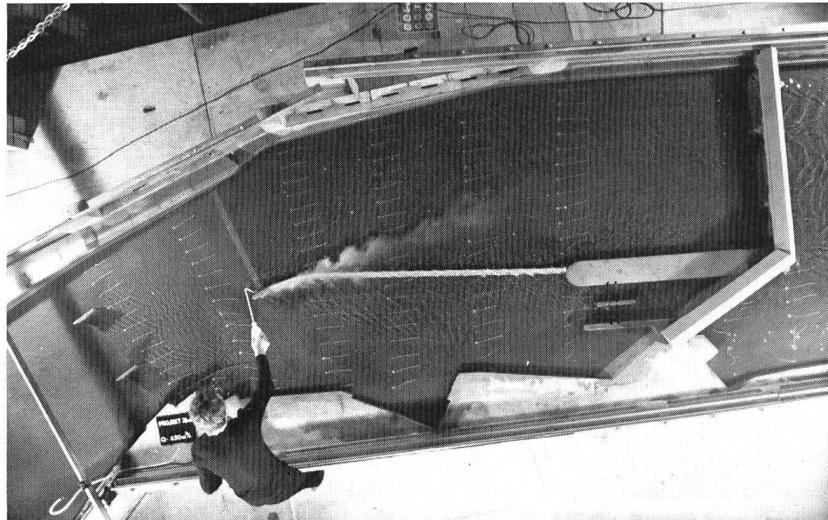


Bild 3, links. Modell eines Reussausschnittes im Massstab 1:40. Überprüfung des umgebauten Reusswehres (Nadelwehr) bei Luzern, das der Regulierung des Wasserstandes im Vierwaldstättersee dient.

Bild 4, rechts. Mit Farbe wird die Strömung in der Reuss nahe dem Nadelwehr sichtbar gemacht. Draufsicht.

Wasser, seit jeher Voraussetzung und Bestandteil des Lebens, einst unberührt und kaum genutzt, fand in der näheren Vergangenheit zunehmend Anwendung als Energiequelle in einer vermehrt zivilisierten Umwelt. Entsprechend befassten sich die Menschen seit langer Zeit wissenschaftlich mit dem Wesen und den technischen Verwendungsmöglichkeiten des Wassers. So konnte auch die Abteilung Wasserbau der VAW während ihrer nunmehr 50jährigen Geschichte über 500 Aufträge für die Praxis abwickeln. Auch wenn nicht alle dieser Mandate ausgedehnte experimentelle Untersuchungen erforderten, sind seit dem ersten, 1930 an der VAW naturgetreu nachgebauten Modell des Stauwehres des Limmatkraftwerkes Wettingen über 300 Studien mit Hilfe physikalischer Modelle ausgeführt worden. Diese traditionelle und dennoch moderne Weise der Lösung von Problemen kann immer dann Verwendung finden, wenn komplizierte dreidimensionale Wasserströmungen einer numerischen Berechnung nur ungenügend zugänglich sind.

Die praxisorientierte Anwendung des hydraulischen Modells wird gemeinhin unter den Begriff der Dienstleistung

eingereiht; da jede Modellstudie wasserbaulich aber einen Sonderfall darstellt, der nicht mit Routinearbeit angegangen werden kann, wäre die Bezeichnung «Auftragsforschung» eher am Platze.

Im folgenden wird die Abwicklung eines praxisbezogenen Forschungsauftrages Schritt für Schritt beschrieben und durch Beispiele illustriert. Anschliessend wird der Werdegang einer angewandten Arbeit aus dem Gebiete der Grundlagenforschung, wie sie des öftern dem Institut zufällt, dargelegt. Beim Vergleich dieser zwei wichtigen Aufgaben der Abteilung Wasserbau wird ersichtlich, wie eng verwandt diese beiden stets wirklichkeitsnahen Forschungsbereiche sind und wie stark sie sich gegenseitig befruchten. In vielen Fällen kann ein Grundlagen-Forschungsprojekt als selbständiger Nachkomme eines Forschungs-Auftrages angesehen werden.

#### *Auftragsforschung*

Immer mehr und immer vielseitigere Probleme gelangen zu einer Beratung an die VAW. Damit ist meistens auch der erste Schritt zu einem Auftrag für Modelluntersuchungen



Bild 5. Reussmodell Luzern. Detailaufnahme des gesteteten Blockwurfes zur Ufer- und Sohlensicherung.

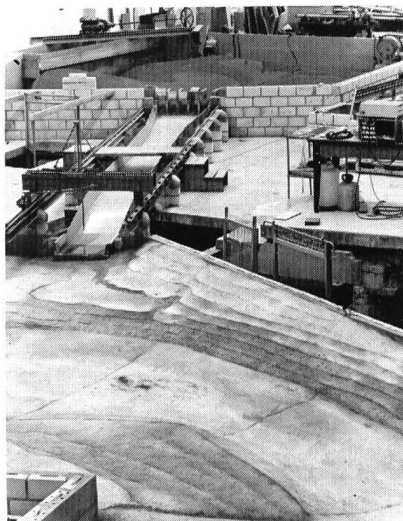
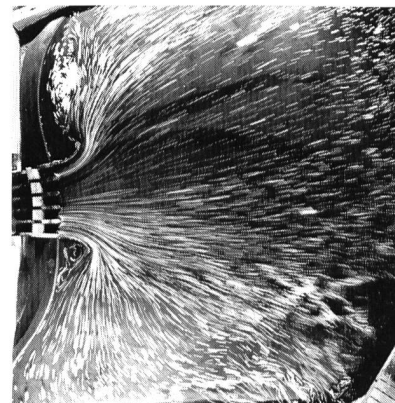


Bild 6. Hochwasserentlastungsanlage des Mosul-Dammes am Tigris in Irak im Massstab 1:100 nachgebildet. Gesamtansicht.

Bild 7. Mosul-Modell Draufsicht. Die oberwasserseitige Anströmung des Wehres der Hochwasserentlastung wird mittels schwimmender Konfettis sichtbar gemacht.



getan. Als anfragende Instanzen treten sowohl die öffentliche Hand, das heisst Bundesstellen und kantonale oder kommunale Verwaltungen, als auch kleine bis grössere private Ingenieurbüros auf. Auch ausländische Ingenieurfirmen oder Regierungsstellen (oft von Entwicklungsländern) nehmen die Dienste der Versuchsanstalt in Anspruch.

Hat sich bei einer ersten Diskussion und Problemdarlegung anhand von Plänen die Möglichkeit einer Untersuchung mittels eines physikalischen Modelles herauskristallisiert, wird ein Konzept für eine angemessene Studie seitens der VAW ausgearbeitet. Es kommt somit zum zweiten Schritt im Ablauf eines Forschungsauftrages: zur Offertstellung. Eine solche Offerte enthält neben einer summarischen Darstellung des Problems eine Beschreibung der Modellart, die Angabe des vorgesehenen Modellmassstabes und des nachgebildeten Ausschnittes des Prototyps sowie ein Untersuchungsprogramm für die Überprüfung des Projektes und die Ausarbeitung von Verbesserungsvorschlägen. Auf Grund des vorgesehenen Umfanges der Modellversuche muss der Einsatz der Mitarbeiter für Modellbau, Untersuchung und Auswertung sowie für die Berichterstattung und allenfalls für eine Übersetzung abgeschätzt werden. Mit Einheitspreisen, die sich mit dem SIA-Tarif B vergleichen lassen, werden die Personalkosten ermittelt; auch wird der Bedarf an Baumaterialien, Instrumentation sowie Foto- und Filmmaterial veranschlagt.

Parallel zu den Kosten wird auch der zeitliche Bedarf für Bau, Messung und Auswertung abgeschätzt. Aufgrund der Beschäftigungslage und des Belegungsplanes der Versuchshallen kann ein realistischer Zeitplan für die Abwicklung der Studie angegeben werden. Wie allgemein üblich, sichert sich die VAW das Publikationsrecht für die wissenschaftlich interessanten Ergebnisse.

Als zweckmässig hat sich die Begehung der Objekte vor Untersuchungsbeginn herausgestellt. Eine solche hat sich im Inland eingebürgert; sie sollte aber vermehrt auch für ausländische Aufträge vereinbart werden. Es ist wünschenswert, oft sogar notwendig, dass sich der Sachbearbeiter einer Modellstudie durch einen Besuch an Ort und Stelle ein genaues Bild über den Charakter eines nachzubildenden Flusses und dessen angrenzender Landschaft aneignen kann.

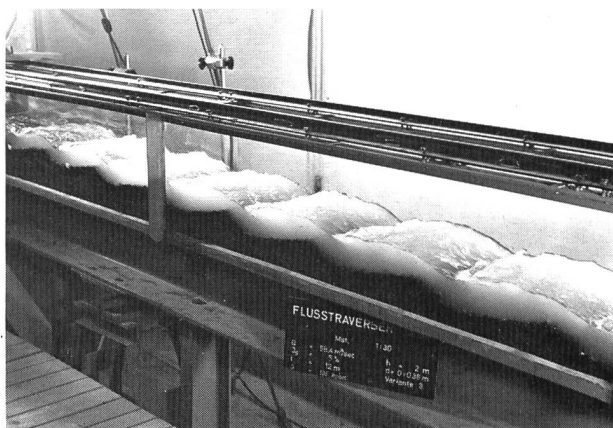


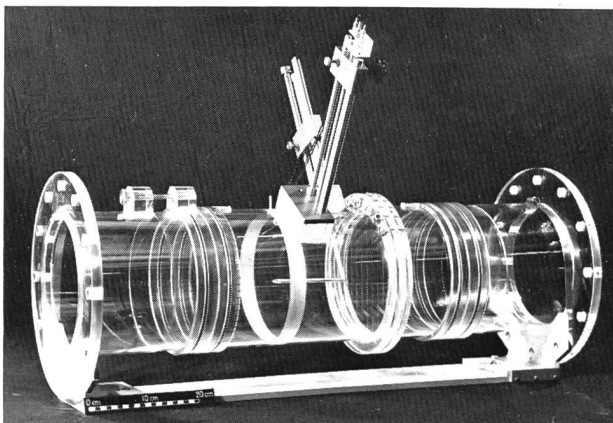
Bild 8. Mosul-Modell. Ausschnitt des Hochwasserentlastungsgerinnes. Abfluss einer Wassermenge von  $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$  (Natur) über den Skisprung am unteren Ende der Schussrinne.

Bild 9. Grundlagenforschung für natürliche Querswellen in Bächen und Flüssen: eine Schwellenfolge entzieht dem fließenden Wasser Energie. Bei gekonnter Anwendung dieses Prinzips kann zur Sohlenstabilisierung auf kostspielige und oft unschöne Absturzbauwerke verzichtet werden. Gesucht ist der Zusammenhang zwischen Wassermenge, Gefälle, Schwellenabstand und -höhe, Kornverteilung und Eintiefung zwischen den Schwellen. Publiziert in VAW Mtg. 6 und JAHR 73. Das Bild zeigt mit Fliessrichtung von links nach rechts einen Ausschnitt aus einer 30 cm breiten Forschungsrinne.

Bild 10. Anwendung von Querswellen im Dorfbach Egliswil: Die Schwellen sind aus natürlichen Materialien wie Bruchstein oder Holz hergestellt. Auch bei Niedrigwasser finden Fische Stellen, die nicht austrocknen. Was sich hier harmonisch und unauffällig in die Umwelt einpasst, beeinflusste bereits die Grundlagenforschung.

Bild 11. Transportabler Messquerschnitt für Rohrleitungen. Die Länge beträgt 1 m, der Innendurchmesser 240 mm. Anströmung von links. Diese Einrichtung erlaubt die Messung von Wasser-Luft-Zweiphasengemischen. Die einzelnen Sonden wurden an der VAW entwickelt. Die vordere, höhergestellte Sonde misst Gemischgeschwindigkeiten. Die hintere, tiefergestellte Sonde liefert örtliche Luftblasenkonzentrationen. Die schwach sichtbare Messharfe analysiert den gesamten durchströmten Querschnitt.

Diese Forschungsarbeit ermöglicht es heute, steile Kanalisationsleitungen hydraulisch sicher zu bemessen. Publiziert in VAW Mtg. 30/Diss. ETH 6104/gwa 11/78 / SIA Dok. 38, 1980 / Journal Multiphase Flow 1980.



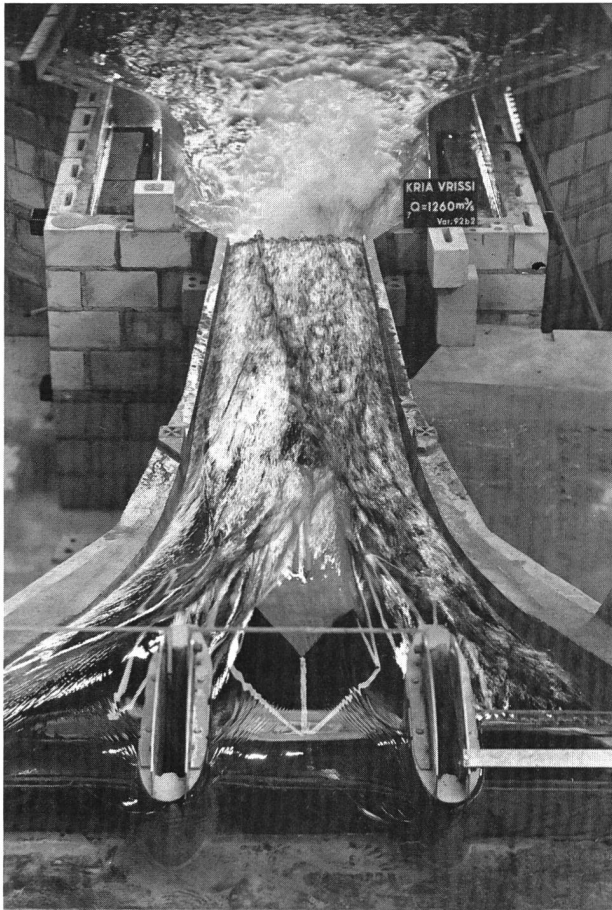
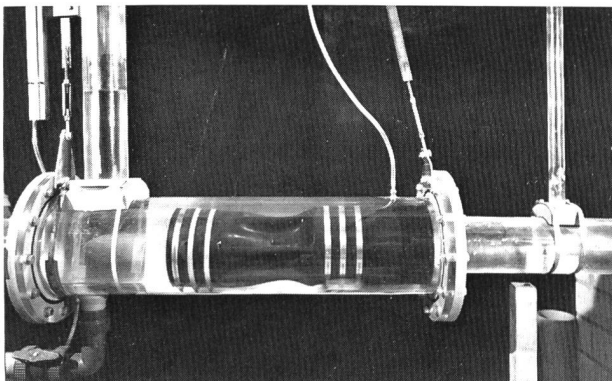


Bild 12. Stosswellen: Ändert die Kanalgeometrie eines steilen Gerinnes, so können durch Überlagerung Wellenkämme und -täler entstehen, die sich unter berechenbarem Winkel zur mittleren Fließrichtung ausdehnen. Schadenfälle durch Überfluten der seitlichen Kanalmauern waren nicht selten. Im Bild erkennt man das Hochwasserentlastungsgerinne einer Talsperre. Die seitliche Verengung führt zu Stosswellen. Durch Stosswellenkompensatoren in Form von Sohlenerhebungen versucht man die fortgesetzte Addition von Wellenkämmen zu verhindern.

Bild 13. Selbsttätige Schlauchdrossel: Trotz veränderlichem Wasserstand in einem Becken kann dessen Ausfluss praktisch konstant gehalten werden, wenn das Ausflussrohr auf eine kurze Strecke durch einen elastischen Schlauch ersetzt wird. Der Schlauch beult unter dem statischen Wasserdruck, wodurch sich die durchströmte Fläche verkleinert. Im Bild sind für eine Strömungsrichtung von links nach rechts zwei konzentrische Leitungen sichtbar. Die innere des Durchmessers 15 cm wird von 20 l/s Wasser durchströmt. Es bilden sich wegen des zusätzlich zwischen beiden Leitungen aufgebracht Druckes vier Beulen. Diese Schlauchdrossel wurde an der VAW erfunden und entwickelt und kann Nachfragelücken aus Abwasser- und Bewässerungstechnik schliessen. Publiziert Wasserwirtschaft 12/79.



Die Offerte liefert die Grundlage zum Auftragschreiben des Kunden an die VAW. Mit dem Baubeginn des Modelles an der VAW kann dann ein weiterer Schritt in der Auftragsabwicklung eingeleitet werden, allerdings nur, wenn alle notwendigen Unterlagen zeitgerecht geliefert werden.

Bereits die Planung des Modellbaus verlangt vom Ingenieur vielseitige, durch Erfahrung gewonnene Kenntnisse, damit mit dem gewählten Modellmasstab auch alle strömungstechnisch massgebenden Elemente und Geländeausschnitte optimal ausfallen. Die Nachbildung der Topographie und die zu überprüfenden Bauwerke bedürfen entsprechend dem Verkleinerungsfaktor grosser Präzision. Wie auf der Grossanlage in Natur, ist auch beim Modellbau eine echte und koordinierte Zusammenarbeit der Handwerker aller Fachrichtungen Voraussetzung für das gute Gelingen des Werkes.

Die Hauptaufgabe der Auftragsforschung, nämlich die Durchführung hydraulischer Versuche am geometrisch ähnlich nachgebauten Modell, besteht anschliessend im intensiven Überprüfen der projektierten Objekte, um diese gegebenenfalls durch geeignete Änderungen in ihrer Funktion zu verbessern. Dabei wird vorausgesetzt, dass sich die im Modell simulierten Abflussvorgänge naturähnlich abspielen. Dies geschieht dann, wenn gewisse bekannte physikalische Bedingungen bezüglich der auf die Flüssigkeit wirkenden Kräfte erfüllt sind. Für Modelle mit freier Wasseroberfläche und mit turbulenter Strömung, wie sie im wasserbaulichen Versuchswesen häufig, wenn auch nicht immer, anzutreffen sind, spielt das Froudesche Ähnlichkeitsgesetz eine dominierende Rolle. Zur Illustration können zwei aktuelle Untersuchungen herangezogen werden:

– Die Regulierung der Reuss am Ausfluss des Vierwaldstättersees in Luzern wird anhand eines Modelles des massgebenden Flussabschnittes mit umgebautem Reusswehr im Massstab 1:40 untersucht, und zwar mit positivem Resultat für die bisher von Überflutungen Betroffenen (Bild 3).

– Am Modell im Massstab 1:100 einer Hochwasserentlastungsanlage des 100 m hohen Mosul-Dammes am Tigris in Irak können die Abflusskapazität des Wehres, der Abflussvorgang in der Schusssrinne, das Abheben des Strahles vom sogenannten Skisprung sowie die Kolkbildung im Unterwasser geprüft werden (Bilder 6 bis 8).

Nach der Durchführung der Versuche, welche vom Ingenieur Beobachtungsgabe, Initiative, Kenntnis spezifischer Messmethoden sowie die Bereitschaft zur Teamarbeit verlangt, werden die Ergebnisse ausgewertet, auf ihre korrekte Grössenordnung kontrolliert, interpretiert und in Form eines ausführlichen Berichtes dem Auftraggeber übermittelt. Dieser mit einigem Aufwand redigierte technische Bericht enthält ein Konzentrat der mehrmonatigen Arbeit. Er ist von bleibendem Wert für Auftraggeber und Hochschulinstitut.

Schliesslich wird 2 bis 3 Monate nach Lieferung des Schlussberichtes, etwa zum Zeitpunkt der Rechnungstellung, der Kunde um die Erlaubnis zum Abbruch des Modelles angegangen.

Als letztes sei noch ein Wunsch an alle geschätzten Auftraggeber der VAW gerichtet. Leider nur selten werden nach Errichten des Bauwerkes in Natur Messungen am ausgeführten Objekt durchgeführt, die mit den Modellmessungen verglichen werden können. Solche Messungen hätten einen hohen wissenschaftlichen Wert, trügen zu einer perfektionierteren Arbeitsweise bei und sollten deshalb, nicht zuletzt zum Nutzen der Praxis selbst, vermehrt angeordnet werden.

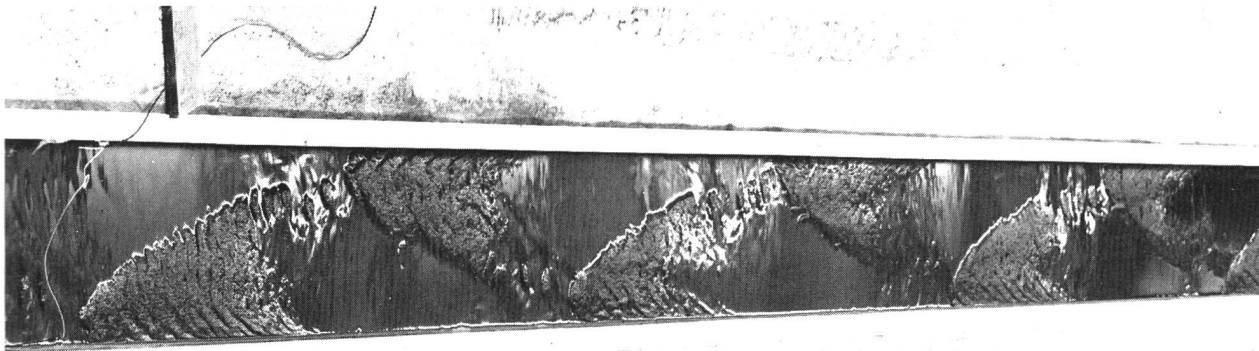


Bild 14. Alternierende Kiesbänke: In geraden Flüssen, wie etwa dem Rhein unterhalb Sargans (Schweiz), können wandernde Kiesbänke beträchtlichen Ausmasses entstehen. Die Folge ist eine Umlenkung und Einengung des Wassers. Gefahr droht durch seitliches Unterspülen der Flusssämme. Die dargestellte 25 m lange und 30 cm breite Rinne dient der Grundlagenforschung. Wesentliche physikalische Parameter sind: Wassermenge, Flussneigung und -breite sowie Korngrössen und -verteilung des natürlichen Geschiebes. Publiziert VAW Mtg. 36.

### Grundlagenforschung mit Anwendungsbezug

Wer anlässlich eines 50-Jahr-Jubiläums wie desjenigen der Abteilung Wasserbau an der VAW zur Ansicht gelangt, dass das Forschungsgebiet Wasserbau allmählich erschöpft sei, beantworte etwa folgende, immer wieder gestellte Fragen:

- Welche örtlichen Geschwindigkeiten und Druckschwankungen bewirken Wassermengen von über 10 000 m<sup>3</sup>/s, also dem Mehrfachen des Rheinabflusses bei Basel, welche im Extremfall über die Hochwasserentlastung einer Talsperre abfliessen werden?
- Welche Wechselwirkungen bestehen zwischen Sandkörnern oder Geröllklumpen und Wasser an der Sohle eines Flusses? Wann genau bilden sich einengende Kiesbänke oder gefährdende Kolkmulden?
- Wie verhalten sich eingeschlossene Luft und strömendes Wasser in Leitungen und Kanalisationsrohren?
- Wie baut man kostengünstige Fallschächte, ohne dass bei Starkregen die Deckel abgehoben oder Wartungsmannschaften gefährdet werden?
- Welche Wellen sind beim Niedergang von Lawinen oder Felsstürzen in Seen zu befürchten?

Solche Fragen stellen sich in Anlehnung an auszuführende Projekte. Für ihre Beantwortung ist eine immer fortschreitende Entwicklung nötig; die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind oft auch wissenschaftlich wertvoll.

### Anpacken des Forschungsthemas

Anpacken ist dann gefordert, wenn innert nützlicher Frist ein Problem anwendungsgerecht gelöst werden soll, ohne dass allein Wünsche und Neigungen der Forschenden den Ablauf der Arbeit bestimmen. Geht es, wie anhand der eingestreuerten Bilder veranschaulicht, etwa darum, Sohlenschwellen, Stosswellenkompensatoren, Grundwasserbrunnen, Verteilkanäle in Kläranlagen, Schwallwellen oder Wasser-Luft-Gemischströmungen allgemein und von Grund auf zu untersuchen, so wird sich erfahrungsgemäss das nachstehend in Stichworten gefasste Vorgehen ergeben:

- Auswahl des Forschungsthemas unter Berücksichtigung eigener Mittel und der Aktualität
- Auflistung der offenen Fragen
- Weitgefächertes Literaturstudium, Zusammenstellen und Ausweiten der Grundlagentheorie
- Programm zur Ermittlung repräsentativer Messdaten, Entwicklung von Messgeräten

- Eichung, Messung, Aufzeichnung
- Systematische Datenauswertung, Vertiefen der Theorie
- Schlussfolgerungen und Darstellung der Resultate in allgemeinverständlicher Form: Publikationen (die Erkenntnisse gelten im Gegensatz zur Auftragsforschung nicht nur für ein Einzelobjekt)
- Abwarten der Reaktionen der Anwender und eventuell Ergänzungsuntersuchungen

### Der Anwendungsbezug stellt erhöhte Anforderungen

Wie bei jeder Forschung sind die Ziele klar zu setzen; Kosten und Zeitbedarf bleiben wichtige Randbedingungen. Der Doktorand oder der wissenschaftliche Ingenieur hat sich oft in Wissensgebiete einzuarbeiten, die nicht in sein Grundstudium als Bau- oder Kulturingenieur gehören. Diese können sein: Messtechnik, Verfahrenstechnik, Maschinenwesen, technische Chemie und Geologie, Vertiefung in Mathematik, Computerwesen und Physik, aber auch Erfahrungen über Projektierung, Unternehmung, Betrieb und Unterhalt auch in Entwicklungsländern. Nutzbare Forschungsergebnisse auf dem spezialisierten Gebiete des Wasserbaus müssen häufig durch universelle und interdisziplinäre Arbeitsweise erkämpft werden. Hilfsmittel wie Computerprogramme oder eine stark theoretisch orientierte Hydraulik dürfen nicht zum Selbstzweck werden. Theoretische Betrachtungen sind wohl immer Bestandteil der Untersuchungen, eine Arbeit ist aber als unfertig anzusehen, wenn Auswertungen und Schlussfolgerungen nicht in eine anwendbare Form gebracht werden können. Diese Zielsetzung führt dazu, dass Dissertationen kaum unter drei Jahren fertiggestellt werden können und auch dies nur bei intensiver Weiterbildung und fachlicher Betreuung des Doktoranden.

Nicht zuletzt dank des intensiven Bemühens um einen fruchtbaren Dialog zwischen den Forschern und Ingenieuren und den Technikern der VAW und den Ingenieuren und Technikern aus der Praxis war es möglich, dass heute – nach 50 Jahren – die VAW und ihr Versuchslabor einen guten und soliden Namen hat, den es von neuem immer wieder zu erarbeiten gilt.

Adresse der Verfasser: *André Chervet*, dipl. Bauing. ETH, Chef der Abt. Wasserbau, und *Peter Volkart*, Dr. sc. techn. Bauing. ETH/Sia, stv. Chef Abt. Wasserbau, VAW, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, Gloriastrasse 37–39, 8092 Zürich.