

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Aigner, Detlef; Herbert, Martin**

## **Meßwerterfassung im Hubert-Engels-Labor im Wandel der Zeit**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104063>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Aigner, Detlef; Herbert, Martin (1998): Meßwerterfassung im Hubert-Engels-Labor im Wandel der Zeit. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): 100 Jahre Hubert-Engels-Laboratorium - Hydraulische und numerische Modelle im Wasserbau, Entwicklung-Perspektiven. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 13. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 153-163.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## **Meßwerterfassung im Hubert-Engels-Labor im Wandel der Zeit**

### **Kurzfassung**

Die Forschungsergebnisse an physikalischen Modellen sind Spiegelbild der eingesetzten Meßtechnik und der damit erzielten Meßergebnisse. In der letzten 100 Jahren entwickelte sich die Meßtechnik auf dem Niveau des technischen Fortschrittes. Wenn Engels Erkenntnisse vor allem auf Beobachtungen beruhten und seine ersten Meßgeräte die damaligen technischen Möglichkeiten der Fein- und Präzisionsmechanik nutzten, wurden Anfang des Jahrhunderts bereits die Möglichkeiten der Foto- und Elektrotechnik z.B. zur Dispersions- und Geschwindigkeitsmessung (Durchleuchtung, Teilchenbewegung, Hitzdrahtmessung, Flügelmessung) genutzt. Heute kommen in der Meßtechnik eine Vielzahl von Sensoren zum Einsatz, wobei in den letzten Jahren vor allem die Ultraschall- und Lasermeßtechnik im Wasserbaulichen Versuchswesen eingeführt wurden. Mit Hilfe der Computertechnik und der Miniaturisierung in der Technik ist man heute in der Lage, immer neue Sensoren einzusetzen, Versuche automatisch zu betreiben sowie zehntausende Meßwerte in kürzester Zeit simultan an verschiedenen Standorten aufzunehmen, zu speichern und auszuwerten.

### **Measuring Techniques in the Hubert-Engels-Laboratory in the course of time**

#### **Abstract**

The research results of physical models are a reflection of measurement instruments and the results of measurements. In the last 100 years the measurement techniques have developed with the progress in technology. Engels' scientific discoveries were mainly the result of observations. His measurement instruments give an idea of the technical potential of that time. The precision instruments used only mechanical principles. The photographic and electrical methods came up at the beginning of century, being useful for measurements of velocity and dispersion.

Today there are many instruments applied for measurements. A considerable step ahead in the last few years was the development of ultrasonic and laser measurement techniques in the field of hydraulic engineering. Together with the computer technology we are able to employ in many kinds of sensors, to run tests automatically and to measure a huge amount of data.

## 1 Geschichte

„Wissenschaft und Kunst des Wasserbaues sind auf Beobachtungen und Erfahrungen aufgebaut...“ beginnt Hubert Engels 1900 seinen Artikel über das Flußbau-Laboratorium der Königlich Technischen Hochschule in Dresden [1]. Seine ersten Erfahrungen mit Modellversuchen sammelte er an einer 6m langen, neigbaren Zinkblechrinne von 40 cm Breite und 10 cm Höhe in der damaligen mechanischen Abteilung. Diese wurde ihm mit Antritt seines Lehramtes 1890 zur Verfügung gestellt. Die Rinne wurde aus einem Hochbehälter gespeist und das Wasser mit Hilfe eines Eichbehälters gemessen. Neben seinen Untersuchungen über den Schutz von Strompfeiler-Fundamenten gegen Unterspülung nutzte er diese Versuchsrinne vor allem für seine Vorlesungen zur Anschauung und Demonstration. Er erkannte die Notwendigkeit, in Ergänzung der Lehrveranstaltungen einer größtmöglichen Zahl von Studierenden anschauliche Versuchen in einem Laboratorium zu demonstrieren. „Der Studierende soll in ihm zum Selbstsehen und Selbstbeobachten ... angeleitet werden, nachdem er im Hörsaal erfahren hat, auf welchem Wege gewisse Theorien entstanden sind, ... nachdem er die Lückenhaftigkeit so mancher Rechnungsunterlage erkannt hat und somit zur Einsicht gelangt ist, daß eine gesunde Erweiterung der wissenschaftlichen Grundlagen eines Faches nur durch Vermehrung von Beobachtungen zu erwarten ist.“

Mit einer 13,4 m langen, 2 m breiten und 0,4 m hohen kippbaren verzinkten Rinne als Hauptversuchseinrichtung konnte er dann 1898 sein eigenes Flußbaulabor einweihen. Da er durch die bauliche Anlage eingeengt war, erkannte er bereits bei der Errichtung dieser Versuchsrinne die Grenzen der Untersuchungsmöglichkeiten insbesondere für Flußbaumodelle. Die Wassermenge von maximal 30 l/s wurde mit Hilfe einer Kreiselpumpe zwischen Hoch- und Tiefbehälters im Kreislauf gefördert. Durch den Abzweig der durchfließenden Wassermenge mit einer verschiebbaren Rinne in einen zylindrischen gußeisernen Behälter von 1000 Liter erfolgte die Eichung (Bild 1 links). Mit zwei pendelnd aufgehängten Zinkblechtrichtern am Zulauf erfolgte die Zugabe des Sandes der durch einen Sandfang am Gerinneende mit eingebauten lotrechten Stegen wieder aufgefangen und gleichzeitig gemessen wurde. Die Rinne lagerte oben auf Kipplagern und konnte am Ende über zwei Hebeschrauben angehoben bzw. abgesenkt werden. Im Punkt Messungsvorrichtungen schreibt Engels: „Da die Abmessungen des Gerinnes nur einen im Verhältnis zu den in der Natur vorkommenden Größen sehr kleinen Maßstab der Versuche gestattet, so war für alle Messungsvorrichtungen die größte Schärfe und Genauigkeit notwendig.

Bei den Versuchen handelt es sich um folgende Messungen:

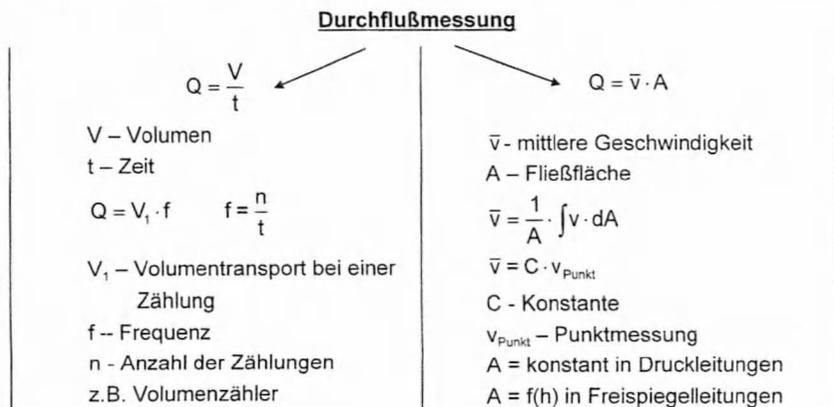
1. Messung der durchfließenden Wassermenge,
2. Bestimmung der Menge des abgeführten Sandes,
3. Aufnahme von Querschnitten,
4. Messung des Wasserspiegelgefälles.“

Mit der Fertigstellung des Bauingenieurgebäudes 1913 in dessen Kellerräume Engels sein neues Labor einrichten konnte, verwirklichte er seine Vorstellungen von einem Flußbaulaboratorium. Die neue Flußbaurinne wurde 30 m lang und mit Kammern und Zweigleitungen zur Simulation von Ebbe und Flut ausgerüstet. Gleichzeitig wurde eine 34,5 m lange hydraulische Rinne errichtet. Der geschlossene Wasserkreislauf bestehend aus dem Tiefbehälter mit etwa 100 m<sup>3</sup> Wasser, den Kreispumpen mit maximal 200 l/s Wasserförderung, dem Hochbehälter und den Versuchsrinnen endete in einem Meßgerinne mit Beruhigungsstrecke, Dreiecküberfall und volumetrischer Eichung. Diese Anlage ist heute noch Bestandteil unseres Labors (Bild 1 rechts). Die Nutzung des Tiefbehälters als Schleppkanal zur Eichung von Meßgeräten mit Hilfe des Portalkranes konnten wegen der ruckartigen Kranbewegung nur eingeschränkt realisiert werden.

## 2 Vergleich ausgewählter Meßverfahren

### 2.1 Durchflußmessung

Ausgehend von der Berechnung des Durchflusses können generell zwei Arten der Durchflußmessung unterschieden werden. Einerseits die Messung des Volumens pro Zeiteinheit bzw. die Volumenzählung (Wasserzähler) und andererseits die Messung der mittleren oder einer bestimmten Fließgeschwindigkeit multipliziert mit der Fließfläche.



Die volumetrische Messung zählt zu den ältesten und genauesten Möglichkeiten zur Ermittlung des stationären Durchflusses. Bild 1 links zeigt den Eichbehälter aus Engels erstem Labor, daneben die noch heute funktionierende Eicheinrichtung unseres Labors. Mit der volumetrischen Messung werden heute kleine Abflüsse ermittelt oder neuartige Durchflußmeßgeräte geeicht.

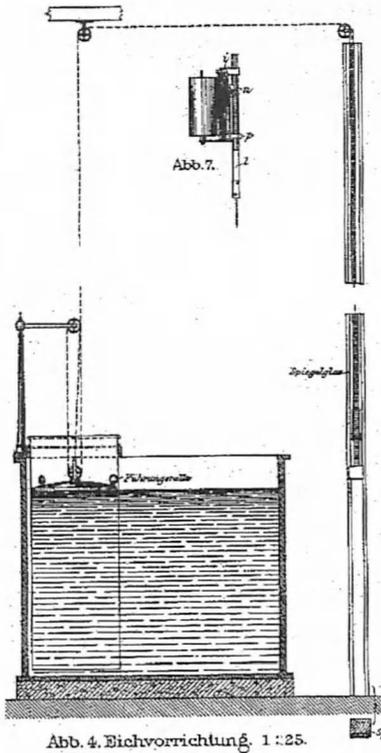


Abb. 4. Eichvorrichtung. 1:25.

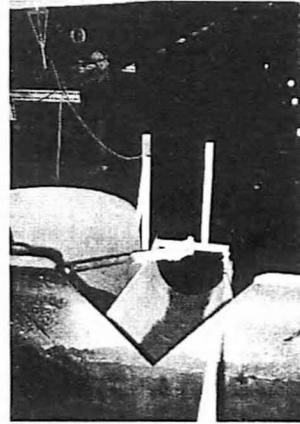


Bild 1: Durchflußmessung mit Eichbehälter, Schwimmer, Schreibpegel und Zeitmessung

links:  
Meßeinrichtung vor 100 Jahren

rechts:  
funktionstüchtige Durchflußmessung  
von 1913 mit Dreiecküberfall, Schwenk-  
rinne und Eichbehälter zur volumetri-  
schen Eichung

## 2.2 Schubspannungsmessung

Engels „Versuche über den Reibungswiderstand zwischen strömendem Wasser und Bettsohle“ [1] verdeutlichen sein Interesse an diesem Problem. Seine Versuchsauswertungen zeigen aber auch, daß es noch viele offene Fragen zur Lösung dieser hydraulischen Aufgabe gab. Interessant ist die Anwendung einer prinzipiell mit heutigen Geräten identischen Meßeinrichtung. Damals mit komplizierter Hebel- und Waagetechnik ausgestattet, erfolgt heute die Erfassung der Verschiebung einer auf Federn gelagerten beweglichen Platte mittels berührungslosen Abstandssensoren. Die Auswertung der Versuchsergebnisse von Engels 1912 zeigt deutlich sowohl den Einfluß der Rauigkeitserhöhung als auch den Geschwindigkeitseinfluß. Er kommt richtig zu dem Schluß, daß die Reibungsspannung proportional der Geschwindigkeit ins Quadrat sein muß und deren Verhältnis den Reibungseinfluß wiedergibt.

$$\tau = C_R \cdot v^2 \quad (1)$$

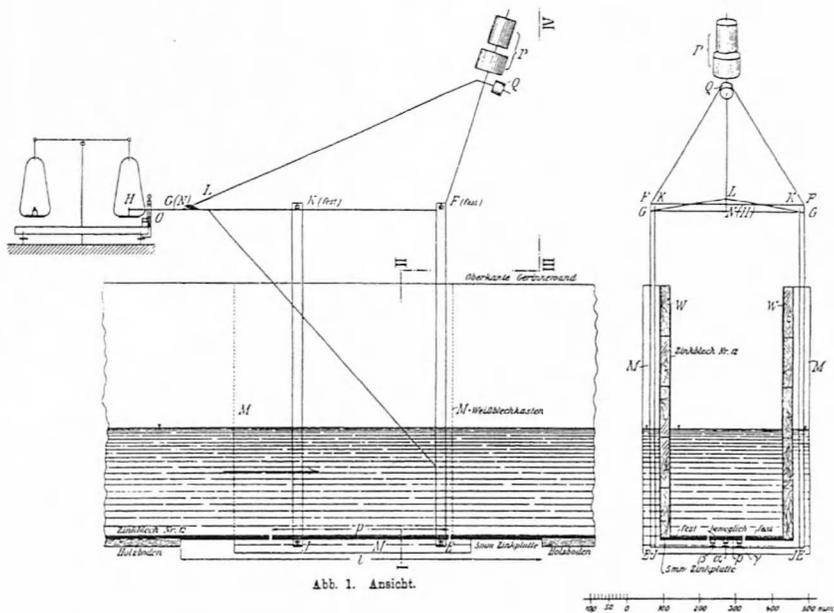


Bild 2: Schubspannungsmeßgerät von Engels 1912 [2]

Das folgende Balkendiagramm zeigt die Berechnung des Manning-Strickler-Beiwertes aus den Versuchen von Engels. Gut erkennbar sind die guten Übereinstimmungen der Meßergebnisse bei rauher Sohle und die erheblichen Schwankungen im glatten Bereich bei relativ kleinen absoluten Meßwerten.

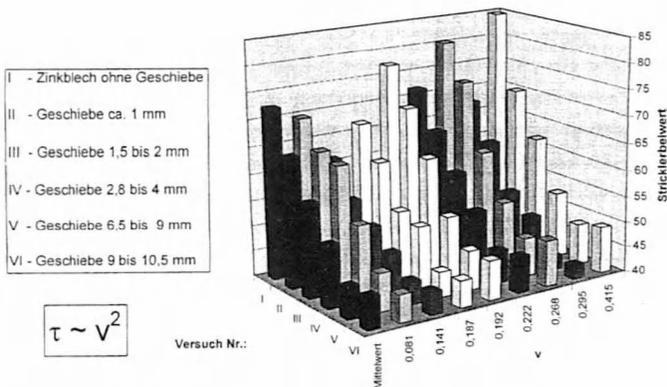


Bild 3: Auswertung der Schubspannungsversuche von Engels 1912 [2]



Für das Vermessen des Profils ohne Wasser ist das Ausgangssignal direkt proportional dem Abstand zwischen Sensor und Meßpunkt auf der Sohle. Befindet sich der Meßpunkt im Wasser, wird die Brechung durch das Wasser wirksam. Das Ausgangssignal ist nun von der Höhe der Sender/Empfängereinheit von der Wasseroberfläche abhängig. Gleichung (2) zeigt den Zusammenhang zwischen Winkel und Abstand der Sender/Empfängereinheit von der Wasseroberfläche.

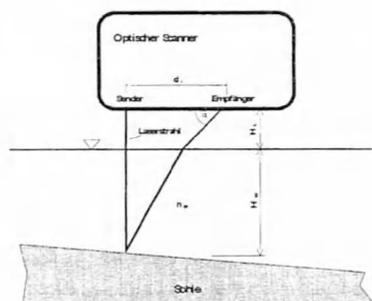


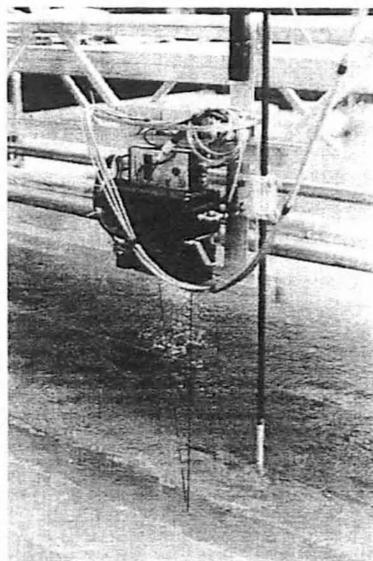
Bild 5: Profilmessung mit Hilfe optischer Triangulation

$H_W$  = Höhe Wasser über Sohle

$H_L$  = Höhe Sensor über Wasser

$d_L$  = Abstand Sender/Empfänger

$\alpha$  = Reflektionswinkel



$$H_W = \sqrt{\frac{\left[ n_W \left( d_L - \frac{H_L}{\tan \alpha} \right) \right]^2}{\sin^2(90^\circ - \alpha)}} - \left( d_L - \frac{H_L}{\tan \alpha} \right)^2 \quad (2)$$

Im Bild 5 ist eine Kombination zwischen Profilmessung mit Hilfe der optischen Triangulation, eine Wasserstandsmessung durch den Einsatz eines Ultraschallsensors und eine Strömungsgeschwindigkeitsmessung mittels Micro - Meßflügel dargestellt. Alle drei Meßgeräte befanden sich auf einer 9m langen verfahrbaren Leichtbaubrücke.

### 3 Anwendung moderner Meßtechnik im Hubert-Engels-Labor

Die rasante Entwicklung im Bereich der mikroelektronischen Systeme in den letzten Jahren hat die Meßtechnik im wasserbaulichen Versuchswesen von der Sensorik bis zu den Meßwerterfassungssystemen mit online Verrechnung und Darstellung zu einer neuen Qualität geführt. Auch am Institut für Wasserbau und

Technische Hydromechanik der TU Dresden ist diese Entwicklung nachvollziehbar.

### **Einige Beispiele:**

#### *Datenlogger*

Für die Gewinnung von Naturmeßdaten werden seit einigen Jahren mobile Daten – Erfassungsgeräte mit großer Speichertiefe an unserem Institut eingesetzt. Insbesondere bei ereignisabhängigen Meßdatenerfassungen werden diese Systeme so programmiert, daß die Meßwernerfassung von einer zuvor definierten Meßwertschwelle einer bestimmten Meßgröße oder in Kombination mit anderen Meßgrößen gestartet wird.

Die erste elektronische Meßdatenerfassung für Naturmeßwerte wurde 1987 im Hubert - Engels - Labor entwickelt und an der Talsperre Kelbra eingesetzt. In Abhängigkeit von einer definierten Windgeschwindigkeit wurde die Wellenhöhe, die Windrichtung, die Windgeschwindigkeit in drei verschiedenen Höhen, die Uhrzeit und das Datum aufgezeichnet. Als Daten - Massenspeicher diente damals ein handelsübliches Tonbandgerät, welches für eine digitale Aufzeichnung umgebaut wurde.

Die Aufzeichnungsgeschwindigkeit lag bei 400 bit pro Sekunde.

Zur Zeit erfolgt eine Meßdatenerfassung mit mobilen Datenloggern an den Senftenberger Seen. Hier erfolgt die Datenablage in einem batteriegestütztem RAM (Random Access Memory). Die hier Vorort unkompliziert gespeicherten Daten, werden in größeren Zeitabständen auf einen Laptop übertragen und auf einfachste Weise einer Auswertung zugeführt.

Eine andere Möglichkeit die Daten aus dem Meßwertspeicher auszulesen, besteht in der Übertragung per Modem über eine Telefonverbindung. Diese Variante der online-Übertragung wurde am Institut für ein Drehbogen - Pilotprojekt im Dresdener Abwassernetz eingesetzt. Hier wurden neben der Abfrage des Meßwertspeichers auch der augenblickliche Zustand der Betriebsparameter der Anlage übermittelt.

Für Druckstoßuntersuchungen an PE - Rohrsystemen im Raum Oschatz und Halle wurden 1993 mobile Meßwernerfassungstationen entwickelt, die sich von handelsüblichen Datenloggern unterscheiden. In der Regel werden mobile Datenlogger mit relativ geringen Meßwertabstraten benötigt. In diesem Fall mußte die Abstrate sehr hoch gewählt werden, um die beim Druckstoß induzierte Druckspitze zu erfassen. Eine weitere Besonderheit bestand darin, daß alle Stationen die im Rohrsystem über mehrere Kilometer verteilt waren, zeit-synchron ihre Meßwernerfassung durchführen. Neben dem Verlauf der Druckspitze wurde simultan zur Druckmessung eine mögliche Änderung des Rohrdurchmessers aufgezeichnet.

Konkret wurden diese Meßwernerfassungstationen mit folgenden Leistungsparametern ausgestattet:

- Max. Abtastrate 55 kHz je Meßwerterfassungskanal,
- Erfassung des Druckes und des Rohrdurchmessers,
- Speichertiefe 400 000 Meßwerte,
- Speicherdauer mit max. Abtastfrequenz 7,2s,
- Synchronisierung der Zeitbasen kurz vor der Meßdurchführung ,
- Synchronstart aller Stationen über wählbare Startzeit ,
- Netzunabhängiger Betrieb,
- Auslesen der Meßwerte durch Laptop.

Aus den Praxiserfahrungen und durch die neuen technischen Möglichkeiten wurden noch einige Verbesserungen am System vorgenommen. So erübrigen Funkuhren die Synchronisation der Zeitbasen. Der Speicherinhalt wird unmittelbar nach dem die Messung beendet wurde auf einer Flash Card (4 Mb ca. 2 Mio Meßwerte) geschrieben. Die Meßwerte müssen somit nicht mehr mit einem Laptop unmittelbar nach der Messung ausgelesen werden.

Ein letztes Anwendungsbeispiel für den Einsatz von Datenlogger zeigt Bild 6. Hier wurden zeitgleich an verschiedenen Schächten eines 1200 mm Abwasserkanals während eines Spülstoßes der Wasserstand, die Geschwindigkeit und die Zeit aufgezeichnet. Die nachfolgende Datenauswertung ermöglichte neben der Bewertung der zeitlichen Abflußverläufe auch die Ermittlung der Laufzeit der Schwallwelle eines Spülstoßes.

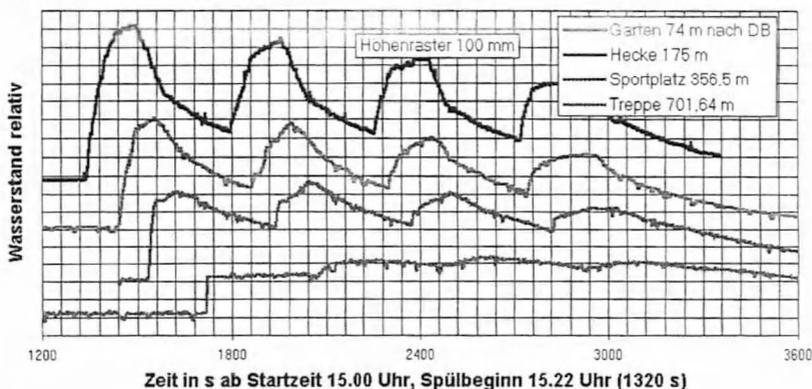


Bild 6: Schwallspülung Drehbogen im ca 7 Minuten Intervall am 5.4.95

### *Geschwindigkeitsmessungen*

Die Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit mit Hilfe eines Meßflügels gehört zu den bekanntesten und einfachsten Meßmöglichkeiten im Wasserbau. Die damit verbundenen Vor- und Nachteile sind hinlänglich bekannt.

Mit der Entwicklung der Laser-Doppler-Velocimetry wurde es möglich, die Strömungsgeschwindigkeit berührungslos zu messen. Damit ist die Erfassung

der Turbulenz als statistische Größe und eine bessere und genauere Geschwindigkeitsmessung möglich.

Auch am Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden werden ein- und zweidimensionale LDV-Anlagen eingesetzt. Mit relativ geringem Aufwand ist auch eine 3D Analyse möglich.

Wie bei allen Meßgeräten sind natürliche Grenzen auch bei der Laser - Meßtechnik zu verzeichnen. So muß das Medium transparent sein und sollte einen Grenzwert des Wasser - Luft - Gemisches nicht überschreiten. In offenen Gerinnen ist eine Messung nur durch den Einbau von Fenstern in der Sohle oder/und an den Rändern möglich.

Nicht überall besteht die Möglichkeit, diese LDV-Technik einzusetzen. Deshalb wurden für Modellversuche und in situ-Messungen moderne Micro-Meßflügel, Ultraschall- und auch magnetisch induktive 1D- und 2D-Sonden angeschafft.

Die bisher beschriebenen Meßverfahren können die Geschwindigkeitswerte nur Punkt für Punkt ermitteln. Eine zeitgleiche räumliche Erfassung der Strömungsstruktur ist mit Hilfe der Partikel Image Velocimetry (PIV) möglich. Dieses Meßverfahren erfaßt die Strömungsprozesse flächenhaft. Alle Geschwindigkeitsinformationen werden zeitgleich in einer definierten Ebene (Laserschnitt) mit Foto- oder Videotechnik aufgenommen und ausgewertet.

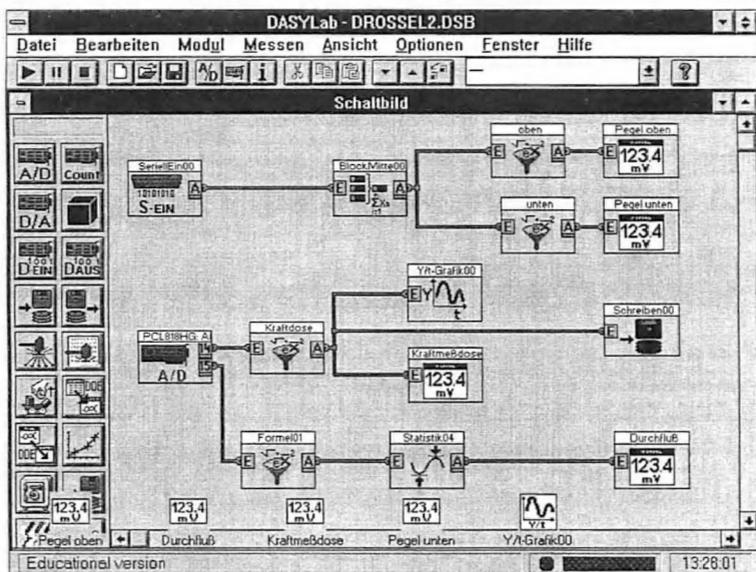


Bild 7: Schaltbild zur Aufnahme (seriell bzw. analog-digital), Verarbeitung, Speicherung bzw. Anzeige von elektrischen Meßgrößen.

### *Datenerfassung und Auswertung*

Die Möglichkeiten der Computertechnik gestatten heute die Automatisierung von Meßprozessen und die quasi zeitgleiche Erfassung vieler Meßsignale. Als Sensoren werden vor allem Geräte zur Messung von Druck und Wasserstand, Geschwindigkeit, Durchfluß, Kräfte, Abstände, Schwingungen und Schall, Temperaturen, Trübungen, Konzentrationen, Leitfähigkeit, Richtungen und Umdrehungen eingesetzt. Wichtig für eine genaue Messung sind die Kalibrierung der elektrischen Signale bzw. die Verwendung von Referenzsystemen, die Vermeidung von Fehlmessungen durch Störgrößen, Plausibilitätskontrollen und die fachgerechte Deutung der Meßergebnisse. Die Auswertung der Meßergebnisse übersteigt meist erheblich den Zeitaufwand der Messung. Hilfsmittel zur Vereinfachung der Meßwertaufnahme und deren Auswertung bieten Labormeßprogramme wie z.B. DASyLab (Bild 7), Lab-View, Lab-Windows oder DIAdem die auf der Basis von Programmiersprachen wie C, C++, Visual C++ oder Visual Basic aufgebaut sind.

## **4 Literaturverzeichnis**

- [1] Engels, H. : Das Flußbau-Laboratorium der Königlich Technischen Hochschule in Dresden. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1900
- [2] Engels, H. : Versuche über den Reibungswiderstand zwischen strömendem Wasser und Bettsohle. Verlag von Wilhelm & Sohn, Berlin 1912
- [3] Engels, H. : Modellversuche über den Einfluß der Form und Größe des Kanalquerschnittes auf den Schiffswiderstand. Verlag von Wilhelm & Sohn, Berlin 1898
- [4] Lützner, K.; Barth, M.; Aigner, D.; Cherubim, C.: Integrationsmessung – Drehbogen Pilotprojekt Dresden-Leuben. Forschungsbericht TU Dresden Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft und Institut für Wasserbau und THM, 1995 unveröffentlicht

Anschrift der Verfasser:

Dozent Dr.-Ing. habil. Detlef Aigner und Dipl.-Ing. Herbert Martin  
TU Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik  
01062 Dresden  
e-mail: aigner@bbbrs5.bau.tu-dresden.de  
<http://www.tu-dresden.de/biwiwth/welcome.htm>

