

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 77 (1985)  
**Heft:** 7-8

**Artikel:** Die Bearbeitung von Projekten für Wassermess- und -regelanlagen : aus der Sicht des projektierenden Ingenieurs  
**Autor:** Schlitter, Heinrich / Lier, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940945>

#### **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:** 22.02.2026

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

# Die Bearbeitung von Projekten für Wassermess- und -regelanlagen

Aus der Sicht des projektierenden Ingenieurs

Heinrich Schlittler und Peter Lier

## 1. Einleitung

Der Ingenieur, der Wassermess- und -regelanlagen projektiert, betreut diese von den ersten Projektstudien bis zur Inbetriebnahme und oft auch noch während des Betriebes. Er sieht sich dabei mit vielfältigen und interessanten Aufgaben aus den verschiedensten Fachbereichen konfrontiert.

Während früher meist einfache und robuste elektromechanische Geräte für die Messung und Anzeige von Wasserständen und Wehrstellungen genügten, werden heute vermehrt auch komplexe elektronische Einrichtungen und auch Prozessrechner für die Messung, Überwachung, Steuerung und Regelung von Anlagen des Wasserhaushaltes eingesetzt.

Die nachfolgenden Ausführungen entsprechen weitgehend der Meinung der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (NOK) und basieren vor allem auf Erfahrungen mit Neu- und Umbauprojekten von Kraftwerksanlagen. Sie sind aber auch sinngemäss auf andere Projekte der Wasserwirtschaft übertragbar.

## 2. Gliederung des Projektierungsablaufes

Die Projektierungsaufgabe ist zu definieren. Dies erfordert zuerst eine Bestandesaufnahme. Die Beschaffung der Grundlagen kann sehr aufwendig sein, ist aber unbedingt erforderlich.

Die Situation ist zu analysieren, und als Folge davon sind die Ziele zu formulieren. Dies äussert sich im Betriebskonzept und in der Strukturierung der Leittechnikanlagen.

Es folgt ein Projektentwurf. Die Lösungsmöglichkeiten sind zu studieren, was eine gute Kenntnis des Marktes erfordert. Das Pflichtenheft ist möglichst umfassend auszuarbeiten. Die Phase der Projektausschreibung umfasst die Offerteinholung und die Offertauswertung. Eine sorgfältige Auswahl der Anbieter ist von Vorteil, sind doch die Gespräche und Verhandlungen sehr zeitaufwendig.

Bei der Projektrealisierung fallen vielfältige Detailarbeiten an

- Auftragerteilung
- Projektkoordination mit verschiedensten Instanzen und Lieferanten
- Auftragsbegleitung, Überwachung der Lieferanten
- Beurteilung der gewählten Lösungen
- Werkabnahme bei den Lieferanten
- Montage und Inbetriebsetzung

Nach Inbetriebnahme ist die Anlage auf korrekte Einhaltung des Pflichtenheftes zu kontrollieren. Besonders bei Regelanlagen ist die Erfüllung der Regelbedingungen durch Versuche und genaue Beobachtung zu kontrollieren.

Während des ganzen Projektablaufes ist eine intensive Zusammenarbeit der verschiedenen Fachabteilungen erforderlich.

## 3. Betriebskonzept

In Zusammenarbeit durch Bauingenieur, Maschinen-, Elektro- und Betriebsingenieur ist ein Betriebskonzept zu erstellen.

Damit sind klare Vorstellungen über den Betrieb der hydraulischen Anlage zu erarbeiten. Ist zum Beispiel ein durchgehender Schichtbetrieb oder zeitweise unbemann-

ter Betrieb vorgesehen? Dies beeinflusst den Automatisierungsgrad der Anlage.

Die Konzessionsbedingungen und die Erfahrungen des Betriebspersonals bei der Erneuerung bestehender Anlagen sind zu berücksichtigen. Mit benachbarten Betreibern (Ober- und Unterlieger) ist der Betrieb zu koordinieren.

## 4. Leittechnik-Struktur

Die Leittechnik kann wie folgt strukturiert werden:

- Automatisierungsgrad
- Messanlagen
- Steuerung
- Schutz
- Überwachung
- Regelung
- Anordnungsplanung
- Übertragungsmittel
- Kommunikationsmittel

### 4.1 Automatisierung

Es ist der Automatisierungsgrad der Anlagen aufgrund betrieblicher und wirtschaftlicher Überlegungen festzulegen

- für die Abflussbewirtschaftung und Wasserstandsregelung von Kraftwerken und Stauräumen
- für die Wasserdotierung von Flüssen
- für Wasserfassungen und Entsanderanlagen
- für das An- und Abfahren sowie den Betrieb von Maschinensätzen.

### 4.2 Messanlagen

Es sind die erforderlichen Messgrössen zu bestimmen wie

- Wasserstände
- Zuflussmengen
- Abflussmengen
- Stellung von Maschinenverschlüssen und Sicherheitsorganen
- Stellung von Wehrverschlüssen, Grundablässen, Dotierschiebern u.a.

Der Messbereich und die erforderliche Messgenauigkeit dieser Messgrössen sind festzulegen.

Die Art der elektrischen Messsignale ist zu bestimmen

- Inkrement- oder Absolutwert
- Digital- oder Analogwert

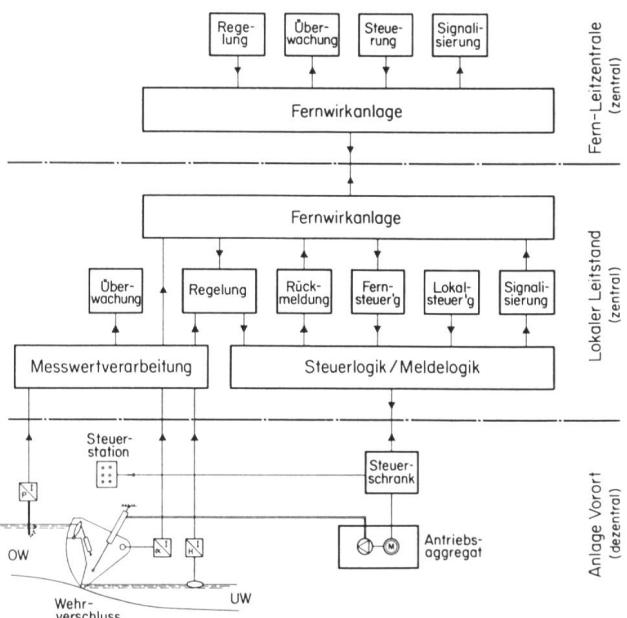


Bild 1. Anordnungsplan, Blockschema.

#### 4.3 Steuerung

Die Steuerhierarchie ist festzulegen.

- Was soll gesteuert werden?
- Wer steuert diese Anlageteile?
- Wo werden diese gesteuert?
- Wie erfolgt die Steuerung?

Es sind möglichst autarke Funktionseinheiten zu bilden, so dass bei einem Ausfall einzelner Anlageteile nicht gleich die Gesamtanlage ausfällt, sondern die Anlage mindestens teilweise steuerbar bleibt.

Der Überwachungsgrad ist für die Steuerung festzulegen. Laufmeldungen, Endlagemeldungen, Zustandsmeldungen usw.

#### 4.4 Schutz

Die Art der Schutzeinrichtungen ist zu bestimmen für die Antriebe und zum Schutz der Anlage vor unzulässigen hydraulischen Zuständen wie

- Unter- und Überschreiten von Niveaus in Stauräumen, Ausgleichsbecken, Wasserschlössern usw.
- extreme Druckstöße und Durchflussveränderungen in Druckleitungen (Rohrbruchschutz usw.)
- Verstopfung von Rechenanlagen

Wo sollen die Schutzeinrichtungen eingreifen? Wir sind der Auffassung, dass diese unmittelbar auf das zu steuernde Organ einwirken sollen, unabhängig von Automatikeinheiten.

Es sind Vorkehrungen gegen Fehlbedienung zu treffen, wo diese gravierende Folgen haben kann.

Die Befehle durch die Automatikeinheiten sind zu überwachen und rechtzeitig durch Schutzeinrichtungen wegzuschalten.

Dem Überspannungsschutz ist speziell bei elektronischen Anlagen in der Wasserwirtschaft die nötige Beachtung zu schenken. Ohne einen gut konzipierten Überspannungsschutz kann auch die beste Anlage bei Gewittern ihren Dienst versagen.

Den Erdungsverhältnissen ist die nötige Beachtung zu schenken. Bei Kraftwerken sind oft Abriegelungen von ausserhalb des Erdungsbereiches liegenden Anlageteilen erforderlich.

#### 4.5 Überwachung

Es ist festzulegen, welche Werte wo und auf welche Art anzuzeigen und zu registrieren sind.

Das Signalisierungskonzept ist festzulegen, und es ist zu bestimmen, welche Werte wo zu protokollieren sind.

Ist eine Darstellung mit Bildschirm verlangt, so ist genau festzulegen, welche Darstellungen gefordert werden.

Ist eine Überwachung mit Televisionsanlagen erforderlich, so sind die Möglichkeiten vor Ort, die Übertragungsmöglichkeiten und der Einsatz der Anlage genau abzuklären und festzulegen.

Es ist zu prüfen, ob die Anlagen gegen Einwirkungen Dritter geschützt werden müssen.

#### 4.6 Regelung

Die Regelbedingungen und das Regelverhalten sind möglichst genau festzulegen. Die zu berücksichtigenden Stör-einflüsse sind zu beschreiben. Die selbsttätige Überwachung der Regelanlagen ist zu fordern.

#### 4.7 Anordnungsplanung

Die gesamte Leittechnik ist nach Funktionseinheiten zu gliedern und soll dann nach Orten gruppiert werden (Bild 1). In der Praxis hat sich die Anordnung der Steuereinheiten und der Messumformer vor Ort, also unmittelbar beim Objekt bewährt.

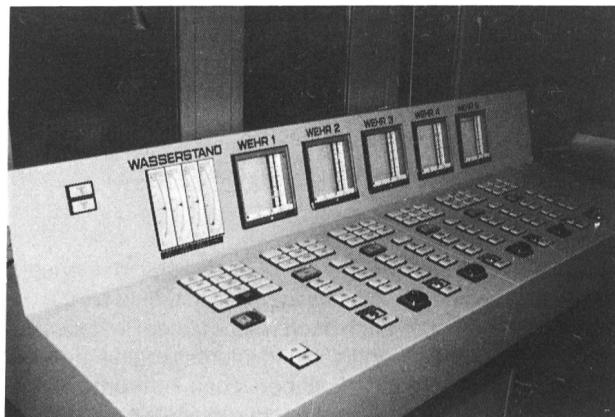


Bild 2. Lokaler Steuerstand beim Stauwehr Beznau. Wasserstände, Wehrstellung, Betriebsmeldungen sowie Wehrsteuerung sind auf einem Steuerpult übersichtlich zusammengefasst.

In einem lokalen Leitstand sollen die verschiedenen Anlagenwerte und -teile zusammengefasst und übersichtlich dargestellt werden (Bild 2).

Wird die Anlage ferngesteuert, so sind auch dort die erforderlichen Messgrössen, Überwachungswerte und Steuerbefehle übersichtlich und nach Funktionen geordnet darzustellen (Bild 3).

Die Regelanlagen sind am zweckmässigsten im lokalen Leitstand aufzustellen, damit bei einem Ausfall der Fernwirkanlagen die Regelung autark weiterarbeiten kann.

#### 4.8 Übertragung

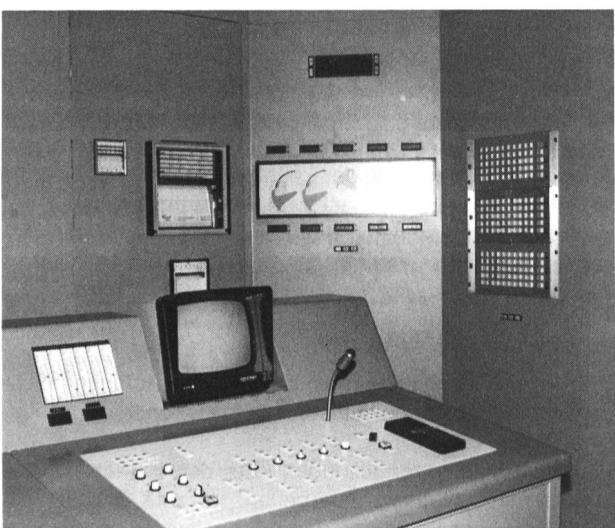
Im Nahbereich der Anlage erfolgt die Übertragung zweckmässigerweise mit direkter Kabelübertragung und Ader-schaltung. Für Fernübertragungen sind die möglichen Übertragungsmittel abzuklären und die Übertragungsverfahren festzulegen.

#### 4.9 Kommunikation

Die gesamte Anlage muss betrieben und unterhalten werden. Hierzu sind auch Kommunikationsmittel erforderlich. Es ist festzulegen, welche Übermittlungsanlagen wo eingesetzt werden (Telefon, Gegensprechanlagen, Unterhalts-schlaufen).

Bild 3. Zentrale Wehrsteuerung und -überwachung im Kommandoraum des Kraftwerks Beznau.

Auf dem Steuerpult: Wehrsteuerung, Betriebsmeldungen, Gegensprechanlage; Wasserstände, Durchflüsse und TV-Überwachung der Schleuse. Auf den Rückmeidetafeln: Registrierung von Wasserständen, Durchflüs-sen, Wassertemperaturen; Anzeige von Wehrstellung und Führungs-pegel; Signalanlage.



## 5. Messanlagen

### 5.1 Beschaffung der Grundlagen

Wichtige Voraussetzung für die Projektierung der Messanlagen ist die Beschaffung der Grundlagen durch den Bauingenieur.

Die Inhalte von Stauseen und Ausgleichsbecken sind zu berechnen.

Es sind strömungstechnische Abklärungen zu treffen wie

- die Bestimmung der Strömungsverhältnisse, zum Beispiel mittels Stau- und Senkungskurven
- Abklärung der Zuflussverhältnisse, insbesondere der Extremwerte und deren Veränderungsgeschwindigkeit
- Abklärung der Hochwasserverhältnisse bei Messstellen in Flüssen
- Abklärung von allfällig auftretenden Schwall- und Sunkwellen
- Bestimmung der Wasserlaufzeiten
- Untersuchung der Geschiebeverhältnisse, je nach gestelltem Problem umfasst dies: die anfallende Geschiebemenge in Abhängigkeit der Zuflussmenge, das Eintreten des Geschiebetriebes, die jährliche Geschiebefracht usw.
- Untersuchung der Verkrautung

Bei Hochdruckanlagen sind die Druckverhältnisse (Wasserschlossschwingungen) bei allen vorkommenden Betriebs- und Störverhältnissen (Anfahren, Abstellen, Laständerungen) zu berechnen.

Die anfallenden Schwebstoffe und deren Menge sind zu untersuchen. Die Kenntnis über das anfallende Treibgut, Geschwemmsel und möglichen Eistrieb ist nötig.

Die Grundwasserverhältnisse im umliegenden Gebiet sind zu erfassen.

Die geotechnischen Verhältnisse und die bautechnischen Möglichkeiten sind zu klären.

Durch den Elektroingenieur sind die Möglichkeiten der Messwertbeschaffung zu klären über

- Zuflussmengen (Oberlieger)
- Art der Verschlussorgane und Anbaumöglichkeiten für die Stellungsmessung
- Verwendung allfällig bestehender Messstellen

### 5.2 Projektierung

#### Standortwahl der Messstellen

Die Standorte für die Messstellen werden in Zusammenarbeit des Elektroingenieurs mit dem Bauingenieur gewählt.

Es sind die geeigneten Messverfahren zu wählen. Dies erfordert eine Marktanalyse. Bei der Auswahl sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

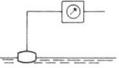
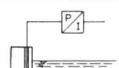
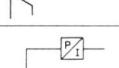
- die unter Abschnitt 5.1 aufgeführten Grundlagen
- das Mess- und Regelkonzept
- die Möglichkeiten der Messstellengestaltung
- die Gerätetechnik
- die Übertragungsmöglichkeiten für den Messwert
- die zur Verfügung stehenden Hilfsenergien

#### Messverfahren für Wasserstand

Für Wasserstandsmessungen stehen im offenen Gewässer folgende hauptsächlichen Messverfahren zur Wahl (Bild 4):

Die *Schwimmermessung* arbeitet nach dem Auftriebsverfahren. Sie benötigt keine Hilfsenergie für die Messung und gestattet den Antrieb elektromechanischer Messwertgeber mit grossem Antriebsmoment. Bei Vereisungsgefahr muss der Schwimmer jedoch möglicherweise geheizt werden. Die Nachteile sind vor allem baulicher Art, ferner ist die Dämpfung des Messwertes schwieriger zu erreichen. Dieses Messverfahren wird heute nicht mehr häufig angewendet.

Bild 4. Mögliche Messverfahren für Wasserstand.

|   |   |
|---|---|
| Schwimmermessung                                    |  |
| Pneumatische Messung<br>für Druck<br>Differenzdruck |  |
| Hydrostatische Messung<br>für Druck                 |  |
| Echolotmessung<br>Ultraschallmessung                |  |

Die *pneumatische Messung* für Druck oder Differenzdruck ist wohl das momentan verbreitetste Messverfahren. Es gestattet eine präzise, den Verhältnissen angepasste Messung. Eine Vielzahl bewährter Messgeräte steht zur Verfügung wie Bartonzelle, Membrangeräte, Druckwaagen. Eine Dämpfung des Messwertes ist pneumatisch und elektrisch mit einfachen Mitteln möglich. Die Messstelle kann einfach gestaltet werden und tritt als Baukörper kaum in Erscheinung. Das Messverfahren gestattet grössere Distanzen zwischen Messstelle und Messumformer. Es erfordert allerdings eine zuverlässige Druckluftversorgung und eine sorgfältige Verlegung der pneumatischen Speise- und Messleitungen, damit keine Barrieren durch Kondenswasser entstehen können, die dann das Messresultat verfälschen würden. Bei grossem Wellenschlag weist das Messverfahren eine gewisse Trägheit auf, da bei rasch ansteigendem Wasserstand zuerst die nötige Luftmenge nachgepeist werden muss.

Die *hydrostatische Messung* für Druck oder Differenzdruck weist die aufgeführten Nachteile der pneumatischen Messung nicht auf. Dafür wird die Gestaltung der Messstelle schwieriger, da der Geber stets unterhalb des tiefst möglichen Wasserstandes liegen muss. Der Verschlammung und der Gefahr des Einfrierens der Messstelle und der Messleitungen ist Beachtung zu schenken. Der Messwertumformer sollte in der Regel in der Nähe der Messstelle liegen.

Die *Echolot- und die Ultraschallmessung* gestatten die Erfassung des Wasserstandes ohne direkte Berührung des Mediums zum Beispiel von einer Brücke aus. Der Beeinflussung durch fremde Schallquellen im Messbereich des Gebers ist Beachtung zu schenken.

#### Messverfahren für Stellungen

Die *Stellungsmessung* von Stellorganen erfolgt mit Winkelstellungs- oder Weggebern. Die heute vorhandenen Stellungsgeber gestatten auch einen Anbau unmittelbar am Stellorgan, zum Beispiel am Drehpunkt einer Wehrklappe. Komplizierte Gestänge können dadurch entfallen. Die Stellungsabfrage kann analog mittels Widerstandspotentiometern, induktiven oder kapazitiven Gebern erfolgen. Wir bevorzugen Geber mit berührungslosem Abgriff (Bild 5).

#### Messverfahren für Durchfluss

Folgende Messverfahren zur Bestimmung von Durchflusswerten werden zur Hauptsache angewendet:

*In offenen Gerinnen* (Flüssen, Bächen): Die Bestimmung des Durchflusses mit Wasserstandsmessungen, wie oben beschrieben, erfordert die genaue Kenntnis des Strömungsprofiles und verschiedener Einflussfaktoren wie Geschiebegang, Verkrautung usw.

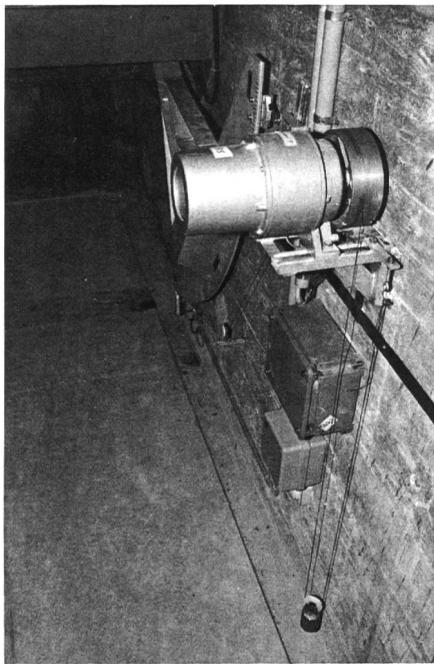
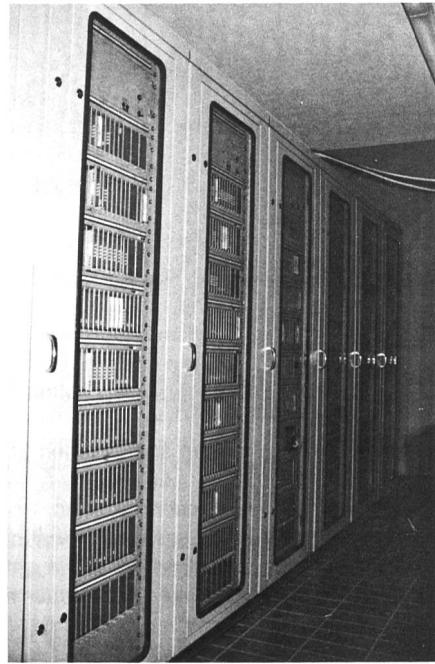


Bild 5, links. Stellungsmessung für Segmentshütze. Genaue Stellungsanzeige und Endstellungsmessung mit Wehrabbild im Massstab 1:4. Analoge Stellungsmessung mit induktiven Winkeltransmittern.

Bild 5, rechts. Apparateschränke beim Stauwehr Beznau mit Messwertüberwachung, Wehrregelung und Fernwirkanlage für 5 Wehröffnungen in Analogtechnik.



Ultraschallmessungen werden in seltenen Fällen angewendet.

Stellungsmessungen bei Wehrverschlüssen für Überfall oder Unterströmen können zur Ermittlung von Durchflusswerten zuhilfe genommen werden.

In Kraftwerken kann auch indirekt über Produktionsleistung und Gefälle die Durchflussmenge gerechnet werden.

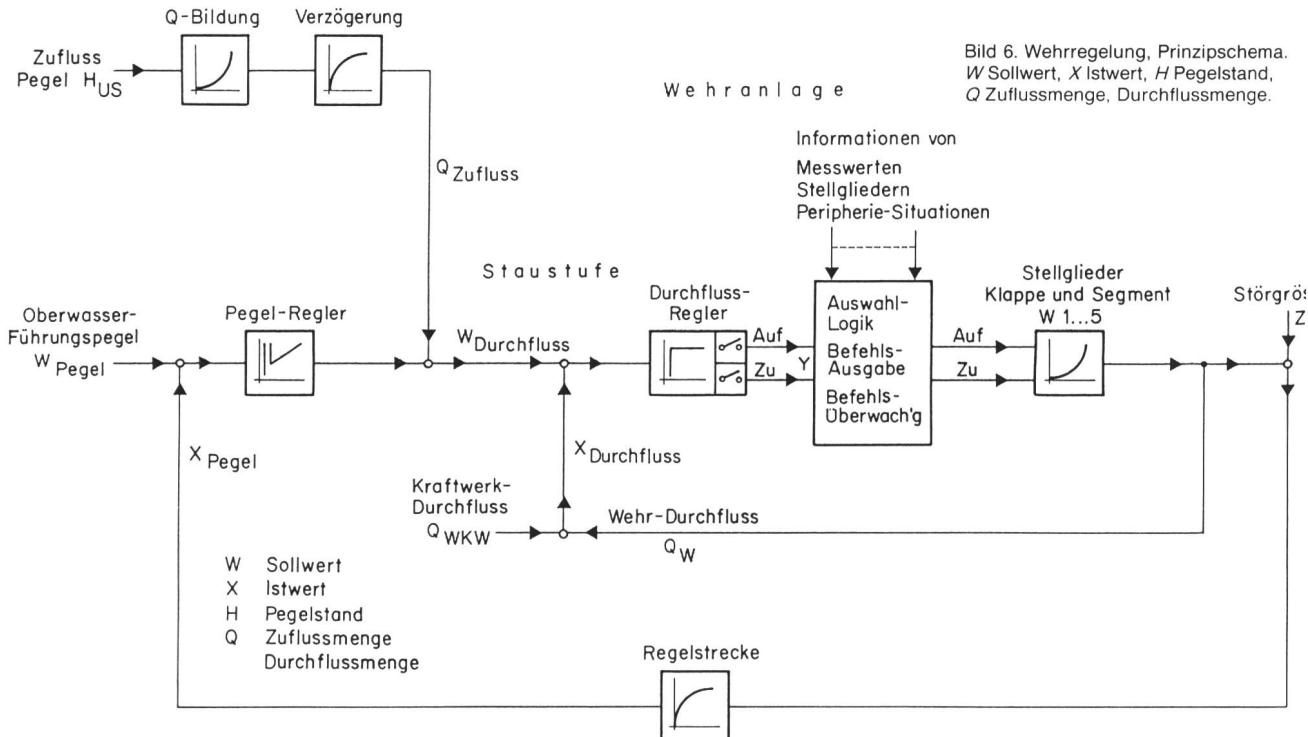
In Drucksystemen (Druckleitungen usw.)

- die Differenzdruckmessung mittels Blende, Venturi oder Düse
- das magnetisch-induktive Messverfahren
- die Ultraschallmessung
- das Wirbelstrommessverfahren (Vortex)
- die Stellungsmessung von Stellorganen wie Leitapparat-öffnung bei Turbinen oder Dotierschiebern.

#### Elektrische Messsignale

Praktisch bei allen Anwendungen wird der Messwert zur Weiterverarbeitung in ein elektrisches Signal umgeformt. Beim Inkrement wird lediglich eine Messwertänderung (zum Beispiel um 1 cm Wassersäule) erfasst und mit einem elektrischen Impuls übertragen. Dieses Verfahren wurde früher sehr häufig angewendet und ist adersparend. Die einfachen und robusten elektromechanischen Messwertgeber gestatteten einen störungsfreien Betrieb während Jahrzehnten. Allerdings kann der Messwert bei Ausfall der Übertragung grob verfälscht werden und muss dann von Hand wieder nachgestellt werden.

Dieser Nachteil hat immer mehr dazu geführt, dass heute die Messwerte als Absolutwerte erfasst und übertragen werden. Hier stehen zwei Verfahren zur Auswahl; das analoge und das digitale Messignal.



Als *Analogsignal* wird an der Peripherie meist ein störungs-unempfindliches Stromsignal 4 bis 20 mA oder 0 bis 20 mA verwendet. Die Messwertverarbeitung im Schaltschrank erfolgt in der Regel mit 0 bis 10V. Das 4-bis-20-mA-Signal kann sehr gut auf Ausfall überwacht werden, was für Regelungen unabdingbare Voraussetzung ist. Die Übertragung kann im Nahbereich bis zu einigen Kilometern mit direkter Aderschaltung erfolgen. Für Fernübertragung über grosse Distanzen muss das Signal entsprechend umgeformt werden. Für die Verarbeitung kann mit einer Genauigkeit von etwa 0,5 bis 1% des Messbereiches gerechnet werden. *Digital signale* gestatten speziell bei grossen Messbereichen eine grössere Genauigkeit und eine höhere Auflösung. Als Geber können elektromechanische Coder eingesetzt werden. Diese erfordern allerdings ein höheres Antriebs-Drehmoment und können deshalb nicht in allen Fällen eingesetzt werden. Die gebräuchlichsten Codearten sind der BCD-Code und der Gray-Code. Für die Übertragung sind vieladrig Kabel erforderlich oder ein Fernwirksystem. Die Überwachung der Messwerte ist nicht ohne weiteres möglich.

#### *Übertragungsverfahren*

Die gebräuchlichsten Verfahren für die Übertragung der Messsignale sind die Gleichstromübertragung mit direkter Aderschaltung, das Frequenzmultiplexverfahren und das Zeitmultiplexverfahren. Bei einfachen Anlagen mit wenigen Messwerten und im Nahbereich hat die direkte Aderschaltung Priorität.

Für Fernübertragungen und bei einer Vielzahl von Messwerten drängt sich meist ein Fernwirksystem auf, wobei heute das Zeitmultiplexsystem im Vordergrund steht. Diese Übertragungsverfahren sind allerdings aufwendig und auch störungsanfälliger als die direkte Gleichstromübertragung.

#### *Übertragungsmittel*

Es kommen folgende Übertragungsmittel in Frage

- werkeigene Kabel
- PTT-Mietleitungen
- Aufrufverfahren über das Telefonnetz
- Funkverbindung

Für Übertragungen mit Glasfaserkabeln, speziell bei Stollenkabeln fehlen heute leider noch die Erfahrungen. Hier können sich aber für die Zukunft interessante Anwendungen ergeben.

#### *Auswahlkriterien für Messanlagen*

Folgende Auswahlkriterien sind bei der Projektierung von Messanlagen zu berücksichtigen:

- die Betriebssicherheit (Redundanz)
- die Verfügbarkeit
- die Überwachungsmöglichkeiten
- der Aufwand (Kosten/Nutzen-Verhältnis)
- Wartung und Unterhalt
- die Überspannungsempfindlichkeit

Je nach Projekt und Einsatz der Messanlagen ist das eine oder andere Kriterium mehr zu gewichten.

#### *Auswertverfahren*

Die Messsignale werden je nach Aufgabenstellung mit folgenden Verfahren ausgewertet:

- Überwachung der Messsignale auf Ausfall
- Bildung von Grenzwerten
- Anzeige, analog oder digital
- Registrierung
- Regelung
- Protokollierung
- graphische oder numerische Darstellung auf Bildschirm

Wir erachten dabei die kontinuierliche Registrierung der wichtigsten Messwerte bei der Bewirtschaftung von Stauräumen immer noch als geeignete Lösung. Für die Verarbeitung der Messdaten sind durch den Bauingenieur die nötigen Diagramme und Koeffizienten zu erarbeiten.

## 6. Regelanlagen

### 6.1 Grundlagenbeschaffung

Zusätzlich zu den für die Messanlagen aufgeführten sind für Regelanlagen noch folgende Grundlagen zu beschaffen: Instationäre Strömungsverhältnisse sind mittels Messungen und mathematischen Rechenmodellen, eventuell auch mit physikalischen Modellen zu untersuchen. Dies erfordert einen beachtlichen Aufwand. Es ist genügend Zeit vorzusehen und eine gute Planung erforderlich.

Das Regelverhalten der Abflussorgane wie Turbinen und Wehrverschlüsse ist abzuklären.

Das Verhalten der gesamten Anlage in Störsituationen muss bekannt sein, insbesondere auch die Schliesszeiten von Notverschlüssen.

Die gesamten Abflussverhältnisse müssen geklärt werden:

- Turbinen, evtl. auch Pumpen
- Wehrverschlüsse
- Schleuse
- Überläufe
- Fischpass
- Kühlwasserentnahme
- weitere Störeinflüsse.

### 6.2 Projektierung

#### *Wahl der geeigneten Regeleinrichtung*

Regeleinrichtungen von wasserwirtschaftlichen Anlagen unterscheiden sich von anderen Regelanlagen – wie zum Beispiel einer Maschinenregelung – durch lange Totzeiten, langsame Stellglieder und viele zum Teil komplexe Störeinflüsse.

In der Regel haben wir es mit schwierigen Regelstrecken zu tun. Genaue Kenntnis dieser Einflüsse ist für den Projektgenieur wie auch für den Lieferanten eine unabdingbare Voraussetzung, soll ein befriedigendes Regelverhalten erreicht werden.

Folgende Aspekte sind dabei zu berücksichtigen:

- die unter 6.1 aufgeführten Grundlagen
- das Automatisierungs- und Regelkonzept
- die Konzessionsbedingungen
- die Zu- und Abflussverhältnisse
- stationäre und instationäre Strömungsverhältnisse
- die Abflussorgane
- die Schiffahrt
- Störeinflüsse wie Maschinenausfall
- eine geeignete Gerätetechnik
- die erforderliche Hilfsenergie
- das Anordnungskonzept
- die Optimierung der Anlagenbewirtschaftung

#### *Mögliche Regelverfahren*

Grundsätzlich kommen folgende Regelverfahren zur Anwendung:

- die Wasserstandsregelung
- die Durchflussregelung
- die kombinierte Wasserstands-/Durchflussregelung.

Für einfache Anlagen ohne strenge Anforderungen und ohne Störeinflüsse kann die einfache Wasserstandsregelung genügen. Für kompliziertere Kraftwerksanlagen an grösseren Flüssen mit mannigfaltigen Regelbedingungen und Störeinflüssen sind überlagerte Wasserstands-Durchflussregelungen erforderlich (Bild 6). Dabei ist die genaue Kenntnis der zu- und abfliessenden Wassermengen nötig.

## *Gerätetechnik*

Ganz einfache Regelungen können mit einfachen Dreipunktreglern gelöst werden. Für komplexe Regelstrecken und Regelbedingungen kommen nur noch stetige Regelungen mit Analogregler oder mit Prozessrechner in Frage (Bild 7). Bei komplexen Problemen wird das Regelverhalten unter Umständen vorteilhaft mit einer Modellrechnung abgeklärt.

### *Auswahlkriterien für Regelanlagen*

Folgende Auswahlkriterien sind bei der Projektierung von Regelanlagen zu berücksichtigen:

- die Betriebssicherheit
- die Verfügbarkeit
- die Überwachungsmöglichkeiten
- die Anpassungsmöglichkeiten des Reglers an den Prozess
- die Bedienungsfreundlichkeit
- Bei frei programmierbaren Rechnern ist dabei besonders auf eine anwendergerechte Programmiersprache, den guten Zugang zur Software und eine gute Dokumentation zu achten.
- der Aufwand (Kosten/Nutzen-Verhältnis)
- Wartung und Unterhalt

### *Versuche*

An der fertigen Anlage ist mit geeigneten Versuchen das Regelverhalten zu prüfen und die korrekte Einhaltung des Pflichtenheftes abzuklären.

Dies ist bei wasserwirtschaftlichen Anlagen nicht einfach, sind solche Versuche mit grossem Arbeitsaufwand und auch mit hohen Kosten verbunden. Wer schaltet schon gerne eine grosse Produktionseinheit ab, um das Regelverhalten des Unterliegers bei Sunk- und Schwallerscheinungen zu überprüfen? Oft muss der Ingenieur auch lange Zeit auf ein Hochwasser warten, um das richtige Verhalten der Regeleinrichtung kontrollieren zu können. Da solche Regelanlagen aber aufwendig und teuer sind, ist es für den Betreiber wichtig, die Gewähr für ein korrektes Verhalten seiner Regelanlagen möglichst noch während der Garantiezeit zu erhalten.

Bei der Werkabnahme kann der Einsatz eines Simulators zur Nachbildung der Stellglieder und der Regelstrecke wertvolle Dienste leisten. Durch die Nachrechnung der Regelstrecke mit geeigneten mathematischen Rechenmodellen in Kombination mit Versuchen kann das richtige Regelverhalten der Anlage auch bei Verhältnissen nachgewiesen werden, die erst nach langer Zeit auftreten können.

## *7. Zusammenfassung*

Bei der Projektierung von Wassermess- und -regelanlagen treten recht vielschichtige Probleme auf. Diese können nur in enger Zusammenarbeit von Bauingenieur, Maschinen-, Elektro- und Betriebsingenieur befriedigend gelöst werden. Vermehrt treten auch elektronische Probleme auf, wobei einem guten Überspannungsschutz grosse Beachtung zu schenken ist.

Freiprogrammierbare Messwertverarbeitungsanlagen und Rechner kommen immer mehr zur Anwendung. Aus der Sicht des Betreibers ist dabei grosser Wert auf eine gute Dokumentation der Software und eine anwenderfreundliche Programmiersprache zu legen.

Adresse der Verfasser: *Heinrich Schlittler*, El.-Ing. HTL/STV, und *Peter Lier*, dipl. Bauing. ETHZ, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, NOK, CH-5401 Baden.

Überarbeitete Fassung eines Vortrages, den *H. Schlittler* an der Fachtagung über «Messen und Auswerten von Wasser-Parametern für Wasserkraftnutzung und Seenregulierung» des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes am 6. September 1984 in Sitten gehalten hat.

## *Feststoffmessung in kleinen Gebirgsseinzugsgebieten*

*Jürg Zeller*

### *Zusammenfassung*

Das Thema «Feststoffmessung» ist äusserst vielschichtig, komplex und vor allem ein ungelöstes Problem. Es wird versucht, mit Hilfe einiger Streiflichter stark vereinfachte Hinweise zur Feststoffmessung zu geben. Folgende Themen werden berührt: Geschiebeproblematik in Flüssen und Wildbächen, Geschiebemessanlagen an Wildbächen in der Schweiz, die Messstation Erlentobel im Alptal, einige messtechnische Probleme sowie einige Auswertungen von Geschiebefrachtmessungen.

### *Résumé*

*Le thème «Mesure de matières solides» est extrêmement varié, complexe et avant tout un problème irrésolu. A l'aide de quelques exemples heureux, l'auteur essaie de donner des indications fortement simplifiées sur la mesure des sédiments. Les thèmes suivants sont abordés: problématique du charriage des fleuves et torrents, installations de mesure du charriage des torrents en Suisse, la station hydrométrique Erlentobel dans l'Alptal, quelques problèmes sur la technique de mesure et quelques analyses de résultats sur le charriage.*

### *Summary*

*Sediment transport measurement is extremely involved and complex; above all, it remains an unsolved problem. A number of high-lighted examples tentatively provide some clues to sediment transport measurement. The following topics are touched on: Problems of sediment transport in rivers and torrents; sediment gauging stations in Swiss mountain torrents; Erlentobel gauging station in Alptal, Switzerland; some gauging problems, plus a number of sediment transport rate analyses.*

### *1. Welche Probleme stellen sich in der Schweiz im Zusammenhang mit Geschiebe?*

Um für den Leser eine gemeinsame Ausgangsbasis zu schaffen, sei kurz die Frage aufgeworfen: Wo haben wir Geschiebeprobleme? Wir haben sie beim Wasserbau, bei Wasserkraftanlagen, bei der Flussschifffahrt, dann aber auch zum Beispiel in unseren Gebirgsgebieten im Zusammenhang mit Schutzmassnahmen für Siedlungen, Verkehrswege und Wirtschaftsgebiete. Es handelt sich hierbei um folgende Detailprobleme:

– Beim *Wasserbau* geht es um den Hochwasserschutz, um Fluss- und Bachkorrekturen, um Wildbachverbauungen, um Sohlensicherungen und Uferschutz usw., wobei dem Geschiebetransport in allen seinen Erscheinungsformen grösste Bedeutung zukommt.

– Bei den *Kraftwerken* stehen Fragen über Ablagerungen in Stauräumen, über geschiebefreies Fassen und Ableiten von Wasser aus Gebirgsgewässern, über Spülen von Stauhaltungen und Rückhaltebecken, über die Auswirkung von Änderungen des Wasser- und Geschiebeabflussregimes auf die Gerinne unterhalb von Gebirgsspeichern usw. im Vordergrund.

Diese Liste liesse sich noch wesentlich ergänzen, doch dürfte damit die Zielrichtung der nachfolgenden Ausführungen erkennbar sein.

Ein neues Problem kommt auf uns zu, das nicht unerwähnt bleiben darf, nämlich das Waldsterben. Es geht hierbei um