

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 76 (1984)
Heft: 10

Artikel: Strukturen und Mittel zur Verarbeitung hydraulischer Messdaten
Autor: Leutenegger, Hajo
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941231>

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: 10.02.2026

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

Strukturen und Mittel zur Verarbeitung hydraulischer Messdaten

Hajo Leutenegger

Zusammenfassung

Es werden die Bedeutung und die Hauptaufgaben der Prozessdatenverarbeitung aufgezeigt, auf die Merkmale moderner Verarbeitungssysteme und deren Möglichkeiten hingewiesen. Aufgaben und Verarbeitungsstruktur von Außenstellen und Zentrale werden erläutert und anhand von Beispielen vertieft. Daraus lassen sich Strukturierungsgrundsätze ableiten, sowohl bezüglich Aufgabenteilung, Dezentralisierung als auch bezüglich Archivierung der Daten.

1. Die Bedeutung der Prozessdatenverarbeitung

Die Verarbeitung von Messdaten ist eine Teilaufgabe der Mess- und Leittechnik, welche ihrerseits das Bindeglied zwischen dem zu führenden technischen Prozess und dem Menschen darstellt.

Die Prozessdatenverarbeitung hat die Messdaten derart aufzubereiten, dass dem Betreiber die notwendigen Informationen zuverlässig und zweckmäßig zur Verfügung stehen. Darüber hinaus sind die Prozessdaten, Führungsvorgaben und Randbedingungen so zu verknüpfen, dass der Betreiber den Prozess optimal führen kann (Bild 1).

Für den Betrieb und die Beobachtung wasserbaulicher Anlagen ist die Mess- und Leittechnik mit geeigneter Messdatenverarbeitung unerlässlich geworden. Dies gilt in erster Linie für die Überwachung und Kontrolle der Anlagen, womit die Betriebssicherheit durch frühzeitiges Erkennen unregelmässiger Zustände erhöht werden kann. Eine aktuelle Information über Zustand und Tendenzen des Prozesses ist aber auch für die Führung der Anlage wichtig und erlaubt einen wirtschaftlichen Betrieb. Nicht zuletzt dienen die Daten aber auch der Planung des Betriebs und des Anlagenausbaus, wodurch für zukünftige Aufgaben die richtigen Massnahmen getroffen werden können.

2. Merkmale moderner Systeme für die Prozessdatenverarbeitung

Die rasante Entwicklung in der Elektronik und der Informatik hat auf die Gestaltung der Prozessdatenverarbeitungssysteme (Leitsysteme) starken Einfluss.

Die heutigen Systeme sind wesentlich geprägt durch den Einsatz von Mikroprozessoren. Es lassen sich Schwerpunkte feststellen:

- *Hohe Modularität*. Wenig verschiedene Hardwareeinheiten lassen sich vielfältig kombinieren.
- *Leistungsfähige Schnittstellen*. Die einheitlichen, oft seriellen Schnittstellen erlauben einen grossen, raschen Datentransfer zwischen den Systemkomponenten.
- *Hohe Speicherdichte*. Dadurch ist eine umfangreiche Datenarchivierung und eine komfortable Programmierung möglich geworden.
- *Schnelle Recheneinheiten*. Diese lassen in Kombination mit den oben erwähnten Merkmalen komplexere Verarbeitungen zu.
- *Integrierte Systemüberwachung*. Vielfältige Überwachungsfunktionen sind eingebaut.
- *Problemorientierte, frei zugängliche Software*. Dies ermöglicht eine zweckmässige, flexible Anwendung.

– *Benutzerfreundliche Bedienung*. Dazu tragen wesentlich die leistungsfähigen Peripheriegeräte bei.

Diese Punkte haben alle die Leistungsfähigkeit der Systeme wesentlich gesteigert. Trotzdem sind die Beschaffungskosten solcher Systeme stark gesunken, wozu vor allem die Hardwareentwicklung und die Standardisierung der Software beigetragen haben.

3. Anwendungsmöglichkeiten mit modernen Prozessdatenverarbeitungssystemen

Die genannten Merkmale haben die Anwendungsmöglichkeiten moderner Systeme der Leittechnik (Fernwirktechnik, Datenverarbeitung, Regeltechnik) verändert und erweitert. Als wesentliche Gesichtspunkte sind zu erwähnen:

Flexibler Einsatz, einfache Anpassung, einfacher Ausbau

Durch die Verlagerung der aufgabenspezifischen Funktionen in die Software einerseits und durch die wesentlich besser zugängliche Programmierung andererseits können die Systeme besser auf den Einzelfall angepasst werden. Die oft vorhandenen Dialogformen lassen zudem Änderungen im Programm durch den Anwender zu.

Aufgabenteilung

Die Kostenentwicklung und die Verbesserung und Normierung der Schnittstellen ermöglichen die Aufteilung der Datenverarbeitungsaufgaben auf mehrere Teilsysteme. Damit wird eine höhere Teilverfügbarkeit erreicht. Zudem kann die Programmierung übersichtlicher und kostengünstiger erfolgen; die einzelnen Programme können dem Aufgabencharakter besser angepasst werden. Die Gruppierung in Teilsysteme erleichtert zudem einen etappenweisen Ausbau.

Dezentralisierung

Die gleichen Gründe wie für die Aufgabenteilung erlauben zudem eine gewisse Dezentralisierung der Verarbeitungsaufgaben. Damit kann lokalen, dezentralen Informations- und Sicherheitsbedürfnissen besser Rechnung getragen werden.

Komfortablere Prozessdarstellung

Die Elemente der graphischen, semigraphischen und farbigen Informationsdarstellung sind auch mittleren und kleineren Systemen zugänglich geworden.

Datenarchivierung

Die heutigen, wesentlich kostengünstigeren, kompakteren und robusteren Speichermedien (Kassetten, Disketten, Magnetblasenspeicher usw.) lassen eine vielfältige Aufzeichnung der Prozessdaten zur späteren, nicht echtzeitgebundenen, meist statistischen Verarbeitung zu, unter Umständen auch in dezentraler Anordnung.

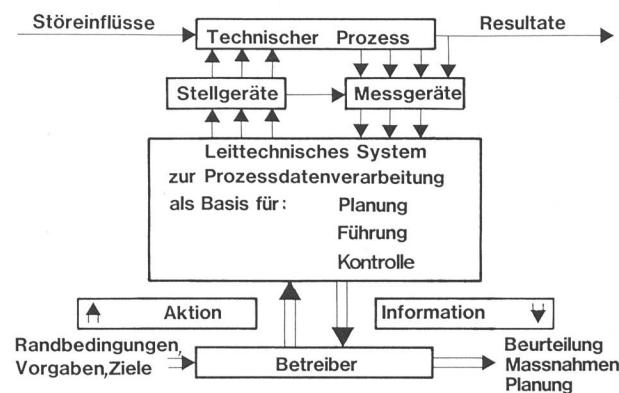


Bild 1. Die Bedeutung der Prozessdatenverarbeitung.

Diese neuen und klassischen Möglichkeiten des Systemeinsatzes sind nun den Aufgaben gegenüberzustellen, um daraus geeignete Strukturen abzuleiten.

4. Aufgaben in der Verarbeitung hydraulischer Messdaten

Die Aufgaben in der Verarbeitung hydraulischer Messdaten stimmen mit den klassischen Aufgaben der Leittechnik überein. Im Detail sind allerdings spezifische, prozessbedingte Verarbeitungsweisen zu beachten. Die Grundaufgaben lassen sich kurz wie folgt charakterisieren:

- **Erfassen:** zeit- und prozessgerechtes Aufnehmen von Messwerten und Zuständen.
- **Überwachen:** frühzeitiges, rasches Erkennen kritischer und unzulässiger Situationen, Extremwerte usw.
- **Rechnen:** unmittelbare oder kurzfristige Auswertung der erfassten Daten (wie Abflussberechnung aus Grunddaten, logische Verknüpfung, dynamische Mittelwertbildung und ähnliches) zur Datenverdichtung.
- **Aufzeichnen:** zeitgerechtes Abspeichern der erfassten, eventuell verdichteten Daten zur späteren Auswertung.
- **Auswerten:** zeitunabhängiges, eventuell vom Leitsystem abgesetztes meist statistisches Auswerten aufgezeichneter Daten nach speziellen Gesichtspunkten, zum Beispiel für Prognosen.
- **Darstellen:** verbrauchergerechtes Präsentieren aktueller oder gespeicherter, unverarbeiteter oder verdichteter Prozessdaten. Die Darstellung kann vorübergehender Natur (Datensichtgerät, Instrumente) oder auch archivierender Natur (Papier) sein.
- **Melden:** aktive Benachrichtigung oder Alarmierung des Betriebspersonals bei kritischen Zuständen oder sonst notwendigen Eingriffen.

Diese Aufgaben sind alle dem Informationsweg zuzuordnen. Es ist deutlich zwischen dem kurzfristigen (Überwachung) und dem langfristigen (Planungsgrundlage, Beweisführung) Aufgabencharakter zu unterscheiden.

Diesen Aufgaben stehen auf der Prozessführungsseite, dem Aktionsweg, meist kurzfristige, teilweise mittelfristige Aufgaben gegenüber.

- **Leiten:** alle Eingriffe des Betriebspersonals, auf allen (folgenden) Automatisierungsstufen, auf einfache, sichere Weise.
- **Optimieren:** Verarbeitung der erfassten, eventuell verdichteten und aufgezeichneten Größen zur Vorgabe von Führungsgrößen, unter Beachtung von Randbedingungen.
- **Regeln:** automatisches Ausgleichen von Störeinflüssen und damit Führen des Prozesses nach Sollwerten.
- **Steuern:** Beeinflussen der Stellorgane nach Vorgabe der Regelung oder anderer Kriterien.
- **Stellen:** Verändern der Stellorganpositionen zur Beeinflussung des Prozesses.

Diese leittechnischen Aufgaben treten je nach Prozess in verschiedener Anordnung auf. Wir wollen hier insbesondere nach dezentralen (vor Ort) und zentralen Anwendungen unterscheiden (Bild 2). Zwischen diesen Örtlichkeiten tritt dann immer das Fernwirken als weitere leittechnische Aufgabe in Erscheinung.

5. Aufgaben und Strukturen in der Aussenstelle

Grundsätzlich können in Aussenstellen praktisch alle leittechnischen Aufgaben auftreten. In Anlagen des Wasserbaus lassen sich folgende Schwerpunkte feststellen:

- **Erfassen** ist hier die wichtigste Aufgabe und Grundlage der weiteren Verarbeitung.

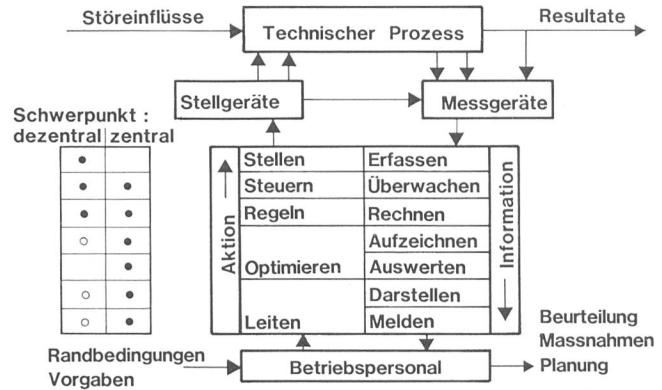


Bild 2. Die Aufgabe der Prozessdatenverarbeitung.

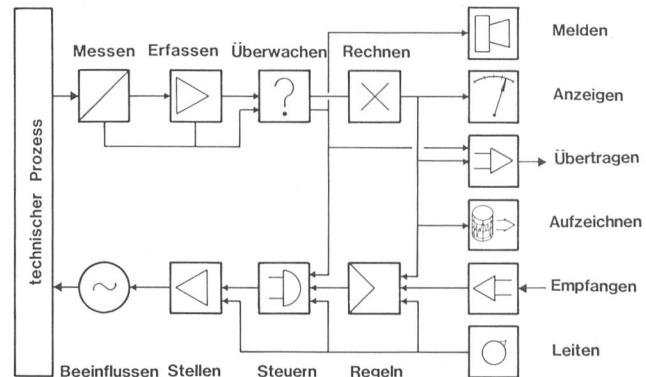


Bild 3. Die Grundstruktur einer Aussenstelle.

- **Überwachen** hat auf zwei Ebenen zu erfolgen:

- Prozessüberwachung: Grenzwerte, Gradienten usw.
- Systemüberwachung: Messgeräte, Verarbeitungssystem, Verbindung usw.

– **Rechnen:** Dies ist dann sinnvoll, wenn eine Datenverarbeitung bereits lokal möglich und zulässig ist, beziehungsweise dann angezeigt, wenn bereits dezentral Verknüpfungen benötigt werden.

– **Melden, Alarmieren:** Bei kritischen Situationen kann es zweckmäßig sein, Alarne direkt von der Aussenstelle her auszulösen, zum Beispiel über das örtliche Telefonnetz.

– **Darstellen:** Eine minimale Information ist zur Führung und Kontrolle auch in Aussenstellen unumgänglich.

– **Fernmelden:** Die Erfassungs-, Überwachungs- und Rechenresultate sind der Zentrale zu übermitteln.

– **Aufzeichnen:** In Aussenstellen ist meist nur die Registrierung von Hauptgrößen (wie Pegelstände, Abflüsse) zur Beweissicherung von Bedeutung. Diese lokalen Aufzeichnungen sind unabhängig von Fernwirksystemen und von zentraler Verarbeitung und somit sehr sicher. Fehlt allerdings ein Fernwirksystem, so ist die Aufzeichnung weiterer Prozessdaten auf einen Datenträger auch hier zweckmäßig, die Speicherung hat dann meist mittelfristigen Charakter.

– **Regeln, Steuern:** Die dezentrale Anordnung von Regelungen und Steuerungen ist soweit sinnvoll, als die Regelgrößen wie die Stellglieder lokal erfasst und beeinflusst werden können. Der Regelung müssen dann von der Zentrale nur noch Sollwerte vorgegeben werden. Die Regelung kann so weitgehend unabhängig vom Fernwirksystem autark arbeiten.

– **Stellen:** Eine lokale Eingriffsmöglichkeit für die Stellorgane ist selbstverständlich.

Bild 3 gibt den grundsätzlichen Aufbau wieder, in Bild 4 ist als Beispiel eine Aussenstelle mit Ultraschalldurchflussmessung (je nach Situation im Rohr oder im Freispiegel-

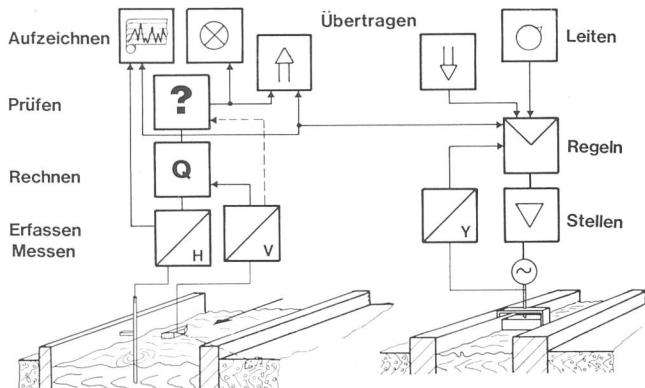


Bild 4. Aussenstelle: Restwassermessung und -regelung.

kanal) und Dotierregler für die Restwassermenge dargestellt. Eine ähnliche Anordnung ist bei den Maggia-Kraftwerken im Einsatz. Erfasst werden hier die Fliessgeschwindigkeit, der Wasserstand und die Schützenstellung, überwacht werden das System und die Messwerte (Maximalwerte), berechnet und geschrieben wird der Durchfluss. Angezeigt und zur Zentrale übertragen werden Wasserstand, Durchfluss, zwei Störungsmeldungen. Mit den lokal vorhandenen Messwerten steuert der Regler die Dotierschütze nach einem lokal- oder fernverstellbaren Sollwert; die Dotierschütze ist manuell lokal- oder fernsteuerbar. Beim zweiten Beispiel (Bild 5) handelt es sich um eine Mehrbereichsdurchflussmessung, wie sie zum Beispiel auch im Kraftwerk Göschenen realisiert ist. Erfasst wird der Differenzdruck in zwei Bereichen, es werden der Umschaltpunkt sowie die Systemspeisung überwacht, der Durchfluss und dessen Menge berechnet und angezeigt. Diese beiden Größen werden auch als Momentanwert und als Mengenimpulse übertragen.

Diese beiden Beispiele zeigen typische Systemanwendungen in Aussenstellen. Beide Beispiele sind mit einem analogelektronischen Verarbeitungssystem ausgeführt. Es ist hier zu erwähnen, dass auch «eigenständige» Messstellen innerhalb eines Kraftwerks systemtechnisch durchaus als Aussenstelle zu behandeln sind.

6. Aufgaben und Strukturen in der Zentrale

Unter dem Begriff «zentral» sei hier der datentechnische Sammelpunkt verstanden. Hier werden die von den Aussenstellen erfassten, aufbereiteten und übertragenen Daten empfangen und zentral ausgewertet. Es treten auch hier alle leittechnischen Aufgaben auf, allerdings mit anderer Gewichtung als in den Aussenstellen (Bild 6).

– Die Datenerfassung beschränkt sich im wesentlichen auf den Empfang der fernübertragenen, eventuell auch von lokalen Erfassungssystemen bereitgestellten Daten.

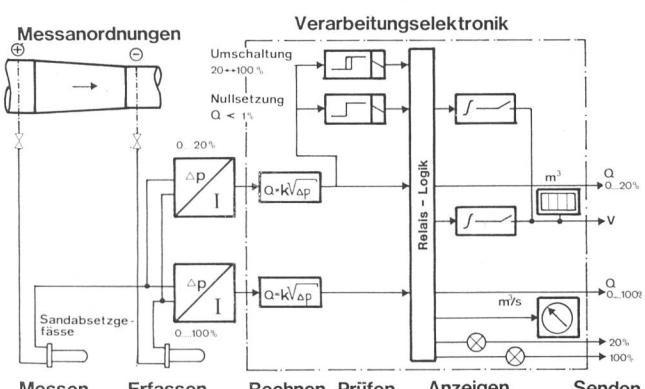


Bild 5. Aussenstelle: Durchflussmessung Göschenen.

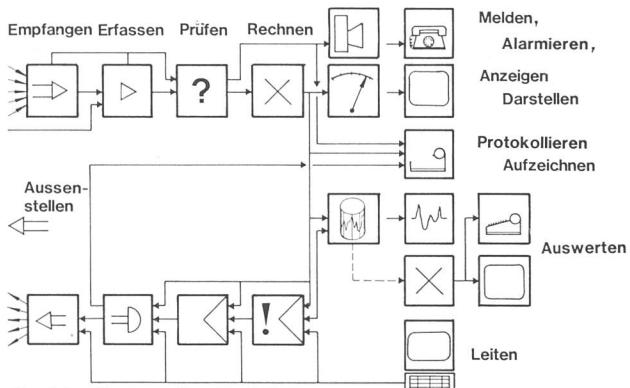


Bild 6. Struktur der Zentrale.

- Die Überwachung basiert einerseits auf der Verarbeitung fernübertragener Überwachungsresultate, dann aber auch wesentlich auf der Überwachung zentral verknüpfter Zustände und Werte.
- Aus der nun zentral zur Verfügung stehenden Datenmenge können viele Resultate, wie Wasserhaushaltsbilanzen, Staustufenabflüsse, Mittelwerte und ähnliches berechnet werden. Es ist hier eine starke Datenverdichtung angezeigt, um relevante Informationen zu bekommen.
- Die Aufzeichnung kann in mehreren Ebenen, von der konventionellen Registrierung von Hauptwerten zur Beweisicherung über die mittelfristige Ereignisprotokollierung zwecks Rekonstruktion von Schadenfällen bis zur langfristigen Archivierung von Grunddaten als Planungsgrundlage erfolgen.
- Die archivierten Daten werden unabhängig von der zeitkritischen, prozessorientierten Verarbeitung ausgewertet, sei es als Hintergrundprogramm oder gar auf einem abgesetzten Rechnersystem. Neben der statistischen Auswertung können beliebige, gezielte Untersuchungen durchgeführt werden, sofern die relevanten Grunddaten (Zuflüsse, Wasserstände, Energieproduktion) gespeichert wurden.
- Die Darstellung soll hier einen zentralen Überblick (Mosaikbild), aber auch einen konzentrierten, in den Einzelheiten differenzierten Überblick erlauben. Dazu dienen neben klassischer Instrumentierung zunehmend alphanumerische, semi- oder vollgraphische Datensichtgeräte; zur Darstellung von Signalabläufen und zur mittelfristigen Aufzeichnung werden Drucker und automatische Zeichengeräte (Plotter) eingesetzt.

– Die Kommandowarte muss zentrale Eingriffe erlauben, um den ganzen Prozess zu *leiten*. Dazu sind geeignete Betriebsführungstastaturen erforderlich.

- Eine klassische zentrale Aufgabe ist die automatische *Betriebsoptimierung*, die wegen der benötigten Datenmenge in der Regel kaum dezentral zu lösen ist.
- Steuerungen und Regelungen sind dann zentrale Aufgaben, wenn es sich um nicht lokal konzentrierte Teilprozesse handelt, wenn es also gilt, Messdaten unterschiedlicher Herkunft auszuwerten.

Bei geeigneter Organisation der Daten lässt sich in der Zentrale eine sinnvolle Aufgabenteilung auf mehrere autonome Teilsysteme erreichen. Dadurch gewinnt man die in Abschnitt 3 erwähnten Vorteile. Insbesondere werden dadurch die Konsequenzen bei Störungen gemindert, weil kaum alle Teilsysteme gleichzeitig lahmgelegt werden.

Bild 7 zeigt als Beispiel einen Teil der Ausrüstung für die Donaustufe Greifenstein. Der Zeitfolgemelder dient der Erfassung, Sortierung, mittelfristigen Speicherung und mehrfachen Darstellung sowie Aufzeichnung aller wichtigen Ereignisse. Er besteht aus sechs untergeordneten Erfas-

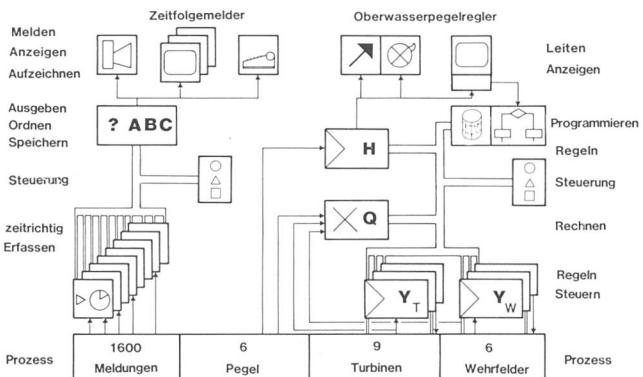


Bild 7. Teilausrüstung Donaukraftwerk Greifenstein.

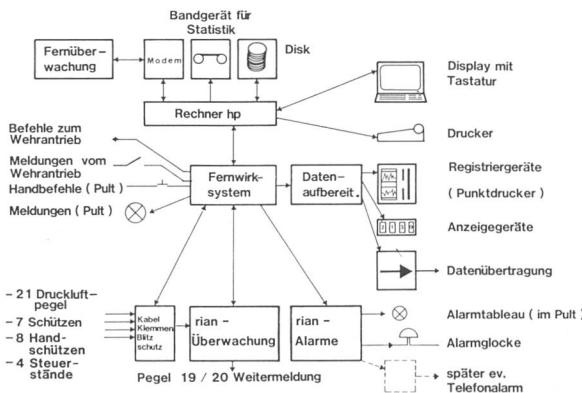


Bild 8. Leitwarte für das Kulturwehr Kehl am Rhein.

sungssystemen mit sehr hoher Zeitauflösung, welche ein Ausgabe- und Auswertesystem mit mehreren Peripheriegeräten bedienen.

Der Oberwasserregler seinerseits ist auf derselben Hardware aufgebaut, seine Aufgabe und sein Programm sind jedoch ganz anderer Natur. Er besteht aus sechs Stellkreissystemen, die der Führung von je drei Turbinen beziehungsweise zwei Wehrfeldern dienen, einem übergeordneten Pegelregelsystem und einem Gesamtabflussrechner. Durch diese Aufteilung wird ein hoher Teilverfügbarkeitsgrad erzielt, wie er ohne Aufgabenteilung nicht möglich wäre.

Bild 8 zeigt die mess- und leittechnische Ausrüstung für das Kulturwehr Kehl am Rhein. Erfasst, überwacht und dargestellt werden Zuflussdaten, Fluss- und Stauraumwasserstände, Wehrdaten. Ein übergeordneter Rechner wertet die Daten aus, fährt vom Betriebspersonal gewählte Bewirtschaftungsprogramme ab, ermöglicht die Simulation von Hochwasserereignissen. Alle erfassten Grunddaten werden zwecks späterer, abgesetzter Auswertung auf Band gespeichert.

7. Strukturierungskriterien

Bei der Projektierung der mess- und leittechnischen Ausrüstung sind neben den zu lösenden Aufgaben, den Möglichkeiten der in Betracht gezogenen Systeme, den technischen und materiellen Randbedingungen einige grundsätzliche Kriterien zu berücksichtigen, um eine zweckmässige, ausbaufähige Struktur zu erreichen. Dabei ist in jedem Falle eine klare Hierarchie durchzusetzen. Nur damit sind eindeutige Abgrenzungen, vernünftige Schnittstellen und zweckmässige Teilverfügbarkeiten möglich.

Aufgabenteilung

Bei der Aufteilung leittechnischer Aufgaben auf mehrere Teilsysteme sind in erster Linie gleichartige Aufgaben von Bedeutung. Die Systeme können wohl dieselbe Datenbasis

verarbeiten, es ist aber darauf zu achten, dass zwischen den Systemen möglichst wenig Querverbindungen entstehen. Querverbindungen sollten zudem möglichst einen «Einbahncharakter» aufweisen. So verarbeitet im Beispiel Greifenstein der Zeitfolgemelder teilweise dieselben Daten wie der Pegelregler. Zudem verarbeitet der Zeitfolgemelder Ereignisse aus dem Pegelregler, keinesfalls aber umgekehrt. So ist die gegenseitige Systembeeinflussung minimal, wodurch die Aufgabenteilung erst richtig sinnvoll wird.

Dezentralisierung

Die Überwachung sollte möglichst weit nach außen verlagert werden. Sie ist spätestens dort einzusetzen, wo die Messresultate in eine automatische Steuerung oder Regelung eingebunden werden. Je weiter «entfernt» von der Erfassung eine Überwachung stattfindet, um so globaler, um so weniger differenziert ist sie, allerdings mit dem Vorteil, dass gleich die ganze Übertragungskette mit überwacht wird. Es ist somit vor jeder automatischen Verarbeitungsstufe eine Überwachung empfehlenswert.

Trotz dezentraler Berechnung kann eine weitere Zentralisierung der Grunddaten notwendig sein. Datenverdichtungen und Berechnungen sollen dort erfolgen, wo der Aufwand am kleinsten und die Sicherheit genügend ist, spätestens dort, wo das Resultat erstmals gebraucht wird. Zu vermeiden sind mehrfache Berechnungen derselben Grösse, weil dabei meist Resultate mit störenden Differenzen entstehen.

Im Interesse einer möglichst hohen Verfügbarkeit ist auch die automatische Steuerung und Regelung soweit zu dezentralisieren, wie es die dazu benötigten Daten erlauben. Letztere sind aber, falls relevant, für die Information dennoch zu zentralisieren.

Archivierung

Hier sind zwei Aspekte zu beachten: Bedeutung und Verwendung der Daten sowie die daraus notwendige Archivierungsdauer (Tage bis Jahre).

Kurzfristig werden alle Daten gespeichert, die der Bilanzierung, der Optimierung, der allgemeinen Betriebsführung dienen. Diese Archivierung kann im Arbeitsspeicher der Datenverarbeitung erfolgen und weist im allgemeinen wenig Verdichtung auf. Als Beispiele seien die Stundenwerte von Verbrauchsmessungen oder ein Meldebuch aller logischen Ereignisse (Schaltvorgänge usw.) erwähnt.

Mittelfristige Datenspeicherung dient vor allem der laufenden Betriebsstatistik. Es werden klassische Datenträger (Magnetplatte, -band) eingesetzt. Bei der Auswertung erfolgt eine hohe Datenverdichtung. In Außenstellen ohne Fernwirkanschluss können Datenträger mittlerer Kapazität (< 0,5 MByte) auch zur unverdichteten Aufzeichnung eingesetzt werden.

Langfristig (> 1 Jahr) sind einerseits die relevanten hydraulischen Grunddaten sowie deren Extremwerte zu speichern. Damit wird die spätere Planungsberechnung ermöglicht. Der zeitliche Speicherrhythmus muss zum Prozess in einer vernünftigen Relation stehen. Eine Datenverdichtung ist hier nicht zweckmässig.

Unabhängig davon ist die Aufzeichnung zwecks Beweissicherung zu betrachten. Sie muss im allgemeinen einer weiteren automatischen Verarbeitung nicht zugänglich sein, kann also «auf Papier» erfolgen. Hier soll man sich auf Hauptwerte, definierte konzessionsbedingte Messwerte oder entscheidende Ereignisse (Alarne) beschränken.

8. Folgerungen

Die modernen Mittel der Prozessdatenverarbeitung eröffnen dem Planer und dem Anwender neue Möglichkeiten,

neue Dimensionen. Durch eine sinnvolle Ausnutzung dieser Eigenschaften kann die Überwachung der Anlagen verbessert werden, was zu einer grösseren Betriebssicherheit führt. Die gesteigerte Leistungsfähigkeit der leittechnischen Systeme lässt auch eine weitgehende, optimalere Automatisierung zu; dank den erweiterten Speichermöglichkeiten stehen auch mehr und bessere Daten für die Planung zur Verfügung.

Allerdings gilt es nach wie vor, alle bekannten physikalischen und technischen sowie die jeweiligen materiellen Randbedingungen zu beachten, deren Verletzung meist unheilvoll ist. Ebenso ist es auch weiterhin unerlässlich, Einsatz und Struktur leittechnischer Einrichtungen genau zu planen, denn Software ersetzt kein Pflichtenheft. Letztlich soll man sich auch über die Verwendungsmöglichkeit und Notwendigkeit «vorsorglich» abgespeicherter Daten kritische Gedanken machen, denn auch hier ist die Beschränkung langfristig eine Tugend.

Adresse des Verfassers: Dr. Hans Jakob Leutenegger, Direktor, Rittmeyer AG, Zug.

Vortrag, gehalten an der Fachtagung zum Thema Messen und Auswerten von Wasser-Parametern für Wasserkraftnutzung und Seenregulierung. Diese fand am 6.9.1984 anlässlich der 73. Hauptversammlung des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes in Sitten statt.

Numerische Grundwassermodele für die Praxis

Jürg Trösch

Zusammenfassung

Aus Anlass des 60. Geburtstages von Prof. Dr. h.c. Ernst U. Trüeb (7. 11. 1984) wird anhand einiger Beispiele die praxisbezogene Verwendung von numerischen Grundwassermodelelln dargestellt. Selbst aufwendige dreidimensionale Modelle, wie sie an Hochschulen entwickelt wurden, werden heute in der Praxis verwendet. Dies wurde durch die stürmische Entwicklung im Computerwesen möglich.

Summary: Numerical models of groundwater flow for engineering practice

On the occasion of the 60th anniversary of Prof. Dr. h.c. Ernst U. Trüeb, some examples of numerical models of groundwater flow used in engineering practice are shown. Even complicated three dimensional models developed at universities are used nowadays by private enterprises, as more of them have access to the necessary computer facilities.

Résumé: Les modèles numériques des nappes phréatiques pour l'application pratique

A l'occasion du soixantième anniversaire du Prof. Dr. h.c. Ernst U. Trüeb quelques exemples de modèles numériques de l'écoulement dans les nappes phréatiques sont présentés. Développés par les universités, ils sont employés aujourd'hui par les ingénieurs pour l'application pratique. Même des modèles compliqués en trois dimensions sont à leur portée, grâce au développement des ordinateurs.

1. Einleitung

Die Strömung des Grundwassers fasziniert die Menschheit schon seit Urzeiten. Während im Mittelalter (wie auch heute noch) Wasser im Untergrund von Rutengängern gesucht wurde, stehen heute dem Ingenieur moderne Instrumente

und Methoden zur Verfügung. Für die Untersuchungen im Felde sind hochpräzise Messgeräte vorhanden, die sowohl in Bohrlöchern als auch mit indirekten Methoden (z. B. «remote sensing» aus der Luft) eine Fülle von Messdaten über das untersuchte Objekt liefern können. Im Büro unterstützt ihn der Computer bei seiner Arbeit, sowohl bei der Verarbeitung, Speicherung und Auswertung der Messdaten als auch bei der Projektierung neuer Anlagen mit Simulationsmodellen.

2. Rückblick

In den sechziger Jahren wurden die ersten numerischen Grundwassermodelelln entwickelt, vorerst mit der Differenzenmethode, aufbauend auf einem quadratischen Gitternetz [1], gleichzeitig auch mit finiten Elementen [2]. Diese Programme entstanden fast ausschliesslich an Hochschulen, da die notwendige Computerkapazität nur dort zur Verfügung stand. Viele Grundwassermodelelln wurden noch mit Analogiemodellen erstellt, entweder mit elektrisch leitendem Widerstandspapier für zweidimensionale Modelle oder mit elektrischen Widerstandsnetzwerken. Diese teilweise dreidimensionalen Netzwerke füllten oft ganze Räume. In der Schweiz wurde um 1971 mit ersten Arbeiten zur Erstellung von Grundwassermodelelln begonnen, ein Vergleich verschiedener Methoden erschien 1973 [3]. Es zeigte sich dabei, dass die verglichenen Methoden gleiche Resultate erbringen konnten, dass aber vor allem die Methode der finiten Elemente wegen ihrer Flexibilität in der Unterteilung der Topographie Vorteile bietet. Aufgrund dieses Vergleiches wurde die Methode der finiten Elemente weiter verfolgt, mit dem Ziel, dem praktisch tätigen Ingenieur und Hydrogeologen ein ohne grosse Computerkenntnisse verwendbares Modell in die Hand zu geben. Ein solches benutzerfreundliches Modell wurde 1975 publiziert [4, 5]. Weitere Modelle wurden an verschiedenen Instituten entwickelt oder von ausländischen Universitäten übernommen, doch waren diese oft nicht praxisreif ausgebaut. Inzwischen sind fast zehn Jahre verstrichen, genügend Zeit, um Bilanz zu ziehen und den heutigen Stand der Grundwassermodelelln zu überblicken.

3. Heutiger Stand

Durch die Entwicklung im Energiebereich – Wärmepumpen mit Grundwasser – und die zunehmende Umweltverschmutzung sind für den Hydrogeologen neue Problemkreise aufgetreten, die sich mit den herkömmlichen Strömungsmodellen allein nicht mehr lösen lassen:

- Ausbreitung von abgekühltem oder erwärmtem Wasser im Grundwasserträger
- Ausbreitung von Schadstoffen im Grundwasser
- dreidimensionale Probleme
- Nutzung der geothermischen Wärme.

Gleichzeitig entwickelte sich die Computertechnik explosionsartig, so dass heute schnellere Rechner mit mehr Speicherkapazität einem viel breiteren Benutzerkreis zur Verfügung stehen. Heute sind in vielen Betrieben Computer oder Computeranschlüsse vorhanden, und es steht die Software für Modelle zur Verfügung. Oft werden vor allem die Messdaten mit EDV verarbeitet (z. B. [6]) und mit einfachen Programmen Pumpversuche ausgewertet. Die numerischen Modelle werden vor allem von den grösseren Ingenieurunternehmen und von spezialisierten Büros eingesetzt [7]. Das an den Hochschulen entwickelte Fachwissen konnte in diesen Fällen erfreulicherweise an die Anwender weitergegeben werden. Die international tätigen Unternehmungen stehen im harten Konkurrenzkampf, und qualitativ hochstehende Software interessiert sie daher besonders.