Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 84 (1992)
Heft: 7-8

Artikel: Die moderne Wasserhaushaltautomatik in einem Laufwasserkraftwerk
Autor: Portmann, Guido
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940566

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

Die moderne Wasserhaushaltautomatik in einem Laufwasserkraftwerk

Guido Portmann

1. Einleitung

Bei der Erneuerung und Optimierung der Wasserkraftwerke spielt neben den baulichen Verbesserungen auch die Automatisierung eine wesentliche Rolle. Mit geeigneten Massnahmen auf dem Gebiet der Mess-, Steuer- und Regeltechnik lassen sich mit verhältnismässig geringen Investitionen beträchtliche Einsparungen bei den Betriebskosten und eine maximale Energiegewinnung erzielen. Eine moderne Automatik erlaubt, das vorhandene Wasserangebot optimal zu nutzen, mit verbesserter Überwachung Schäden an der Anlage zu vermeiden und die Betriebssicherheit zu erhöhen. Durch die Entlastung des Personals kann eine effiziente Betriebsführung gewährleistet werden.

Eine Wasserhaushaltautomatik umfasst sehr viele Funktionen. Die folgenden Ausführungen beschreiben vor allem die umfangreichen Aufgaben, welche zu lösen sind.

2. Aufgaben der Wasserhaushaltautomatik

2.1 Einhaltung des Stauziels

Flusskraftwerke dienen primär der Energieerzeugung. Bei gegebener, kaum beeinflussbarer, jahreszeitlich stark ändernder Wasserführung bedeutet dies, dass eine möglichst grosse Fallhöhe beziehungsweise ein möglichst hoher und konstanter Oberwasserstand zu erzielen ist. Die wichtigste Regelaufgabe ist somit die Wasserstandregelung im Stauraum des Kraftwerkes.

Bei den Flusskraftwerken hat sich die klassische Kaskadenregulierung bewährt (Bild 1). Die unterschiedlichen, nichtlinearen Abflussorgane verlangen einen Abflussregler. Der berechnete Abfluss Q_{Ab} wird mit der Abflussvorgabe Q_{Soll} verglichen. Die Abflussdifferenz ΔQ führen wir zu einem Proportionalregler, welcher der Abweichung entsprechend reagiert. Dadurch wird jede Abflussvorgabe nach Ablauf einer transienten Phase über die Stellorgane eingestellt. Der Abflusssollwert Q_{Soll} der Staustufe wird vom Wasserstandregler, welcher als Führungsregler dient, berechnet. Er hat die Aufgabe, den Wasserstand auf dem vom Kraftwerksbetreiber bestimmten Pegelsollwert zu halten. Ergibt sich eine Differenz zwischen Soll- und Ist-Wasserstand, muss der Führungsregler in kurzer Zeit mit einer minimalen Anzahl von Stellbefehlen den Wasserstand korrigieren.

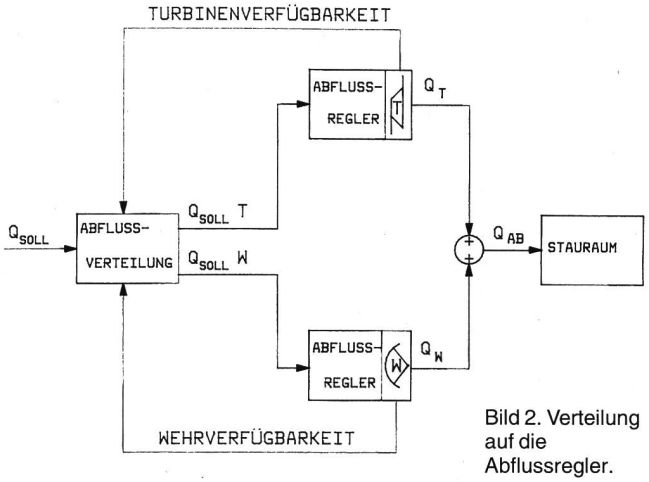

Bild 2. Verteilung auf die Abflussregler.

2.2 Optimale Nutzung des Wasserangebotes

Das Wasserangebot muss optimal auf die Abflussorgane verteilt werden (Bild 2). Zuerst müssen die verfügbaren Turbinen belastet werden, bevor das Wehr die Restmenge übernimmt. Sporadisch auftretende Abflussänderungen (z.B. infolge Turbinennotschluss) sind mit den zur Verfügung stehenden Organen ohne Änderung des Wasserstandes zu kompensieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die vorhandenen Stellorgane wohl das gleiche integrierende Verhalten, aber ganz verschiedene Zeitkonstanten aufweisen. So wird der Leitapparat moderner Kaplanturbinen durch die Ölhydraulik in einigen 10 Sekunden über den ganzen Bereich verstellt, bei Notschluss gar in wenigen Sekunden zugefahren. Wehrverschlüsse hingegen benötigen dazu bis zu zwanzig Minuten. Die Kennlinien des Abflusses Q in Funktion der Öffnung sind bei den Turbinen und Wehrverschlüssen durchwegs nichtlinear und zudem von der Überfallhöhe oder der Fallhöhe abhängig. Die Kennlinienform ist je nach Bauart sehr verschieden.

Für eine optimale Energiegewinnung muss der Arbeitspunkt der einzelnen Turbinen möglichst nahe am Maximum der Wirkungsgradkennlinie liegen. In vielen Kraftwerken sind zudem verschiedene Turbinen im Einsatz, welche ihren individuellen Kennlinien entsprechend geführt werden müssen. Die Automatik hat die wichtige Aufgabe, zu jedem Zeitpunkt die Turbinenauslastung optimal zu gestalten (Bild 3).

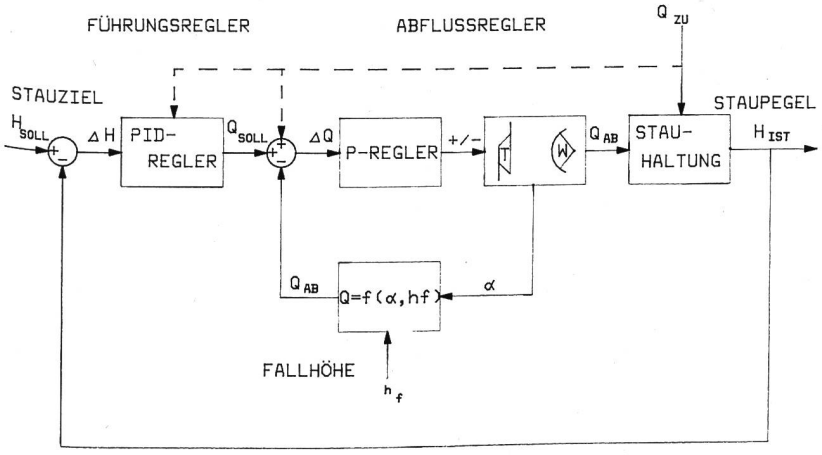

Bild 1. Regelkreis eines Laufkraftwerkes.

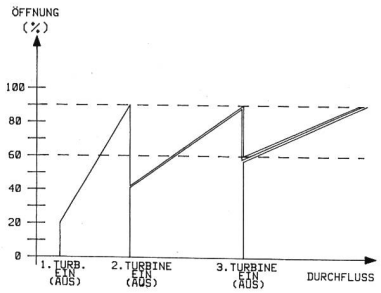

Bild 3. Turbinenregime unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades.

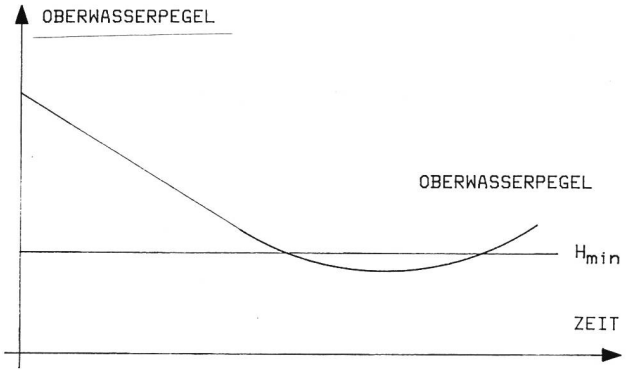

Bild 4. Oberwasserpegel im Schwellbetrieb.

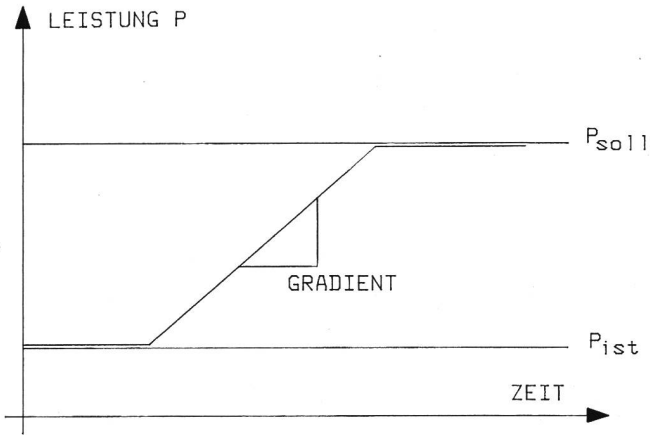

Bild 5. Individuelle Leistungsvorgabe pro Turbine.

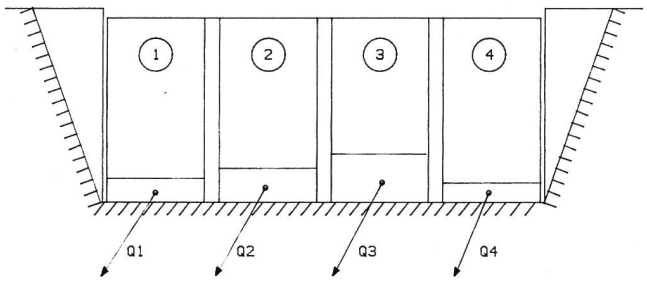

Bild 6. Vorlaufschaltung bei mehreren Wehrfeldern.

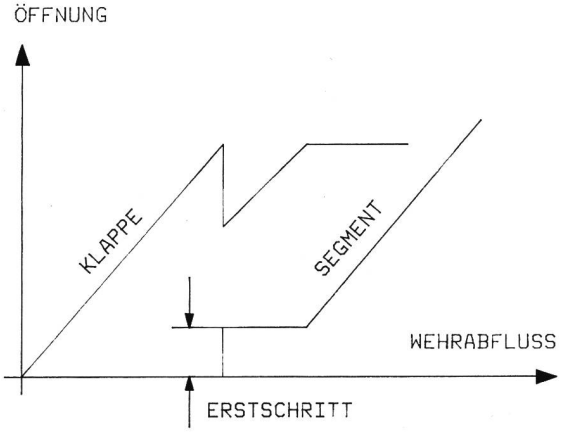

Bild 7. Prinzip der Erstschrittlogik.

Eine wichtige Rolle spielen auch die baulichen Gegebenheiten eines Kraftwerkes. Die Anströmverhältnisse können je nach Wasserführung verschieden sein und dementsprechend eine vom Zufluss abhängige Verteilung des Abflusses auf die einzelnen Turbinen notwendig machen.

2.3 Kontrollierte Bewirtschaftung des Stauraums

Zur Erzeugung höherwertiger Energie kann es interessant sein, den Stauraum in gewissen Grenzen vorübergehend abzusenken. Diese Stauraumbewirtschaftung erfordert eine Kombination von Wasserstand- und Abflussregelung. Während dieser Vorgänge bleibt der Pegelregler als übergeordnetes Überwachungsorgan aktiv und schreitet beim Erreichen definierter Grenzen ein (Bild 4). Die Eingriffe müssen fallweise auf die Betriebserfordernisse zugeschnitten werden.

Oft können für die Turbinen sowohl der Abfluss- als auch der Leistungssollwert individuell vorgegeben werden. In diesen Fällen ist es auch möglich, mit Hilfe eines einstellbaren Gradienten zu definieren, wie schnell dieser Sollwert erreicht werden muss (Bild 5). Dieses Beispiel demonstriert eindrücklich, welchen vielfältigen Bedürfnissen eine Wasserhaushaltautomatik genügen muss.

2.4 Ufer- und materialschonende Steuerung der Wehrverschlüsse

Eine wichtige Randbedingung bei den Laufkraftwerken ist die Schonung des Ufers. Bei Wehranlagen mit mehreren Wehrfeldern lässt sich mit einer sogenannten Vorlaufschaltung ein beliebiges Abflussprofil quer zur Flussrichtung einstellen (Bild 6). Die Automatik sorgt dafür, dass einzelne Elemente im ganzen Arbeitsbereich gegenüber den andern vor- oder nachlaufen. In der Regel werden die in der Flussmitte liegenden Wehrfelder mit einem Vorlauf versehen, um das Flussufer zu schonen.

Bei den unterströmten Wehrsegmenten besteht bei kleinen Öffnungen die Gefahr, dass Geschiebe zwischen der Wehrsohle und der Segmentunterkante verklemmt. Häufig treten bei kleinen Öffnungen auch unerwünschte Vibrationen am Segment auf. Beiden Problemen kann mit einem sogenannten Erst- bzw. Letztschritt begegnet werden (Bild 7). Muss Wasser über das Wehr abfliessen, so öffnet zuerst die Klappe. Bei vollständig abgelegter Klappe steuert die Automatik das Wehrsegment in einem Schritt bis zu einer definierten, einstellbaren Öffnung auf. Dieser sogenannte Erstschritt wird dann von der Klappe durch entsprechendes Schliessen kompensiert. Somit bleibt die geforderte Abflusskontinuität erhalten. Bei sinkender Wasserführung läuft der Vorgang umgekehrt ab. Das Segment bleibt auf der Erstschrittöffnung stehen, bis die Klappe ihren Abfluss so stark vermindert hat, dass sie den Letztschritt wiederum kompensieren kann.

Nebst der Schonung der Segmente und Klappen besteht auch die Forderung, die Antriebe möglichst wenig zu belasten. Dem kann mit einer geeigneten Reglereinstellung, welche eine minimale Anzahl Stellbefehle bewirkt, Rechnung getragen werden.

2.5 Dämpfung der Sunk- und Schwallwellen

Eine weitere Aufgabe besteht in der Vergleichmässigung von Zuflussschwankungen. Besonders bei dicht ausgebauten Flussstrecken kommt ihr grosse Bedeutung zu, weil sich ohne besondere Massnahmen Schwankungen in der Wasserführung von Stufe zu Stufe verstärken. Um eine gleichmässige Wasserführung zu gewährleisten, sind zwei Massnahmen zu ergreifen. Einerseits müssen

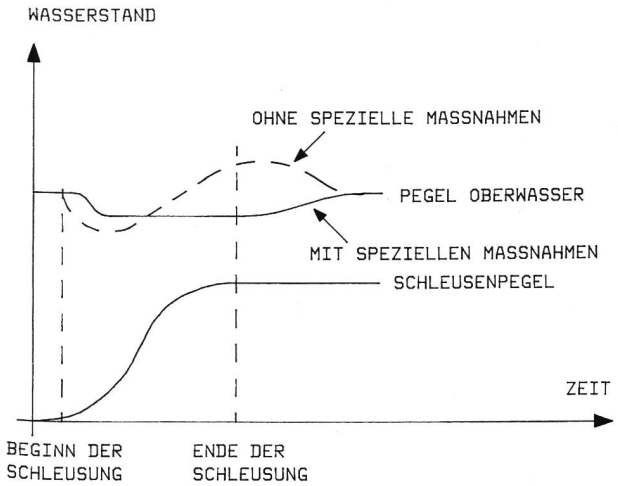

Bild 8. Pegelverhalten bei einer Schleusenfüllung.

die Regelparameter optimal auf die Wasserführung des einzelnen Kraftwerkes abgestimmt werden, anderseits muss jedem Kraftwerk der Abflusswert des Oberliegers als Störgrösse zur Verfügung stehen (Störgrössenaufschaltung, vgl. Bild 1). Somit ist jeder Kraftwerkregler rechtzeitig über Zuflussschwankungen informiert und kann vor dem Ansteigen des Pegels beim Kraftwerk entsprechende Massnahmen (z.B. Vorabsenkung des Stauraums) ergreifen. Damit der Regler auf die Zuflussschwankungen zeitlich richtig reagieren kann, muss die Aufschaltung der Störgrösse dem Verhalten des Stauraums exakt angepasst werden. Dazu ist eine Prozessabbildung mit Berücksichtigung der entsprechenden Wasserlaufzeiten erforderlich. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen die gezielte Beeinflussung sowohl des Führungs- als auch des Abflussreglers der Wasserhaushaltautomatik.

2.6 Schleusenbetrieb

Der Schleusenbetrieb kann den Wasserhaushalt wesentlich beeinflussen. Ohne spezielle Massnahmen bewirkt eine Schleusenfüllung eine Senkung des Oberwassers und somit als Reaktion des Reglers das Schliessen der Stellorgane, um den Sollwasserstand wieder zu erreichen (Bild 8). Dies bedeutet unliebsame Schwankungen und unnötige Stellbefehle.

Bei einer Schleusenentleerung führt die zusätzlich abfliessende Wassermenge zu einem für die Schiffahrt und den Unterlieger unerwünschten Schwall (Bild 9). Bei beiden Schleusenvorgängen muss der Regler den individuellen Gegebenheiten angepasst reagieren, damit die Auswirkungen im Oberwasserpegel und im Unterwasserkanal minimal bleiben. Die Wassermengen, welche durch die Schleusen fliessen, müssen in der Wasserhaushaltautomatik berücksichtigt werden.

2.7 Betriebssicherheit

Für einen reibungslosen Betrieb ist es unerlässlich, konsequent alle Messwerte zu überwachen. Es ist dabei wichtig, nicht nur einen eigentlichen Signalausfall, sondern auch im Betrieb unmögliche Veränderungen, welche auf eine Störung hinweisen, zu erkennen.

Bei einem Ausfall muss für jeden Messwert geprüft werden, wie die Automatik reagieren soll. So wird zum Beispiel beim Ausfall des Oberwasserpegels in der Regel auf einen redundanten Messwert umgeschaltet. Beim Verlust einer Turbinenstellung kann die betreffende Maschine ohne weiteres auf der bestehenden Stellung gelassen werden. Für jeden Messwert ist die Reaktion der Automatik sorgfältig den Betriebsanforderungen anzupassen. Um einen ruhigen Betrieb zu erhalten, dürfen aber unwesentliche Störungen, wie z.B. kleine Wellen im Ober- oder Unterwasser, nicht zu Reaktionen des Reglers führen. Dies wird erreicht, indem die betreffenden Messwerte gefiltert werden.

Nebst der Überwachung der Messwerte ist es ebenso wichtig, die Reaktionen der Stellorgane zu überprüfen. Indem die Lauf- und Reaktionszeiten der einzelnen Elemente überwacht werden, ist es möglich, fehlerhafte Reaktionen frühzeitig zu erkennen und einzugreifen, bevor ein grösserer Schaden entsteht. Bei den Schützen ist dauernd zu kontrollieren, ob kein Schieflauf vorhanden ist. Dazu ist je eine links- und rechtsseitige Messung erforderlich.

Besondere Anforderungen stellt der Prozess auch bei den Übergängen zwischen Hand- und Automatikbetrieb. Dazu gehören stossfreie Umschaltungen, welche die Zuschaltung einzelner Stellorgane berücksichtigen.

Eine maximale Betriebssicherheit wird mit einem redundanten, unabhängigen Notregler erreicht. Bei einem Ausfall des Hauptsystems kann es mit einem Teil der Stellorgane die wichtigsten Aufgaben übernehmen. Für ein solches System ist sorgfältig abzuklären, unter welchen Bedingungen ein Eingriff notwendig ist und wie reagiert werden soll.

3. Simulationsunterstützte Reglerparametrierung

Da während einer Inbetriebsetzung die Wasserführung nicht beeinflussbar ist und nie alle relevanten Betriebsfälle gezielt durchgespielt werden können, erhält die numerische Prozesssimulation eine besondere Bedeutung. Diese erlaubt die Voreinstellung des Reglers vor der Inbetriebsetzung und die Untersuchung der verschiedensten Betriebsfälle. Für die Prozesssimulation bestehen verschiedene Möglichkeiten. Die Auswahl hängt davon ab, ob der gesamte Stauraum oder nur der Oberwasserpegel des Kraftwerkes interessiert.

Um das dynamische Verhalten des gesamten Stauraumes zu untersuchen, sind umfangreiche Berechnungen unumgänglich. Es ergibt sich eine Differentialgleichung *n*-ter Ordnung, wobei *n* die Anzahl Flussquerschnitte bedeutet. Es sind dazu die Differentialgleichungen von Saint-Venant zu lösen. Wir wenden ein Modell mit verteilten Parametern an und sind somit in der Lage, ortsabhängige Aussagen zu machen (Bild 10). Für aussagekräftige Untersuchungen, welche 10 bis 20 Querschnitte benötigen, ist ein grosser Rechenaufwand notwendig. Bisher konnte dieser nur mit sehr leistungsfähigen Computern bewältigt werden. In Zusammenarbeit mit Hochschulen ist

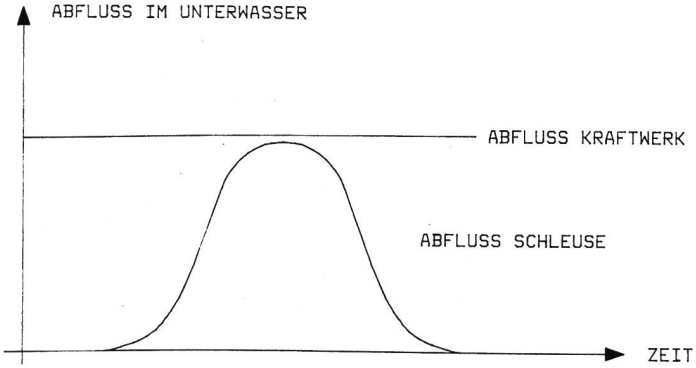

Bild 9. Abfluss bei einer Schleusenentleerung.

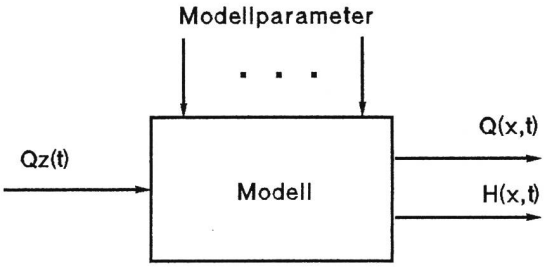

Bild 10. Modell mit verteilten Parametern bzw. System partieller Differenzialgleichungen.

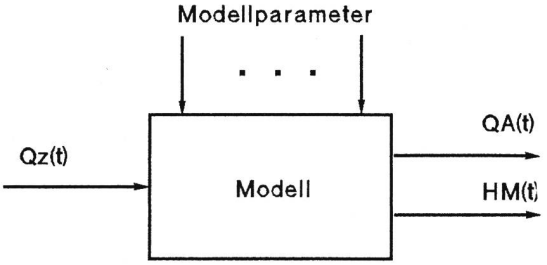

Bild 11. Modell mit konzentrierten Parametern, *Q* und *H* sind ortsinvariant.

es allerdings gelungen, mit gezielten Vereinfachungen das Modell wesentlich zu reduzieren. Heute besteht die Möglichkeit, Vorgänge im Stauraum auf einem tragbaren PC aussagekräftig zu simulieren. Bedingung dazu sind genaue Kenntnisse über das Profil des Stauraumes.

Für die Inbetriebnahme des Wasserstandreglers besteht eine zweite Möglichkeit, die sich vor allem an kleinen Flüssen aufdrängt. In der Regel interessiert man sich für den Oberwasserpegel beim Kraftwerk, und es geht darum, die Regelparameter mit wenig Aufwand einzustellen. Die Erfahrung zeigt, dass auch ohne aufwendige Simulation eine gute Voreinstellung möglich ist. Es lässt sich für den typischen Stauraum eines Laufkraftwerkes ein relativ einfaches Modell mit konzentrierten Parametern (Bild 11) bilden. Mit einigen wenigen Kenngrössen, welche in einem kurzen Versuch vor Ort ermittelt werden können, lassen sich gute Ergebnisse erzielen. Auch für diese Berechnungen genügt ein handelsüblicher PC (Bild 12).

4. Konzept der Wasserhaushaltautomatik für Staustufenketten

Bei dicht ausgebauten Flussstrecken sind besondere Massnahmen notwendig, damit sich Schwankungen in der Wasserführung nicht von Stufe zu Stufe verstärken. Nebst den beschriebenen staustufenabhängigen Massnahmen zur Dämpfung der Sunk- und Schwallwellen zeigen unsere vielfältigen Untersuchungen, dass mehrere Staustufen idealerweise von einem übergeordneten Leitrechner geführt werden. Von jeder Stufe werden der momentane Abfluss und der Oberwasserpegel übertragen. Aus diesen Werten ermittelt der Leitrechner, abhängig von der aktuellen Wasserführung und den individuellen Gegebenheiten der Flussstrecke, die Sollwerte für die selbständigen Vorortregler (Bild 13). Diese sind dadurch zwar vom Leitrechner geführt, erfüllen aber innerhalb einer Staustufe autonom die beschriebenen Aufgaben.

Im wesentlichen wird den einzelnen Staustufen der Abfluss vorgeschrieben, wobei die Pegelregler die Einhaltung des Stauziels überwachen und situationsangepasst eingreifen. Für die Ermittlung der Abflusswerte ist es sehr wichtig, dass die individuellen, «richtigen» Zeitverschiebungen von Stufe zu Stufe ermittelt werden. Mit Hilfe der Simulation lassen sich für jeden Stauraum die typischen Kennzahlen einfach bestimmen.

Diese Art der Abflussregelung mit den vom Leitrechner vorgeschriebenen Sollwerten verhindert bei «richtigen» Zeitverschiebungen in jedem Fall das Überschwingen der Abflüsse. Geringe Schwankungen des Oberwasserstandes um das Stauziel müssen jedoch in Kauf genommen werden.

5. Beispiel

Die umfangreichen Aufgaben sollen am Beispiel Birsfelden gezeigt werden (Bild 14).

Eine Übersicht der Objekte gibt der Lageplan (Bild 15). Die wichtigsten Kenndaten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Das Kraftwerk Birsfelden ist ein typisches Laufwasserkraftwerk für die Schweiz. Spezielle Anforderungen stellen die hohe Anzahl Schleusungen und das Unterwasser, welches infolge der regen Schiffahrt nicht stark schwanken darf. Die 4 Turbinen werden durch den Regler nach Möglichkeit so geöffnet, dass alle Maschinen die gleiche Leistung produzieren. Wenn das Kraftwerk voll ausgefahren ist, wird das Wasser durch die Wehre abgeführt. Der Übergang findet nach klar definierten Kriterien statt. Die grossen, schweren Schützen (ein Unterschütz wiegt 147 t !) müssen infolge der grossen Laufzeiten ganz anders behandelt werden als die Turbinen. Dazu wird ein separater Stellkreisregler eingesetzt. Beim Notschluss einer Turbine kommt ein Schnellsenken der Oberschützen zum

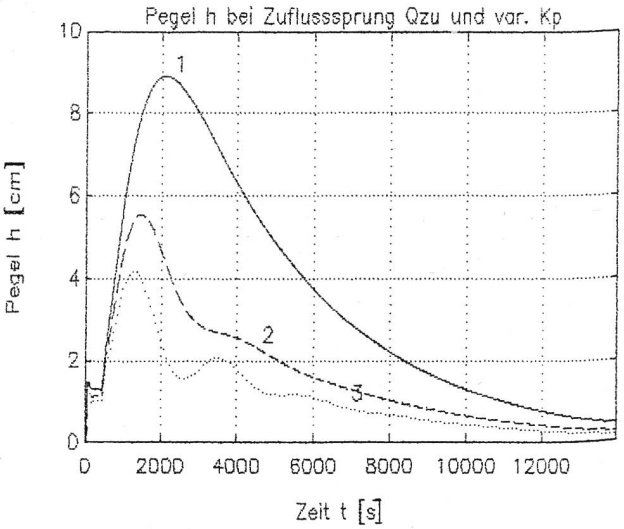

Bild 12. Beispiel: Pegelverhalten bei einem Zuflusssprung.

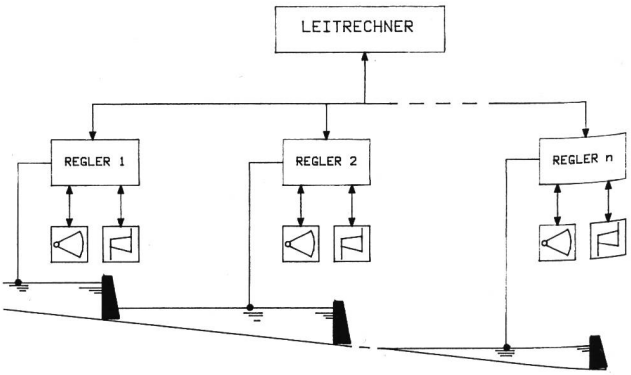

Bild 13. Konzept einer Wasserhaushaltautomatik für Staustufenketten.

Tabelle 1. Die wichtigsten Kenndaten.

Stauziel	254,25 m ü. M.
Ausbauwassermenge	1500 m^3/s
Anzahl Schleusen	2
Anzahl Turbinen	4
Turbinentyp	Kaplan
Schluckwassermenge	4 × 375 m^3/s
Installierte Leistung	4 × 22,1 MW
Fallhöhe	3,90 bis 9,30 m
Anzahl Wehröffnungen	5
Wehrtyp	je 2 Tafelschützen von 11,25 m Höhe
Wehrfeldbreite	27 m

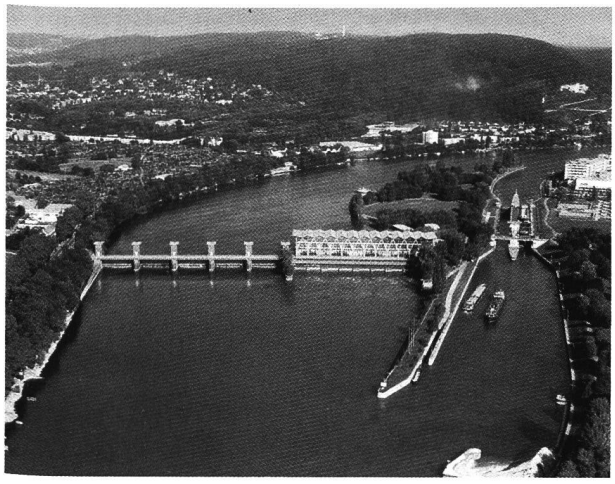

Bild 14. Kraftwerk Birsfelden (BL).

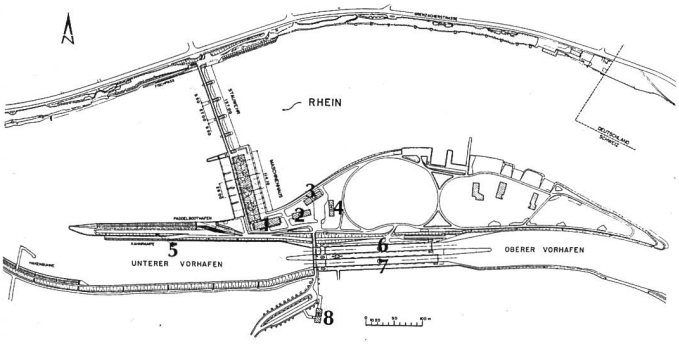

Bild 15. Lageplan. 1 Dienstgebäude, 2 Schalthaus, 3 Pumpenhaus und Garagen, 4 AEB (Alternative Energie Birsfelden), 5 Pegelstation Unterwasser, 6 Schleuse Nord, 7 Schleuse Süd, 8 Verwaltung.

Zug. Die Unterschützen sind mit einer Erstschrittlogik ausgerüstet.

Um im Unterwasser Schwankungen zu vermeiden, wird der Unterwasserpegel beobachtet und je nach Wasserführung der Regler entsprechend beeinflusst. Dazu darf die Toleranz des Oberwasserspiegels in zeitlicher Abhängigkeit etwas vergrössert werden.

Zusätzlich zur Kraftwerksanlage sind zwei Schiffsschleusen zu betreiben. Pro Schleuse und Füllung werden vom Oberwasser bis zu 20 000 m^3 Wasser abgezweigt. Im Jahresdurchschnitt werden etwa 13 000 Schleusenvorgänge durchgeführt. Eine Tagesverkehrsspitze mit 80 Grossschiffen ist möglich. Besonders bei Niedrigwasser werden sowohl das Ober- als auch besonders das Unterwasser der Anlage stark beeinflusst. Die Automatik sorgt dafür, dass keine Schwankungen entstehen.

6. Zusammenfassung

Eine Wasserhaushaltautomatik hat sehr vielfältigen Anforderungen zu genügen, welche am Beispiel der Laufwasserkraftwerke besonders gut ersichtlich sind. Als Hauptaufgabe muss unter Erzielung eines maximalen Energiegewinnes der Wasserstand im Oberwasser konstant gehalten werden. Dies wird erreicht, indem das vorhandene Wasserangebot unter Berücksichtigung der maschinenspezifischen Wirkungsgradkennlinien optimal auf die Turbinen und das Wehr verteilt wird. Dabei kann durch eine übergeordnete Stauraumbewirtschaftung der Pegelsollwert variiert werden. Für die Automatik bestehen bei der Erfüllung dieser Aufgaben die wichtigen Randbedingungen, dass einerseits durch entsprechende Wehröffnungen das Ufer und anderseits durch möglichst wenige Befehle und eine sogenannte Erstschrittlogik die Stellorgane maximal geschont werden.

Bei dicht ausgebauten Flussstrecken zeigt die Erfahrung, dass es für die Dämpfung von Sunk- und Schwallwellen notwendig ist, bei jeder Staustufe den Abfluss des Oberliegers in geeigneter Art und Weise aufzuschalten. Eine optimale Lösung erzielt man mit einem übergeordneten Leitrechner, welcher durch die gezielte Einflussnahme auf die Sollwerte der autonomen Vorortregler eine Abflussvergleichmässigung erreicht. Dadurch können auch Stauraumbewirtschaftungen mit zentraler Führung realisiert werden. Für einen reibungslosen Betrieb ist es unerlässlich, mit einer weitreichenden Überwachung die Messwerte, Befehle und Reaktionen ununterbrochen auf ihre einwandfreie Funktion zu überprüfen. Bei einigen Kraftwerken wird der Wasserhaushalt durch Schleusenbetrieb nicht unerheblich beeinflusst. Um unerwünschte Schwankungen im Ober- und Unterwasser zu vermeiden, müssen bei diesen Kraftwerken entsprechend den individuellen Gegebenheiten die Regler verstellt werden. Für eine effiziente Inbetriebsetzung hat sich zur Voreinstellung des Reglers die simulationsunterstützte Parametrierung bewährt. In der Praxis wurden dazu relativ einfache Modelle entworfen, welche gute Ergebnisse zeigen.

Zur Erfüllung all dieser Aufgaben sind neben der Theorie und moderner Technik fundierte Prozesskenntnisse die wichtigste Basis für erfolgreiche Lösungen. Am Beispiel Wasserhaushaltautomatik wird klar, wie breit dieses Feld der Prozesskenntnisse sein muss.

Literatur

[1] *Neumüller, M.,* und *Bernhauer, W.:* Stauregelung und Abflussregelung an Laufkraftwerken mit automatischen Verfahren. «Wasserwirtschaft» *67* (1976) 9, S. 253–256.

[2] *Kühne, A.:* Schwall- und Sunkerscheinungen in einer Flussstauhaltung. «wasser, energie, luft» *76* (1984) 10, S. 213–219.

[3] *Leutenegger, H.:* Prozessrechner für die automatische Wasserstands- und Abflussregelung der Inn-Staustufe Perach. «Wasserwirtschaft» *71* (1980), S. 273–278.

[4] *Leutenegger, H.:* Regelungstechnik in der Praxis – am Beispiel Laufwasserkraftwerk. «Bulletin SEV/VSE» *76* (1985) 11, S. 641–646.

[5] *Kobler, H.:* Umbau und Erweiterung älterer Wasserkraftwerke. «Elektrizität» *60* (1982) 2, S. 4–8.

Adresse des Verfassers: *Guido Portmann,* Rittmeyer AG, CH-6302 Zug.