Möglichkeiten der Prozesssimulation von Flussstaustufen

Autor(en): **Leutenegger, Hansjakob**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **79 (1987)**

Heft 5-6

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940640

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Möglichkeiten der Prozesssimulation von Flussstaustufen

Hansjakob Leutenegger

Zusammenfassung

Der vorliegende Aufsatz will Betreibern, Planern und Lieferanten, die sich mit der Oberwasserpegel- und Abflussregelung von Flussstauhaltungen befassen, einen Überblick über die Anwendungen der Prozesssimulation geben. Es werden Anlass, Notwendigkeit und die möglichen Vorteile der Simulation beschrieben. Die Simulation durchläuft im allgemeinen fünf Stufen: Prozessidentifikation, Modellbildung, Programmierung, Modellabgleich und den eigentlichen Simulationsablauf. Der Prozess Staustufe, bestehend aus Stauraum und Wehr oder Kraftwerk mit entsprechenden Abflussorganen, kann in hydraulischen oder mathematischen Modellen abgebildet werden. Bei den mathematischen Darstellungen sind «verteilte» Modelle, welche orts- und zeitabhängige Variable (Profile) beschreiben, und «konzentrierte» Modelle, welche nur Aussagen über die Ein- und Ausgangsignale (Zu- und Abfluss, Pegel) liefern, zu unterscheiden. Die Simulation wird in Versuchsgerinnen, auf Analogrechnern und zunehmend auf Digitalrechnern oder digitalen Automatiksystemen durchgeführt. Je nach Ziel ist die eine oder andere Methode besser geeignet. Die Simulation wird an Bedeutung gewinnen und vermehrt gefordert werden. In Zusammenarbeit von Hochschulen und Industrie kann die Basis geschaffen werden, solche Simulationen mit vertretbarem Aufwand durchzuführen.

1. Anlass und Zielsetzungen für die Simulation

Der immer dichtere Ausbau unserer Flüsse mit Staustufen zur Energieerzeugung und zur Erleichterung der Schiffahrt stellt zunehmend höhere Anforderungen an den Betrieb dieser Anlagen. Diese Forderungen werden mit Betriebssicherheit, Hochwasserschutz, maximaler Energieerzeugung, Sicherstellung der Schiffahrt, Dämpfung von Zuflusswellen und anderen Anliegen begründet.

Infolgedessen und auch aus wirtschaftlichen Überlegungen werden die Abflussorgane der Staustufen meistens durch Oberwasserpegel- und Abflussregler («*OW/Q*-Regler») automatisch gesteuert. Die vielseitigen Aufgaben führen dabei zu immer komplexeren Automatiksystemen. Die Zahl wählbarer und einzustellender Parameter steigt, so dass die bisher übliche Parameteroptimierung vor Ort immer zeitraubender und unübersichtlicher wird. Dabei ist man auch von der momentanen Wasserführung und deren Schwankungen abhängig, was eine sichere Parameterwahl erschwert. Dies und die Tatsache, dass der «Prozess» dauernd im Betrieb ist, verunmöglicht die Anwendung bekannter Parametereinstellmethoden mit definierten Störungen, wie sie in der Literatur zu finden sind [1]. Diese Schwierigkeiten können mit einer Simulation des Prozesses umgangen werden.

Im weiteren kommt hinzu, dass solche Anlagen zunehmend unbemannt betrieben werden. Daraus resultiert das Bedürfnis, Funktion und Reaktion von Staustufe und Automatik bei aussergewöhnlichen Betriebsfällen zu kennen und einigermassen voraussagen zu können. Da diese Momente im Betrieb nicht im voraus zu bestimmen sind, müssen sie simuliert werden können.

Bei der Prozesssimulation wird das Verhalten der Staustufe und eventuell auch der Automatik in einem Simulationsgerät nachgebildet. Die Ausgangssignale (Oberwasserpegel, Abfluss) verhalten sich auf Zuflussveränderungen ähnlich wie bei der Stauhaltung. Der Zufluss lässt sich aber frei beeinflussen (Bild 1).

Die Ziele für den Einsatz der Prozesssimulation können wie folgt definiert werden:

- Zeitersparnis bei der Bestimmung der mannigfaltigen Regelparameter, da diese Simulation weniger Zeit in Anspruch nimmt als das Abwarten der Reaktion an der Staustufe
- Unabhängigkeit von der Wasserführung, da jegliche simulierte Wasserführung jederzeit und ungestört vorgegeben werden kann.
- Sicherheit, da verschiedenste Störungen und Betriebsfälle wie auch Kombinationen davon durchgespielt werden können.

2. Aufgaben der Simulation an Flussstauhaltungen

Die Prozesssimulation kann bei der Planung der Staustufe, bei der Konzeption der Automatik, bei deren Inbetriebsetzung und beim Betrieb der Staustufe zur Anwendung kommen. Je nach Phase sind aber unterschiedliche Aufgaben zu lösen.

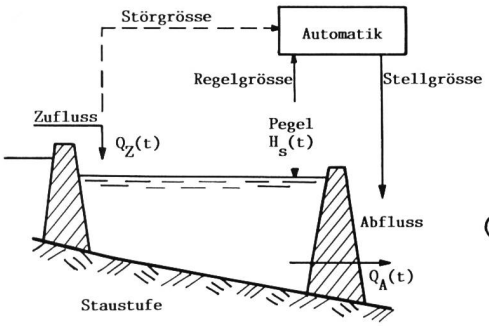
Bei der *Planung* der Staustufen dient die hiezu statisch formulierte Simulation zur Berechnung von Staulinien, aber auch zur Untersuchung des Abflussverhaltens einzelner Abflussorgane und deren Kombination unter verschiedenen Verhältnissen. Eine solche Simulation ist für die Dimensionierung einer Anlage unerlässlich. Sie wird unter Umständen durch Modellversuche ergänzt.

Ebenfalls in die Planungsphase gehört die Berechnung des Ablaufs von Hochwasserwellen. Diese, jetzt aber dynamisch formulierte Simulation, ist bei der Dimensionierung ebenfalls wichtig.

Erweitert man das dynamische Rechenmodell mit einer Abbildung der Automatik, lassen sich mit der Simulation auch verschiedene *Steuer-* und *Reglerkonzepte* prüfen, bevor die apparativen Installationen in der Anlage realisiert sind. Später kann die Prozesssimulation dazu dienen, die wunschgemässe Funktion der Automatik anlässlich der *Werkabnahme* zu bestätigen.

Vor und während der *Inbetriebsetzung* erlangt die Simulation ihre Hauptbedeutung, lassen sich doch damit die vielfältigen Regelparameter bei verschiedensten Wasserführungen und unter verschiedensten Betriebsbedingungen unbeeinträchtigt vom realen Ablauf und dessen oft störenden Auswirkungen untersuchen. Dies ist vor allem dann unerlässlich, wenn die Automatik mit signaladaptiven, im wesentlichen also sich abhängig von der Wasserführung ändernden Parametern ausgerüstet ist. Die Einstellung solcher Variablen bedingt ein Durchfahren des ganzen Abflussbereichs, was vor Ort in nützlicher Frist nicht möglich ist. Mit den so gewählten Einstellgrössen kann ein sicherer Betrieb in allen Arbeitsbereichen erreicht werden. Eine eigentliche Feinstoptimierung wird aber weiterhin mit den Erfahrungen aus längerer Betriebszeit vor Ort erfolgen müssen.

Ist die Anlage in *Betrieb,* kann die Simulation dazu benutzt werden, die Auswirkungen beabsichtigter Parameteränderungen oder auch spezielle Betriebsfälle zu untersuchen. Eine weitere Anwendung ist das Durchspielen einer Stauraumbewirtschaftung, besonders bei einer Kette von Stauhaltungen.



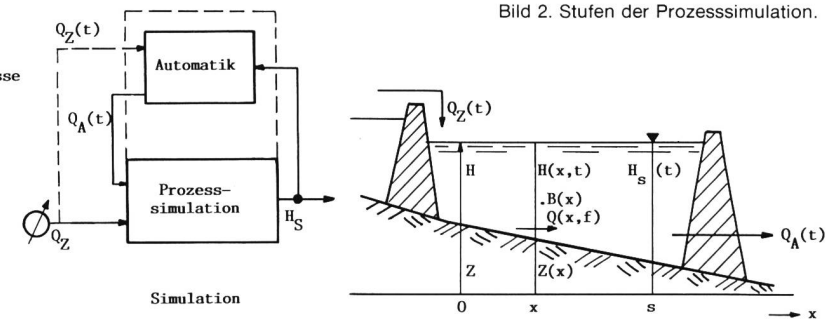


Bild 2. Stufen der Prozesssimulation.

Bild 1. Prinzip der Prozesssimulation für Staustufen.

3. Ablauf des Simulationsvorganges

Für alle Simulationsaufgaben gemäss Abschnitt 2 folgt der Simulationsvorgang einem fünfstufigen Ablauf (Bild 2).
Die erste Stufe enthält die *Prozessidentifikation.* Die Analyse des Prozesses liefert die zu berücksichtigenden physikalischen Gesetze und Zusammenhänge, woraus ein Gleichungssystem formuliert werden kann. Auch wenn wir hier nur einen Prozess, die Flussstauhaltung, betrachten, bedingen die verschiedenartigen Anordnungen, die Ausgestaltung und Anzahl der Abflussorgane usw. dennoch eine fallweise Identifikation, um eine zielgerichtete Simulation zu ermöglichen.
Als zweite Stufe wird das eigentliche Modell gebildet. Es gilt, das ursprüngliche, dem Prozess weitgehend gerecht werdende Gleichungssystem so zu vereinfachen, dass es einer praktisch durchführbaren Simulation zugänglich wird. Die Modellbildung ist für die Qualität der späteren Simulation entscheidend. Je nach Aufgabe (vgl. Abschnitt 2) sind verschiedene Vereinfachungen möglich oder nötig. Deren Zulässigkeit ist sorgfältig abzuklären, deren unvermeidlichen, für die spätere Anwendung meist einschränkenden Auswirkungen zu beachten. Eine möglichst starke Vereinfachung ist aber anzustreben, damit die Simulation leichter handhabbar wird.
Als dritte Stufe kann man dann die *Abbildung* des Modells in einem geeigneten Simulationsgerät, heute meist einem Rechner, betrachten. Es handelt sich hier um eine programmierende Tätigkeit. Wichtig sind neben der formal richtigen Übertragung des Modells auch die praktische Ausgestaltung der Variableneingabe und der Resultatsausgabe. Wenn möglich ist auch eine modulare Konstruktion zu wählen, um sowohl bezüglich zu simulierendem Prozess als auch bezüglich «eingebauter» Automatik flexibel zu bleiben.
Im Gegensatz zu den drei vorangehenden Stufen, die nur einmal zu durchlaufen sind, ist der *Modellabgleich* jedes Mal vor der Simulation durchzuführen, wenn die Grunddaten, also etwa die Geometrie, aber auch der Abflussbereich, neu gewählt werden. Der Modellabgleich dient dazu, die Richtigkeit der Modellparameter zu bestätigen oder andernfalls deren Anpassung auszulösen. Der Modellabgleich bezieht sich immer auf einen Referenzpunkt (meist Abfluss) und erfolgt im Vergleich mit realen Messungen an einer Staustufe oder auch im Vergleich zu aufwendigen Modellen.
Nach dem Modellabgleich kann nun, als fünfte Stufe, die eigentliche Simulation beginnen. Die Anzahl der Durchläufe hängt von der Parametervariation ab; eine zweckmässige Strategie bei deren Wahl ist vorgängig festzulegen.

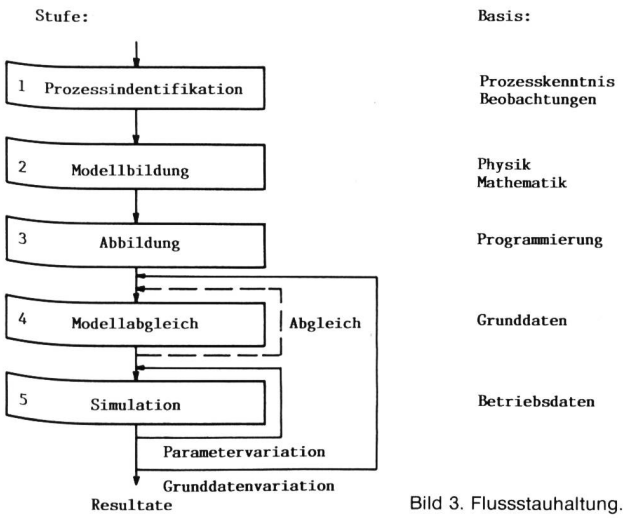


Bild 3. Flussstauhaltung.

4. Der Prozess Flussstauhaltung

Beim betrachteten Prozess können zwei Hauptelemente festgestellt werden: der Stauraum und die Staueinrichtung (Wehr, Kraftwerk) mit den Abflussorganen (Turbinen, Wehrverschlüsse, Schleusen).
Den *Stauraum* können wir als längliches Gerinne längs der Flussachse *x* bezeichnen (Bild 3). Das Flussprofil ist ortsabhängig, Wasserstand und Durchfluss sind orts- und zeitabhängig. Auch wenn die Strömung meist nur in Richtung der Flussachse, also ohne Querströmungen und unabhängig von der Tiefe betrachtet wird, und man zudem auch noch ein rechteckförmiges Gerinne annimmt, erhält man zur Beschreibung ein System von partiellen Differentialgleichungen, regelungstechnisch als Regelstrecke mit verteilten Parametern bezeichnet. Vielen in der Literatur [2, 3] bekannten Modellen liegen die *St. Venant*schen Gleichungen zugrunde. Diese Gleichungen sind aber einer handlichen Programmierung nicht gut zugänglich, so dass sie meist vereinfacht werden. Dies auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass für viele Simulationsaufgaben nur die Werte an den Endpunkten des Stauraums, Zufluss, Abfluss und Stauziel, interessieren, das dynamische Verhalten der Profile aber weniger bedeutend ist. Dennoch ist zu beachten, dass Wellenvorgänge auftreten. Sie äussern sich auch bei einfacheren Modellen in Totzeiten.

Für die *Abflussorgane* in Kraftwerk und Wehr sind die nichtlinearen, pegel- oder fallhöhenabhängigen Abflusskennlinien zu beachten. Für eine dynamische Simulation ist das integrierende Verhalten der Stellantriebe dominierend. Je nach Simulationsaufgabe ist eine starke Vereinfachung bei den Abflussorganen angezeigt und zulässig. Es kann genügen, mehrere gleichartige Organe durch eine typische Kennlinie zu ersetzen.

Methode	physikalisch		mathematisch		
Umfang	(verteilt)	konzentriert		verteilt	
		x = 0,s		x	
Grad	nichtlinear	linear	linear		nichtlinear
Form	dynamisch	dynamisch	dynamisch		statisch
Eignung	f(t)	f(t) f(s)	f(x,t) f(x,s)	f(x,t)	f(x)
Profile	ja	nein	ja	ja	ja
Zeitbereich	ja	ja	ja	ja	nein
Frequenzbereich	eher nein	ja	ja	nein	nein
Statische Berechnung	ja	nein	ja	ja	ja

Bild 4. Einteilung der Modellbildungsverfahren.

5. Einteilung der Modellbildungs- und Simulationsverfahren

Die Modellbildungsverfahren lassen sich in physikalische und mathematische Verfahren einteilen (Bild 4). Bei den physikalischen Verfahren sind vor allem die hydraulischen Modelle, bei welchen der Stauraum in einem Modellgerinne abgebildet wird, von Bedeutung. Anstelle von beschreibenden Differentialgleichungen werden hier Ähnlichkeitsgesetze angewendet. Bedingt zu den physikalischen Modellen ist auch die Abbildung auf Analogierechnern zu zählen. Da aber hier eine mathematische Formulierung vorgeht, wollen wir sie zu den mathematischen Modellen schlagen.

Bei den mathematischen Modellen ist zwischen «konzentrierten» und «verteilten» Gleichungssystemen zu unterscheiden. Letztere basieren auf partiellen Differentialgleichungen, welche alle Variablen des Prozesses orts- und zeitabhängig beschreiben (Bild 3). Das Differentialgleichungssystem wird für die spätere Programmierung aufbereitet, so z.B. in Differenzengleichungen umgeschrieben oder auch linearisiert und in den Frequenzbereich transformiert. Bei rein statischer Simulation bleiben dabei nichtlineare Zusammenhänge oft bestehen. Für die aufwendigere dynamische Simulation wird meist linearisiert, um rationellere Rechenmethoden einsetzen zu können. Nichtlinear verteilte dynamische Modelle sind nur der numerischen Integration im Zeitbereich zugänglich und bedingen grössere Rechenzeiten.

Die konzentrierten Modelle beschränken sich auf die Randpunkte bei $x = 0$ und $x = s$ des Prozesses, beschreiben also lediglich das Verhalten der Ein- und Ausgangssignale (Zufluss, Abfluss, Pegel beim Stauziel). Sie sind wesentlich leichter zu handhaben, setzen aber mehr Vorbereitung voraus und haben einen eingeschränkteren Gültigkeitsbereich. Für statische Aussagen sind sie kaum geeignet, bei nichtlinearer Formulierung sind sie ebenfalls nur im Zeitbereich anwendbar, während lineare Darstellungen auch dem Frequenzbereich zugänglich sind. Konzentrierte Modelle können aus der Vereinfachung verteilter Modelle, aber auch aus direkten Ansätzen aufgrund von Beobachtungen oder der Auswertung von aufgezeichneten Schrittantworten oder Frequenzgängen gewonnen werden. In Bild 4 sind die wesentlichsten Modellbildungsarten und ihre Einsatzmöglichkeiten dargestellt.

Bei den Simulationseinrichtungen sind zwei grundsätzlich verschiedene *Konfigurationen* zu betrachten (Bild 5). Bei der *Regelstreckensimulation* wird die reale Automatik mit der Simulationseinrichtung, in der Stauraum und Kraftwerk abgebildet sind, gekoppelt. Diese Konfiguration ist für Werkabnahmen, Betriebssimulation usw. geeignet. Sie setzt unter Umständen einen erheblichen Installationsaufwand bezüglich Messtechnik, Resultatsaufzeichnung und Stelltechnik voraus. Ihre Anwendung liegt im Echtzeitbereich. Die *Regelkreissimulation* umfasst die Simulation von Automatik, Stauraum und Abflussorganen. Diese Konfiguration ist apparativ wesentlich einfacher. Sie ist auch für Untersuchungen im Frequenzbereich geeignet und wird vor allem in der Planungsphase eingesetzt.

Bezüglich *Technik* können wir drei Gruppen von Simulationseinrichtungen feststellen:

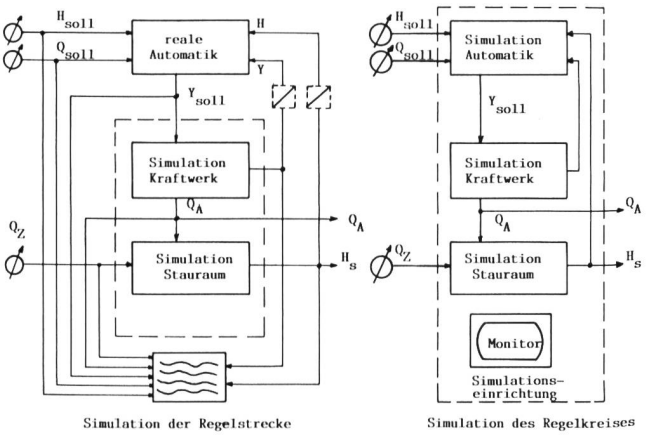
- Hydraulische *Modellgerinne* für die Anwendung hydraulischer Modelle eignen sich ausschliesslich für Regelstreckensimulation.
- Elektronische *Analogrechner* werden für konzentrierte Modelle sowohl für Regelkreis- wie für Regelstreckensimulation eingesetzt. Anstelle labormässiger Analogrechner lassen sich auch Module analogelektronischer Automatisierungssysteme [4] für die Regelstrecke einsetzen. Damit wird mit der realen Automatik auch die Regelkreissimulation möglich. Gleichzeitig können die verwendeten Steckkarten als Ersatzteilhaltung betrachtet werden.
- *Digitalrechner* eignen sich sowohl für konzentrierte als auch für verteilte Modelle im Zeit- und Frequenzbereich. Hier steht die Regelkreissimulation im Vordergrund, da sonst unter Umständen erhebliche Installationen bezüglich Interfaces erforderlich sind. Einfacher ist eine Regelstreckensimulation mit Elementen digitaler programmierbarer Automatisierungssysteme, die das Interfacing ja bereits enthalten. Auch hier können Ersatzteile zur Simulation verwendet werden [5].

Bild 6 gibt einen Überblick über die Simulationsverfahren und deren Einsatzgebiete. Daraus geht hervor, dass digitale Verfahren heute am vielseitigsten anwendbar sind. Werden dabei digitale Automatiksysteme eingesetzt, bleibt auch die Möglichkeit der Regelstreckensimulation für die Werkabnahme einer realen Automatik erhalten. Allerdings haben auch die anderen Verfahren ihre bleibende Berechtigung, was der nächste Abschnitt zeigen soll.

6. Merkmale einzelner Verfahren

Die Simulation mittels *hydraulischer Modelle* in Versuchsgerinnen hat ihren Ursprung meist in statischen Untersuchungen von Abflussvorgängen oder auch in der Eichung von Abflussorganen. Für dynamische Versuche ist die geeignete mess- und stelltechnische Ausrüstung einzubauen; die Regelung muss real gelöst werden. Der Installationsaufwand ist somit erheblich. Die Wasserführung ist frei beeinflussbar. Variationen in der Anlage sind aber aufwendig, der

Bild 5. Simulationskonfigurationen.



Simulationsverfahren Art	hydraulisch	analog		digital	
Simulations-einrichtung	Modell-gerinne	Analog-rechner	anloge Automatik-systeme	Digital-rechner	digitale Automatik-systeme
Simulation Regelstrecke	ja	ja	ja	eher nein	ja
Regelkreis	nein	ja	ja	ja	ja
Modell konzentriert	nein	ja	ja	ja	ja
verteilt	ja	nein	nein	ja	nein
Arbeitsbereich Zeit	ja	ja	ja	ja	ja
Frequenz	kaum	kaum	nein	ja	nein

Bild 6. Übersicht Simulationsverfahren.

Zeitbedarf für Versuche gross. Allein für dynamische Versuche stehen hydraulische Modelle wohl kaum im Vordergrund.

Modelle mit *verteilter,* ortsabhängiger Darstellung bedingen zur Simulation einen Digitalrechner. Die dynamischen Formulierungen sind meist aus Modellen zur Staulinienberechnung oder zur Ermittlung des Ablaufs von Hochwasserwellen entstanden [2, 6]. Sie sind vielseitig verwendbar, erlauben die Darstellung ortsabhängiger Resultate (Profile) und geben, bei genügend feiner Diskretisierung, die Abläufe entsprechend exakt wieder. Ihr Nachteil besteht einerseits im grossen benötigten Datenmaterial, andererseits im hohen Rechenaufwand. Für den Betrieb eines solchen Modells sind längs des Stauraumes Angaben über die Flussquerprofile erforderlich. Handelt es sich um Neuanlagen, liegen diese Daten meist für die statische Berechnung vor. Bei bestehenden Anlagen hingegen können die Beschaffung, Aufbereitung und Eingabe dieser Daten einen erheblichen Aufwand erfordern. Dies und der aufwendige Rechenablauf schränken die Anwendung dieser Modelle ein. Für rasche konzeptionelle Betrachtungen wie auch für eine Parametervariation sind sie eher zu anspruchsvoll. Sie sind in der Praxis zudem eher für Regelkreise denn für eine Regelstreckensimulation geeignet, also auch für Werkabnahmen usw. weniger prädestiniert. Bei linearer Formulierung lassen sie sich aber in den Frequenzbereich transformieren, wodurch theoretische Betrachtungen bezüglich Stabilität, Dämpfung und grundsätzlicher Parameterwahl erleichtert werden. In der linearisierten Form können auch im Zeitbereich rationelle Rechenmethoden zur numerischen Integration verwendet werden.

Konzentrierte Modelle sind weniger breit anwendbar als die vorgenannte Darstellung in ortsabhängigen Grössen. Ihre Aufbereitung erfordert mehr Aufwand, ihre Gültigkeit ist meist nur gegeben, wenn die Modellkonstanten dem Arbeitspunkt (Abfluss) angepasst werden. Für die einzelne Simulation werden dann aber nur wenige Daten benötigt, der Rechenaufwand ist minim. Konzentrierte Modelle sind auf Analogrechner, Digitalrechner, analogen und digitalen Automatisierungssystemen abbildbar. Eventuell im Modell enthaltene Totzeiten schränken aber den Einsatz der Analogtechnik ein. Bei linearer Schreibweise sind ebenfalls Rechnungen im Frequenzbereich möglich. Sie sind für Regelstrecken- und Regelkreissimulation geeignet, dank den kurzen Variations- und Rechenzeiten insbesondere auch für Abnahmen, Optimierungen und ähnliche Aufgaben.

Entscheidend für die Qualität konzentrierter Modelle sind die Vereinfachungen, die ihnen zugrunde liegen. Je stärker die Vereinfachungen, um so geringer dürfte die Simulation dem realen Ablauf im Stauraum entsprechen. Dennoch können sehr stark vereinfachte Modelle [6], die für eine einzelne Staustufe nur sehr bedingt anwendbar sind, für die Betrachtung einer Kette von Stauhaltungen sinnvoll, praktikabel und von hohem Aussagewert sein. Konzentrierte Modelle sind in der Literatur zu finden [3, 7].

7. Ausblick

Die Überlegungen im vorausgehenden Abschnitt zeigen, dass sowohl hydraulische als auch verteilte, digital berechnete und konzentrierte, analog oder digital abgebildete Modelle ihre Einsatzgebiete haben. Für die Planung von neuen Staustufen werden sowohl hydraulische Versuche als auch umfangreiche statische und neuerdings dynamische Berechnungen vorherrschen. Entsprechende Programme auf der Basis verteilter Modelle sind an mehreren Hochschulen vorhanden und werden dort weiterentwickelt.

Für den Entwurf von Regelkonzepten, für Werkabnahmen, Parameteroptimierungen bei der Inbetriebsetzung und auch späteren Parametervariationen sind vor allem konzentrierte Modelle, analog oder digital programmiert, geeignet. Dank grösserer Flexibilität und besseren Dokumentationsmöglichkeiten nimmt auch hier die Bedeutung digitaler Simulationsmethoden zu. Solche Modelle werden vorwiegend von der Industrie benutzt. Es ist zu erwarten, dass bei Anfragen und Ausschreibungen von Automatiksystemen für Staustufen zunehmend Simulationen verlangt werden. Dies besonders mit dem Ziel, die Funktionstüchtigkeit vorgeschlagener Regelkonzepte nachzuweisen, Werkabnahmen zu ermöglichen und die Parametereinstellung zu erleichtern. Es ist Sache der Betreiber, die Simulationsbedingungen festzulegen, etwa welche Zuflussströmungen zu simulieren oder welche Störfälle durchzuspielen sind. Ebenso haben die Betreiber dazu die notwendigen Grunddaten bereitzustellen. Hingegen sollte, um die Konkurrenz der Automatiklieferanten zu erhalten, nicht ein bestimmtes Modell vorgeschrieben werden, sondern nur die Forderung nach einem nachgewiesenermassen geeigneten Modell erhoben werden. Diesen Nachweis kann die Industrie in Zusammenarbeit mit der Wissenschaft durch Vergleich ihrer einfachen Modelle mit den aufwendigeren der Hochschulen anhand gleicher Daten erbringen. Bestrebungen dieser Art sind im deutschsprachigen Raum an mehreren Orten im Gang.

Literatur

[1] *H. Oppelt:* Kleines Handbuch Technischer Regelvorgänge. Verlag Chemie, Weinheim

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

[3] *M. Neumüller, W. Bernhauer:* Stauregelung und Abflussregelung an Laufwasserkraftwerken mit automatischen Verfahren. «Wasserwirtschaft» 9/1976

[4] Systembeschreibung Rian, «Rittmeyer» 68 06 900

[5] Systembeschreibung Ridat, «Rittmeyer» 68 07 972

[6] *R. Fäh, A. Kühne:* Numerische Simulation automatischer Stauregulierungen bei Laufwasserkraftwerken «wasser, energie, luft» 79 (1987), Heft 5/6

[7] *N. Fichtlscherer:* Regelung des Oberwasserpegels am Stauwehr. «Wasserwirtschaft» 10/1965

Adresse des Verfassers: Dr. Ing. *Hansjakob Leutenegger,* Direktor Wasserwerke Zug AG, Poststrasse 6, CH-6301 Zug.