Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 75 (1983)
Heft: 4

Artikel: Die Automatisierung der Thunerseeregulierung
Autor: Blaser, Hans / Mörikofer, Andreas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941253

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: 28.12.2025

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

Die Automatisierung der Thunerseeregulierung

Hans Blaser und Andreas Mörikofer

Zusammenfassung

Die hier beschriebene Steuereinrichtung dient dazu, den Thunerseeausfluss, die Aare, nach dem Wehrreglement oder bei Bedürfnis nach
– See konstant
– See nicht sinkend
– Aareabfluss konstant
zu regulieren.
In besonderen Fällen kann auch von den Steuerzentralen Thun und Bern oder direkt auf dem Wehr von Hand gesteuert werden.
Alle wichtigen Mess- und Stellungswerte sind in den Steuerzentralen angezeigt. Befehle und Meldungen werden im Klartext aufgeschrieben, und die Messwerte Seepegel und Abfluss Aare (Soll und Ist) werden aufgezeichnet.
Die Pegelmesswerte See und Aare werden über Fernwirkverbindungen eingeholt, und auch die Informationsübertragung nach Bern wird durch eine Fernwirkverbindung sichergestellt.
Die für den Ablauf der Steuervorgänge wichtigen Parameter können in bestimmten Bereichen frei gewählt werden. Damit ist das Anpassungsvermögen an gegebene und eventuell sich verändernde Situationen gewährleistet.
Das Automatiksystem wird von verschiedenen Mikroprozessoren gesteuert. Der modulare Aufbau der Hardware wie der Software fördert das Verständnis für die Funktionen und erleichtert eine eventuelle Störungssuche.
Die Stromkreise der Anlage überwachen sich weitgehend selbst. Entsprechende Anzeigelampen und Ausdrucke im Klartextprotokoll verweisen auf lokalisierte Unregelmässigkeiten.
Ein übergeordnetes, von der Regulieranlage getrenntes Pikett-Alarmsystem sorgt für eine sichere Alarmierung bei wichtigen Vorkommnissen.

1. Das Systemkonzept

1.1 Die Aufgabenstellung

Da soll also der Computer, ein Produkt der modernsten Technologie unserer Zeit, die jahrhundertealte Wehranlage steuern und überwachen. Es ist ein faszinierender Gedanke, die knorrigen, währschaften Tore mit der feinen, sensiblen Elektronik zu einer funktionierenden Einheit zu verschmelzen. Der Entwickler der elektronischen Automatik wird gut daran tun, die Seele des alten Bauwerkes zu ergründen, sein Verhalten und seine Reaktionen inmitten der Naturgewalt Wasser zu erforschen und sich den naturgebundenen Gegebenheiten genau anzupassen.
Neben den physikalischen Bedingungen sind daher auch die Erfahrungen, gesammelt von den für die Steuerung der Wehre Verantwortlichen, in die Computerprogramme einzubringen.
Jahrzehntelange Beobachtung und Gewichtung der Bedürfnisse der am See und Fluss interessierten Menschen haben zu den vier gewünschten Regelarten geführt:
– Regulierung nach dem Wehrreglement (Normalfall)
– Konstanthaltung des Seespiegels
– See nicht sinkend
– Konstanter Aareabfluss
Sollte in einer besonderen Situation keine der vier Regelarten den Erfordernissen genügen, so müssen die Wehre individuell von Hand an Ort und Stelle oder von Bern aus bedient werden können.

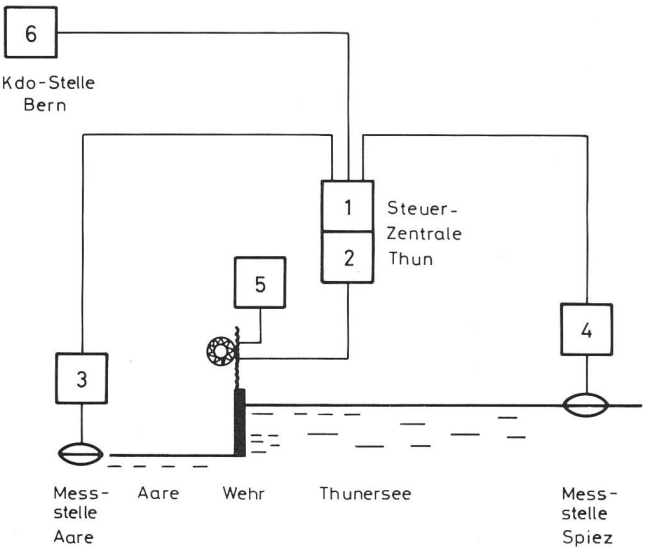


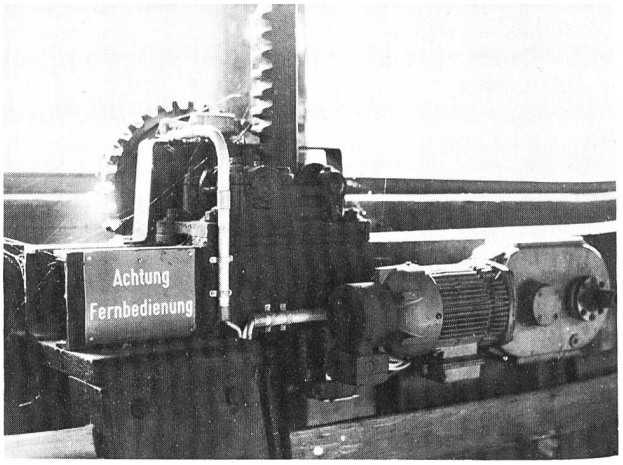
Bild 1. Schema der Anlage. 1 Datenverarbeitungsanlage Steuerzentrale Thun, 2 Lokalsteuerung Steuerzentrale Thun, 3 Pegelmessstelle Aare, 4 Pegelmessstelle Spiez, 5 Örtliche Wehrsteuerung (vor Ort), 6 Kommandostelle Bern.

Diese Aufgabenstellung führt zu dem mit Bild 1 dargestellten Anlagenkonzept.
Als Gehirn der Anlage dient ein Rechnersystem (1), das mit der Lokalsteuerung (2) die Steuerzentrale Thun bildet. Hier werden alle notwendigen Informationen wie:
– Seepegel (4)
– Aarepegel (3)
– Art des Regulierregimes
– Stellung der Wehrschützen (5)
gesammelt und zu Befehlen an die Wehre verarbeitet.

1.2 Die Wehranlage

Den Bürgern von Thun sind die schönen, erhaltenswerten Wehranlagen wohlbekannt. Dort, wo sich die Aare in zwei Arme teilt, findet man gleich die Scherzligschleuse, welche der Regulierung der Äusseren Aare dient. Folgt man etwa 250 Meter dem inneren Aarelauf, so stösst man auf die Mühleschleuse. Beide Anlagen besitzen je zehn Tore, von denen zwei mittlere als Feinreguliertore ausgebildet sind. Zum Schutze der alten Holzkonstruktion werden die normalen Tore nur ganz geöffnet oder ganz geschlossen, während die Feinreguliertore, wie ihr Name besagt, die häufigen feinen Regulierbewegungen auszuführen haben.

Bild 2. Ein Torantrieb.



1.3 Die örtliche Steuerung

Ein Elektromotor hebt oder senkt über ein Zahnstangengetriebe die schweren Holztore (Bild 2). Ein örtlicher Handschalter erlaubt, individuell jedes Tor aus dem Automatikregime herauszunehmen und unabhängig von den anderen zu öffnen oder zu schliessen. Übrigens kann dieser Steuerungseingriff nicht unbemerkt bleiben. In der Steuerzentrale Thun wird angezeigt und im Wasserwirtschaftsamt (WEA) in Bern zudem noch registriert, dass das betreffende Tor aus dem automatischen Betrieb herausgenommen wurde und nun örtlich bedient wird.
Um ihre Regelfunktionen ausüben zu können, muss die Automatik auch die Stellung der Tore kennen. Von den Feinreguliertoren werden die Öffnungshöhen über Sohle in Zentimetern (0 bis 250 cm) und von den übrigen «offen» oder «zu» gemeldet und in der Steuerzentrale Thun und Bern angezeigt.

1.4 Die Steuerzentrale Thun

In einem zu diesem Zweck erstellten Raum auf der Mühleschleuse finden wir die Steuerzentrale, das Gehirn der Anlage. Das speicherprogrammierte System Gfeller Telebit «GTB 20» enthält alle Programme und Stromkreise, die der Bearbeitung der eintreffenden Daten und der Steuerung der Wehranlagen dienen. Die Lokalsteuerung System «Losy» vermittelt, angeregt durch das eben erwähnte Rechnersystem, die Steuerbefehle an die Wehranlage und überwacht das Funktionieren der 20 Tore.

Dem interessierten Betrachter kann die Bedienungstafel, bestückt mit Tasten, Anzeigelämpchen, Digitalanzeigen usw., nicht entgehen. Eine praktisch gleiche Bedienungstafel findet man im WEA in Bern. Auch von dort aus ist es möglich, die Systemfunktionen zu überwachen und in den Prozess einzugreifen (Bild 3).
Die Bedienungs- und Anzeigeorgane werden im Zusammenhang mit den noch zu erläuternden Funktionsabläufen erklärt.

1.5 Die Kommandostelle in Bern

Die Kommandostelle «WEA Bern» ist mit der Steuerstelle Thun durch eine Mietleitung, über die das Fernwirksystem GTB 20 betrieben wird, verbunden (Bild 4).
Ein Fernwirksystem codiert die ihm zur Übertragung eingegebenen Informationen und sendet sie in Form von Telegrammen über eine Telefonleitung zur Gegenstelle, wo die Meldungen decodiert und ausgegeben werden. In unserem Falle sind von Bern nach Thun 280 Informationen und in der Gegenrichtung 200 Meldungen sowie 4 analoge Messwerte zu übertragen. Die Bedienungstafel in Bern dient, wie die in Thun, der Übersicht über die Systemsituation und erlaubt es, wenn notwendig, in den Prozess einzugreifen.

1.6 Die Pegelmessstellen Aare und See

Die Landeshydrologie hat für ihre Zwecke eine Pegelmessstelle beim Kraftwerk Spiez sowie einige 100 Meter unterhalb des Kraftwerkes Thun, dort, wo die beiden Aare-

Bild 3. Die Steuerstelle Thun, im rechten Schrank oben: Bedienungstafel mit Steckermatrizen für die Einstellung der Festwerte und der Torreihenfolge; unten: Lokalsteuerung. Im linken Schrank: Regulierautomatik und Fernwirksysteme.

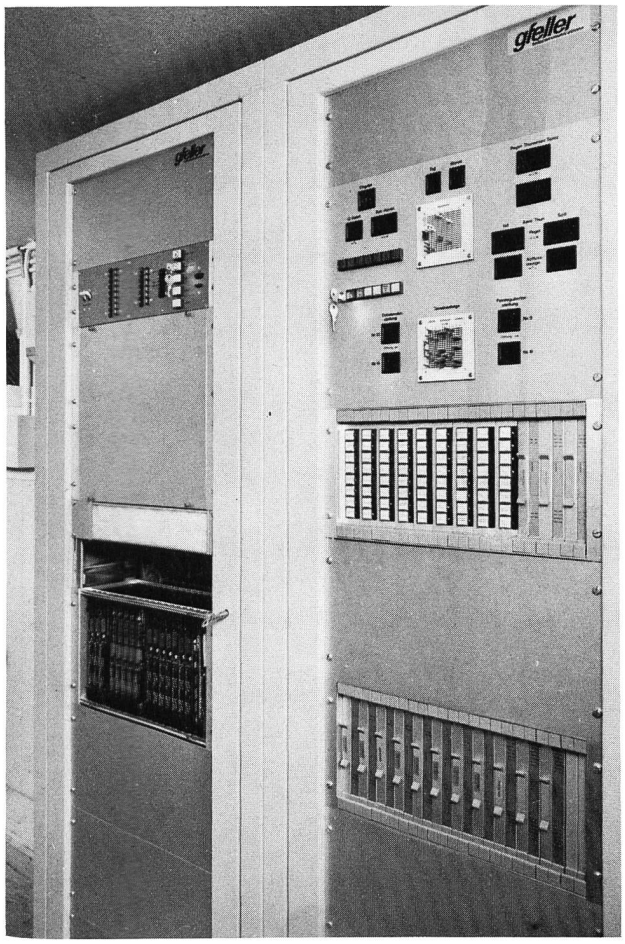
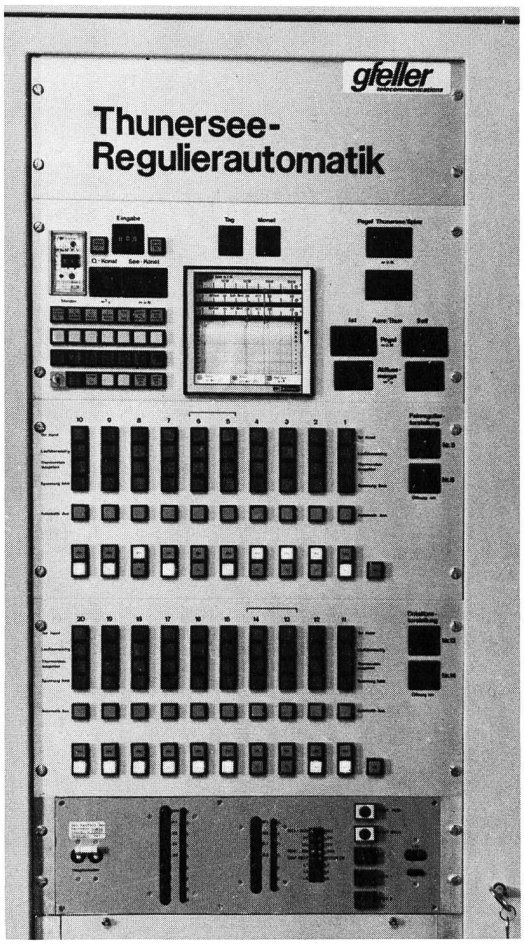


Bild 4. Die Bedienungs- und Überwachsungstafel der Steuerstelle im Wasser- und Energiewirtschaftsamt (WEA) des Kantons Bern in Bern.



läufe wieder vereinigt sind, eingerichtet. Diese Messstellen sind mit Geräten Telesignal Gfeller M 330 ausgerüstet, welche den interessierten Stellen ermöglichen, die Pegelstände telefonisch abzufragen.
Das eidgenössische Amt gewährt nun dem kantonalen «Bruder» Hausrecht in dem Sinne, dass in den beiden Messhäuschen Fernwirkgeräte GTB 10 eingebaut werden konnten, welche die Übermittlung der Pegelstände über separate Mietleitungen nach der Steuerzentrale Thun ermöglichen.
Zyklisch treten, angeregt durch das Rechnersystem in der Steuerzentrale Thun, die zwei Fernwirksysteme in Aktion, übernehmen in den Messstellen die aktuellen Pegel, wandeln sie in Telegramme um, übertragen diese in die Steuerzentrale Thun und stellen die Messwerte dem Rechnersystem in geeigneter Form zur Verfügung.
Während der Pegel des Thunersees direkt Eingang in die Regulierautomatik findet, muss das Aareniveau zuerst in die Durchflussmenge umgewandelt werden. Dies geschieht mit einer im Rechner gespeicherten Umrechnungstabelle, in welcher zu jedem Pegelwert die zugehörige Abflussmenge festgehalten ist.

2. Die Systemfunktionen

2.1 Regulierung nach dem Wehrreglement

2.1.1 Das Wehrreglement

Das Wehrreglement, das den Abflusswert zu einer bestimmten Jahreszeit bei einem bestimmten Seespiegel angibt (Bild 2 zum vorangehenden Aufsatz von *K. Neumann*) ist im Rechnersystem in Form von 40 Polygonzügen mit 200 Stützstellen gespeichert.
Man erwartet vom Reglement, dass es möglichst viele Bedürfnisse befriedigt und wünscht, dass es aufgrund neuer Erkenntnisse und Erfahrungen leicht geändert werden könne. Dem kommt die Technologie des Systems weitgehend entgegen. Die oben erwähnten Polygonzüge können durch Eingeben neuer Stützstellen geändert werden.

2.1.2 Der Funktionsablauf

Alle 30 Minuten (die Zeit ist einstellbar) übernimmt der Rechner vom Fernwirksystem den Seestand und die Aareabflussmenge.
Seepegel und Datum (das Datum wird einem internen Kalender entnommen) ermöglichen es, mit Hilfe des eben beschriebenen Wehrreglementes die Sollabflussmenge zu errechnen. Aus dem Vergleich zwischen Soll- und Istmenge und unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Torstellungen können die neuen Positionen mittels einer mathematischen Formel unter Zugrundelegung empirisch ermittelter Abflusskoeffizienten errechnet werden. Bei dieser letzten Berechnung ist wichtig zu wissen, welche Tore offen sind und welche neu nun verändert werden sollen, denn je nachdem hat eine bestimmte Torbewegung verschiedene Abflussmengenänderungen zur Folge.
Sollte sich nach einer Steueraktion aus irgendwelchen Gründen nicht der gewünschte Abflusswert einstellen (ausserhalb eines Toleranzbandes liegend), so wird beim nächsten Messzyklus korrigiert.
Auf die Steuerung der Wehre wird im Abschnitt 2.6 näher eingegangen.

2.2 Aare konstant

Soll die Abflussmenge der Aare konstant gehalten werden, so kann von den Bedienungstafeln Thun oder Bern aus auf diese Betriebsart umgeschaltet werden. Die gewünschte Abflussmenge wird auf 1 m^3/s genau an einem Multiswitch eingestellt und mittels Befehlstaste dem System eingegeben. Die Anlage akzeptiert allerdings nur Werte zwischen 40 und 400 m^3/s und solche, die nicht mehr als 50 m^3/s von der aktuellen Abflussmenge abweichen.
Der Rechner in Thun vergleicht nun den eingegebenen Abfluss-Sollwert mit dem Istwert, bestimmt daraus die notwendigen Torstellungen und gibt die entsprechenden Befehle an die Wehranlage aus. Zur Zurückschaltung in den Normalbetrieb (Regulierung nach Wehrreglement) stehen 2 Möglichkeiten offen. Direkt von Hand mittels einer Rückstelltaste oder verzögert über einen Timer, dessen Ablaufzeit von 0 bis 99,9 Stunden eingestellt werden kann.
In Thun wie in Bern können die Regelabläufe sehr schön beobachtet werden. Auf Ziffernanzeigefeldern können der Ist- und der Sollwert des Aarepegels sowie die daraus errechnete Abflussmenge abgelesen werden. Daneben wird auf einem gleichen Ziffernfeld auch der Pegel des Thunersees angezeigt, und schliesslich zeichnet ein Registriergerät den zeitlichen Verlauf der Ist- und Soll-Abflussmengen und des Seestandes beweiskräftig auf.

2.3 See konstant

Die Umstellung auf Konstanthaltung des Sees erfolgt auf ähnliche Art wie bei der Initialisierung der Regelart «Aare konstant».
Der Rechner akzeptiert auf 1 cm genaue Werte zwischen 557,00 und 558,30 m ü. M. unter der weiteren Voraussetzung, dass der gewünschte Seepegel nicht mehr als 50 cm vom aktuellen Wert abweicht.
Nun vergleicht also der Rechner den Soll- mit dem Istwert des Seepegels und stellt fest, ob mehr oder weniger Wasser abgelassen werden soll. Dabei sorgt der Computer dafür, dass sich die Aareabflussmenge in einer halben Stunde nicht mehr als 20% ändert. Diese beiden letztgenannten Werte sind übrigens einstellbar.
Das Verhalten der Reguliereinrichtung kann wiederum an den Überwachungstafeln beobachtet werden. Die Ziffernanzeige Pegel Thunersee und besonders schön der Registrierstreifen gestatten die Beobachtung des Annäherns an den gewünschten Sollwert.

2.4 See nicht sinkend

Wird verlangt, dass der Seepegel nicht sinkt, so kann mittels einer Befehlstaste das für diesen Zweck vorgesehene Regulierprogramm angesteuert werden. Die Eingabe eines Sollwertes für den Seepegel erübrigt sich, da der Seepegel im Moment der Umschaltung als Wert, der nicht unterschritten werden darf, angenommen wird.
Nun fragt man sich, ob nicht einfach mit Hilfe des Programmes «Seespiegel konstant» das Absinken verhindert werden könnte. Dies trifft wohl zu, doch würde dabei auch das Ansteigen unnötigerweise nicht zugelassen.
Daher wird nun unter dem Regime «See nicht sinkend» bei sinkender Tendenz wohl nach dem Regime «See konstant» reguliert, bei steigender aber nach dem Wehrreglement.
Auch hier können, wie schon beschrieben, die Abfluss- und Pegeländerungen an den Ziffernanzeigefeldern sowie langzeitlich am Registrierinstrument abgelesen werden.

2.5 Handbedienung Thun und Fernbedienung von Bern

Wenn auch mit den vier beschriebenen Regelarten die wesentlichsten Bedürfnisse befriedigt werden können, so sind doch noch Situationen denkbar, bei denen ein ausserordentliches Eingreifen notwendig wird. Mittels einer

Steuertaste wird von Bern oder von Thun aus die Anlage von automatischem auf Handbetrieb umgestellt. Jedes Tor kann nun individuell über eine Druckknopfbedienung auf- oder zugesteuert werden.
Selbstverständlich bleiben dabei die Anzeigen in Funktion, so dass das ganze System überblickt werden kann. An den Ziffernanzeigen können der Pegel des Thunersees sowie der Pegel und die Abflussmenge der Aare abgelesen werden. Die den Toren zugeordneten Lämpchen zeigen die Stellung «offen» oder «zu» und mittels Ziffernanzeigen werden die Öffnungshöhen der Feinreguliertore in cm angegeben.
Jedes Tor kann auch einzeln am Wehr selbst oder von den Steuerstellen Thun und Bern aus in den Handbetrieb genommen werden. Möchte man beispielsweise ein bestimmtes Feinreguliertor von Bern aus etwas weiter öffnen, so nimmt man über eine dem Tor zugeordnete Steuertaste dessen Automatik ausser Betrieb und betätigt dann die Steuertaste «öffnen». Aus dem Ziffernanzeigefeld des betreffenden Tores kann man nun das zentimeterweise Öffnen verfolgen. Mit einer generellen Halttaste wird bei der gewünschten Öffnungsstellung der Bewegungsablauf unterbrochen.
Die Rückschaltung in den automatischen Betrieb kann individuell pro Tor oder aber in den Steuerstellen Bern und Thun auch durch eine generelle Taste erfolgen.

2.6 Die Steuerung der Schleusen

Den 20 Toren der beiden Schleusen sind verschiedene Aufgaben zugeteilt. Die mittleren Tore der oberen Schleuse dienen der Feinregulierung. Bei ihrem Ausfall treten automatisch die zwei mittleren Tore des unteren Wehrwerkes an ihre Stelle. Im Normalfall wird mit den zwei letztgenannten Schleusen die Dotierwassermenge von mindestens 30 m^3/s eingestellt. Erst wenn sämtliche oberen Tore geöffnet sind, wird mit dem unteren Wehrwerk reguliert.
Periodisch – die Zeit ist einstellbar (s. Abschnitt 2.7) – errechnet der Computer die neu einzustellenden Schleusenöffnungswerte aufgrund des verlangten Regulierregimes, der aktuellen Werte Seestand, Aareabfluss und Torstellungen. Da gehen nun Öffnungs- oder Schliessungsbefehle an die Grobreguliertore, und die Feintore werden in die errechneten Zwischenstellungen gebracht.
Im übrigen können die Torreihenfolgen frei gewählt werden. Auf einer Steckerplatte in der Steuerzentrale Thun ist die Steuerung zurzeit so programmiert, dass die Grobreguliertore sich von der Flussmitte gegen aussen öffnen und umgekehrt in der Reihenfolge von aussen gegen die Mitte hin schliessen.
Um eine Fehleinstellung der Tore auszuschliessen, begleiten verschiedene Überwachungsfunktionen den Steuervorgang.
Die Laufzeit wird individuell überwacht, so dass festgestellt und alarmiert wird, wenn ein Tor sich verklemmt haben sollte.
Bevor der Rechner Steuerbefehle an das Wehr abgibt, kontrolliert er, ob die Veränderung gegenüber der früheren Stellung in einem plausiblen Rahmen liegt.
Die Stellungen der Feinreguliertore werden auf 1 cm genau kontrolliert, und sollte nach Abschluss eines Steuervorganges die verlangte Stellung nicht erreicht worden sein, so wird das betreffende Feinreguliertor aus der Automatik herausgenommen, und es wird mit den übrigen intakten Feinreguliertoren weiterreguliert.
Schliesslich werden die Stellungen der Grob- wie Feinreguliertore sowie die Alarme mit Uhrzeit und Datum versehen auf einer Schreibmaschine im Steuerzentrum Bern niedergeschrieben (siehe Abschnitt 3).

2.7 Einstellbare Festwerte

Toleranzen, Parameter, Grenzwerte und Konstanten beeinflussen den Ablauf des Systems. Sie müssen den hydraulischen und mechanischen Gegebenheiten sowie den Wünschen des Anwenders angepasst sein. Da sich Situationen ändern können, wird von der Anlage eine hohe Anpassungsfähigkeit erwartet. Diese wird sichergestellt, indem Toleranzen, Parameter, Grenzwerte und Konstanten in einem bestimmten Bereich frei einstellbar sind. In der Steuerzentrale Thun ist eine Steckermatrix eingebaut, auf der mit Diodensteckern die gewünschten Werte gesteckt werden können.
Die nachfolgenden, auf der Diodenmatrix steckbaren Werte sind auch deshalb hier erläutert, weil sie Aufschlüsse über zeitliche und mengenmässige Abläufe geben. Die nach der Angabe des Einstellbereiches in Klammer gesetzte Zahl nennt den zurzeit eingestellten Wert.

2.7.1 Maximal zulässige Abflussmengenänderung pro Regelzyklus.

Einstellbereich 2 bis 40% (zurzeit gesteckt: 20%)
Wird beispielsweise bei einer Abflussmenge von 40 m^3/s auf das Regulierregime «Abflussmenge konstant» 80 m^3/s umgeschaltet, so werden die Tore in mehreren Schritten (Zyklen) geöffnet. Jeweils nach zirka 1 Stunde wird wieder 20% mehr Wasser durchgelassen. Ein Regelzyklus setzt sich übrigens aus der Torlaufzeit (bis zu 45 Minuten) und der unter 2.7.10 beschriebenen Zykluszeit zusammen.

2.7.2 Begrenzung der Zyklen mit maximalen Abflussmengenänderungen

Einstellbereich 1 bis 20 (10)
Die Anzahl Zyklen, die hintereinander die unter 2.7.1 beschriebene maximal zulässige Abflussmengenänderung bewirken, sind auf 10 begrenzt. Danach wird die Automatik ausgeschaltet und Alarm gegeben. Damit ist eine obere Grenze der Mengenänderung gesetzt.

2.7.3 Maximaler Seeanstieg

Einstellbereich 0,5 bis 10 cm/h (4 cm/h)
Steigt der Seespiegel pro Stunde mehr als 4 cm, so wird Alarm gegeben. Dies allerdings nur dann, wenn der See einen über den in 2.7.4 beschriebenen Pegel aufweist.

2.7.4 Alarmbereitschaft bei erhöhtem Seepegel

Einstellbereich 556,7 bis 558,7 m ü. M. (557,6 m ü. M.)
Steht der Seepegel über 557,6 m ü. M. und steigt das Wasser weiter mit über 4 cm/h an (siehe 2.7.3), so wird Alarm gegeben.

2.7.5 Maximale Anzahl Tore in Bewegung

Einstellbereich 0 bis 20 Tore (3 Tore)
Zum Schutze der Holzkonstruktion soll vermieden werden, dass mehr als 3 Tore gleichzeitig bewegt werden. Ergibt die Berechnung des Computers, dass mehr als 3 Tore zu verändern sind, so werden die Bewegungen hintereinander ausgeführt.

2.7.6 Reguliergenauigkeit Aareabflussmenge

Einstellbereich 0,5 bis 10% (5%)
Die Regulierautomatik begnügt sich, innerhalb von 5% an den gewünschten Sollwert heran zu regulieren. Eine zu kleine Toleranz hat bedeutend mehr Torbewegungen und damit eine grössere Abnützung der Torantriebselemente zur Folge.

2.7.7 Reguliergenauigkeit des Seepegels
Einstellbereich 1 bis 20 cm (5 cm)
Beim Regime «See konstant» begnügt sich die Regulierautomatik damit, den Sollwert auf 5 cm genau zu erreichen.

2.7.8 Messzyklus Regime «Wehrreglement»
Einstellzeit 0,5 bis 10,5 h (0,5 h)
Alle 0,5 h bestimmt der Rechner anhand des Seestandes und unter Zuhilfenahme des Wehrreglementes den Sollwert der Abflussmenge. Übersteigt die Differenz zwischen Ist- und Sollwert den festgelegten Toleranzwert (siehe 2.7.6), dann wird ein Reguliervorgang ausgelöst. Erst wenn die Tore die neue Stellung erreicht haben, dies kann bis zu ¾ h dauern, beginnt die Zykluszeit von 0,5 h wieder abzulaufen.

2.7.9 Messzyklus Regime «See konstant»
Einstellwert 0,5 bis 10,5 h (0,5 h)
Alle 0,5 h wird der Seepegel kontrolliert. Bestehen über den zulässigen Toleranzwert (siehe 2.7.7) hinaus Abweichungen zum verlangten Sollwert (siehe Abschnitt 2.3), so wird die Abflussmenge verändert, aber aufs Mal höchstens um den unter 2.7.1 angegebenen Wert.

2.7.10 Messzyklus Regime «Abfluss konstant»
Einstellzeit 0,5 bis 5,25 h (0,5 h)
Der vorgegebene Sollwert (siehe Abschnitt 2.2) wird alle 0,5 h mit dem Istwert verglichen. Abweichungen über den zulässigen Toleranzwert (siehe 2.7.6) hinaus werden ausreguliert, jedoch pro Zyklus höchstens um den unter 2.7.1 angegebenen Wert.

2.7.11 Torreihenfolge
Die Ansteuer-Reihenfolge der Tore kann für den Öffnungs- wie den Schliessungsvorgang getrennt auf der Steckermatrix gewählt werden (siehe 2.6).

3. Protokollierung

Die Bedienungs- und Anzeigeelemente auf dem Wehr und in den Steuerzentralen Thun und Bern wurden im Zusammenhang mit den Funktionsabläufen beschrieben. Bisher wenig erwähnt geblieben ist jedoch die Protokollierung in Bern.
Versehen mit der genauen Uhrzeit und dem Datum werden auf einer Schreibmaschine alle Befehle, die durch Tastendruck oder durch die Automatik erzeugt werden, wie auch alle Meldungen und Alarme im Klartext ausgeschrieben.
Der mit Bild 5 gezeigte authentische Auszug aus dem Protokoll vom 19. und 20. März 1982 gibt eine Ahnung vom Wirken der Automatik.
Bemerkungen zum Protokollauszug:
Um 15.35 h wird mit dem Schlüsselschalter das Kommandotableau in Bern in Betrieb genommen und gleich darauf die Konstanthaltung des Aareabflusses mit 47 m³/s befohlen. Da weiter keine Handgriffe beabsichtigt sind, wird der Schlüsselschalter wieder auf Stellung «aus» gedreht.
Eine halbe Stunde später erfolgt der erste Eingriff der Automatik: Das Feinreguliertor 05 erhält den Schliessbefehl. Auf der gleichen Zeile werden die aktuellen Öffnungshöhen aller 4 Feinreguliertore ausgedruckt.
Nach zwei Minuten Laufzeit wird den Feinreguliertoren «halt» geboten, wobei es sich in unserem Fall nur um das Tor 05 handelt. Wir erkennen, dass sich in diesen zwei Minuten Laufzeit das Tor 05 um 19 cm geschlossen hat.
Etwa 2 h später erhält das Tor 05 und nach einer weiteren halben Stunde das Tor 06 einen Öffnungsbefehl.
Offenbar haben die bis dahin durchgeführten Regulierbewegungen den Abfluss auf den gewünschten Wert von 47 m³/s gebracht, denn bis morgens 3.09 h sind keine Bewegungen mehr zu verzeichnen.

4. Funktionssicherheit

Die Funktionssicherheit einer Anlage hängt von ausserordentlich vielen verschiedenen Faktoren ab, so dass der Anwender grosse Mühe hat, aus den ihm zugänglichen Fakten die Betriebssicherheit schlüssig zu beurteilen.
Zudem ist die Beurteilung von Einzelheiten (der Hund liegt vielfach im Detail begraben) in der Regel dem Spezialisten vorbehalten, so dass der Anwender eher auf eine summarische Beurteilung angewiesen ist.
Neben der Qualitätssicherung beim Bau der Anlage – diese ist hier nicht zu behandeln – spielt das Konzept des Systems für die Betriebstauglichkeit eine ausschlaggebende Rolle:
- Hat die Anlage eine modulare Struktur, welche die Übersicht und eine eventuelle Störungssuche erleichtert?
- Wird die Lokalisierung von Störungen durch Anzeigelämpchen erleichtert?
- Können Ersatzteile in angemessener Zeit beschafft werden?
- Kontrolliert sich das System dauernd oder periodisch selbst, um Störungen frühzeitig zu erkennen?
- Ist eine schnelle und sichere Alarmierung gewährleistet?

Auf die zuletzt genannten zwei Postulate soll etwas näher eingegangen werden.

4.1 Kontrollfunktionen

Grob können wir 4 Kontrollmechanismen unterscheiden.
1. Das Rechnersystem mit den zugewandten Fernsteuerungen wird jede Minute durch ein *Prüfprogramm* auf seine Betriebsbereitschaft geprüft. Beispielsweise wird zirka jede Sekunde von Thun aus eine Blindmeldung an die Fernwirkaussenstellen «Pegel Thunersee», «Pegel Aare» und «WEA Bern» gesendet. Die genannten Aussenstellen reagieren, indem sie ihrerseits eine Kontrollmeldung nach Thun übermitteln. Trifft eine der 3 Quittungen nicht ein, so wird der entsprechende Zweig als gestört gemeldet.
2. Die dem System eingegebenen Messdaten werden auf ihre *Plausibilität* untersucht. So muss der Aareabfluss-Messwert zwischen 40 und 400 m³/s liegen oder der Seepegel zwischen 557,0 und 558,3 m ü. M. Werte ausserhalb

Datum	Zeit			Text	Stellungen der Feinregulier-Tore
19.03.82	15:35			TH/SY/SCHLUESSELSCHALTER BERN EIN	
19.03.82	15:35		B	TH/Q -KONSTANT 47.0 M3/S	
19.03.82	15:35			TH/SY/SCHLUESSELSCHALTER BERN AUS	
19.03.82	16:09		A	TH/TOR 05 SCHLIESSEN	05: 84 06: 78 13: 24 14: 0
19.03.82	16:11		A	TH/TOR 5/6/13/14 HALT	05: 65 06: 78 13: 24 14: 0
19.03.82	18:17		A	TH/TOR 05 OEFFNEN	05: 65 06: 78 13: 24 14: 0
19.03.82	18:22		A	TH/TOR 5/6/13/14 HALT	05: 98 06: 78 13: 24 14: 0
19.03.82	18:58		A	TH/TOR 06 OEFFNEN	05: 98 06: 78 13: 24 14: 0
19.03.82	19:03		A	TH/TOR 5/6/13/14 HALT	05: 98 06:108 13: 24 14: 0
20.03.82	03:09		A	TH/TOR 06 SCHLIESSEN	05: 98 06:108 13: 24 14: 0
20.03.82	03:12		A	TH/TOR 5/6/13/14 HALT	05: 98 06: 89 13: 24 14: 0

Aktion der Automatik ← A
Manueller Eingriff ← B

Bild 5. Protokollauszug.

dieser Bereiche sind unmöglich und werden vom System nicht akzeptiert. Schliesslich wird auch noch die Glaubwürdigkeit des Computer-Resultates beurteilt: Die Torverstellungen dürfen ein gewisses Mass nicht überschreiten.
3. Die *Wehranlage,* das ausführende Organ der Steuerung, wird besonders gut überwacht. Man überprüft dauernd die Thermorelais der Motoren wie auch die Steuer- und Antriebsspannungen. Von den schweren, hölzernen, den Naturgewalten ausgelieferten Toren könnte sich wohl einmal eines verklemmen. Die Laufzeitüberwachung wird in diesem Falle ansprechen und in der Folge das gestörte Tor aus der Automatik herausnehmen und dafür das nächste in der Reihe ansteuern.
4. Und schliesslich werden dem *Bedienungspersonal* in Bern sämtliche Daten und Messwerte angezeigt, so dass es imstande ist, jederzeit den Prozessablauf zu kontrollieren und, wenn notwendig, einzugreifen.

4.2 Alarmierungskonzept

Sieben Alarmanzeigelampen in den Tableaus der beiden Steuerzentren Thun und Bern erlauben dem Betriebspersonal eine sofortige Beurteilung einer Störung.
Man kann sich vier Dringlichkeitsstufen vorstellen:
- Marginaler Fehler (zum Beispiel Anzeige defekt, Fernwirksystem Bern–Thun defekt).
  Keine Beeinträchtigung der Regulierfunktionen.
- Ausfall eines Tores.
  Regulierung mittels der übrigen Tore.
  Keine Beeinträchtigung der Regulierfunktionen.
- Ausfall der Automatik.
  Vom Steuertableau Bern oder Thun aus kann von Hand reguliert werden.
- Ausfall des ganzen Systems.
  Die Torstellungen bleiben erhalten.
  Die Schleusen werden an Ort und Stelle betätigt.

Den im aktiven System integrierten Alarmierungsstromkreisen ist nun noch ein getrenntes, unabhängiges System übergeordnet. Ein in der Steuerzentrale Thun eingebautes Alarmierungsgerät W 440 ist imstande, vier Alarmmeldungen über das öffentliche Telefonnetz an verschiedene Pikettstellen zu übertragen.
Da könnte es wohl einmal vorkommen, dass mitten in der Nacht zuhause bei einem Mitarbeiter des Wasserwirtschaftsamtes das Telefon läutet und dann folgender Text zu hören ist:

Hier ist die Steuerzentrale Thun
- Ausfall Schleusenautomatik
  oder
- Maximale Soll-/Istwert-Differenz
  oder
- Die Spannung fehlt
  oder
- Die Feinregulierung ist gestört

5. Erfahrungen

Ein grosses Problem für den Projektingenieur war das Definieren der Abflussmengenänderung aufgrund einer bestimmten Torverstellung. Es sind dabei derart viele Faktoren zu berücksichtigen (zum Beispiel Stellung der Nachbartore, Anströmrichtung usw.), dass erst Messungen einigermassen sichere Werte ergeben konnten.
Um diese Messungen vornehmen zu können, wurden in einer ersten Phase die Lokalsteuerung, die Übertragungseinrichtungen für die Pegelwerte sowie die Fernsteuerung Bern–Thun installiert. Die modulare Bauweise erlaubte es, ohne die Automatikeinrichtung ein funktionierendes System aufzubauen.
So konnten nun ferngesteuert und ferngemessen von Bern aus verschiedene Messprogramme durchgeführt werden, deren Resultate dann Eingang in die Programme der später installierten Automatik fanden. Dieses Apparatekonzept der ersten Phase bewies übrigens dem Anwender, dass er auch dann, wenn die automatische Steuerung Thun einmal ausfallen sollte, den Prozess von Bern aus beeinflussen und überwachen kann.
Reguliereingriffe können zu Schwingungen führen. Es ist denkbar, dass beim Regulierregime «Seespiegel konstant» der Thunersee in unerwünschtes Pendeln gerät. Durch Verändern des Proportionalitätsfaktors des PID-Regelkonzeptes wird diesem Verhalten entgegengewirkt.
Nur, wie soll man nun das Regelverhalten des Sees bei niedrigstem Pegelstand erproben? Den See für solche Versuche abzulassen, würde wohl bei niemandem Verständnis finden. Daher wurde ein den See nachbildendes Simulationsprogramm entwickelt, das solche «Sandkastenspiele» erlaubte.
Anerkennung für seine Arbeit wird der verantwortliche Ingenieur aber erst dann erhalten, wenn die automatische Schleusensteuerung mindestens ein Jahr lang auf schöne Tage, Schneeschmelze, Regen und Stürme richtig reagiert hat.
Das Bewährungsjahr ist nun bald vorbei. Aufgrund des statistischen Materials und dank der Flexibilität der Anlage wird es nun möglich sein, gewisse Festwerte genauer den Verhältnissen anzupassen.

Adresse der Verfasser: *Hans Blaser* und *Andreas Mörikofer,* Gfeller AG, 3018 Bern.

Das Walgauwerk in Vorarlberg

Anton Schleiss

Am 4. Februar 1983 besuchten 29 Bauingenieurstudenten und Assistenten der ETH Zürich (Vertiefungsrichtung Wasserwirtschaft) die Baustellen der Wasserkraftanlage Walgauwerk im Vorarlberg. Obwohl diese Anlage mit ihrem 21 km langen Druckstollen (Ausbruchsdurchmesser 6,25 m) zurzeit eines der bedeutendsten Stollenbauwerke Europas aufweist, ist sie in der Schweiz wenig bekannt. Die nachfolgenden Ausführungen sollen eine kurze Übersicht und einige Eindrücke vom Besuch vermitteln.
Das *Walgauwerk* nutzt die Ill sowie das Betriebswasser der Kraftwerksgruppe Obere Ill-Lünersee zwischen Rodund und Beschling. Die erwähnte Oberstufe liefert ⅔ der jährlich nutzbaren Wasserfracht, dank den vorhandenen Saisonspeichern vorwiegend im Winterhalbjahr. Das Walgauwerk kann somit einen grossen Anteil seiner Jahresproduktion zu Wintertarifen absetzen.
Die Ill wird unterhalb von Schruns gefasst und in die bestehenden Ausgleichsbecken der Rodundwerke I und II eingeleitet. In der Nähe der Zentrale des Pumpspeicherwerkes Rodund II befindet sich der Einlauf des Druckstollens, welcher das Wasser zur 21 km entfernten Schachtzentrale Beschling führt. Von dort erfolgt die Rückgabe in die Ill über einen kurzen Unterwasserkanal mit Unterdükkerung der Bundesstrasse und der Bundesbahn. Um Schwallerscheinungen im Unterlauf der Ill zu vermeiden, wird in einer bestehenden Kiesgrube neben dem Unterwasserkanal ein Rückgabebecken errichtet, welches beim