Probleme bei der Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken

Problems Concerning the Operation of Flood Retention Reservoirs

U. Maniak, Braunschweig

Zusammenfassung

Es werden einige grundsätzliche Methoden der Hochwasservorhersage und ihre Verwendung bei der Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken beschrieben. Ihre praktische Anwendung wird an zwei Beispielen aufgezeigt.

Summary

Some basic methods of flood forecasting are given, and their application for operation of flood retention reservoirs are illustrated with two examples.

1. Einführung

Hochwasserrückhaltebecken als abflußausgleichende Maßnahme dienen dem kurzfristigen Rückhalt schädlicher Hochwasserspitzen. Ihr Betrieb kann mit dem von Hochwasserschutzräumen in Talsperren während der hochwassergefährlichen Jahreszeit etwa verglichen werden. Da ihr Ausbaugrad, das Verhältnis von nutzbarem Rückhalteraum zum mittleren jährlichen Zufluß, meist wesentlich unter 0,1 liegt, ist eine größtmögliche Ausnutzung des Rückhalteraumes geboten im Hinblick auf einen optimalen Hochwasserschutz. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichend lange Zuflußvorhersage während des Hochwassers und eine adäquate Beckensteuerung.

Die operationelle Abflußvorhersage hängt unmittelbar zusammen mit den hydrologischen, instrumentellen und personellen Gegebenheiten und hat direkt Auswirkung auf die Auslegung der Steuerorgane. Zusätzlich kann die Bedeutung des Rückhaltebeckens für den Hochwasserschutz auf die unterhalb anschließende Einflußstrecke ausschlaggebend für den Betrieb werden. Infolge der sich damit ergebenden vielfachen Kombinationen ist die Bandbreite der theoretisch vorgeschlagenen bzw. in der Praxis angewandten Betriebsarten so groß, daß in diesem Kurzreferat nur ein Überblick über einige Verfahren gegeben werden kann.

Beim Betrieb von Rückhaltebecken sind grundsätzlich drei Lastfälle zu unterscheiden (siehe Abb. 1):

a) Bei einer Vielzahl von Hochwasserereignissen ist der Rückhalteraum größer als die zurückzuhaltende Hochwasserfracht. Wird dies rechtzeitig mit Hilfe einer Zuflußvorhersage erkannt, kann die zulässige Abgabe aus dem Becken untersteuert und die Einflußstrecke des Hochwasserrückhaltebeckens verlängert werden. Die Beckenentleerung kann nach Unterschreiten der zulässigen Abgabe erfolgen oder später nach Abklingen des Hochwassers im gesamten Flußgebiet, falls kein erneuter kritischer Einstau in der Zwischenzeit befürchtet werden muß.

b) Die zurückzuhaltende Hochwassermenge unter Einrechnung des Wirkungsgrades der Steuerung ist gleich dem verfügbarem Rückhalteraum. Dieses verhältnismäßig seltene Ereignis ist gleichzeitig der Bemessungsfall für die Rückhaltung und legt die Wiederholungszeitspanne für die

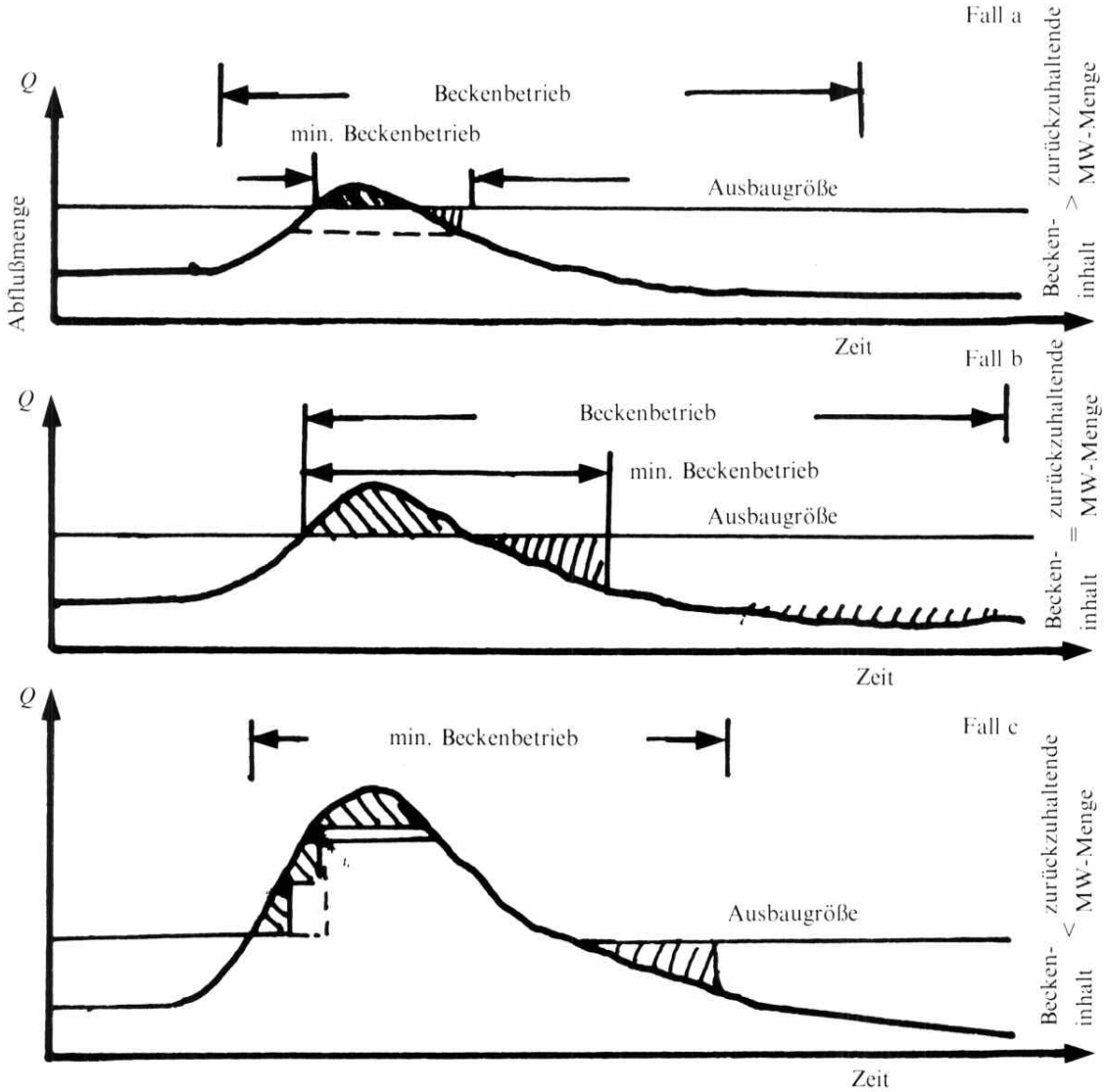


Abb. 1. Betrieb von Rückhaltebecken (Prinzipskizze)
Operation of retention-basins (principle sketch)

völlige Ausnutzung der Anlage fest. Bei diesem Lastfall muß gewährleistet sein, daß die Betriebsablässe die Regelabgabe ohne nennenswerten Einstau in den Rückhalteraum abführen. Die Beckenentleerung kann wie unter a) erfolgen.

c) Der Rückhalteraum ist kleiner als die schädliche Hochwasserfracht. Dieser Fall kann eintreten, wenn ausreichender Rückhalteraum z. B. topographisch infolge Besiedlung der Talaue o. ä. nicht ausreichend verfügbar ist. In hydrologischer Hinsicht kann sich dieser Fall einstellen bei mehreren aufeinanderfolgenden Hochwässern mit mittleren Scheitelabflüssen, die eine zwischenzeitliche schadlose Beckenentleerung nicht ermöglichen. Schließlich ist dieser Lastfall auch denkbar zwischenzeitlich, während der Ausbauphase einer Hochwasserschutzmaßnahme für ein größeres Flußgebiet beim Bau von mehreren hintereinander gelegenen Rückhaltebecken.

Beim Versagensfall c) läßt sich der Schaden auf ein Minimum reduzieren, wenn mit Hilfe einer adaptiven Abgabe der Bereich des Scheitelabflusses zurückgehalten wird. Eine derartige Steuerung

setzt eine Vorhersage von Scheitelabfluß und zurückzuhaltender Hochwasserfracht voraus. Die Abgabe bei diesen kritischen Fällen erfolgt so schnell wie möglich. Bei der Vorentlastung ist es zwingend, daß die Betriebsablässe bei der maximal gesteuerten Abgabe nahezu rückstaufrei arbeiten.

2. Einige Verfahren der Zuflußvorhersage für die Steuerung

Jede operationelle quantitative Abflußvorhersage hat zum Ziel, die Hochwasserganglinie zeitlich soweit als möglich unter Angabe der Fehlermarge vorherzusagen. Der Zuverlässigkeitsgrad als Unterschied zwischen vorhergesagtem und später beobachtetem Wert sinkt mit wachsendem Vorhersagezeitintervall. Als Hilfsgrößen für die Vorhersage werden Abflüsse oder Wasserstände im Oberlauf, die Abflußbereitschaft des Einzugsgebietes, der Niederschlag und die Wetterentwicklung gewählt.

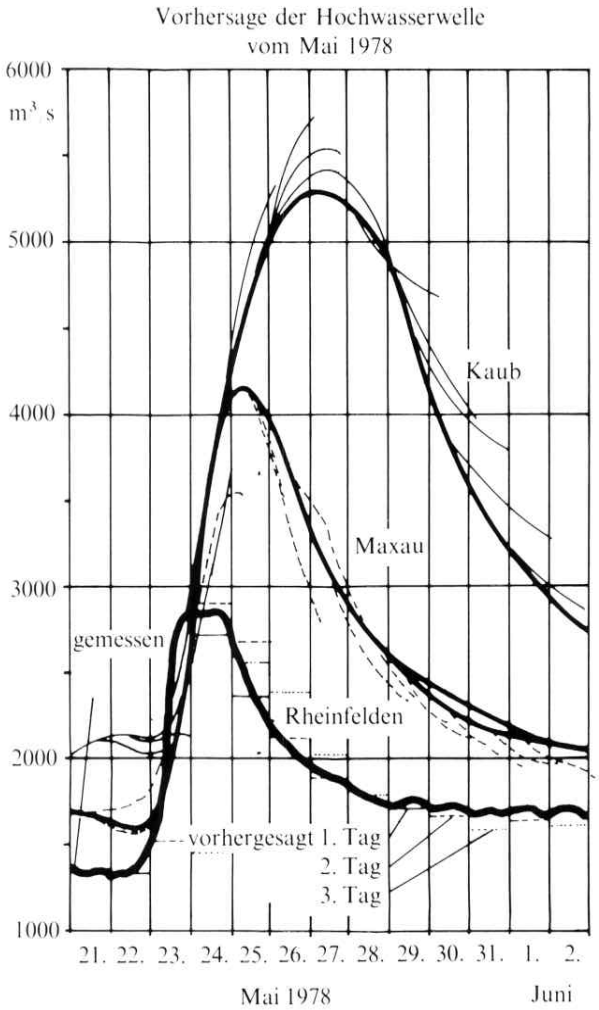


Abb. 2. Vorhersage der Hochwasserwelle vom Mai 1978 (nach Mendel)
Prediction of flood hydrograph from may 1978 (by Mendel)

Als Vorhersageverfahren dienen statistisch-deterministische Methoden der (nicht) linearen einfachen oder mehrfachen Regression; Niederschlag-Abfluß-Modelle in Form von Blockmodellen (z. B. Einheitsganglinie) oder detaillierte Modelle mit Abflußbildungs- und Abflußkonzentrationsansätzen. Daneben kommen weitere Modelle wie Flood-Routing-Verfahren oder Mehrkanalfilter zur Anwendung [1] (siehe Abb. 2–6).

Die Auswahl des Vorhersageverfahrens ist in der Regel abhängig von den verfügbaren Eingabedaten im aktuellen Betrieb. Beim Fehlen geeigneter, zuverlässig arbeitender Fern-

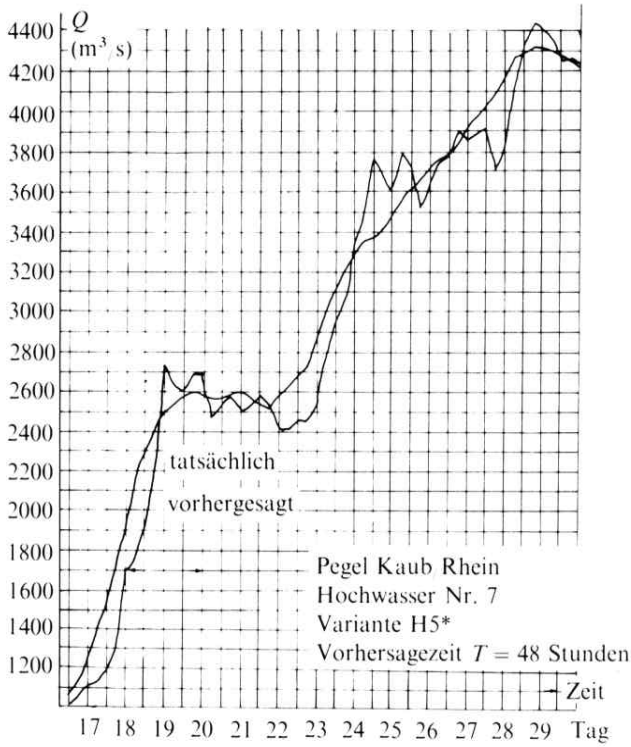


Abb. 3. Schrittweise Vorhersage der Abflußganglinie
Prediction of flood hydrograph step by step

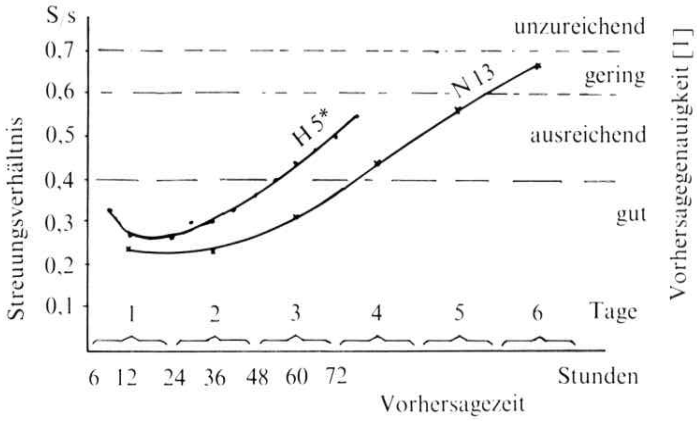


Abb. 4. Genauigkeitsvergleich zwischen Niedrigwasser- und Hochwasservorhersage
Comparison of accuracy between low water- and flood forecast

übertragungsmöglichkeiten und nicht permanent einsatzbereitem Personal, wie es häufig bei der Vielzahl der Becken in kleinen Einzugsgebieten der Fall ist, müssen die Vorhersagemethoden zwangsläufig einfach gehalten werden.

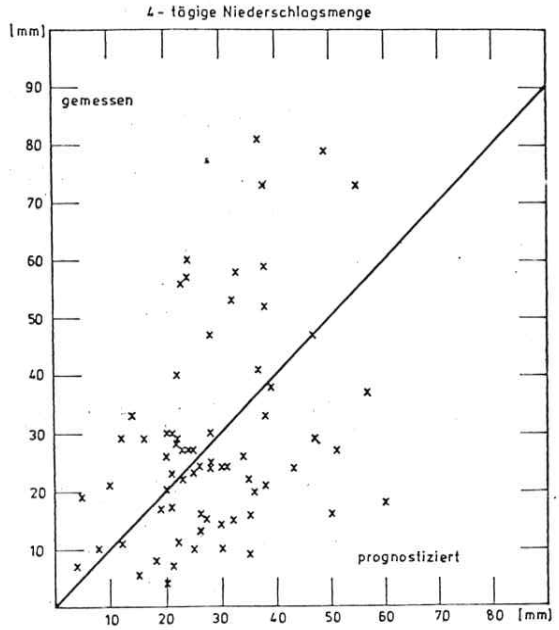


Abb. 5. Resultat der quantitativen Niederschlagsvorhersage der Schweiz (nach Courvoisier)
Results of quantitative precipitation forecast of Switzerland (by Courvoisier)

In einigen Fällen wird versucht, durch geeignete Ermittlung des abflußwirksamen Gebietsniederschlages mit Radar und mit Niederschlag-Abfluß-Modellen den Vorhersagezeitraum zu verlängern und die Vorhersage quantitativ zu verbessern. Auch wird die Fernübertragung von repräsentativen Regenschreibern in Verbindung mit Koaxialdiagrammen in diesem Zusammenhang empfohlen.

Zur Eichung des Abflusses z. B. anhand von Pegeln im Oberlauf zeichnet sich als kritische Größe für die Vorhersage häufig die Konzentrationszeit ab.

3. Beispiele von Steuerungen für Rückhaltebecken

Die Zuflußvorhersage und der Betrieb sollen anhand von einigen Beispielen erläutert werden. Auf einfache Betriebsweise in Form einer annähernd konstanten Abgabe, die durch konstruktive Maßnahmen gegebenenfalls jahreszeitlich variiert werden kann, wird nicht näher eingegangen [3]. Desgleichen sollen Rückhaltebecken, deren Betrieb dem Prinzip der Seeretention „Zufluß minus Abfluß gleich Speicherinhaltsänderung innerhalb des gewählten Zeitintervalles" unterliegt, nur erwähnt werden.

Die im folgenden angegebenen Vorhersagezeitintervalle sind Zeitspannen, über die theoretisch maximal vorhergesagt werden kann. Der für den praktischen Betrieb einzuführende Abminderungsfaktor, der durch den Zeitverlust bei der Erfassung, Übertragung und Aufbereitung der hydrologischen Daten sowie bei der Vorhersageberechnung und ihrer Umsetzung in die Steuerung entsteht, soll hier nur gestreift werden.

3.1 Beispiel für ein statistisches Vorhersagemodell

Der vorherzusagende Abfluß am Gewässerquerschnitt y setzt sich zusammen aus mehreren gemessenen Größen x_i, *die gleichzeitig oder zeitlich früher anfallen, z. B. Niederschläge, Abflüsse des Oberlaufes. Sie werden durch eine lineare Regression verknüpft zu*

$$y(t + \Delta t) = a_0 + \sum a_i x_i(t)$$

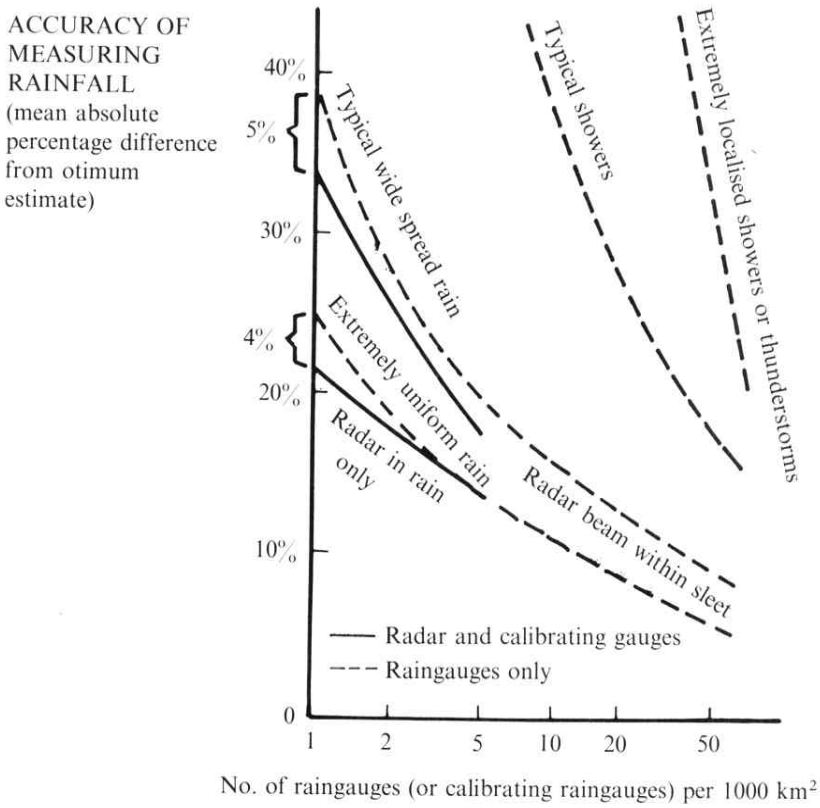


Abb. 6a. Unterschiede in der Regenmessung durch Radar und durch Niederschlagsstationen in Abhängigkeit der Stationsdichte

Differences of measuring rainfall between radar and raingauges in dependence on density of raingauges

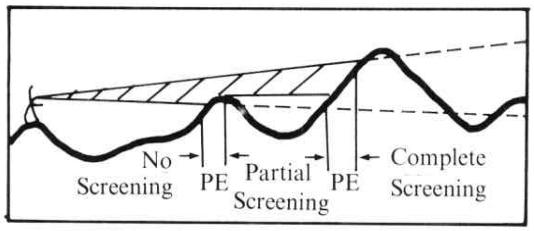


Abb. 6b. Behinderung der Radarmessung durch Gebirge

Restriction of radar measuring by mountains

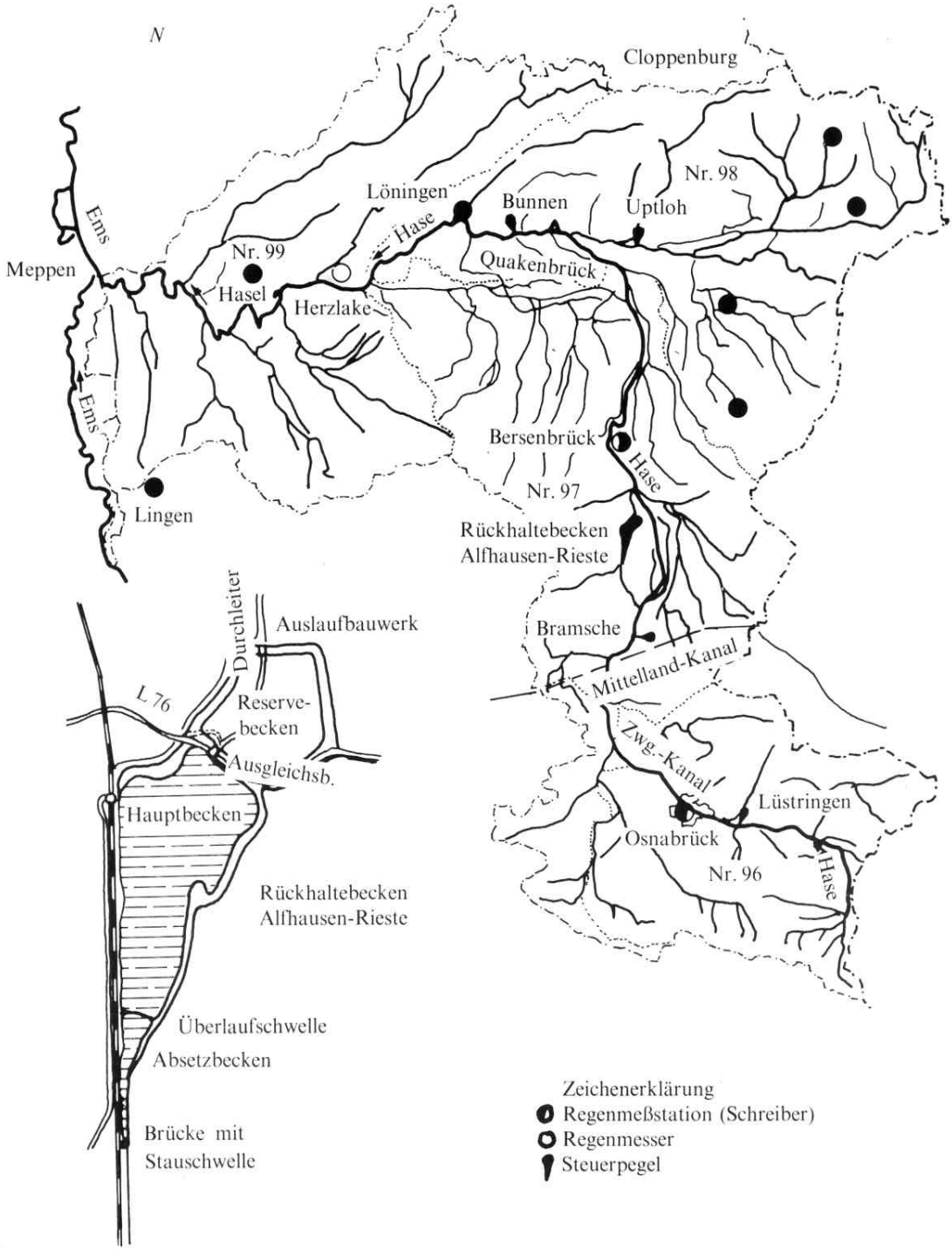


Abb. 7. Lageplan des Rückhaltebeckens Alfhausen-Rieste
Plan of the retention basin Alfhausen-Rieste

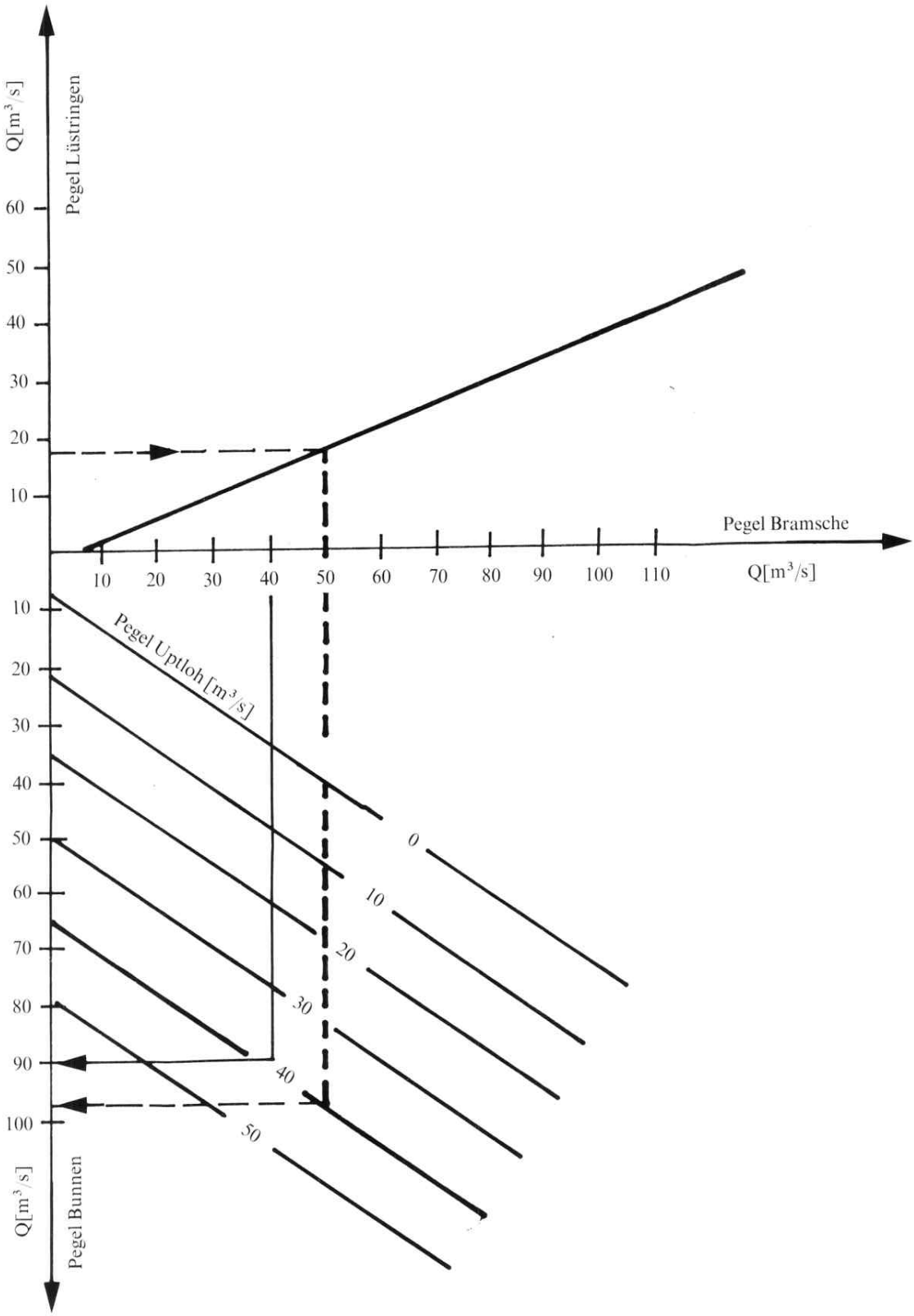


Abb. 8. Vorhersage von Hochwasserscheitelabflüssen – Winter
Peak flood forecast – winter

Diese nicht streng funktionelle Beziehung weist eine Streuung auf, die bei der Vorhersage zu berücksichtigen ist, das heißt während der Vorhersage sind die rechnerisch ermittelten Werte an die beobachteten Daten laufend anzupassen.

Eine einfach zu handhabende Steuerung wird am Beispiel des Rückhaltebeckens Alfhausen-Rieste an der Hase (Emsgebiet) gezeigt. Die Randbedingungen für den Betriebsplan werden durch die Lage des Beckens im Seitenschluß, durch die unterschiedliche Nebennutzung der beiden Polder, die Leistungsfähigkeit der Hase unterhalb des Beckens und durch weitere Rückhaltebecken im Hasegebiet gegeben (siehe Abb. 7).

Die maximale Überleitungsmenge von 80 m^3/s entspricht etwa dem HQ_{25} und sinkt bis auf 65 m^3/s oder den 10jährlichen Hochwasserscheitelabfluß mit steigendem Beckenspiegel ab. Der bewirtschaftbare Hochwasserschutzraum im Hauptpolder beträgt 12,7 hm^3. Hiervon ist in den Sommermonaten die Lamelle von NN + 35,75 m bis NN + 38,75 m oder von 4,27 hm^3 bis 7,37 hm^3 möglichst kurzfristig einzustauen bzw. freizuhalten mit Rücksicht auf die Randwanderwege und auf den Sportbootverkehr.

Nach Ausschöpfung der Kapazität des Hauptpolders kann Hochwasser im 8,1 hm^3 großen Reservebecken gespeichert werden, das mit dem Hauptpolder über ein Ausgleichsbauwerk mit einer minimalen Leistung von 65 m^3/s verbunden ist. Infolge der seltenen Inanspruchnahme des Polders 2 ist eine teilweise Grünlandnutzung der Beckenfläche vorgesehen. Des Auslaufbauwerk und der Ableiter zur Hase sind auf 50 m^3/s ausgelegt.

Infolge des durchlässigen Untergrundes muß bei Einstau des Hauptpolders mit einer unkontrollierten Sickerwassermenge gerechnet werden, die in den Randgräben dem Ableiter zugeführt wird. Die Sickerwassermenge bei Einstau steigt etwa von 0,6 m^3/s auf maximal 1,9 m^3/s und erhöht sich auf rund 3,0 m^3/s bei voller Inanspruchnahme des Polders 1 and 2.

Unter Berücksichtigung der Pflichtwasserabgabe an den Unterlauf erfolgt die Einspeisung in das Becken bei Abflüssen über 4,5 m^3/s oder 6,8 $l/s\ km^2$. Bis zu 30m^3/s im Sommer und 50 m^3/s im Winter erfolgt keine Speicherung, sondern eine Durchleitung des Wassers. Nach Vollfüllung des Hauptbeckens werden 60 bzw. 85 m^3/s übersteigende Hochwasserabflüsse im Reservebecken eingespeichert.

Mit Hilfe der Steuerung sollen die im Betriebsplan abgesteckten Ziele möglichst gut erreicht werden. Da der Bau des gesamten Hochwasserrückhaltebeckens sich über mehrere Jahre erstreckt und das Meßstellen- und Steuerungssystem ebenfalls nur stufenweise ausgebaut werden kann, mußte für die erste Betriebsphase ein möglichst einfaches Steuerungsschema gefunden werden, das auf den Informationen der vorhandenen Meßstellen aufbaut.

Zwischen den Oberlaufpegeln Lüstringen, Eversburg und Wersen und dem Zulaufpegel Bramsche wurden lineare Regressionen der Hochwasserscheitel aufgestellt, um die dem Becken zufließende Oberwassermenge für einen Tag vorhersagen zu können. Für die Steuerung des Beckens nach dem Mittellauf wurden Regressionen zwischen den Hochwasserabflüssen an dem Pegel Bramsche und den Pegeln Bersenbrück und Uptloh bzw. Bunnen aufgestellt. Zur Beurteilung der Abflußsituation im Unterlauf diente eine Regression zwischen den Pegeln Bunnen und Herzlake (siehe Abb. 5).

Zur Vereinfachung der Berechnung und im Hinblick auf eine möglichst große Vorhersagezeitspanne wurde als Steuerpegel für den Unterlauf der Pegel Bunnen herangezogen, bis zu dem die Fließzeit bei Hochwasser bis zu 37 Stunden beträgt. Die Hochwasserprognose weist für diesen Pegel mit $\Delta Q = \pm 10{,}10\ m^3/s$ im Sommer- bzw. $\Delta Q = \pm 9{,}66\ m^3/s$ im Winterhalbjahr die geringsten Fehler auf. Für den Oberwasserzufluß wurde schließlich nur der Pegel Lüstringen mit einer Fließzeit von maximal 17 Stunden herangezogen. Die Zeitspanne für die Vorhersage des Abflusses mit ausreichender Genauigkeit ergab sich zu 24 h (siehe Abb. 8).

Für die Steuerung des Beckens kann damit ein einfaches Ablaufdiagramm entwickelt werden, das gegebenenfalls per Hand listenmäßig berechnet werden kann, und soll am Beispiel der Steuerung im Winterhalbjahr erläutert werden (siehe Abb. 9).

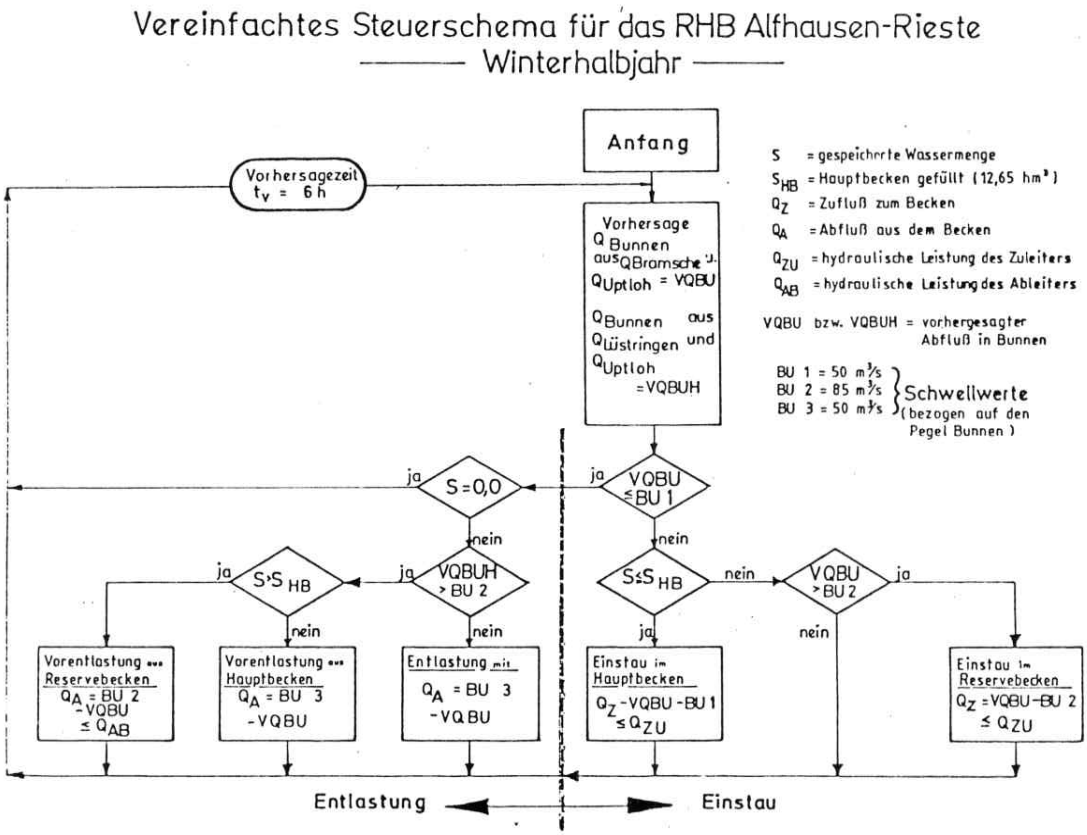


Abb. 9. Vereinfachtes Steuerschema für das RHB Alfhausen-Rieste (Winterhalbjahr)
Simplified operation-scheme of the retention basin Alfhausen-Rieste (winter season)

Die Steuerung mit Hilfe einer Prognose mittels Regressionen setzt beim Erreichen gewisser Schwellwerte ein. So errechnet sich der Schwellwert für den Unterwasserpegel Bunnen wie folgt:

Schadloser Abfluß (Ausbaugröße)	80,00 m³/s
abzüglich:	
a) Vertrauensbereich der Regression	– 9,66 m³/s
b) Verhältnis von Tagesmittelwerten zu Scheitelabflüssen (80 · 1,13 – 80)	– 10,40 m³/s
Schwellwert für den Beginn der Prognose	~ 60,00 m³/s

Berücksichtigt werden muß die Verringerung der Rückhaltewirkung nach flußabwärts. Durch Einstau in das Rückhaltebecken werden die Unterwasserstände verringert, was meist einen beschleunigten Zufluß aus dem Nebenvorflutersystem zur Folge hat. Um diesem Effekt qualitativ bei der Wahl der Schwellwerte Rechnung zu tragen, sollten diese bei anlaufendem Hochwasser niedriger als theoretisch ermittelt angesetzt werden. Für das Rückhaltebecken erwies sich ein Schwellwert von 50 m³/s als geeignet, der bei Beanspruchung des Reservebeckens auf 85 m³/s heraufgesetzt wird.

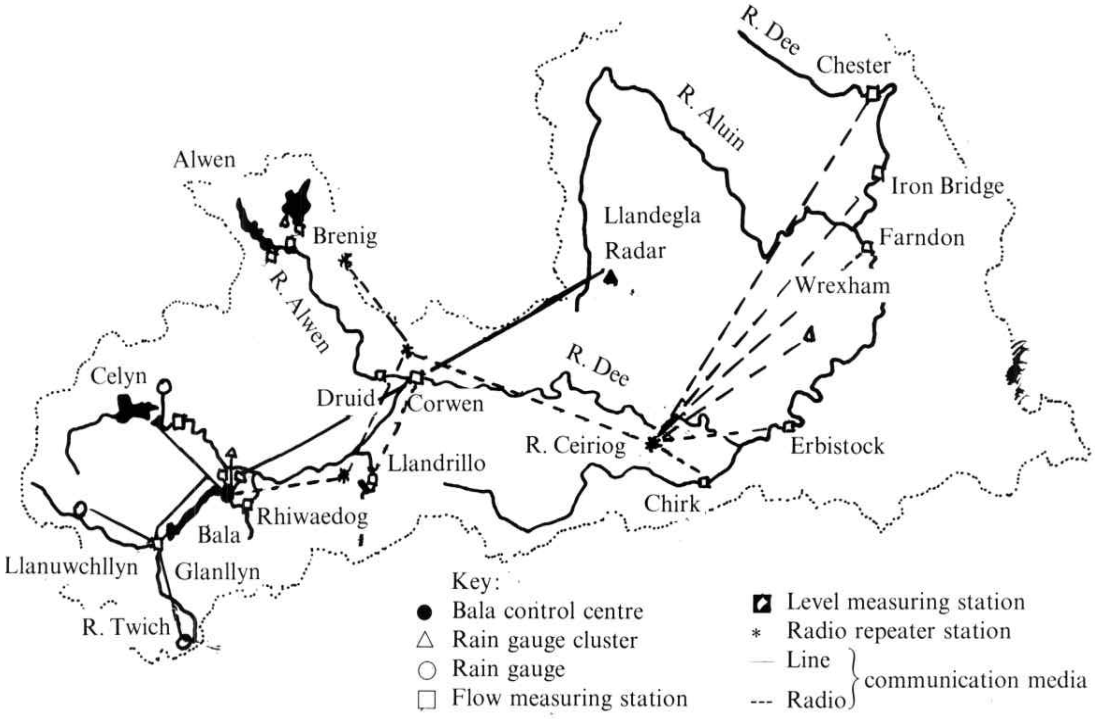


Abb. 10. Lageplan des Dee-Fernmeßsystems
Geographical map of the Dee telemetry scheme

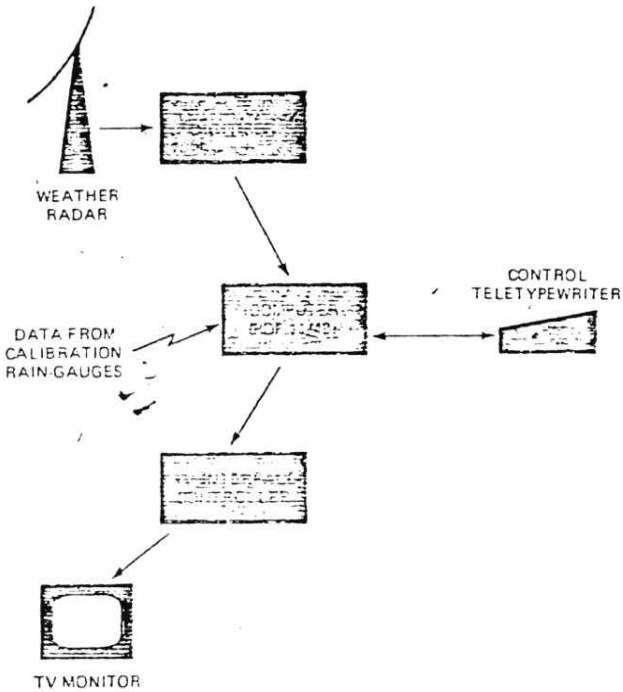


Abb. 11. Skizze des Wetter-Radar-Systems
Basic weather radar system

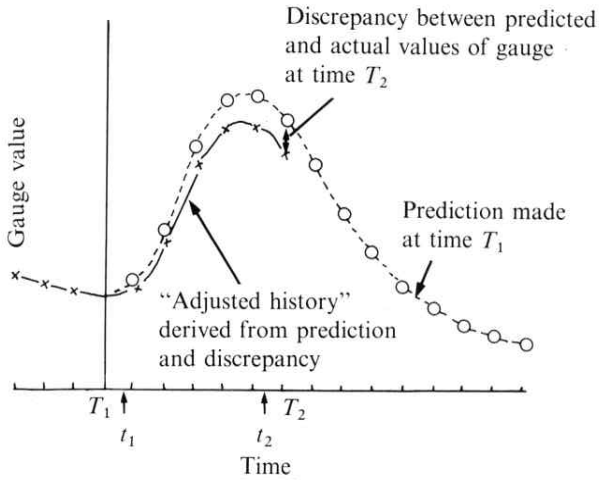
Die Einführung eines dritten Schwellwertes von 50 m^3/s, nach dessen Unterschreiten in Bunnen eine Entlastung aus dem (teil) gefüllten (Reserve)becken erfolgt, wirkt sich vorteilhaft aus, als damit durch vorzeitige Entlastung Abflußverschärfungen vermieden werden können.

Das Verfahren hat den Vorteil, daß mit einfachen Rechenhilfsmitteln die Vorhersage berechnet werden kann. Nachteilig wirkt sich der Streuungsbereich der Regression aus, der eine ständige Anpassung der Werte erfordert.

Über die Einbeziehung des Niederschlages in eine Vorhersage mit Regression unter gleichzeitiger synoptischer Betrachtung liegen ebenfalls Erfahrungen vor [1] (siehe Abb. 5).

3.2 Beispiel einer Vorhersage mit Hilfe eines Niederschlag-Abfluß-Modells

Die Verwendung von Abflußmodellen erfordert die laufende Ermittlung des abflußwirksamen Gebietsniederschlages und seine Umformung mit Hilfe der Übertragungsfunktion des Einzugsgebietes zur Abflußganglinie. Bei der Hochwassersteuerung der Talsperren im oberen Dee River/Nordwales erfolgt die Ermittlung des Gebietsniederschlages mit einem Wetterradar, dessen Echo anhand von fernübertragenen Messungen von Regenschreibern geeicht wird (siehe Abb. 10–12). Zur Ermittlung des abflußwirksamen Anteils werden Abflußaufzeichnungen im Gewässernetz herangezogen. Als Übertragungsmodell werden Abflußbildungs- und konzentrationsansätze verwendet. Die Anpassung der berechneten Vorhersage erfolgt alle 30 Minuten für eine Vorhersagezeit von meist 24 Stunden. Das Radarsystem war rund 6 Jahre im Einsatz mit befriedigenden Ergebnissen. An einer Verbesserung des Systems wird gearbeitet [2].



Key: T_1 – Time of most recent prediction
t_1 – Time of system failure
t_2 – Time system "switched back on"
T_2 – Time new data actually available

Abb. 12. Ableitung von fehlenden historischen Daten
Deriving missing historical data

4. Schlußfolgerung

Zur Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken stehen eine Reihe von Verfahren zur Verfügung, die in Abhängigkeit von den hydrologischen und betrieblichen Gegebenheiten sowie von

der Bedeutung der Anlage ausgewählt werden können. Bedingt durch die verhältnismäßig seltene und kurze Einstaudauer sollten bei der Erfassung und Übertragung der Meßdaten störunanfällige Systeme gewählt werden. Bei der Berechnung der Vorhersage müssen Ausfälle in den Eingangsdaten berücksichtigt werden können. Außerdem muß sichergestellt sein, daß geeignete Rechenhilfsmittel stets zugriffsbereit sind und die Modelle möglichst einfach bedienbar sind.

Literatur

[1] DVWK: Operationelle Wasserstands- und Abflußvorhersage, H. 51, Verlag Paul Parey, Hamburg 1980.
[2] Roberts, B. H.: The development of an operational system for river management. Systems Technology No. 27, Nov. 1977.
[3] Maniak, U.: Automatisch betriebene Rückhaltebecken. Mitteilung Leichtweiß Institut H. 24, 1970.

Prof. Dr. U. Maniak
Leichtweiß-Institut für Wasserbau
Technische Universität Braunschweig
Beethovenstraße 51a
D-3300 Braunschweig