

第十三章 地質學上之研究  
THE GEOLOGICAL STUDY OF THE STATE  
DE LA CALIFORNIA

# XIII

第十三章 地質學上之研究  
THE GEOLOGICAL STUDY OF THE STATE  
DE LA CALIFORNIA

地質學上之研究 地圖集 地質學上之研究 地圖集  
THE GEOLOGICAL STUDY OF THE STATE DE LA CALIFORNIA



MATERIAL DIFFERENCE

MATERIAL DIFFERENCE

MATERIAL DIFFERENCE

BOSTON: 1854. 10 vols.

Diel  
Diel  
Teil

## Sekcia - Секция - Sektion 1

1. SCHILLER, H. - CHRISTA, R.: Stand der hydrologischen Vorhersagen im deutschen Donaugebiet
2. GLASEL, E. - NOBILIS, F.: Hydrologische Vorhersagen in Österreich - Stand 1984
3. КУНІІ, І.: Гидрологический прогноз в ЧССР
4. ХАРКАНИ, К. – ВАРТА, П. – СЕЛЛЕШИ-НАДЬ, А.: Система оперативных прогнозов для венгерского участка реки Дунай
5. Der erwartete Nationalbeitrag Jugoslawiens  
Ожидаемый национальный доклад Югославии
6. Der erwartete Nationalbeitrag Rumäniens  
Ожидаемый национальный доклад Румынии
7. Der erwartete Nationalbeitrag Bulgariens  
Ожидаемый национальный доклад Болгарии
8. ЖИДИКОВ, А.П.: Гидрологические прогнозы выпускаемые в СССР для обеспечения гидроэнергетики
9. VELIČ, J.: Hochwasseraufschwung nach dem Aufbau des Donaukraftwerkssystems Gabčíkovo-Nagymaros

Late submissions:

10. NĚMEC, J.: A perspective view of the relative significance of the components of hydrological forecasting systems
11. BERGMANN, H. – STUBENVOLL, H.: Verbesserte Voraussetzungen für die Analyse von Niederschlagsereignissen durch Messwertaufzeichnungen in variablen Zeitschriften
12. ABONYI, I. – ZSUFFA, I.: Korrektion des kontinuierlichen Prognosemodells unter Berücksichtigung auf die beobachtungsmässigen Ungenauigkeit

KONFERENCIA PODUNAJSKÝCH ŠTÁTOV  
O HYDROLOGICKÝCH PREDPOVEDIACH

XII КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ  
СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ  
ПРОГНОЗАМ

KONFERENZ DER DONAULÄNDER ÜBER  
HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN



1 - 1

STAND DER HYDROLOGISCHEN  
VORHERSAGEN IM DEUTSCHEN  
DONAUGEBIET

Schiller, H. - Christa, R.

• Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava •

Bratislava 21. - 24. august 1984

NATIONALBERICHT BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Stand der hydrologischen Vorhersagen im deutschen Donaugebiet

Dipl.-Ing. H. Schiller und Dipl.Met. R. Christa  
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

Hinsichtlich der hydrologischen Vorhersagen hat sich im deutschen Donaugebiet seit der XI. Konferenz im Jahre 1982 nichts wesentliches geändert. Es wurden weder neue Systeme entwickelt noch weitere Anwendungen in die Praxis eingeführt. Das Hauptanliegen galt vielmehr einer kontinuierlichen Verbesserung bereits früher entwickelter Vorhersageverfahren sowie technischer und organisatorischer Details bei der Datenübertragung und Datenverarbeitung.

Als Beispiele für die Weiterentwicklung von Modellen und deren Anwendung werden die von HUTHMANN und WILKE auf der IX. Konferenz der Donauländer über Hydrologische Vorhersagen vorgestellten Verfahren genannt. Sie behandeln die kurzfristige Abflus- und Wasserstandsvorhersage an ausgebauten großen Gewässern, können aber auch für andere Zwecke, z.B. zum Schließen für Meßwertlücken eingesetzt werden. Die multiple Frequenz-Response-Analyse ergibt bei der Hochwasservorhersage für den Rheinpegel Kaub (HUTHMANN 1982) eine deutliche Verbesserung gegenüber der Mehrfachregression. Eine weitere wesentliche Verbesserung bringt die Anwendung des Mehrkanalfilters nach Wiener (WILKE 1984), das deshalb nunmehr bei der aktuellen Wasserstandsvorhersage für 15 Pegel an der deutschen Rheinstrecke eingesetzt wird. Bei dem zuletzt genannten Verfahren ist noch zu prüfen, ob auch für Flussabschnitte in Hochwasserentstehungsgebieten, evtl. mit Einbeziehung des Niederschlages als Eingangsgröße, hinreichend genaue Ergebnisse erzielt werden können.

Von elementarer Bedeutung für die Anwendung mathematischer Modelle für die Kurzfristvorhersage ist, daß die dafür erforderlichen Daten rasch, sicher und möglichst schon für die weitere Verwendung aufbereitet zur Verfügung stehen. Dazu sind entsprechende Einrichtungen für die Datenübertragung notwendig, die auch unter den besonderen Beanspruchungen großer Hochwasser und extremer Witterungsverhältnisse funktionstüchtig bleiben. Im deutschen Donaugebiet bestehen zur Zeit 110 Wasserstandspegel mit Anrufbeantworter, die telefonisch abgefragt werden können und 38 Pegel mit Datenfernübertragung in die Zentrale im Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft in München. Dazu gibt es für die Hochwasservorhersage neben dem Meßnetz des Deutschen Wetterdienstes 17 Niederschlagsmeßstellen mit Anrufbeantworter und 26 Niederschlagsmeßstellen mit Fernübertragung. Die Einrichtung eines Fernmeßnetzes, die Weiterentwicklung der erforderlichen Geräte und die Erhaltung seiner Betriebsbereitschaft ist eine Daueraufgabe, die nach den verfügbaren Geldmitteln und dem technischen Fortschritt auszurichten ist. Ein großer Teil der genannten Fernübertragungen wurde für das Lech-Wertach-Modell installiert. Dieses Modell, über das ROSEMANN auf der X. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen berichtet hat, wurde bisher nur im Probetrieb eingesetzt. Die bisher gemachten Erfahrungen haben eine Anzahl von z.Teil weitreichenden Änderungen, z.B. auch bei der Organisation des Einsatzes veranlaßt. Ein aktueller Einsatz ist vorgesehen, wenn diese Verbesserungen verwirklicht sein werden.

Die Eingangsgröße für alle hydrologischen Vorgänge ist der Niederschlag. Mit guten Niederschlagsvorhersagen könnte die Prognosezeit für viele hydrologische Vorgänge wesentlich ausgedehnt werden. In den vergangenen Jahren sind beachtliche Fortschritte auf dem Gebiet der quantitativen Niederschlagsvorhersage mit Hilfe mathematischer Modelle erzielt worden.

Die Maschenweite der Modelle ist zwar noch zu groß, um für die meisten vergleichsweise kleinräumigen hydrologischen Vorgänge befriedigend genaue Vorhersagen zu erhalten. Der bisher erreichte Stand ist jedoch angesichts positiver Perspektiven ein Anlaß, einen kurzen Überblick über den Stand der Verfahren für quantitative Niederschlagsvorhersagen zu geben. Hierbei werden allerdings nur solche Methoden angesprochen, die universell anwendbar sind und Vorhersagen im Kurzfristbereich liefern. Unberücksichtigt bleiben z.B. Verfahren auf der BASIS von Satellitenaufnahmen oder Radarsondierungen, da sie u.a. wesentlichen Einschränkungen (Länge der Vorhersageperiode, Reichweite des Radars, Signifikanz der Beziehung zwischen Bildinformation und Niederschlagsmenge) unterliegen.

Entsprechend den in den Modellen verwendeten Ansätzen zur Niederschlagsvorhersage können drei Methoden unterschieden werden:

- 1 In den synoptisch-statistischen Modellen wird der Niederschlagsprozeß nicht nachvollzogen, sondern die Tatsache ausgenutzt, daß künftige Wettererscheinungen vom Zustand der Atmosphäre oder der Änderung des Zustandes in der Vorperiode bis zum Modellstart abhängen. Diese Abhängigkeit kann entweder durch Regressionsbeziehungen oder durch Ähnlichkeitshypothesen ausgedrückt werden. Letztere beruht auf der Annahme, daß zwei voneinander unabhängige Fälle, die sich aufgrund bestimmter Vergleichskriterien ähnlich sind, auch ähnliche Wetterentwicklungen, z.B. Niederschlagsmengen, aufweisen.

Dem Vorteil von geringen Ansprüchen an die Computerkapazität und der meist einfachen Beschaffung der Eingangsvariablen (Regressionsbeziehung) steht vor allem der Nachteil einer relativ großen Streuung gegenüber. Dies liegt einerseits an dem Problem der Festlegung von signifikanten Beziehungen zwischen den betrachteten Variablen bzw. von

Ahnlichkeitskriterien und anderenfalls an der bekannten Tatsache, daß ähnliche Ausgangszustände nicht notwendigerweise ähnliche Wetterentwicklungen bedingen.

- 2 Auf der Grundlage dynamischer Modelle kamen bis in die 60-er Jahre sog. konventionelle Vorhersagemethoden zur Anwendung. Hierbei handelte es sich um rechnerisch (-graphische) Verfahren, die aus approximierter Vertikalbewegung, dem vorhandenen Wasserdampf und der thermischen Advektion eine Vorhersage von Niederschlagsmengen für eine begrenzte Umgebung der verwendeten Radiosondenstation lieferten.

Die dynamisch-numerischen Modelle wurden etwa seit Ende der 50-er Jahre - allerdings damals noch "trocken", d.h. ohne Wasserdampfprozeß - operationell betrieben und laufend ausgebaut. Insbesondere der im Laufe der 70-er Jahre vollzogene Übergang zu den "feuchten" Modellen verlangte eine aufwendige Entwicklungsarbeit. Wegen des großen Daten- und Computerbedarfs sind diese dynamisch-numerischen Modelle auf das Potential großer Wetterzentralämter angewiesen.

Ausgehend von einem Anfangsstadium der Atmosphäre werden die Entwicklung von Temperatur, großräumiger Strömung und Feuchte berechnet, wobei ein System von partiellen, nicht-linearen Differentialgleichungen, das die Erhaltung von Impuls, Masse und Energie beschreibt, gelöst wird. In zahlreichen Modellen, die insbesondere an den großen Wetterdienstzentren der USA, Großbritannien, Bundesrepublik Deutschland, Frankreich und Schweden im Routine-dienst laufen, sind neben der Orographie bereits Wärme- und Wasserhaushalt der Erdoberfläche und deren Kopplung mit der Atmosphäre enthalten.

Die horizontale Auflösung liegt in den verschiedenen Tabellen ungefähr zwischen 100 und 380 km; bei den sog. Nesting-Modellen sind in allerding meist kleinen Teilausschnitten bereits sehr feinmaschige Gitternetze mit minimalen Punktabständen von 3,5 km (z.B. Meteorological Office, Bracknell) erprobt worden.

Vertikal erfolgt die Diskretisierung durch 3 - 15 Modellflächen. Gegenwärtig werden routinemäßige Vorhersagen für Zeitabschnitte von 6 Stunden bis 7 Tage gerechnet.

Der große Vorteil der dynamisch-numerischen Modelle liegt im Gegensatz zu den synoptisch - statistischen Modellen in den "nahezu" unbegrenzten Ausbaumöglichkeiten, d.h. die Grenzen dieser Modelle werden durch den technischen und wissenschaftlichen Stand abgesteckt (z.B. Computerkapazität, Datenfernübertragung, Datenanalyse, Gitterabstand, Gültigkeitsdauer). Da alle drei Niederschlagsursachen (dynamisch, thermisch, orographisch) einschließlich ihrer Rückkopplung berücksichtigt werden, kann die räumliche Ausdehnung und Menge der großräumigen Niederschläge schon vielfach zufriedenstellend prognostiziert werden.

- 3 Bei den in der amerikanischen Literatur als "Model Output Statistics" bekannten dynamisch-statistischen Verfahren wird folgender Weg beschritten:

Mit Hilfe eines dynamischen Modells werden diagnostische Parameter berechnet, die mit dem Niederschlag in direktem Zusammenhang stehen, wie z.B. Wasserdampfgehalt, Sättigungsgrad, Vertikalbewegung. Der Schritt von diesen Parametern zur Vorhersage der Niederschlagsmenge erfolgt dann mit Hilfe statistischer Mittel, wobei offensichtlich der Vertikalbewegung zentrale Bedeutung zukommt.

Diese Methode liefert zwar meist gute Aussagen über die räumliche Ausdehnung der dynamisch und orographisch bedingten Niederschläge, jedoch wenig brauchbare Ergebnisse bei thermisch verursachten Niederschlägen. Da hohe Niederschlagsmengen mit geringer Häufigkeit anhand der Vertikalsbewegung nicht befriedigend genau vorhergesagt werden können, kommt es in diesen Fällen häufig zu großen Abweichungen zu gemessenen Werten.

Abschließend darf bemerkt werden, daß der Deutsche Wetterdienst bereits ein weiteres Modell (BKN) mit halbiertter Maschenweite (127 km) entwickelt hat und erprobt. Ein Bericht darüber kann erwartet werden, sobald ausreichend Erfahrungen vorliegen.

#### L i t e r a t u r :

Dreissigacker, R. und Fleer, H.:

"Meteorologische Entwicklung und Vorhersage des Niederschlags für Leine-Hochwasser" - Meteorologische Rundschau, 32 S. 129 - 136, (1981)

Dreissigacker, R. und Fleer, H.:

"Überprüfung und Verbesserung der BKF-Niederschlagsvorhersagen für die Anwendung in einem Flussebemodell", Meteorologische Rundschau 36 S. 169 - 179, (1983)

Edelmann, W.:

"Bemerkungen über numerische Niederschlagsvorhersagen". Annalen der Meteorologie. (Neue Folge) Nr. 20, S. 200 - 201, (1983), Deutscher Wetterdienst, Offenbach

Grebner, D.:

"Objektive, quantitative Niederschlagsvorhersagen im Rhein Gebiet, Stand 1982". Bericht Nr. I - 1 der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rhein Gebietes (KHR).

Huthmann, G.:

"Die Anwendung der multiplen Frequenz-Response-Analyse zur Vorausberechnung des Hochwasserwellenablaufes in Flussabschnitten".

IX. Konferenz der Donauländer für hydrologische Vorhersagen, Budapest 1977.

Huthmann, G.:

"Die Anwendung der multiplen Frequenz-Response-Analyse zur Hochwasservorhersage an ausgebauten großen Gewässern". Beiträge zur Hydrologie, Kirchzarten, 1982

Rosemann, H.-J.:

"Der aktuelle Einsatz des Niederschlag-Abfluß-Modells Lech-Wertach zur Hochwasservorhersage".

X. Konferenz der Donauländer über Hydrologische Vorhersagen, Wien 1979

Wilke, K.:

"Abflußvorhersage mittels Mehrkanalfilter - Theorie und Praxis".

IX. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Budapest 1977

Wilke, K.:

"Kurzfristige Wasserstands- und Abflußvorhersage am Rhein unter Anwendung ausgewählter mathematischer Verfahren". Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), Heft 65, Bonn 1984

KONFERENCIA PODUNAJSKÝCH ŠTÁTOV  
O HYDROLOGICKÝCH PREDPOVEDIACH

XII КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ  
СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ  
ПРОГНОЗАМ

KONFERENZ DER DONAULÄNDER ÜBER  
HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN



1 - 2

HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN IN  
ÖSTERREICH - STAND 1984

Glasel, E. - Nobilis, F.

NATIONALBERICHT - ÖSTERREICH

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОТЧЕТ - АВСТРИЯ

Hydrologische Vorhersagen in Österreich - Stand 1984

Гидрологические прогнозы в Австрии - Состояние на 1984 г.

E. Glasel und F. Nobilis, Wien

Die täglichen Wasserstandsvorhersagen für die Donau sind im Hinblick auf die Schifffahrt und die potentielle Überflutungsgefahr bei Hochwasser von großer Wichtigkeit (GLASEL 1979, GLASEL und NOBILIS 1982). Die durch den Ausbau des Stromes immer rascher werdenden Abflußvorgänge und die unterschiedlichen Abflußverhaltensweisen der größeren Zubringer in Österreich bedingen eine Änderung der Vorhersagemethoden und eine Neufestlegung geeigneter Meßstellen.

In Linz und Wien befinden sich die Vorhersagezentren des Hydrographischen Dienstes für die Donau.

In Linz (BLASCHKE 1983) werden in die 1955 erneuerte Fernmeldezentrale des Hydrographischen Dienstes beim Amt der Oberösterreichischen Landesregierung die Wasserstände von 18 Pegeln an der Donau und ihren Zubringern, die Durchflußangaben von 3 Kraftwerken sowie die Werte dreier Niederschlagsstationen fernübertragen. Für die Datenerfassung

stehen noch über 70 vorwiegend bayerische Anrufpegel (das sind Pegelanlagen, bei denen der aktuelle Wasserstandswert über das öffentliche Telefonnetz abgerufen werden kann) zur Verfügung. Pegel, für die Vorhersagen erstellt werden, sind Schärding/Inn sowie die Donaupegel Linz, Mauthausen und Ybbs. Auf die allgemeine Problematik bei der Entwicklung von Modellen für die kurzfristige Abflußvorhersage wurde bereits früher eingegangen (GUTKNECHT und KRESSER 1982, KRESSER 1983). Im speziellen Fall mußte bei dem für den Hydrographischen Dienst ausgearbeiteten Verfahren (GUTKNECHT 1980, GUTKNECHT und DREHER 1983) auf den Charakter des einzelnen Hochwasserereignisses, die Auswirkungen der Retentionsräume unter Berücksichtigung der Änderungen im Zuge des laufenden Ausbaues sowie den Einfluß der Kraftwerksanlagen an der oberösterreichischen Donau und am Inn bzw. die voraussichtliche Auswirkung der Errichtung weiterer Stauanlagen an der bayerischen Donau Bedacht genommen werden. Das gewählte Verfahren, seit Herbst 1983 im Routinebetrieb bei Hochwassergefahr bereitstehend, beruht auf den maßgebenden Durchflußänderungen bei ausgewählten Stationen unter Berücksichtigung der derzeit gegebenen Laufzeiten. Hierzu wurde das Flusßgebiet in drei Teilsysteme - Inn oberhalb Schärding, oberösterreichische und bayerische Donau samt Inn unterhalb von Schärding und Donau von Linz bis Ybbs - unterteilt. Die unterschiedlichen Abflußreaktionen machten es erforderlich, die auf der Basis von Mehrfachregressionen beruhenden Vorhersagegleichungen für den Anstiegs- und Scheitelpunkt sowie für Sommer und Winter zu differenzieren. Theoretische Probleme bei der Verwendung von Mehrfachregressionen, die in diesem Zusammenhang zu überdenken waren, werden im Rahmen eines eigenen Beitrages auf dieser Konferenz behandelt (DREHER, GUTKNECHT und KRESSER 1984). Auf Grund der benutzerfreundlichen Programmierung für den Hydrographischen Dienst, ist es möglich, die Vorhersagen

über das in der Fernmeldezentrale installierte Terminal im Dialogbetrieb mit der Großrechenanlage zu ermitteln. Die Vorhersagen für die 4 Vorhersagepegel sowie Vergleichswasserstände ausgewählter Pegelstellen werden über den Rundfunk ausgestrahlt. Diese Daten werden bei Hochwasser an einzelne Stellen im Bundesland, aber auch an Niederösterreich, Wien und die ČSSR (Linz aktueller Stand und Vorhersage) weitergegeben. Über Erfahrungen in der Vorhersagepraxis mit dem neuen Modell wird auf einer der nächsten Konferenzen berichtet werden.

Für Wien als Vorhersagezentrale der Donau wurde, wie bereits auf der letzten Konferenz berichtet (GLASEL und NOBILIS 1982), ein Vorhersagesystem für Abfluß und Wasserstand fertiggestellt (KRESSER, GUTKNECHT, DREHER, KIRNBAUER 1980). Dieses Mehrfachspeicherkaskadenmodell, bei dem als Fehlerkorrekturprozeß ein ARIMA-Modell fungiert, wurde für einen Kleinrechner adaptiert und ist in Hochwasserzeiten ebenfalls im Einsatz. In die Zentrale in Wien werden die Pegelstände von 8 Pegelstellen laufend übertragen und aufgezeichnet.

Über die Zuverlässigkeit der Prognosen wird nach dem, hoffentlich schadensfreien Ablauf mehrerer Extremereignisse ebenso zu berichten sein, wie dies bereits früher erfolgt ist (GLASEL 1962).

Die Inbetriebnahme des neunten Donaukraftwerkes (Greifenstein) im heurigen Jahr und die Planung des zehnten Kraftwerkes (Hainburg) wird die Hochwasserverhältnisse und auch die Prognosen beeinflussen. Im Zuge des Kraftwerkbaues bzw. der vorangehenden Planung werden selbstverständlich auch hydraulische Modelle untersucht. Das mathematische Modell der Donau dagegen kann auf Grund des noch nicht vollzogenen Ausbaues noch immer nicht als abgeschlossen angesehen werden. Über dieses Modell, seine Entstehung und Fortführung wurde

auf den Konferenzen der Donauländer referiert (URBAN 1973, HAUCK 1977). In das Modell wird im Laufe dieses Jahres auch das genannte Kraftwerk Greifenstein einbezogen werden, d.h. es erfaßt praktisch den Bereich bis vor Wien.

Für die Traun, einem der bedeutensten Donauzubringer in Österreich ist ein mathematisches Modell fertiggestellt worden (Bereich Gmunden bis Mündung), welches zumindest die historischen Hochwasserwellen nachbilden kann. Es vermag auch die Veränderungen dieser Wellen zu charakterisieren, die durch 3 (Marchtrenk, Traun-Pucking, Lambach-Edt (in Planungsvorbereitung)) Kraftwerke verursacht werden.

An der Drau wurde, wie bei den letzten Konferenzen berichtet, bereits Anfang der Siebzigerjahre (DRAXLER 1973) ein Modell für die Optimierung des Kraftwerksbetriebes entwickelt, mit Niederschlag und Lufttemperatur als wesentliche Eingangsgröße, welches an sich natürlich das optimale Abfangen von Zuflusswellen und die zweckmäßige Vorabsenkung des Oberwassers bei Hochwasser zum Ziele hat. In Planung bzw. teilweiser Ausführung befindet sich derzeit eine Erweiterung des Meßnetzes mit dem dazugehörigen Fernübertragungssystem in die Hauptverwaltung der Österreichischen Draukraftwerke-AG nach Klagenfurt und die Erstellung eines neuen Prognosemodells (Österreichische Draukraftwerke-AG 1982). Der Modellaufbau läßt auf Grund der geplanten Meßstellenanordnung folgenden stufenweisen Modellaufbau zu: 1) Abfluß erfassung aus Fernpegeln; 2) Niederschlags-Abflußmodell (Bestimmung von Abflüssen aus 7 Teileinzugsgebieten auf der Grundlage von Einheitsganglinien); 3) Integriertes Wellenablaufmodell (Modellkonfiguration auf der Grundlage eines "Flood-Routing"-Verfahrens unter Berücksichtigung des Abflusses aus den Zwischeneinzugsgebieten infolge Niederschlags; Erfassung der Betriebswasserabgaben von Kraftwerken); 4) Erfassung von temperaturabhängigen Abflüssen (Reduzierung der Einzugsgebie-

te in Abhängigkeit von der Lage der Nullgradgrenze; Abflußse infolge Schneeschmelze); 5) Anpassung der Prognosewerte (für jeden Fernpegel nach dem Differenzenverfahren unter Verwendung von Korrekturfaktoren). Die Verlängerung der Prognosezeiten bezogen auf den Pegel Amlach/Drau wird beträchtlich sein und sich auch auf die Prognosezeit für die übrige Drau günstig auswirken.

Für den Hochwasserabfluß der Kraftwerkskette an der unteren Drau wurde ein mathematisches Modell entwickelt, dessen Ergebnisse im Rahmen der "Ständigen Österreichisch-jugoslawischen Kommission für die Drau" mit den Ergebnissen eines ähnlichen Modells für die jugoslawische Draukette aufeinander abgestimmt wurden. Das mathematische Modell wurde inzwischen auf den Bereich bis Villach ausgedehnt.

Auch für Talsperren werden in Österreich Abflußprognosen erstellt. Als Beispiel sei jene für den Ennszubringer Steyr erwähnt ( $915 \text{ km}^2$  Einzugsgebiet), welche auf der Basis des Unit Hydrographs arbeitet und noch immer im Einsatz ist (KRESSER und GUTKNECHT 1974).

Während früher Vorhersagen der morphologischen Veränderungen im Flußbett durchgeführt wurden (MUNDT 1972, BRAUNER 1972), tritt in Österreich zusehends die Geschiebeerfassung auf Grund akustischer Geschiebemessungen in den Vordergrund (SCHLATTE 1979). Auch auf dieser Konferenz werden wieder neue Ergebnisse in einem Referat präsentiert werden (SCHLATTE 1984).

Grundsätzlich sind auch die Veränderungen in den Abflußverhältnissen durch die Auswirkungen der Speicherkraftwerke und Überleitungen (Tiroler Wasserkraftwerke-AG 1972, SCHILLER 1982, ZETTL 1983) von Interesse, da sie bei Prognoseverfahren in beeinflußten Gebieten berücksichtigt werden müssen.

Die Probleme bei der Erstellung hydrologischer Prognosen sind international. Dies wurde auch bei einem Symposium über

hydrologische Vorhersagen 1980 in England aufgezeigt, wo über die Erfahrungen in Österreich, aber auch über die Konferenzen der Donauländer berichtet wurde (NOBILIS 1980).

Literatur:

- Blaschke, H.: "Hochwassernachrichten und Hochwasservorhersagen des Hydrographischen Dienstes", Amtl. Linzer Zeitung, F.22, 353.Jg., S.2-3, 1983.
- Brauner, W.: "Auswirkungen künstlicher Eingriffe auf die zukünftige Flussbettgestaltung der Mur", VI.Konferenz der Donauländer für hydrologische Vorhersagen, Heft 3, S.357-362, Kiew 1972.
- Draxler, A.: "Die Zuflussprognose als Hilfsmittel zur Optimierung des Kraftwerksbetriebes", Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft, 26.Jg., Heft 3, S.77-87, Wien, 1973.
- Dreher, J.E.; Gutknecht, D. und Kresser, W.: "Kurzfristige Abflussvorhersage mit Hilfe der robusten Regression", XII.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bratislava, 1984.
- Glasel, E.: "Die Wasserstandsvorhersage im oberen Donaugebiet", Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Nr.43, Dezember 1962, Hydrographisches Zentralbüro, Wien.
- Glasel, E. und F.Nobilis: "Zum Stand der hydrologischen Vorhersagen in Österreich", XI.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bukarest, 1982.
- Gutknecht, D.: "Untersuchungen zur Aufstellung eines Vorhersagmodells für die oberösterreichische Donau", Teilber.1, Inst.f.Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien, 1980.

- Gutknecht, D. und Kresser, W.: "Zur Problematik von Modellen für die kurzfristige Abflussvorhersage", XI.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bukarest, 1982
- Gutknecht, D. und Dreher, J.E.: "Bericht über die Entwicklung eines Vorhersagmodells für die oberösterreichische Donau", Inst.f.Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien, 1983.
- Hauck, H.: "Das mathematische Abflussmodell an der österreichischen Donau, Entwicklungsstand und praktische Ergebnisse", IX.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Budapest, 1977.
- Kresser, W.: "Probleme und Lösungen bei der Entwicklung von Modellen für die kurzfristige Abflussprognose", Österreichische Wasserwirtschaft, Jg.35 (1983), H.9/10, S.241-247.
- Kresser, W. und Gutknecht, D.: "Ein Verfahren zur Vorhersage der Hochwasserabflüsse der Steyr", Österreichische Wasserwirtschaft, Jg.26, Heft 11/12, S.249-259, Wien, 1974.
- Kresser, W., Gutknecht, D., Dreher, J.E. und Kirnbauer, R.: "Bericht über die Untersuchungen zur Entwicklung eines Abflussmodells für die niederösterreichische Donau zur Erstellung von Wasserstandsvorhersagen", Inst.f.Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien, 1980.
- Mundt, G.: "Vorhersage des Verlandungszustandes von Flussstauseen", VI.Konferenz der Donauländer für hydrologische Vorhersagen, Heft 3, S.349-356, Kiew, 1972.
- Nobilis, F.: "Conferences of the Danube countries on hydrological forecasting", Symposium on hydrological forecasting, Oxford, 1980.

- Österreichische Draukraftwerke-AG: "Erweiterung der Zuflussprognose Drau", Interner Bericht, Klagenfurt, 1982.
- Schiller, G.: "Die Veränderung der natürlichen Wasserführung durch Speicherkraftwerke", Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Nr.51, S.1-14, Wien, 1983.
- Schlattner, H.: "Anhebung der Stromerzeugung durch Geschiebe-prognosen auf Grund akustischer Geschiebe-messungen", X.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Wien, 1979.
- Schlattner, H.: "Anwendung einer akustischen Geschiebemethode an der Möll", XII.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bratislava, 1984.
- Tiroler Wasserkraftwerke-AG: "Auswirkung der Speicherkraftwerke und Überleitungen auf das Inngebiet und auf die Donau", Unveröffentlichte Studie, Innsbruck, Dezember 1972.
- Urban, A.: "Erstellung eines mathematischen Abflußmodells an der österreichischen Donau", VII.Konferenz der Donauländer für hydrologische Vorhersagen, Varna, 1973.
- Zettl, H.: "Auswirkungen anthropogener Einflüsse auf die Ermittlung und Veröffentlichung von Abflußdaten beim Hydrographischen Dienst in Österreich", Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Nr.52, S.21-36, Wien, 1983.

KONFERENCIA PODUNAJSKÝCH ŠTÁTOV  
O HYDROLOGICKÝCH PREDPOVEDIACH

XII КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ  
СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ  
ПРОГНОЗАМ

KONFERENZ DER DONAULÄNDER ÜBER  
HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN



1 - 3 ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ В ЧССР  
Кунш, И.

• Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava •

Bratislava 21.-24. august 1984

## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ В ЧССР

Кунш Иван

Словацкий гидрометеорологический институт, Братислава, ЧССР

Гидрологический прогноз в ЧССР имеет многолетнюю традицию. В этом году исполнилось 100 лет, как в Чехии начали неофициально издавать прогноз максимальных уровней воды при половодье на Лабе в Дечине с периодом упреждения 1 дня и на Лабе в Дрездене на срок 1 и пол дня. В Словакии начали регулярно издавать прогноз для Дуная с 1922 г., хотя начало издания нерегулярных прогнозов во время максимальных уровней воды можно встретить уже в начале нашего столетия.

С 1954 г. гидрологическую и гидропрогнозную службу обеспечивает Гидрометеорологический институт, с 1980 г. в Чехии Чешский гидрометеорологический институт, в Словакии Словацкий гидрометеорологический институт.

Оперативная гидрологическая служба прогноза в ЧССР состоит из центров в Праге и в Братиславе, в которых сосредоточена информация, необходимая для разработки гидрологического прогноза, представленная дислокальными постами, проводящими данную работу на меньших территориальных единицах.

Основным источником информации является гидропрогнозная сеть водомерных (300), осадкомерных (300) и снегомерных (300) станций. Гидрологическая служба прогноза связана с метеорологической службой, с системой радиолокационных установок, с телеметрической и вычислительной системой обоих национальных гидрометеорологических институтов, затем с водохозяйственными и энергетическими диспетчеризациями, с органами по борьбе с наводнениями и с международным обменом гидрометеорологической информации. В общей

сложности на территории ЧССР регулярно издается гидрологический прогноз для 30 створов. Во время наводнения данное количество увеличивается на 20 водомерных створов.

В последнее время, главным образом из-за засухи в последние годы, активизировалась информационная система сети подземных вод и источников.

Несмотря на сравнительно густую сеть гидропрогностических станций, прилагаются усилия по улучшению данной информационной системы, особенно, в области технического усовершенствования, автоматической обработки и дистанционной передачи информации при внедрении вычислительной техники.

Методы гидрологических прогнозов изучаются, развиваются и разрабатываются, главным образом, в Институте гидрологии и гидравлики САН, в Гидрометеорологических институтах, в Научно-исследовательском институте водного хозяйства.

Максимальное внимание сосредоточено на краткосрочных гидрологических прогнозах, из которых наиболее используемыми являются методы прогноза расходов и уровней воды в речной системе. Поскольку большинство рек в ЧССР не отличается большими бассейнами, водотоки и время добегания короткие, время упреждения гидрологических прогнозов колеблется от нескольких часов до одного дня. Прогнозы данного вида опираются, главным образом, на речные модели, основанных на знании времени добегания, или на концептуальные модели различного типа.

Методы прогноза, основанные на времени добегания в руслах, весьма расширены и используются всюду, где время добегания значительное и процесс стока устойчивый. Обыкновенно имеется в виду отношение между расходом в нижнем створе прогноза и соответствующим расходом в верхнем створе при подходящем выражении боковой приточности и неполнении русла на рассматриваемом участке водотока. Модели имеют эмпирический характер и при их решении исходят из историче-

кого материала. Расчеты данного характера имеют место или при прогнозе кульминации, или хода целой волны. Модели прогноза данного типа используются на водотоках: Дунай, Лаба, Влтава, Морава, Грон, Нитра, Горнад и т.д.

Кроме вышеупомянутых методов, применяется прогноз расходов, основанные на концептуальных моделях, исходящих из предположения, что прогнозированный участок реки можно считать системой, которую можно выразить системой фиктивных линейных, нелинейных водоемов или подходящим образом представленной функцией отклика. Данные модели прогноза применяются на участках рек без подпора, где нет боковой приточности (Дунай, Лаба, нижний Ваг, бассейн Бодрога и т.д.). При использовании моделей данного типа в оперативном гидрологическом прогнозе очень часто возникает проблема доработки концептуальных моделей с учетом нелинейности процессов стока и изменяющейся трансформирующей способности русла с изменением расхода. С этим связано и изменение параметров модели в зависимости от протекающего количества воды в речном русле. Пренебрежение данными фактами ведет к увеличению ошибок прогноза. В связи с этим были разработаны методы, принимающие во внимание данную действительность, внедряющие многослойную модель, изменяющую параметры на основе эмпирическим путем установленных естественных порогов стока в русле [1], [3].

Важным, часто лимитирующим, условием использования концептуальных моделей ввода-вывода для целей прогноза является вопрос представления и включения в расчет боковой приточности. Упомянутая проблематика отображена в работах [1], [5], [9].

В связи с трансформирующими методами разработаны адаптивные гидрологические модели, которые могут рекурсивно с помощью новой измененной информации в реальном времени преобразовывать свое состояние и параметры. Для данного

типа моделей наиболее подходящими являются алгоритмы фильтрации Калмана. Принцип применимости выгодный и при решении проблемы прогноза расходов в речных системах со значительным и латеральным притоком.

В последнее время в результате искусственных воздействий на естественный режим стока находят применение гидравлические модели. Их решение исходит из основных уравнений неустановившегося движения воды в открытых руслах [6]. Модели основаны на принципе динамического подхода с целью моделировать неустановившееся движение воды в естественных руслах, рассчитывать изменение режима стока в результате искусственных воздействий на естественный режим стока или разработать прогноз в речной системе, где в результате естественных или искусственных воздействий возникает подпор. Модели разработаны для речной системы: Бодрог, Морава, Дунай и т.д. Их выгодой является то, что могут хорошо физически описать процесс стока при всех режимах. Однако, их недостатком является то, что требуют мощной вычислительной машины и требуют исходного материала о морфологии водотока.

Прогнозы, связанные с осадками или базирующиеся на гидрометеорологических элементах, в условиях чехословакских водотоков имеют важное значение. Это вызвано небольшой площадью наших водотоков, их географическим и климатическим положением. Внедрение вышеупомянутых моделей в практику связано, однако, с определенными трудностями, вытекающими из требований сбора и дистанционной передачи входных данных в кратких временных промежутках в течение их работы в реальном времени.

В области моделирования дождевого стока было использовано несколько моделей, причем наиболее часто использовались линейные методы с конволюцией стока. Для расчета функции отклика используются различные более или менее известные методы. Расчет стокообразующих осадков в боль-

шинстве случаев проводится на основе соосного графического метода или с помощью регрессионного анализа линейного или нелинейного типа. Кроме того, из моделей бассейна, используемых в бассейнах чехословакских водотоков можно вспомнить модели APIC, CLS, O'DONNEL, регрессивно-эмпирические модели и др. Упомянутые модели в практике прогноза до настоящего времени были использованы только в ограниченном порядке, поскольку еще не созданы необходимые системы передачи для дистанционной передачи гидрометеорологических данных.

В то время как раньше внимание было сосредоточено на разработке прогноза для определенного прогнозируемого створа или бассейна отдельно, новые требования практики, развитые водохозяйственные системы требуют решения гидрологических прогнозов в комплексных прогностических гидрологических системах, включающих образование стока в целом бассейне. В настоящее время проводится решение подобной системы для ВСН в бассейне Бодрода. Поскольку речь идет о представлении очень сложного процесса стока, модель прогноза состоит из нескольких составляющих: гидрологических моделей осадки-сток, гидрологических моделей движения воды в речной сети, гидродинамических моделей в речной сети и моделей водоемов. Для данной системы было использовано или разработано несколько моделей, описанных в докладе, зачитанном на проходящей конференции [8]. Ориентация в гидрологии снега в последние годы была направлена на разработку методов расчета и измерений, определяющих ход аккумуляции воды в снеге. Знание аккумуляции воды в снеге в важнейших водохозяйственных областях является важным фактором при оценке весеннего стока и манипуляции в водоемах.

Кроме того, были разработаны два типа концептуальных моделей YETI 01 и YETI 33. Речь идет о моделях аккумуляции и таяния снега, отражающих важнейшие процессы, прохо-

дающих в снежном покрове. Комбинация с регрессивно-эмпирической моделью ERMD [8] может быть использована при прогнозе временного разделения стока с рассчитанным суточным шагом. Модель не предъявляет особых требований к исходному материалу: осадки, температуры, расходы.

Стремясь увеличить период упреждения гидрологических прогнозов, гидрологическая служба ЧССР занимается вопросом гидросиноптических методов, исходящих из причинных связей между метеорологическими процессами и ими вызванными гидрологическими явлениями. Этой теме было посвящено несколько работ практического значения [7].

Прогноз расхода в сухом периоде, в засуху разрабатывается на основе кривых истощения стока, которые чаще всего выражены уравнениями Reitz или Boussinesque. Кроме того, были разработаны многопараметрические отношения, представляющие связь изменчивости кривой истощения стока с насыщенностью почвы в бассейне, с испарением и т.д.

Функция службы гидрологического прогноза в значительной степени зависит от технического уровня измерения, передачи и обработки информации. В настоящее время служба гидрологического прогноза использует для передачи данных в прогностические центры, главным образом, телефон и телетайп. Однако, одновременно делаются попытки использовать автоматическую дистанционную передачу информации в прогностический центр, который бы работал независимо от наблюдателя. Для этого в экспериментальном порядке была создана система автоматических гидрометеорологических станций, позволяющих автоматическую передачу полученных в результате измерения данных по определенному режиму времени. Установка была разработана в СГМИ и, если экспериментальная эксплуатация даст хорошие результаты, будет установлена на сети станций гидрологического прогноза в широком масштабе.

Кроме того, некоторые организации бассейна приклад-

вают усилия для создания автоматизированной информационной системы для диспетчеризации стока в водоемах со сбором гидрометеорологических данных, управляемых вычислительной машиной (бассейн Огрже, Вага). Планируется создание подобной системы на Лабе для управления водного транспорта и на Влтаве для управления операций при производстве электроэнергии.

Технические предпосылки для развития гидрологических прогнозов обеспечиваются установкой и развитием глобальных средств использования информации об осадках. Имеется в виду метеорологический радиолокатор и устройства для приема гидрометеорологической информации со спутников. Радиолокационная система создана так, чтобы покрывала целую территорию страны и позволяла создавать сопряженную информацию об облачных системах и осадках.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] BECKER, A., MARTINKA, K., POLTE, B., GABRIŠ, P.: Erprobung des nichtlinearen Stufenmodells RIMO für Durchfluss Vorhersagen an der Donau. Referát XII. konferencie podunajských štátov o hydrologických predpovediach, Bratislava, 1984.
- [2] BUCHTELE, J.: Předpovědi měsíčních a sezónních odtoků pomocí rozšířených autoregresivních vztahů, HMÚ Praha, 1984.
- [3] DRAKO, J.: Prehový nelineárny model hydrologického systému, Vodohospodársky časopis č.3, Bratislava, 1984.
- [4] HLADNÝ, J., BARBOŘÍK, J.: Krátkodobé hydrologické předpovědi v povodí Ohře. Sborník prací HMÚ, č.10, Praha, 1967.
- [5] KUNSCH, I., MINÁRIK, B.: Vorhersage in Abschnitten mit bedeutendem aber nicht gemessenem Nebenfluss. Referát XII. konferencie podunajských štátov o hydrologických predpovediach, Bratislava, 1984.

- [6] МАРТИНКА, К., ЗЕЗУЛАК, Й.: Опыт использования гидравлической модели нивозья Бодрога в гидрологической службе прогноза Словацкого гидрометеорологического института. Доклад на XI Конференции дунайских стран по гидрологическим прогнозам, Бухарест, 1983
- [7] PANENKA, I.: Predpoved dlhotrvajúcich zrážok synopticko-štatistikou metódou pre oblasť východného Slovenska. Vodohospodársky časopis, 27, 1979, č.4, s.337-358.
- [8] SVOBODA, A., TURČAN, J.: Ein hydrologisches Vorhersagesystem in dem Tschechoslowakischen Teil des Bodrog - Einzugsgebietes. XIII. konferencia podunajských štátov o hydrologických predpovediach, Bratislava, 1984.
- [9] SZOLGAY, J.: Modellierung von Flusstrecken mit Zuflüssen mit der linearen Speicherkaskade. XIII. konferencia podunajských štátov o hydrologických predpovediach, Bratislava, 1984.

KONFERENCIA PODUNAJSKÝCH ŠTÁTOV  
O HYDROLOGICKÝCH PREDPOVEDIACH

XII КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ  
СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ  
ПРОГНОЗАМ

KONFERENZ DER DONAULÄNDER ÜBER  
HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN



1 - 4

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНЫХ ПРОГНОЗОВ ДЛЯ  
ВЕНГЕРСКОГО УЧАСТКА РЕКИ ДУНАЯ

Харкани, К. - Варта, П. -  
Сёллёши-Надь, А.

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНЫХ ПРОГНОЗОВ ДЛЯ ВЕНГЕРСКОГО УЧАСТКА  
РЕКИ ДУНАЯ

Корнел Харкани, Петер Барта, Андраш Сёллёми-Надь  
Научно-исследовательский центр водного хозяйства, Будапешт

Информационная система и обработка данных

Бассейн Дуная, распространяющийся на территорию восьми стран, является единственной огромной гидрологической единицей и это означает, что выпуск оперативных гидрологических прогнозов на любом участке Дуная возможен только в рамках тесного международного сотрудничества придунайских стран.

Гидрологическая информация, поступающая к Государственной службе гидрологической информации и прогнозов, работающей в Научно-исследовательском центре водного хозяйства, разделяется на три основные группы:

- гидрологические и метеорологические данные и прогнозы, полученные от придунайских стран;
- гидрологические и метеорологические данные и прогнозы Венгрии;
- данные дистанционных измерений.

Гидрологические и метеорологические данные поступают от гидрометеорологических центров придунайских стран, находящихся в бассейне Дуная, согласно рекомендациям Дунайской Комиссии и Всемирной Метеорологической Организации и дополнены данными, полученными в рамках билатеральных международных соглашений. Все данные передаются в закодированном виде с использованием кодов WMO FM 12-VII SYNOP, FM-VI HYDRA и FM 68-VI HYFOR соответственно как и внутри страны, так и в международном обмене данных.

На Дунае и на его притоках работают дистанционные измерительные станции (TELEXDAT), разработанные в Научно-исследовательском центре водного хозяйства (рис. 1). Эти измерительные станции позволяют получить данные измерения уровня в любой момент времени, а некоторые из них снабжены дополнительными датчиками для измерений параметров качества воды. В сотрудничестве с австрийской гидрографической службой венгерская гидрологическая служба установила специальную установку (TELEXDAT), которая была подключена к телеметрической системе австрийской гидрографической службы на Дунае и дает возможность для вызова данных створов Иббс, Киншток, Тулли и Вена с любой телетайпной станции.



Рис. 1. Сеть автоматических гидрологических постов в Венгрии

Ежедневное количество данных, поступающее в Государственную службу гидрологической информации и прогнозов, достигает 10000. Обработка и использование такого объема данных возможна лишь с применением ЭВМ. Первые попытки машинной обработки данных были предприняты уже в начале 70-ых годов, однако разработка системы машинной обработки их была начата лишь в 1976-ом году.

Этот процесс был ускорен более широким применением математических моделей в прогнозах вместо традиционных графических методов. Одновременно возросли требования отрасли водного хозяйства относительно количества и качества выпускаемых прогнозов, удовлетворение которых с помощью традиционной обработки потребовало бы значительного увеличения обслуживающего персонала.

Разработанная система обработки данных и выдачи прогнозов в настоящее время еще не полностью автоматизирована. Отсутствует еще непосредственная связь между каналом информации и вычислительной техникой. Для вывода информации используется перфолента телетайпов. Кроме машинной проверки данных на каждом этапе обработки возможно введение коррекции со стороны гидрологического персонала. Таким образом, вычислительная машина служит лишь своеобразным рабочим инструментом в руках гидрологов. Схема обработки данных и выдачи прогнозов представлена на рис. 2.

#### Методы прогнозов

В системе оперативных прогнозов в Венгрии используются в основном два метода: метод каскадов линейных водохранилищ и стохастический метод с самонастраивающимися параметрами.

Дискретная модель может быть представлена адекватной моделью Калинина-Милюкова-Нэма в пространстве состояний в следующем виде (Селлеши-Надь, 1982):

$$x_{t+\Delta t} = \phi(\Delta t)x_t + \Gamma(\Delta t)u_t \quad (1)$$

$$y_t = Hx_t \quad (2)$$

где  $x_t$  - запас воды на  $n$ -ом характерном участке в момент времени  $t$ , а  $u_t$  - расход воды в верхнем,  $y_t$  - расход воды в нижнем створе исследуемого участка реки. Матрицы коэффициентов дискретной модели имеют вид:

$$\phi(\Delta t) = \begin{bmatrix} e^{-k\Delta t} & 0 & \dots & 0 \\ k\Delta t e^{-k\Delta t} & e^{-k\Delta t} & \dots & 0 \\ \frac{(k\Delta t)^2}{2!} e^{-k\Delta t} & k\Delta t e^{-k\Delta t} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(k\Delta t)^{n-1}}{(n-1)!} e^{-k\Delta t} & \frac{(k\Delta t)^{n-2}}{(n-2)!} e^{-k\Delta t} & \dots & e^{-k\Delta t} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\Gamma(\Delta t) = \begin{bmatrix} (1 - e^{-k\Delta t})/k \\ 1 - e^{-k\Delta t} (1 + k\Delta t)/k \\ \vdots \\ (1 - e^{-k\Delta t}) \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(k\Delta t)^j}{j!}/k \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$H = [0, 0, \dots, k] \quad (5)$$

где  $u$  - число элементарных линейных водохранилищ,  $k = 1/K$ ,  $K$  - коэффициент запаса (время дебегания),  $\Delta t$  - интервал времени.

Модель, представленная уравнениями (1) и (2), является не только адекватной дискретной репрезентацией модели Кали-

нина-Милюкова-Нэма, но одновременно и адекватной репрезентацией модели кинематической волны, дискретной в пространстве (Селлени-Надь, 1982).

При выводе дискретного уравнения состояний (1) за интервал времени  $\Delta t$  расход воды на верхнем участке был принят постоянным. Это приводит к предиктивной (прогностической) схеме дискретизации, что изображено на рис. 2 а.

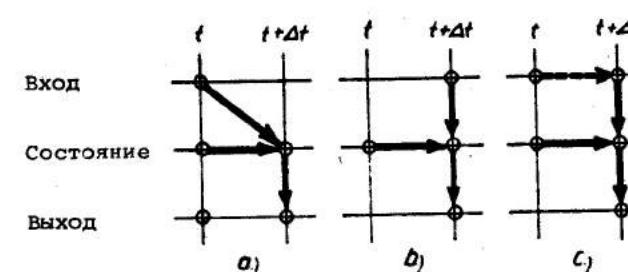


Рис. 2. Схемы дискретизации (расчетный интервал  $\Delta t$ )

- a) прогностическая схема (заблаговременность  $\Delta t$ )
- b) расчетная (симуляционная) схема
- c) прогнозная схема на основе предсказывания верхнего граничного условия

Уравнения (1) и (2) дают рекуррентную схему расчета расхода, что не требует хранения данных за предыдущие интервалы времени, и поэтому принципиально отличается от использования методов решения с помощью интеграла свертки.

Другая возможная схема дискретизации представлена на рис. 2 б. Это расчетная схема и отличается тем, что в уравнении (1) вместо  $u_t$  фигурирует расход воды верхнего створа за интервал времени  $t+\Delta t$ , т.е.  $u_{t+\Delta t}$ . При использовании этой схемы прогнозов для входа нужно иметь предсказанную величину  $u_{t+\Delta t}$ . Такой прогноз может быть получен из прогнозов вышележащих придунайских стран или вычислен методом линейной экстраполяции изменений расходов, разработанного Барта (1983).

Пусть изменяется расход в верхнем створе за интервал  $\Delta t$  на величину

$$\Delta u_t = u_t - u_{t-\Delta t} \quad (6)$$

скорость изменения, принимая  $\Delta t$  единичным,

$$\Delta^2 u_t = \Delta u_t - \Delta u_{t-\Delta t} \quad (7)$$

подставляя (6), получим

$$\Delta^2 u_t = u_t - 2u_{t-\Delta t} + u_{t-2\Delta t} \quad (8)$$

Экстремация производится по уравнению

$$\Delta u_{t+\Delta t} = A \Delta u_t + B \Delta^2 u_t + C \quad (9)$$

где параметры A, B и C расчитываются рекуррентным алгоритмом метода наименьших квадратов.

Дискретная модель каскада линейных водохранилищ применима для приточных участков, однако является чисто детерминистическим методом. Результат расчетов зависит от

ошибок наблюдений и от точности кривых расходов, использованных для определения расходов в верхнем и нижнем створах. Для уменьшения ошибок прогноза применяется простой метод непрерывной коррекции. Основой метода служит предположение, что отличие рассчитанных по модели значений от фактических за время заблаговременности остается постоянным.

Если ошибка прогноза в момент  $t$

$$\epsilon_t = \hat{Y}_t - Y_t \quad (10)$$

где  $\hat{Y}$  - прогноз по модели каскада линейных водохранилищ,  $Y$  - фактический расход, то величина коррекции

$$Y_{t+\Delta t}^* = -\epsilon_t \quad (11)$$

и корректированный прогноз

$$\hat{Y}_{t+\Delta t}^* = \hat{Y}_{t+\Delta t} + Y_{t+\Delta t}^* \quad (12)$$

Применяя метод каскада линейных водохранилищ с использованием метода экстраполяции верхних граничных условий по указанной схеме и выполняя непрерывную коррекцию, в каждом расчетном створе может быть составлена схема оперативных прогнозов для длинного речного участка или для речной системы для прогноза с заблаговременностью несколько суток. Пример такой расчетной схемы приведен на рис. 3 для участка реки Дуная между Веной и Моначом при заблаговременности прогнозов 1-6 суток.

Другой метод, который применяется в оперативной службе гидрологических прогнозов: стохастический метод с самонастраивающимися параметрами. Модель основана на предсказании уровней с помощью метода авторегрессии - скользящего среднего (ARMA) и адаптивном обновлении параметров модели, предложенным Виттенмарком (1974). Прогноз по этому методу

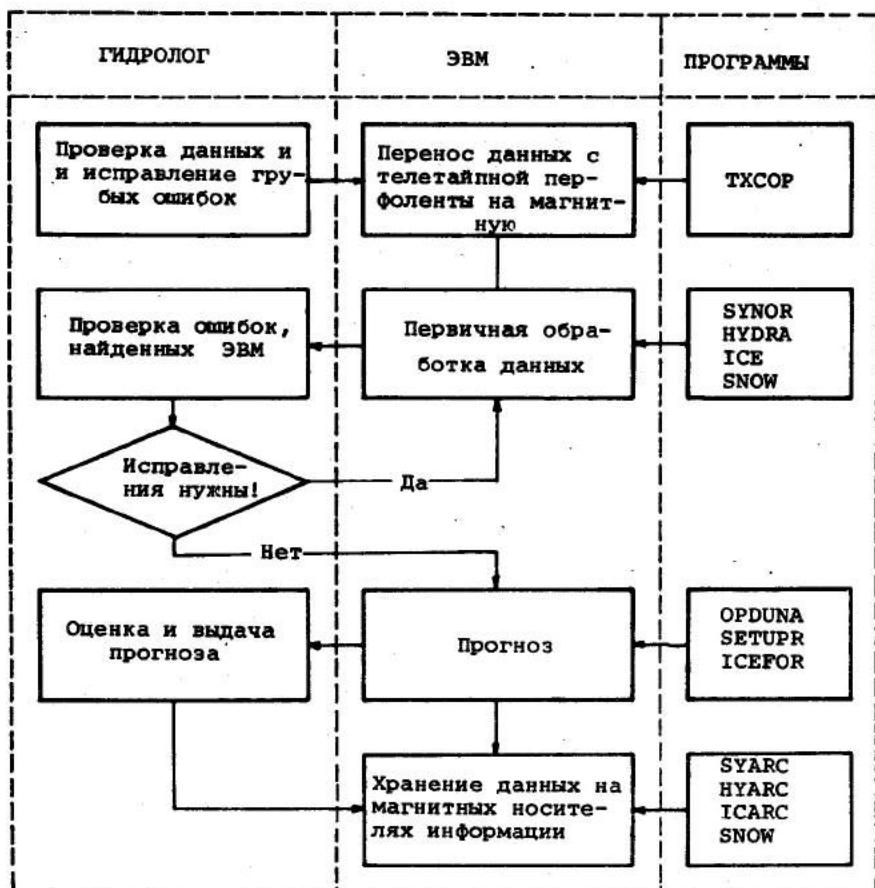


Рис. 3. Блок-схема оперативной обработки данных и составления прогнозов на ЭВМ

также производится по рекуррентной схеме в каждый момент наблюдений. Основой обновления служит результат нового наблюдения (уровень воды) и ошибки предыдущих прогнозов. Могут быть использованы дополнительные данные с одного или двух верхних постов.

Теоретические основы метода и опыты его применения подробно описаны в работах Амбруша (1980, 1982). Здесь же приводим рабочий алгоритм, состоящий из четырех рекуррентных шагов вычислений.

1. Измерение в момент  $t$ . На основе данных об уровне или о расходе воды определяется ошибка прогноза на шаг  $k$

$$\epsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t/t-k) \quad (13)$$

где  $\epsilon(t)$  - ошибка прогноза в момент  $t$ ,  $y(t)$  - измеренный уровень (или расход),  $\hat{y}(t/t-k)$  - прогноз уровня (или расхода), составленный в момент  $t-k$  на шаг  $k$ .

Составляется обновленный вектор данных

$$x(t) = [\hat{y}(t+k-1/t-1), \dots, \hat{y}(t+k-p/t-p), u_t, \dots, u(t-r), v(t), \dots, v(t-z), \epsilon(t), \dots, \epsilon(t-s)] \quad (14)$$

где  $u(t)$ ,  $v(t)$  - вспомогательные (дополнительные) данные, например, уровни в верхних створах, осадки и т.д.;  $r$ ,  $z$ ,  $s$  - размеры модели.

2. Обновление вектора параметров с помощью рекуррентного метода наименьших квадратов

$$\begin{aligned} \hat{a}(t) &= \hat{a}(t-1) - P(t-1)x(t)[1+x^T(t)P(t-1)x_t]^{-1} \\ &\cdot [x^T(t)\hat{a}(t-1) - y(t)] \end{aligned} \quad (15)$$

где  $\hat{a}(t)$  - оценка вектора параметров в момент  $t$ ,  $P(t)$  - матрица ковариаций ошибок оценки параметров в момент  $t$ .

### 3. Обновление матрицы Р

$$P(t) = P(t-1) - P(t-1)x(t)[1+x^T(t)P(t-1)x(t)]^{-1}x^T(t)P(t-1) \quad (16)$$

4. Прогноз с помощью обновленных векторов данных и параметров

$$\hat{y}(t+k/t) = x^T(t)\hat{a}(t) \quad (17)$$

По данному методу оперативные прогнозы с заблаговременностью 1-5 суток составляются для тех же створов, для которых прогнозы составляются по методу каскадов. Имея результат двух методов и анализ их эффективности, гидролог прогнозист может точнее определить ожидаемые уровни или расходы.

### Передача гидрологических расходов

Последним этапом гидрологического прогнозирования является передача прогнозов потребителям. В бассейне Дуная прогнозами должны обслуживаться не только отрасли водного хозяйства, но и международное судоходство. Поэтому для передачи ежедневных гидрологических данных и прогнозов существует несколько форм. Гидрологические центры стран, расположенных в бассейне Дуная, и потребители, заинтересованные в быстром получении информации, получают данные и прогнозы по телетайпам через два часа после их выдачи..

В интересах того, чтобы какой угодно потребитель постоянно имел бы возможность получать гидрометеорологические прогнозы, Научно-исследовательский центр водного хозяйства разработал автоматическую информационную систему, которая известна под названием HYDROINFORM. Эта система состоит из настольной вычислительной машины EMG-666/B и аппарата для подключения машины к телетайпной сети (telex interface) и внешней памяти (RAM) с мощностью 16 килобайт.

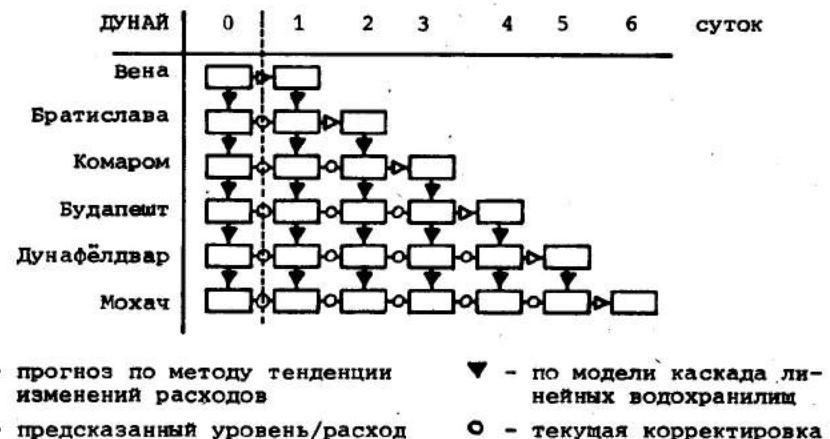


Рис.4. Логическая схема прогнозов для участка Дуная между Веной и Мохачом с заблаговременностью 1-6 суток

Гидрографическая информация и прогнозы хранятся во внешней памяти системы и не могут быть вызваны потребителями с любой телетайпной станции. Выбранная информация автоматически передается на телетайпы вызывающего потребителя в любой части суток.

### Литература

1. СЕЛЛЕШИ-НАДЬ А., БАРТА П.: Эквивалентность моделей каскада линейных водохранилищ и дискретной кинематической волны, а также условия устойчивости схемы при расчетах трансформации паводочных волн, XI Конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, Бухарест, 1982.
2. BARTHA P., SZÖLLÖSI-NAGY A., HARKÁNYI K.: Hidrológiai adatgyűjtő és előrejelző rendszer, Vizügyi Közlemények,

1983/3.sz.

3. SZÖLLÖSI-NAGY A.: On the discretization of the continuous Nash-cascade, Journal of Hydrology, Vol.58.1982/a.
4. WITTENMARK, B.: A Self-Tuning Predictor, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.AC-19, No.16. 1974.
5. AMBRUS S., SZÖLLÖSI-NAGY A.: Operational real-time river flow forecasting using stochastic prediction algorithms.
6. AMBRUS S.: Anwendung des "Self-tuning predictors" bei wassertaus Vorhersagen, X. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Wien, 1979.

KONFERENCIA PODUNAJSKÝCH ŠTÁTOV  
O HYDROLOGICKÝCH PREDPOVEDIACH

XII КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ  
СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ  
ПРОГНОЗАМ

KONFERENZ DER DONAULÄNDER ÜBER  
HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN



1 - 8 ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ,  
ВЫПУСКАЕМЫЕ В СССР ДЛЯ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

Лидиков, А.П.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ, ВЫПУСКАЕМЫЕ В СССР  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ  
(Национальный доклад)

А.П. Кидиков  
Гидрометеорологический научно-исследовательский  
центр СССР

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Вторая половина XX века характеризуется непрерывно возрастающими потребностями в воде в связи с интенсивным развитием различных отраслей экономики во многих странах земного шара. Это обуславливает постановку задачи о наиболее эффективном использовании водных ресурсов, в первую очередь, за счет оптимального регулирования стока рек при помощи крупных водохранилищ. С этой целью на многих реках СССР построены отдельные водохранилища или целые их каскады.

К настоящему времени в СССР насчитывается 3,3 тыс. водохранилищ емкостью более 1 млн. м<sup>3</sup>. Общая их емкость составляет почти 1300 куб.км, а полезная – около 600 куб. км. Этими водохранилищами регулируется около 20% среднего годового стока рек СССР, величина которого равна 4340 куб. км. Многие крупные водохранилища имеют возможность для многолетнего и сезонного регулирования стока рек. В таблице I приведен перечень таких водохранилищ, на которых созданы гидроэлектростанции.

Большинство крупных водохранилищ имеют комплексное назначение, т.е. они используются не для одной какой-либо отрасли экономики, а, как правило, для нескольких. Главными из них являются: гидроэнергетика, водное хозяйство и мелиорация. В настоящем докладе основное внимание сосредоточено на гидроэнергетике.

Таблица I.  
Перечень крупных водохранилищ в СССР

Река	Водохранилище	Регулирование стока водохранилищем
Волга	Рыбинское	сезонное
Волга	Горьковское	сезонное
Волга	Чебоксарское	сезонное
Волга	Куйбышевское	сезонное
Кама	Камское	сезонное
Кама	Воткинское	сезонное
Кама	Нижнекамское	сезонное
Днепр	Кременчугское	сезонное
Днепр	Каховское	сезонное
Дон	Цимлянское	многолетнее
Обь	Новосибирское	сезонное
Иртыш	Бухтарминское	многолетнее
Енисей	Саянское	сезонное
Енисей	Красноярское	многолетнее
Ангара	Братское	многолетнее
Зея	Зейское	многолетнее
Кура	Мингечаурское	многолетнее
Нарын	Токтогульское	многолетнее
Вахш	Нурекское	сезонное

Для эффективного регулирования речного стока и определения наиболее выгодного для гидроэлектростанций (ГЭС) режима работы водохранилищ требуется достаточно надежная информация об ожидаемом режиме водных объектов.

Ниже излагаются проблемы обеспечения гидроэнергетики гидрологическими прогнозами на основе работ, опубликованных специалистами СССР /I-9/.

В докладе основное внимание сосредоточено на:

- видах и формах гидрологических прогнозов, выпускаемых в СССР для гидроэнергетики;
- значениях гидрологических прогнозов в гидроэнергетике;
- на эффективности прогнозов притока воды к гидроэлектростанциям.

## 2. ВИДЫ И ЗНАЧЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ ДЛЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время основными прогнозами, выпускаемыми в СССР для гидроэнергетики, являются прогноз притока воды к ГЭС (в водохранилища). Виды этих прогнозов перечислены ниже:

- а) прогнозы сезонного притока (за период половодья, зимней и осенне-летней межени);
- б) квартального притока;
- в) месячного притока;
- г) декадного и пентадного притока;
- д) ежедневного притока на несколько дней вперед.

В СССР прогнозы притока воды в водохранилища составляются для 147 ГЭС, из которых 53 являются наиболее важными.

Выпуск прогнозов для этих ГЭС осуществляется Гидрометцентром СССР и более чем 20 местными Гидрометцентрами. В общей сложности эти учреждения составляют для всех ГЭС 2500-3000 долгосрочных прогнозов в год.

Прогнозы, указанные в п.п. а,б,в, выпускаются для наиболее важных ГЭС соответственно за 1-2 месяца до начала половодья и за 5-6 дней до начала квартала и месяца. Что же касается прогнозов декадного, пентадного и суточного притока, то их выпуск осуществляется далеко не для всех ГЭС. Таким образом в год для каждой ГЭС выпускается неодинаковое количество прогнозов. В тех случаях, когда

имеются методы для краткосрочных и долгосрочных прогнозов тогда для каждой ГЭС ежегодно может выпускаться более 400 прогнозов притока воды в водохранилище, включая сезонные, квартальные, месячные, декадные, пентадные и ежедневные.

Однако на практике довольно часто для каждой ГЭС ежегодно выпускаются лишь долгосрочные прогнозы (сезонные, квартальные и месячные), т.е. их количество не превышает 15-20.

На большинстве рек СССР преобладающая часть годового стока формируется в результате таяния снежного покрова, накопившегося в зимний период. В период весеннего половодья на равнинных реках и весенне-летнего половодья на горных - проходит 70-90% суммарного годового стока. Именно в эти периоды и происходит регулирование стока с целью наиболее рационального его использования для гидроэнергетики. Вследствие такого распределения стока в году наибольшую важность для энергетики представляют долгосрочные и краткосрочные прогнозы притока за период весеннего или весенне-летнего половодья.

Какое же значение эти прогнозы имеют для гидроэнергетики?

Прогнозы объема притока воды за половодье в водохранилище или каскад водохранилищ с полным годичным или многолетним регулированием стока дают возможность органам эксплуатации ГЭС заблаговременно установить оптимальный для сложившихся условий режим зимней сработки водохранилищ. При ожидаемом малом объеме притока воды за половодье, работа ГЭС в предвесенний период ограничивается с целью наполнения водохранилищ в паводочный период до проектного уровня. Наоборот при ожидаемом большом объеме весеннего притока заранее водохранилище срабатывает до уровня мертвого объема.

На водохранилищах с сезонным регулированием стока схема пропуска весенних (весенне-летних) расходов воды устанавливается также в зависимости от ожидаемого объема половодья. В этом случае прогноз объема половодья позволяет значительно экономнее использовать водные ресурсы для выработки электрической энергии, повышает надежность наполнения водохранилищ до нормальных подпорных горизонтов (НПГ), обеспечивает плановое водообеспечение различных отраслей экономики в последующий период.

В общем можно отметить, что выпускаемые прогнозы притока воды к гидроэлектростанциям используются для принятия мер по пропуску паводка через гидроузлы; при составлении квартальных, месячных и недельных планов выработки и распределения энергии; позволяют правильнее распределять нагрузку мощностей между гидроэлектростанциями и тепловыми станциями.

При составлении планов выработки энергии органы, ответственные за эксплуатацию ГЭС, прежде всего заинтересованы в том, чтобы иметь как можно более высокую степень гарантии выполнения плана.

С этой точки зрения их больше всего устраивают прогнозы, имеющие высокую точность оправдываемости. Однако нередки случаи, когда прогнозы составляются с существенными ошибками, на величины которых оказывают влияние погрешности прогноза осадков на период заблаговременности, методики прогноза и исходных гидрометеорологических данных (запас воды в снеге, жидкие осадки, увлажненность бассейна и т.д.).

Обычно в практике прогнозы притока воды в водохранилища выпускаются в двух формах. В первом случае они выражаются условной кривой распределения в диапазоне от 10 до 90% обеспеченности. Обычно при таких прогнозах потребитель ориентируется на ожидаемую величину притока, обеспе-

ченность которой в данном году составляет 50%.

При второй форме прогноз выражается двумя цифрами, одна из которых указывает ожидаемое значение, обеспеченность которого в данном году составляет 50%, а другая - вероятную погрешность прогноза.

### 3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОГНОЗОВ

Эффективность прогнозов притока воды определяется тремя основными факторами: точностью прогнозов, их заблаговременностью и тем выигрышем, который дает их использование при эксплуатации ГЭС.

Нет нужды доказывать то, что чем выше точность прогнозов притока воды, тем надежнее будут все расчеты, используемые при эксплуатации ГЭС и выработке энергии.

Точность прогнозов характеризуется двумя показателями: средней квадратической ошибкой и распределением погрешностей. Опыт разработки методов прогнозов и массовые данные об их оправдываемости показывают, что в подавляющем большинстве случаев распределение погрешностей прогнозов близко к нормальному.

Для прогнозов притока воды в водохранилища, выпускаемых в СССР, средние ошибки колеблются преимущественно в следующих пределах: для краткосрочных прогнозов на 1-5 дней - от 10 до 15%; для прогнозов месячного и квартального притока - от 15 до 25%, а за период половодья - от 15 до 20% фактического значения притока. Опыт показывает, что погрешности расчетов фактического притока воды к ГЭС в среднем составляют 5-15%, и они в значительной степени зависят от освещенности водосборов водохранилищ гидрометрическими данными /3/. Имеющиеся сведения об ошибках свидетельствуют о том, что точность прогнозов притока воды во многих случаях мало уступает точности определения самого фактического притока к гидроэлектростанциям.

Некоторое представление о точности долгосрочных прогнозов можно составить по данным работы /7/, в которой сделано сопоставление фактического и ожидаемого притока воды во втором квартале в водохранилища 25 крупнейших ГЭС СССР за шесть лет. Оказалось, что между фактическим и ожидаемым притоками воды в эти водохранилища существует довольно тесная связь, коэффициент корреляции которой достаточно высок и равен 0,82. Замечено, что более удачными были прогнозы в маловодные годы. Это обстоятельство связано с тем, что в многоводные годы обычно повышается роль жидких осадков в формировании половодья, а к моменту составления прогноза эти осадки неизвестны и принимаются по норме.

Приведенный пример и другие результаты, представленные в /3, 4, 8/, говорят о том, что точность выпускаемых прогнозов притока воды в водохранилища обычно достаточно высока. Однако одна лишь высокая точность прогнозов не определяет еще их эффективности. Для этого требуется, чтобы они имели определенную заблаговременность.

Установление оптимальной заблаговременности прогнозов притока воды к гидроэлектростанциям представляет собой сложную задачу. Решение ее возможно лишь на основе экономических расчетов с учетом технических показателей и специфики работ каждой ГЭС. Однако на практике такие расчеты не производятся и реальная заблаговременность прогнозов для каждой ГЭС целиком определяется методическими возможностями прогнозов.

Здесь уместно отметить, что, как правило, точность и заблаговременность прогнозов связаны между собой. Обычно прогноз малой заблаговременности обладает более высокой точностью по сравнению с долгосрочным. Соотношение между этими двумя характеристиками должно выбираться по принципу наибольшей целесообразности для решения практических задач

при эксплуатации ГЭС. С этой целью обычно разрабатывается методика прогноза с возможно большей заблаговременностью, но с обязательной системой уточнений прогноза по мере осуществления прогнозируемого гидрологического явления.

Например, прогноз объема притока воды в водохранилище за половодье, составленный по данным о запасах воды в снеге на бассейне и его впитывающей способности уточняется по данным об осадках, выпавших в период снеготаяния и развития половодья, по данным о стоке малых рек и по расчетам наполнения водой русловой сети, а также по расчетам ежедневного снеготаяния. Таким образом органы по эксплуатации ГЭС непрерывно получают информацию об ожидаемом развитии явления и могут корректировать свои решения на основе более детальных и точных расчетов.

Третим фактором, определяющим эффективность прогнозов, является тот выигрыш, который дает использование прогнозов притока воды при эксплуатации ГЭС. Известно, что при отсутствии прогнозов, особенно долгосрочных, планирование выработки энергии ведется на основании притока заданной обеспеченности или по норме. Нередки случаи, когда при отсутствии краткосрочных прогнозов планирование на 1-3 дня вперед осуществляется исходя из величин притока предыдущих суток, т.е. потребитель руководствуется так называемыми инерционными прогнозами. Во всех случаях эффективность прогнозов может быть установлена только путем сравнения условий эксплуатации ГЭС при наличии и отсутствии прогнозов.

Первое очевидное преимущество использования прогнозов заключается в том, что они позволяют предвидеть различные, в том числе и экстремальные или близкие к ним, значения притока, а следовательно заблаговременно принять соответствующие меры по наиболее рациональному использованию воды. Это имеет особенно важное значение для ГЭС с многолетним

или сезонным регулированием стока. Наиболее наглядную оценку выигрыша долгосрочных прогнозов по сравнению с нормой можно сделать по данным работы /7/. В ней приведено сравнение распределения погрешностей прогноза притока воды в водохранилища с отклонениями по норме.

Сравнение показало, что в 80% случаев ошибка прогноза меньше 20% фактической величины, а в 90% случаев — меньше 25%. В то же время отклонение от нормы такой же обеспеченности (80 и 90%) составляет соответственно 75 и 130% фактической величины, а наибольшие отклонения достигают 200-300%.

Таким образом, преимущество рассматриваемых прогнозов по сравнению с принятием ожидаемой величины по норме значительно, что является весьма важным показателем выигрыша прогнозов, т.е. их эффективности.

Прогнозы притока воды к гидроэлектростанциям тем эффективнее (с энергетической точки зрения), чем больше они способствуют дополнительной выработке электроэнергии или, по крайней мере, более правильному планированию ее выработки. Дополнительная выработка электроэнергии при использовании прогнозов может быть получена в результате работы ГЭС на повышенных напорах воды, либо за счет сокращения холостых сбросов воды через плотину.

На ГЭС с водохранилищами многолетнего регулирования стока холостые сбросы обычно бывают в редких случаях. На них дополнительная выработка электроэнергии может быть получена, главным образом, путем повышения среднего годового напора за счет использования долгосрочных прогнозов притока, особенно в маловодные годы. Прогноз малой водности в данном случае позволяет сократить зимнюю сработку водохранилища, обеспечив таким образом более высокую отметку его наполнением весенним паводком, а следовательно, и дополнительный напор на ГЭС в течение остальной части гидрологического года.

На ГЭС с водохранилищами сезонного регулирования дополнительная выработка электроэнергии возможна как за счет дополнительных напоров при прогнозе малой водности, так и за счет сокращения холостых сбросов при прогнозах высокой водности.

Для ГЭС с небольшими водохранилищами и с неустойчивым паводковым режимом притока воды эффект может быть достигнут за счет сокращения холостых сбросов воды через плотину исходя из краткосрочных прогнозов паводков с заблаговременностью от 1-3 до 7-10 суток.

В настоящем докладе ниже приводятся некоторые результаты расчетов дополнительной выработки электроэнергии в маловодные годы за счет прогнозов квартального притока воды в Рыбинское и Мингечаурское водохранилища, соответственно расположенные на рр. Волге и Куре. Эти результаты заимствованы из работы /2/.

Расчеты, произведенные в /2/, базируются на следующих положениях:

- при отсутствии прогноза притока воды в период весеннего половодья сработка водохранилища ведется до нормальной предпаводковой отметки, исходя из ожидаемого объема половодья равного норме;
- при наличии прогноза сработка водохранилища ведется до отметки, установленной с учетом некоторого дополнительного объема воды  $W_{\text{доп.}}$ , оставленного в водохранилище по прогнозу. Предполагается, что при оправдавшемся прогнозе указанная величина  $W_{\text{доп.}}$  позволит наполнить водохранилище до нормального подпорного уровня в весенний период маловодного года;
- величина  $W_{\text{доп.}}$  служит мерой эффективности прогноза, поскольку она влияет на напор воды, а в конечном счете на дополнительную выработку электроэнергии;
- определение фактических величин  $W_{\text{доп.}}$  ведется с учетом ошибок прогноза, а также его заблаговременности.

Исходя из перечисленных положений и простых формул, сделан расчет величины дополнительной выработки электроэнергии Рыбинской ГЭС за II маловодных лет.

Расчеты показали, что в 9 случаях прогнозы были эффективны, а в двух - нет из-за погрешностей прогнозов. Общая дополнительная выработка электроэнергии за II лет составила 340 млн.квтч, что равно около 4% всей выработки Рыбинской ГЭС за эти годы. При 100% оправдываемости прогноза и его достаточной заблаговременности величина дополнительной выработки могла бы быть в 2-2,5 раза больше, т.е. в среднем 8-10% от годовой выработки электроэнергии.

Аналогичные исследования эффективности прогнозов в связи с увеличением их заблаговременности проведены для Мингечаурского водохранилища. Оказалось, что увеличение заблаговременности прогноза весенне-летнего притока воды на один месяц повышает дополнительную выработку электроэнергии на указанной ГЭС в среднем на 25%.

Приближенные расчеты показывают, что правильное использование гидрологических прогнозов дает возможность повышать выработку электроэнергии на каждой ГЭС в среднем не менее 2% в год. Исходя из этого можно приблизенно оценить годовой эффект гидрологических прогнозов для энергетики всей страны. Например, в СССР годовая выработка энергии на всех ГЭС, для которых составляются прогнозы, равна около 170 млрд.квт.ч /1/. Тогда общий экономический эффект гидрологических прогнозов для энергетики СССР приближенно составляет 3,0-3,5 млрд.квт.ч в год. Указанное количество энергии обычнорабатывается в год ГЭС мощностью 700-800 мвт. Следовательно, за счет гидрологических прогнозов в СССР ежегодно как бы дополнительно работает ГЭС с упомянутой мощностью.

Из изложенного видно, что гидрологические прогнозы, выпускаемые в СССР для гидроэнергетики, имеют существенный экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воропаев Г.В., Иванова Т.Н. Проблемы комплексного использования водных ресурсов Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги. - "Водные ресурсы", 1981, № 2, с. 12-21.
2. Горбунов Ю.В. Оценка экономической эффективности прогнозов притока воды к гидроэлектростанциям. Труды X конференции Придунайских стран по гидрологическим прогнозам, Вена, 1979, с. I-14.
3. Жидиков А.П., Левин А.Г., Нечаева Н.С., Попов Е.Г. Методы расчета и прогноза половодья для каскада водохранилищ и речных систем. Л., Гидрометиздат, 1977. с. 128.
4. Змиева Е.С. Прогнозы притока воды к Куйбышевскому и Волгоградскому водохранилищам. М., Гидрометеоиздат, 1964, с. 255.
5. Мусаелян Ш.А. О значении гидрологических прогнозов в гидроэнергетике (на примере Камской ГЭС). - "Метеорология и гидрология", 1982, № 2, с. 37-40.
6. Нежиковский Р.А. Гидрологические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ. Л., Гидрометеоиздат, 1976, с.190.
7. Паршин В.Н. Прогнозы водности рек на службе водного хозяйства. - "Водные ресурсы", 1975, № 4, с. 54-70.
8. Попов Е.Г., Паршин В.Н. Об эффективности прогнозов притока воды к гидроэлектростанциям. - "Метеорология и гидрология", 1960, № 1, с. 18-23.
9. Угренинов Г.Н. Долгосрочные прогнозы гидрографа полезного притока и их экономическая эффективность. - Тр. Гидрометцентра СССР, 1974, вып. 142, с. 57-74.

KONFERENCIA PODUNAJSKÝCH ŠTÁTOV  
O HYDROLOGICKÝCH PREDPOVEDIACH

XII КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ  
СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ  
ПРОГНОЗАМ

KONFERENZ DER DONAULÄNDER ÜBER  
HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN



1 - 9

HOCHWASSERABFLUSS NACH DEM  
AUFBAU DES DONAUKRAFTWERKSYSTEMS  
GABCÍKOVO-NAGYMAROS

Velič, J.

HOCHWASSERABFLUSS NACH DEM AUFBAU DES DONAUKRAFTWERKS SYSTEMS  
GABCÍKOVO-NAGYMAROS

Ing. Július Velič  
Hydroconsult Bratislava

Wasserkraftanlagensystem Gabčíkovo-Nagymaros ist Mehrzweckwasserwerk. Bedeutendste der Hauptziele, die das Wasserwerk erfüllen soll, ist die energetische Ausnützung der Donaudurchflusskraft und wesentliche Verbesserung der Schiffahrtsbedingungen im Abschnitt Bratislava-Györ. In diesem Streckenabschnitt, wegen zahlreichen Schwemmen, bilden sich nicht annehmbare Schiffahrtstiefen. Durch den Bau des Wasserkraftwerksystems Gabčíkovo-Nagymaros erhöht sich /neben der Verbesserung der Schifffahrtsbedingungen/ wesentlich Hochwasserschutz des Gebietes, gestalten sich gute Bedingungen für Bewässerungsbau und verbessert sich die Möglichkeit der Trinkwasserabnahme aus den mächtigen unterirdischen Wasservorräten im Gebiet der Stauanlage Hrušov-Dunakiliti. Neben der angeführten Wirkungen verbessern sich in hohem Ausmass auch andere Bedingungen des Lebensniveaus anliegender Landwirtschafts- und Industriegebiete.

Im Donauabschnitt Bratislava-Budapest sind für Hochwasserschutzdienst gute Bedingungen für die Durchführung der Vorhersagetätigkeit gestaltet. Die Meldungen der Wasserstände aus oberem Donauabschnitt in Österreich ermöglichen in der Zeit vor dem Bau die Verarbeitung der Vorherseggemethoden und damit kann man in Bratislava, Komárno, Nagymaros und Budapest bei normalem Hochwasserdurchfluss den Hochwasserstand 2-3 Tage vorher mit genügender Genauigkeit voraussagen. Natürlich, dass bei Benutzung dieser Methoden sind gleichzeitig auch Ortsbedingungen ermessan, wie z.B. Wasserstände und Durchflusswerte auf der Flüsse Morava, Váh, Hron und Ipeľ, bzw. Prognosen der Hochwasserstände und Durchflüsse der genannten Linksuferzuflüssen von Donau und die Möglich-

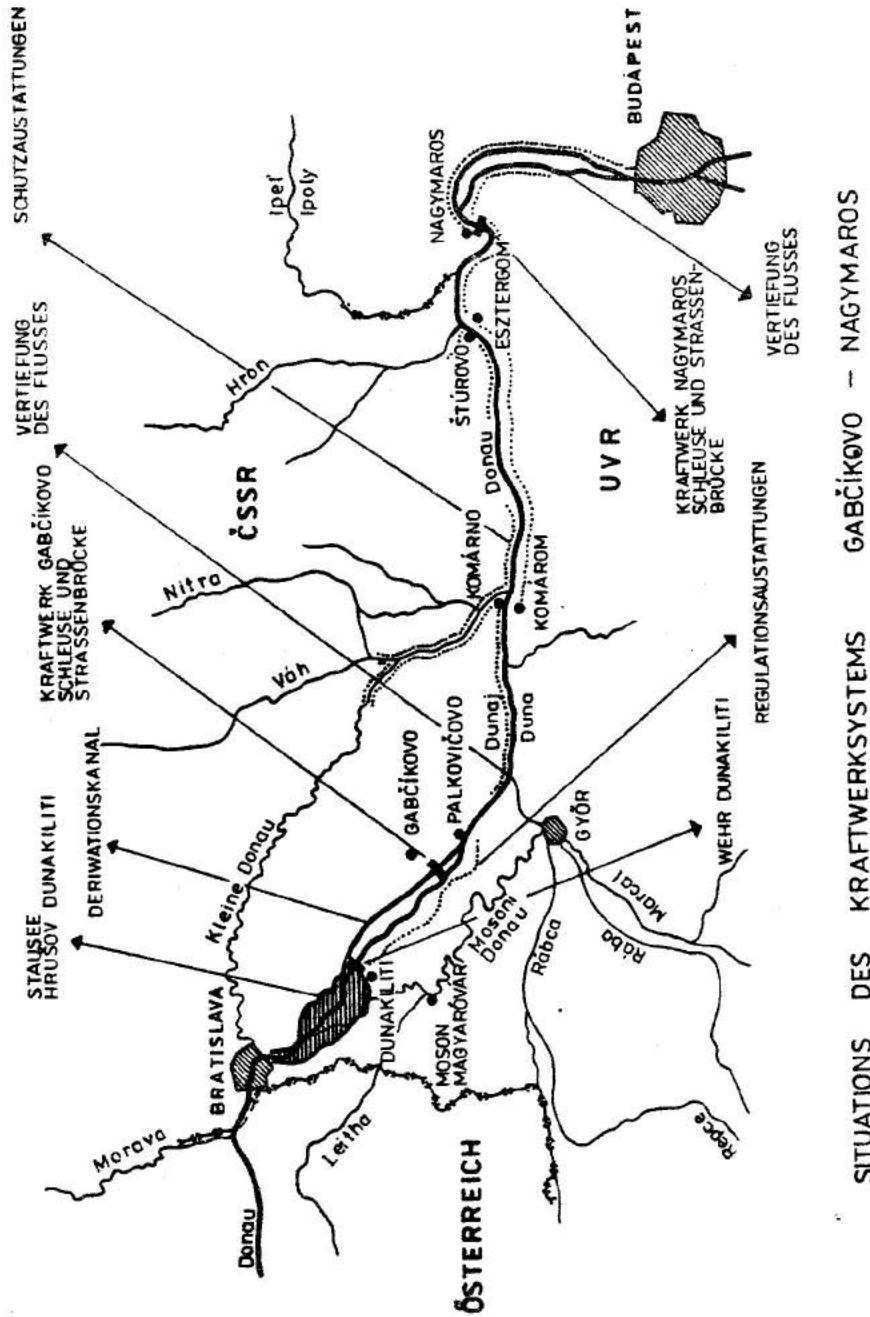
keiten der Zusammensetzung der Donau- und Zuflusshochwässer bewertet. Aus den Erfahrungen bei dem Hochwasser im 1965 ist der Fakt zu bemerken, wenn in die dauernde Donauhochstände kurze aber hohe Hochwasserwelle von Véh zugeflossen ist, was deutliche Erhöhung der Wasserstände in Komárno und im Donauabschnitt unter Komárno verursacht hat.

Durch den Ausbau der Wasserwerke verändern sich die Durchflüsse im tschechoslowakisch-ungarischen Donauabschnitt wesentlich nicht. Bei den Bedingungen vor dem Ausbau ist zu wessentlicher Wasserstandverminderung eingekommen, besonders im Abschnitt Bratislava-Palkovičovo. Hochwasserdurchflüsse in Bratislava haben bei dem Einstieg der Hochwässer umfangreiche Akkumulationsräume des breiten Zwischenstromraumes unter der Stadt erfüllt. Der Hochwasserdurchfluss bei dem Durchfluss des hundertjährigen Hochwassers hat in Bratislava das Wert  $Q_{1\%} = 10.600 \text{ m}^3/\text{s}$  gehabt und war mit dem Einfluss der angeführten Akkumulation auf das Wert cca  $9.385 \text{ m}^3/\text{s}$  in Komárno unter der Váhneinführung reduziert. In weiterem Abschnitt unter Komárno war der Durchfluss  $Q_{1\%}$  bis Nagymaros unter Einfluss des bestehenden Akkumulationszwischenstromraumes und weiter war im Profil Nagymaros auf das Wert  $Q_{1\%} = 8.700 \text{ m}^3/\text{s}$  reduziert.

Nach dem Aufbau der Wasserkraftwerke wird sich die Stauanlage Hrušov-Dunakiliti und Stauanlage Nagymaros bilden. In diesen Stauanlagen wird der bestehende Akkumulationszwischenstromraum dauerhaft überschwemmt. Außerdem in dem Abschnitt Hrušov-Palkovičovo werden die Hochwasserdurchflüsse in zwei Flussbette verteilt. Ein Teil der Durchflüsse bis  $4.240 \text{ m}^3/\text{s}$  wird durch Zuführungskanal durch die Stufe Gabčíkovo abfliessen und der Rest des Hochwasserdurchflusses wird durch alten Donauflussbett abfliessen. Mit angeführten Eingriffen in den Hochwasseraufschwanz werden sich in kleinem Masse die

Durchflusswerte in einzelnen charakteristischen Flusspunkten verändern. Der Hochwasserdurchfluss in Bratislava bei dem hundertjährigen Hochwasser vom Wert  $Q_{1\%} = 10.600 \text{ m}^3/\text{s}$  wird sich auf Grund den Ergebnissen der Forschungen nach dem Durchfluss durch Stauanlage Hrušov-Dunakiliti und durch weiteren Durchfluss unter dem Deich Hrušov-Dunakiliti bis Komárno im Flusskilometer 1766 auf den Wert cca  $9.450 \text{ m}^3/\text{s}$  reduzieren. In weiterem Abschnitt unter Komárno wird sich der Hochwasserdurchfluss in dem Abschnitt durch Stauanlage Nagymaros bis profil des Stufes Nagymaros im Flusskilometer 1966 auf den Wert cca  $Q_{1\%} = 9.000 \text{ m}^3/\text{s}$  reduzieren.

Die Vorhersagemethoden, die in dem Zeitraum vor dem Aufbau gültig waren, werden damit kleineren unwesentlichen Masse beeinflusst. Man muss feststellen, dass es nötig die bisher aufgestellte Beziehungen nach der Aufbau des Donaukraftwerkssystems Gabčíkovo-Nagymaros nach und nach gemäss den Erfahrungen, also gemäss den wirklichen Durchflusswerten und Ständen bei den nachfolgenden Hochwässern zu regulieren, aber gemäss den bisherigen wasserwirtschaftlichen Forschungen sind es nur minimale Änderungen zu erwarten. Gleichzeitig in dem Zeitraum nach dem Aufbau des Donaukraftwerkssystems Gabčíkovo-Nagymaros bei der Präzisierung der Vorhersagemethoden werden auch die Einflüsse berücksichtigt, die sich nach dem Aufbau der neuen Wasserwerken in Österreich äussern werden.



### ПАВОДОЧНЫЙ РЕЖИМ РЕКИ ДУНАЯ ПОСЛЕ ПОСТРОЙКИ СИСТЕМЫ ГИДРОУЗЛОВ ГАБЧИКОВО-НАДЬМАРОШ

Автор подавает информацию о предыдущем и будущем паводочном стоке воды в реке Дунай на участке системы гидроузлов Габчиково-Надьмарш на основе предыдущих наблюдений и проведенного исследования.

### HOCHWASSERAUFLUSS NACH DEM AUFBAU DES DONAUKRAFTWERK-SYSTEMS GABČÍKOVO-NAGYMAROS

Der Autor gibt eine Information über heutigen und zukünftigen Hochwasserdurchfluss an der Donau im Abschnitt des Donaukraftwerksystems Gabčíkovo-Nagymaros auf Grund der bisherigen Beobachtungen und der durchgeföhrten Forschungen.

A perspective view of the relative significance of the components  
of hydrological forecasting systems

Professor J. Nemeč\*

The author of this paper has been called upon to advise competent national authorities in many countries of the world, mainly developing ones, on the evaluation and updating existing or designing new hydrological forecasting systems. In this connexion, several interesting experiences have been made.

First, it has been noted that, at least at the level of water resource development decision-makers, the notion of hydrological forecasting is not always clear. The confusion of flood forecasting with hydrological forecasts on a continuing basis is not surprising since, as will be seen, floods are indeed in most cases the prevailing purpose of hydrological forecasting. More astounding is that many decision-makers either consider real-time hydrological forecasting as a particular hydrological technique, equivalent and/or often confused with the computation of a probable flood, or expect that a real-time forecasting system will prevent the actual phenomena, mostly flood, to materialize. Yet a third most frequent and often prevailing view considers hydrological forecasting as a poor relative of actual flood prevention by structural measures (dams, levees, dykes). It is only lately that evidence has filtered into decision-makers cabinets, surprisingly enough mostly from the experience of developing countries, that the point is "not to keep the water away from the people, but people away from the water". Firstly, it is impossible in many countries not to use the parts that the river regularly floods - the flood plain. In Asia and other parts of the world, floods are not only a curse, but also a blessing. Proper flood plain management, which foresees flood forecasting, can

\* Director Hydrology and Water Resources Department, Secretariat, World Meteorological Organisation, Geneva, Switzerland

reduce the curse while retaining the blessing. Furthermore, flood forecasting as a means of flood damage reduction, has another, much more subtle advantage, over structural methods of flood control. Sugaware has pointed out that flood control reservoirs are effective for small- and medium-sized floods but are of little value for the control of large, very infrequent events. He further notes that a population which depends on methods of controlling any type of disaster, shields itself from the more frequent events and so, having no chance to learn how to contend with any disaster, suffers even more from the uncontrollable large events. It seems that every method of disaster prevention has this unfortunate characteristic - it increases the damage from large disasters. It should also be noted here that, as the economy of a country develops, its vulnerability to flood damage increases.

When giving advice on the establishment of a new Forecasting Operational Real-Time Hydrological (FORTH) system, it is relatively easy to explain that such a system is not only another hydrological technique (comparable to a statistical evaluation of the frequency of a flood of a certain magnitude) but that it is also a service, an economic activity, needing also many non-hydrological technological developments such as telecommunications, remote-sensing, computer applications etc., and training of specialists with different backgrounds, if it is to be performed with a cost-benefit or cost-effective results. (See Fig. 1. for FORTH sub-systems). What is not easy to explain is that there is no one single way, from the starting point of the design of a FORTH system to the achievement of the desired effect which in many cases is itself multiple and it is not always clear which of the effects is the most important to achieve. Thus, for example, the simple fact that a flood can be forecasted with relatively not much difference in accuracy at relatively large differences in costs seems rather difficult to get across. Yet the problems that an international

adviser encounters with national decision-makers are often simpler than the ones encountered with national specialists. The multiplicity of paths to achieve the desired results (with differences mainly in the forecasting lead time and accuracy) are often reduced by the specialist to the selection of the best actual forecasting technique (hydrological model) and many papers (Noef, 1981) and scientific symposia have been devoted to this problem. Yet the "best" model often does not exist, since different models present in different conditions different advantages. A WMO Project (WMO, 1975) has been devoted to this problem.

The enormous variety of conditions can be perhaps illustrated by a WMO survey of 17 countries of Europe, covering a total of 74 forecasting procedures (Liebscher, 1981) used operationally.

Of a total of 74 forecasting procedures (models), 35 are statistical (either multiple correlation or autoregressive function), 16 are routing procedures, often based on empirical concepts, and 23 models are conceptual (deterministic).

The basins covered by operational forecasting systems have a size between 100 and 1,000,000 km<sup>2</sup>. The size 1,000 - 10,000 km<sup>2</sup> is the most frequent (21 cases). Basins of less than 100 km<sup>2</sup> are quite rarely forecasted.

The purpose of the hydrological forecasts is first of all flood protection (57 cases). Energy production is second (25 cases), followed by navigation (16 cases), and water supply and sanitation (16 cases), irrigation (8 cases), water pollution control (5 cases), and ice problems (5 cases).

The most frequent forecasted elements are surface level (54 cases), then discharge (46 cases), and volume of runoff (27 cases). Forecasting of ice, groundwater level, and water quality are rare.

Hydrographs of floods are the form of forecast output in 42 cases, a continuous hydrograph in 32 cases. In 34 cases, the subject of the forecast is the time of occurrence. In 15 cases, there are forecasted minimum flows.

Most forecasting systems provide short-term forecasts. In 24 cases the forecast is up to 24 hours and in 27 cases the forecast ranges between 1 day and 1 week. Medium-term forecasts (11 cases) and long-term forecasts (10 cases) are surprisingly frequent.

While a forecasting is permanent in 42 cases, the forecast is restricted only to flood season in 20 cases, and it is operating only after exceeding or - in the case of low water forecast - falling below certain threshold values of discharge in 11 cases.

Computers or programmable desk calculators are used in most of the forecasts (45 cases). Graphs (6 cases) and manual and tabular computation (30 cases) are used in older systems.

The most frequent input variable for forecasting is precipitation (53 cases), water levels (52 cases) and discharges (51 cases). Snow depth or water equivalent is used as input parameter in 29 cases followed by data on air temperature (19 cases), soil moisture (18 cases), evaporation (10 cases), radiation (9 cases) and other meteorological elements (10 cases). The use of groundwater levels, water quality data and water temperature as input for forecasting, is rare.

The use of forecasted data as input is surprisingly high. Precipitation forecasts are used in 39 cases, discharges in 35 cases, water levels in 22 cases, and air temperature in 14 cases.

Data collection is done manually in 47 cases. Automatic stations are in operation in 38 cases. In many forecasting systems data collection is done manually as well as by automatic stations. In 23 cases, data are recorded. Modern techniques like radar (9 cases) or remote sensing techniques by aircraft (2 cases) or by satellites (1 case) are not frequently used.

In 68 cases the transmission of data is by telephone. Mail is used in 12 cases. Data are transmitted by radio in 20 cases and by telex in 22 cases. Satellites are used only in 3 cases.

While these conditions of Europe (including a few countries of the Middle East) can be slightly biased by the temperate climate of this region, they corroborate the above statement that the paths to achieve the same objective may be most varied and one is almost tempted to conclude that, should a country or organization designing a FORTH system ask for advice, it will be extremely biased or at least tainted by the nationality and/or previous national experience of the adviser.

Does the possibility exist for an international organisation such as WMO to avoid such a bias in the best interest of its Member Countries ?

In our opinion it is possible, although not easy. The model intercomparison project mentioned is a first example. The following general consideration, attempting to show the objective indication of relative significance between two components of FORTH, namely the

model sub-system and the data collection sub-system, is another one.

The two sub-systems mentioned above are often considered separately, at least as far as their influence on the final result of the forecast is concerned, although undoubtedly everybody agrees that they have to be technically compatible and properly interfaced. What is often less evident is that the data collection sub-system may be crucial for the accuracy and cost-effectiveness of the FORTH system and that its design or selection is at least as important as that of the hydrological model.

The above-mentioned survey in Europe has clearly indicated that the majority of the data inputs used in FORTH systems are those on precipitation and discharges, with the understanding that in systems using only discharges as input the above statement on relative significance of the components of FORTH applies only to discharge data collection. The stream gauging, however, is fortunately, by and large, the most accurate of all measurements carried out at basin level, as it integrates the runoff over the entire area and does not involve areal sampling. According to Herschy (1978), if carried to relevant ISO/WMO standards, the upper limit of error at 95% confidence is for single determination of discharge  $\pm 7\%$ , for standard error of the mean of the stage discharge relation is  $\pm 5\%$ . Similar limits of errors are for daily, monthly and annual discharges. It is obvious that in difficult conditions of developing countries and in floods these errors may be significantly larger, 15% errors at 95% confidence for flood peaks are not uncommon but they are still minor in comparison with errors in precipitation and evaporation measurement and their areal estimations. On the other hand, the relative significance of precipitation and evapo-transpiration data for discharge computation by conceptual models (the Sacramento model) has been ascertained by Nemeč and Schaeke (1982) and are illustrated by Figs. 2 and 3, both in a dry and wet basin.

From the above consideration, it appears that the single most important input data in FORTH is the value of the rainfall. This is clearly demonstrated also by a study of sensitivity to inputs by conceptual hydrological models, in particular of the Sacramento model. Figure 4, based on a study of Zettlemoyer and quoted by Burnash et al. (1981) indicates that a five percent change in the value of the input rainfall produces an impact on the forecast of runoff nearly an order of magnitude higher than a similar shift in any other parameter or input, including evapo-transpiration.

Unfortunately, it is not easy, if at all possible, to ascertain the "real" value of rainfall over the basin. Many studies of this problem were conducted all over the world (see WMO, 1973). This value is subject of error, not only related to the instruments but also to the method of evaluation of the areal sampling, see for example above quoted work of Burnash et al(1981). For the analysis of the relative significance of the FORTH sub-systems, it is, however, possible to assume that the value adopted and corroborated by statistically optimal simulation of discharge as tested against the observed one, is the "true value". The sensitivity of the results to the two sub-systems could then be expressed by the change of the discharge in passing from one model to another with the same simulated "error" of the input rainfall.

Such tests were undertaken with two models used in one basin in Africa. The first model was the Sacramento model (Burnash, Ferral, McGuire, 1973), the second was the so-called "rational formula" which translates rainfall into runoff by a single runoff coefficient, which is established as an average ratio of rainfall and runoff during all period of observation. A simple unit hydrograph is then used to distribute the runoff in time.

It is obvious that in a natural catchment this last "model" does grossly distort the flood events by underestimating discharges in wet conditions and overestimating them in dry conditions.

The basin used for the test was in the larger basin of Lake Victoria in Africa, where data were very unreliable and covered only 7 years of observations. A total of 13 flood events were used for the tests. The results are in Fig. 5. It is clear that the less sensitive "model", the rational formula, will be also relatively less influenced by the "error" in the precipitation, as it can be seen from Fig. 5. It is also seen from this same figure that the crude model results in larger absolute error, with the "true" rainfall observation. It is, however, most clear that the "error" in rainfall observation may entirely cover the relatively large increase of accuracy resulting from the use of a good conceptual model. Indeed, if the rainfall average over the catchment is underestimated by 25%, which is not unusual, both the Sacramento and Rational Formula give on the average the same values of peak discharges. On the other hand, with "true" value of precipitation, the relative accuracy of the Sacramento model is better by a factor of three. Burnash et al (1983) conducted a similar test on a much better observed and well-instrumented basin of the Eel River in California, for which observations for 20 years permitted a fitting of the Sacramento model resulting in a correlation between simulated and observed flow of .99. The well calibrated conceptual model gives excellent results with the "true" precipitation (see Fig.6). It is again more sensitive to the simulated "error" rainfall values over the catchment than the very elementary "rational formula." However should the rainfall "error" be an increase of 20% over the "true" value, both forecasting techniques give the same results and are in error of about 35% above the correct observed value for the peaks.

The conclusions of the above tests indicate that a concentration of effort on improvement of the forecasting technique has significance only if the rainfall observing system is sufficiently reliable and the data available for the fitting of the model are such as to avoid a large value of absolute error of all models. In other words, a designer of FORTH system has to keep his perspective on all components of his system design and not concentrate attention exclusively on his model.

Another question closely related to the above is whether a significant cost-benefit or cost-efficiency improvement of FORTH can be therefore achieved by adding to a rainfall gauge network a rainfall measuring radar.

Radar's value for meteorological forecasts, particularly if the radar is observing over areas not accessible otherwise (over oceans, inaccessible territory, etc) or provides information on potentially very dangerous meteorological conditions such as tropical cyclones and thus provides qualitative support to hydrological forecasts is not questioned at all. However the quantitative measurement of rainfall by radar, to be of acceptable accuracy, requires the calibration of the radar by rain gauges and is effective only to a radius of 120 - 150 km from the radar site at best. The above statement is supported by ample research and operational experience (Wilson and al. 1979). The area thus covered is about 45'000 km<sup>2</sup> and the optimum radar calibration requires at least 3 gauges per thousand km<sup>2</sup>. Assuming that all area under the radar coverage is subject to flood forecasting, the total number of telemetering gauges necessary to calibrate properly the radar will be about 135. According to current prices of telemetering equipment the gauge network would cost around half million US dollars, the radar itself anything between half and one million US dollars, the total price of the system being between one and one and half million US dollars.

On the other hand, the median error of precipitation measurement only by the above gauge network, while varying in dependence of the climate and basin character, would be about 15 %. If the basin for which the FORTH system is designed is only a small part of the area under the radar coverage, the cost/benefit or cost/efficiency of the radar use is straight forward dubious. The addition of radar to the gauge network, if all area under radar coverage is forecasted, would need a very carefull cost/benefit or at least cost/efficiency analysis and the author confidently predicts that the result would be in favour of the rain gauge network by itself rather than that of the network-radar combination. Indeed, in the above cost evaluation the difference in cost between maintenance of a rather sophisticated instrument such as a fully computerized radar capable to give quantitative precipitation data and a relatively very simple radio-transmitting gauge has not been included. In the experience of the author, particularly in developing countries, this factor would heavily weight against the radar cum gauges in favour of the telemetering rain gauges system only. This conclusion has been recently corroborated both by Ishizaki (1979) and Sugawara (1981).

A sensitivity analysis can be made for other components (sub-systems) of a FORTH system. Nevertheless, the data collection on one side and the hydrological model on the other are, in the opinion of this author, the most sensitive sub-systems with respect to their relative inter-dependence. They should never be considered separately and a decision on their selection should not be taken without at least a summary cost/benefit or cost/effectiveness analysis.

Similar analysis of interdependence of FORTH sub-systems, in the opinion of this author, may provide a design and management of a FORTH system as an entity without technically unwarranted bias. The author however recognizes that a large number of non-technical considerations may influence the design and are often unavoidable. Thus, like in many similar situations, a technician provides his evaluation and then hopes for the best.

Acknowledgement : The author wishes to acknowledge his thanks to the California-Nevada River Forecast Center in Sacramento and Messrs. Burnash and Strom in particular for the execution, on the author's request, of the tests of accuracy of forecasting techniques and to Mr Miller of the Hydrology and Water Resources Department of the WMO Secretariat in Geneva for assistance in similar tests on data from Lake Victoria basin. The permission given by the Secretary General of WMO to the author to present this paper is also acknowledged with gratitude.

References

- Burnash, R.J.C., Ferral, R.L. and Strom, E.T. (1981): Areal evaluation of precipitation, a technique for maximizing operational information from a limited raingauge network. Report submitted to the annual meeting of the AMS.
- Burnash, R.J.C., Ferral, R.L. and McGuire, R.A. (1973): A general streamflow simulation system - conceptual modelling for digital computers. Report by the Joint Federal-State River Forecast Center, Sacramento.
- Herschy, R.W. (1978): Hydrometry, Chapter 10, John Wiley, Sons, Chichester.
- Ishizaki, K. (1979): Areal Assessment of Precipitation. A report to the WMO Commission for Hydrology, WMO, Geneva.
- Liesbacher, H. (1982): Hydrological Forecasts within Regional Association VI-Europe of WMO. A report to the WMO, Geneva.
- Noef, F. (1981): Can we model the rainfall-runoff process, Hydr. Sci. Bul., 26, 3, 9.
- Nämec, J. and Schacke, J. (1982): Sensitivity of water-resource systems to climate variation, Hydr. Sci. Bul. 27, 3, 9.

Sugawara, M. (1981): How many rainfall stations are needed to measure rainfall for modelling basins in tropical regions? Dic. 2, Proceedings Roving Seminar on Mathematical Models, WMO, Geneva.

Wilson, J.W. and Brandes, A.E. (1979): "Radar measurement of rainfall - a summary", Bull., Ann. Met. Soc. vol. 60, No. 9, September

WMO (1973) Annotated Bibliography on precipitation measurement instruments, Report No. 17 on WMO/IHP Projects, edited by J. Rodda, WMO, Geneva

Figures

Figure 1 - Forth subsystems

Figure 2 - Peace River

Figure 3 - Leaf River

Figure 4 - Relative change in streamflow simulation error function for a 5% shift in model parameters

Figure 5 - Lake Victoria

Figure 6 - Eel River

# FORTH SUBSYSTEMS

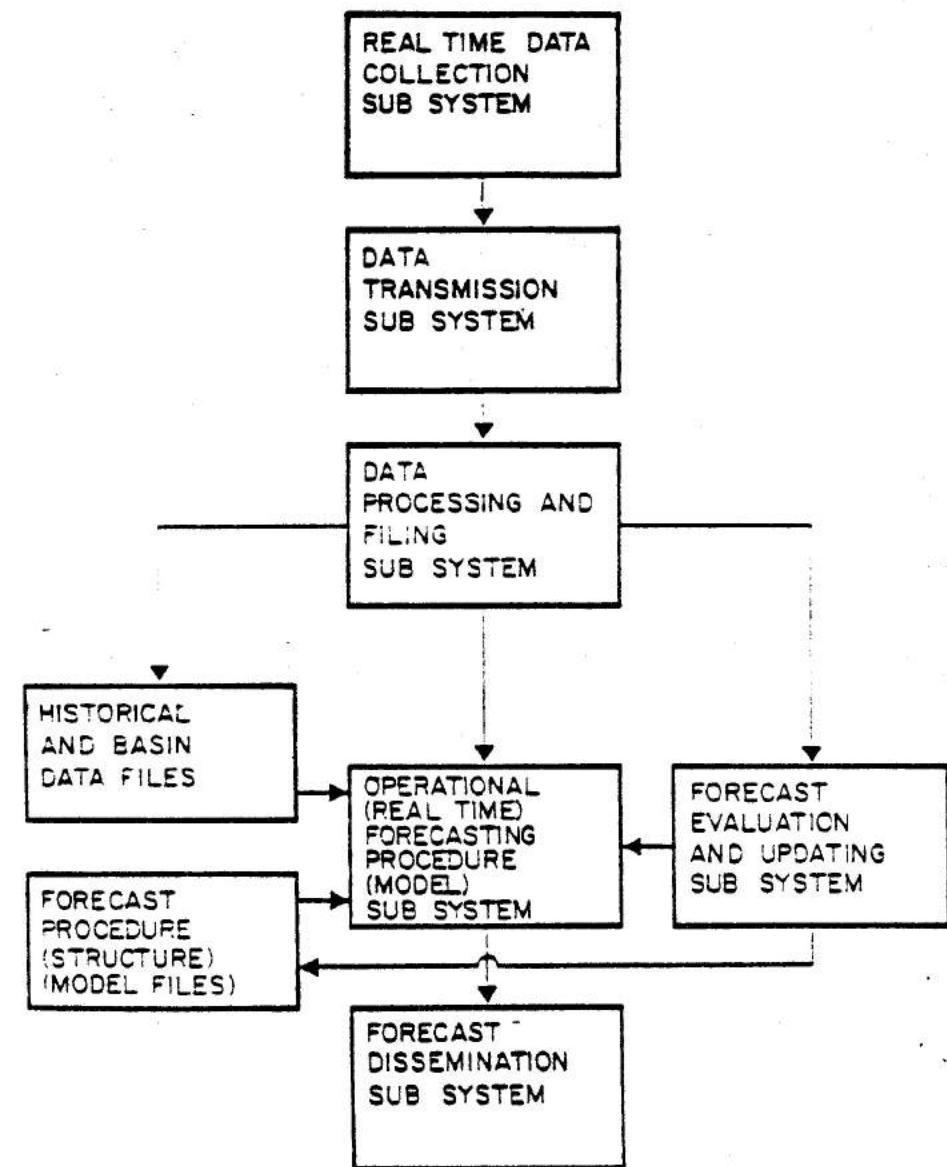


FIGURE 1

Pecosa River at Vernon, Texas  
Drainage area = 3034 km<sup>2</sup>  
Mean precipitation base 540 mm  
Mean runoff base 11 mm

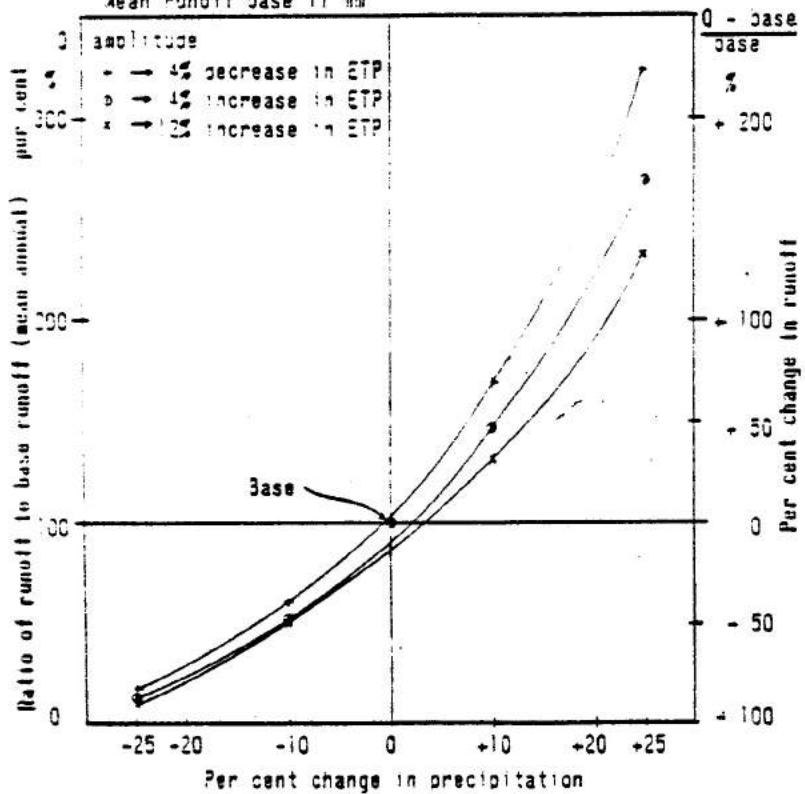


FIGURE 2

Leaf River near Collins, Mississippi  
Drainage area = 1349 km<sup>2</sup>  
Mean precipitation base = 1314 mm  
Mean runoff base = 409 mm

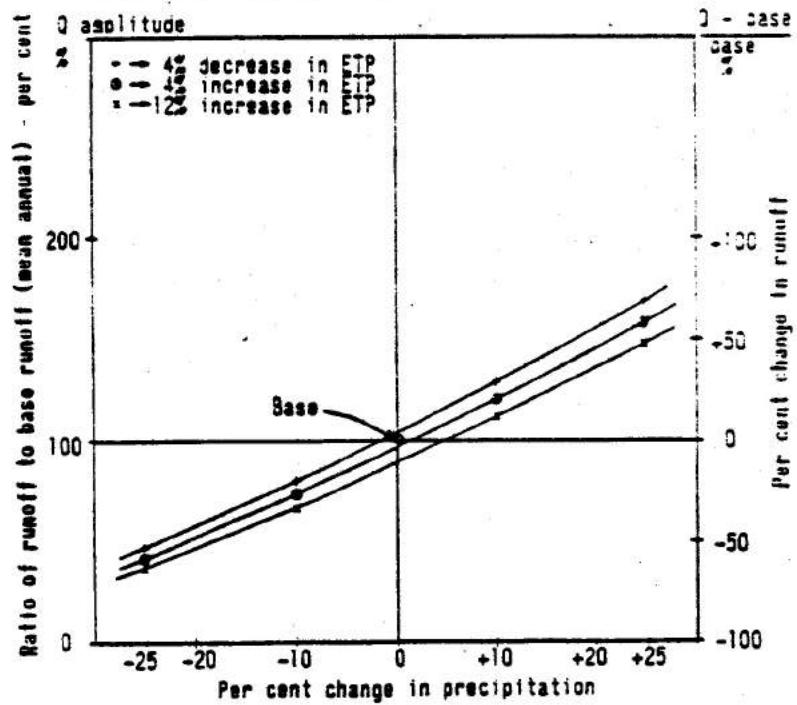


FIGURE 3

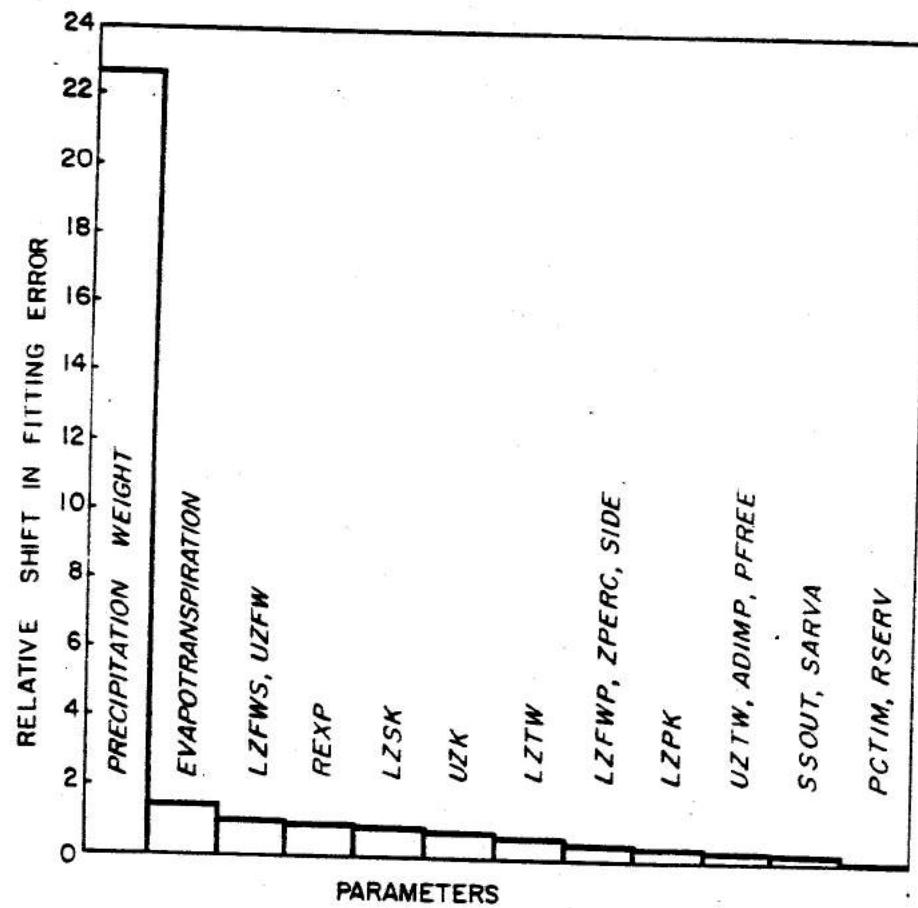


Fig. 4 RELATIVE CHANGE IN STREAMFLOW SIMULATION ERROR FUNCTION FOR A 5% SHIFT IN MODEL PARAMETERS

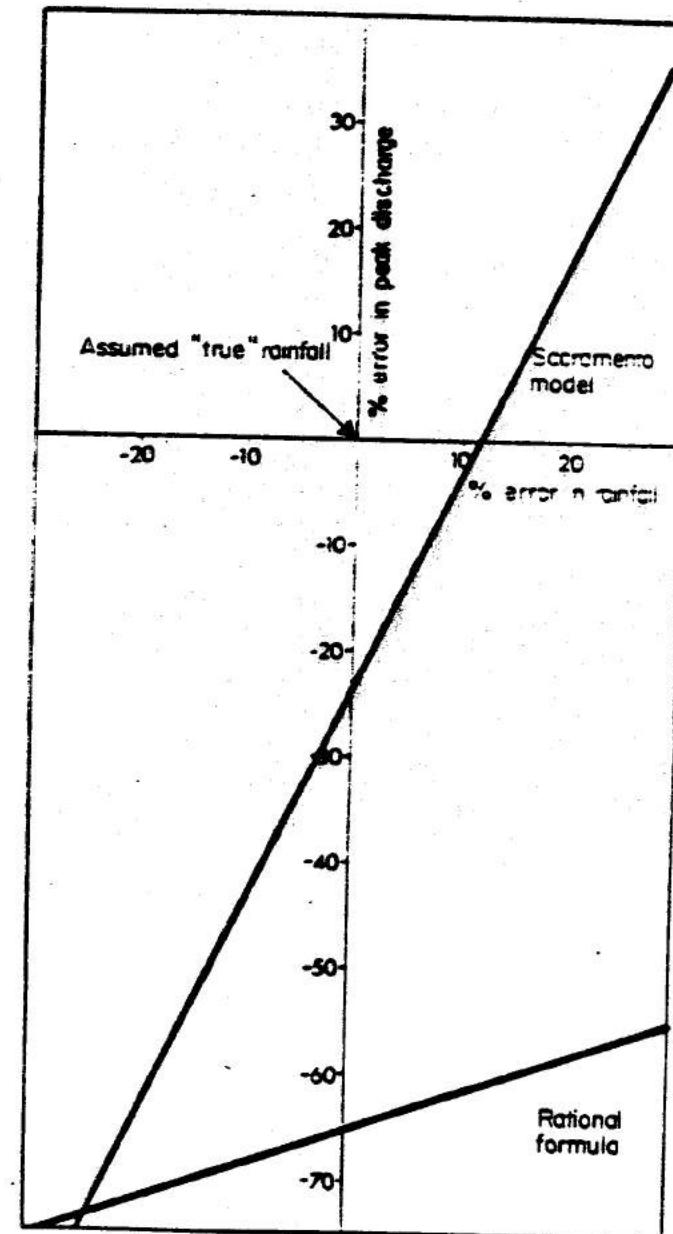


fig 5. EFFECT OF RAINFALL "ERRORS" ON PREDICTED PEAK DISCHARGES LAKE VICTORIA CATCHMENT No. 104252

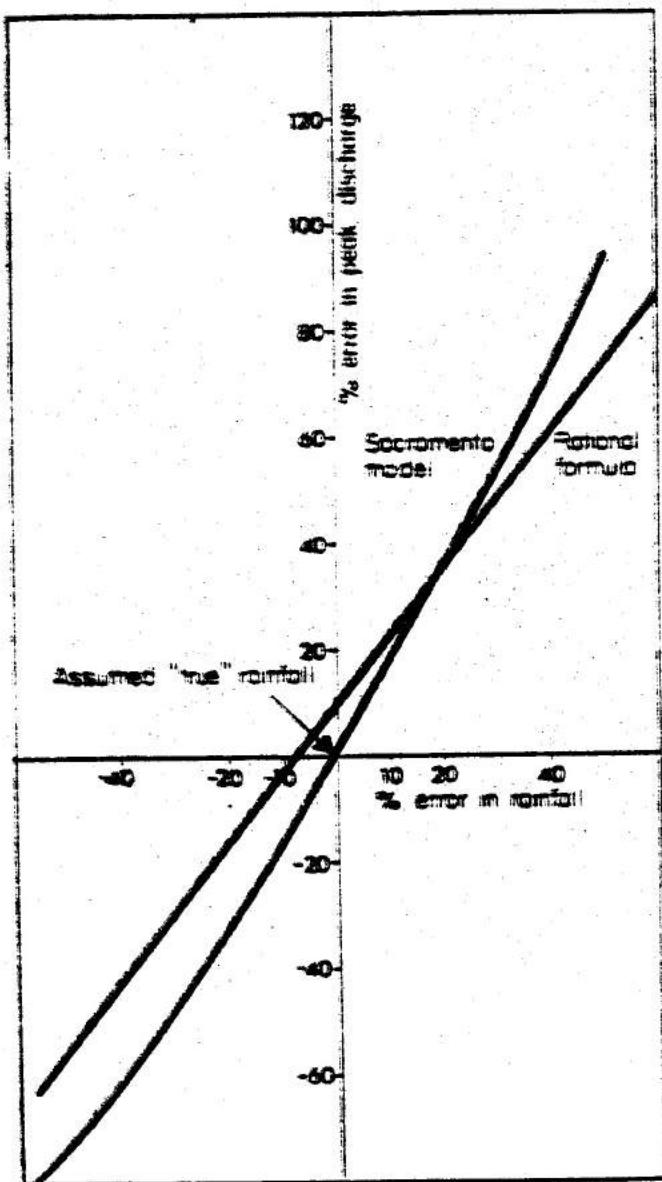


fig 6. EEL RIVER (CALIFORNIA, USA)  
EFFECT OF RAINFALL "ERRORS" ON  
PREDICTED PEAK DISCHARGES

XII. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen

VERBESSERTE VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE ANALYSE VON NIEDERSCHLAGS-  
EREIGNISSEN DURCH MESSWERTAUFZEICHNUNGEN IN VARIABLEN ZEITSCHRITTEN

H. Bergmann & H. Stubenvoll  
Technische Universität Graz

Bratislava, im August 1984

VERBESSERTE VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE ANALYSE VON NIEDERSCHLAGS-  
EREIGNISSEN DURCH MESSWERTAUFZEICHNUNGEN IN VARIABLEN ZEITSCHRITTEN.

H.Bergmann & H.Stubenvoll  
Technische Universität Graz, Österreich

Im Hydrologischen Versuchsgebiet Pöllau in der Oststeiermark sind 7 Niederschlagsstationen mit automatischen Meßgeräten mit Wippe und digitalregistrierenden Datenträgern ausgerüstet (Bergmann H., 1982; Stubenvoll H., 1982; Horvath E., 1980). Die Registrierung des Niederschlages erfolgt durch Aufzeichnung des genauen Zeitpunktes (Tag und Tagessekunde) eines jeden Wippenumschlages, entsprechend einer Änderung der Niederschlagssumme um eine Höhe von 0,1 mm. Der meßtechnische Vorteil dieses Verfahrens liegt vor allem in der wesentlich höheren zeitlichen Auflösung der Niederschlagsdaten insbesondere für Starkregen bei erheblich geringerem Speicherbedarf am Datenträger. Die neue Registriermethode bringt aber auch große Vorteile bei der Weiterverarbeitung der Daten auf EDV-Anlagen, von der Aufbereitung der Originaldaten bis zur Bereitstellung der Grunddaten. Die größten Vorteile der zeitvariablen Niederschlagsmessung liegen jedoch bei dem ungleich höheren Informationsgehalt und bei der großen Flexibilität der Grunddaten, die nicht nur viele Arten der Niederschlagsdarstellung zulassen, sondern eine genaue Analyse der Niederschlagsereignisse und ihrer kennzeichnenden Merkmale überhaupt erst ermöglichen. Ober erste Ergebnisse wird bei Stubenvoll H., 1982, sowie bei Bergmann H. und H. Stubenvoll, 1983 und 1984, berichtet.

Grundlage für die statistische Analyse der Niederschlagsdaten ist das Datenkollektiv der variablen Zeitschritte. Ein Zeitschritt ist die Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden, beim Umschlagen der Wippe registrierten Uhrzeiten. Die Auflösung der Zeitschritte beträgt 1 Sekunde. Als Stichprobe wird die Anzahl der Zeitschritte eines Jahres an einer Meßstation (Stationsjahr) verwendet. Der Umfang einer

Stichprobe ist demnach etwa zehnmal so groß wie die Jahresniederschlagssumme in mm.

Die statistische Analyse geht von der Häufigkeit der Zeitschritte aus. Abb. 1a zeigt als Beispiel die empirische Häufigkeitsverteilung an der Station 2 im Jahre 1981. Die eingetragene Verteilungskurve läßt ein Maximum bei einer Zeitschrittänge von 5 sec entsprechend einer Niederschlagsintensität von 1,2 mm/min erkennen. In Abb. 1b ist die empirische Wahrscheinlichkeitsverteilung (Häufigkeitssummen in % der Gesamtzahl) des gleichen Datenkollektives dargestellt. Aus der Abbildung ist deutlich zu erkennen, daß die Verteilungskurve im wesentlichen in drei Abschnitte zerfällt: der erste Abschnitt umfaßt alle Zeitschritte bis zu einer Länge von ca. 30 Minuten, der zweite Abschnitt alle Zeitschritte bis zu einer Länge von ca. 3 Tagen und der dritte Abschnitt alle Zeitschritte mit Längen von mehr als 3 Tagen.

Anhand dieser Verteilungsstruktur der Zeitschritte läßt sich die zeitliche Struktur des Niederschlagsgeschehens folgendermaßen interpretieren: Der erste Abschnitt umfaßt alle Zeitschritte, während welcher eine Wippenschale des Meßgerätes gefüllt wird und die daher den kontinuierlichen Ablauf eines Niederschlages kennzeichnen. Der zweite Abschnitt umfaßt jene Zeitschritte, deren Dauer dem Unterbrechungszeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Niederschlagsereignissen entspricht und die daher als "Niederschlagspausen" bezeichnet werden. Der dritte Abschnitt umfaßt schließlich jene Zeitschritte, die als zwischen den Niederschlagsperioden auftretende Schönmutterzeiten interpretiert werden können und daher "Trockenperioden" genannt werden.

Auf Grund der dreigliedrigen Wahrscheinlichkeitsverteilung (Abb. 1b) wird nun ein bestimmter Zeitschritt als kleinster Schwellenwert für die Abgrenzung von zwei aufeinanderfolgenden, unabhängigen Niederschlagsereignissen festgelegt. Mit Hilfe dieses Abgrenzungszeitschrittes (Beispiel: 1 Stunde) werden sämtliche Niederschlagsereignisse eines Stationsjahres und deren wichtigste Parameter (Niederschlags-

summe, Niederschlagsdauer, maximale Niederschlagsintensität) bestimmt. Da für eine genaue Analyse der Zeitstruktur nur gewisse, "bedeutende" Niederschlagsereignisse in Frage kommen, müssen für deren Auswahl geeignete Kriterien festgelegt werden. Zu diesem Zweck ist zunächst eine eindeutige Kennzeichnung der Niederschlagsereignisse erforderlich. Das geschieht durch Festlegung von zwei signifikanten Parametern, die möglichst leicht zu bestimmen sind, voneinander möglichst unabhängig sind und gegen Änderungen des Abgrenzungskriteriums möglichst unempfindlich sind. Unter diesen Gesichtspunkten eignen sich die Niederschlagssumme und die maximale Niederschlagsintensität als Ereigniskenngrößen am besten. Abb. 2 zeigt die zweidimensionale Darstellung der Niederschlagsereignisse am Beispiel der Station 2, in welcher das einzelne Ereignis als Punkt mit den beiden Kenngrößen als Koordinaten erscheint. Als Gesamtzahl aller zur Auswahl stehenden Niederschlagsereignisse gilt die Anzahl jener Ereignisse, die eine bestimmte Mindestniederschlagshöhe aufweisen (Beispiel: 1,0 mm). In weiterer Folge werden aus dieser Gesamtzahl die für die Analyse in Frage kommenden Ereignisse anhand einer festgelegten Schwellenlinie, die von 90 % aller Ereignisse unterschritten bleibt, ausgewählt. Unter der Annahme, daß die Bestimmungskenngrößen statistisch voneinander unabhängig sind, ergibt sich als Schwellenlinie eine elliptische Kurve, deren Scheitel den empirischen 95 % Unterschreitungs-werten der beiden Kenngrößen entsprechen. Abb. 2 zeigt die mit Hilfe der 90 % -Schwellenlinie ausgewählten Niederschlagsereignisse am Beispiel der Station 2 für die Jahre 1980 bis 1983.

Die Analyse der zeitlichen Struktur des Niederschlages ist auf das Ziel gerichtet, die Niederschlagsereignisse nach Typen zu ordnen und daraus Regeln für die Festlegung von Bemessungsniederschlägen abzuleiten. Zu diesem Zweck müssen die Niederschlagsereignisse in einer für die Typisierung geeigneten Form dargestellt und normiert werden. Auf Grund der Merkmale "Summe", "Intensität" und "Zeit" gibt es drei Möglichkeiten der Darstellung eines Ereignisses: die Ganglinie

(Intensitäts-Zeit-Diagramm), die Summenlinie (Summen-Zeit-Diagramm) und das zeitfreie Intensitäts-Summendiagramm (vgl. Abb. 3). Die letztere Darstellungsart ist zwar ungewöhnlich, hat jedoch den beiden anderen Darstellungen gegenüber den Vorteil, daß die Niederschlagsdauer, die gegen das Abgrenzungskriterium naturgemäß wesentlich empfindlicher ist, als Normierungsmaß ausgeschaltet wird und an ihre Stelle die statistisch stabilere Niederschlagssumme tritt. Abb. 3 zeigt anhand eines ausgewählten Niederschlagsereignisses u.a. auch die normierten Darstellungen der drei Diagramme. Während bei einer geringen Änderung der Ereignisabgrenzung die maximale Intensität gleich und die Summe nahezu gleich bleiben, kann die Niederschlagsdauer einen erheblich anderen Wert annehmen, wodurch die normierten Gang- und Summenlinien sehr untypische Verzerrungen erleiden, das Intensitäts-Summendiagramm hingegen nahezu unverändert bleibt.

Für die Ermittlung der normierten Intensitäts-Summendiagramme wird die Gesamtsumme des Niederschlagsereignisses in eine bestimmte Anzahl gleicher Summenteile geteilt (Beispiel: 10 Blöcke). Eine erste Gruppierung nach Ereignistypen erfolgt durch Zusammenfassung aller jener Niederschlagsereignisse, deren Intensitätsspitzen im gleichen Block liegen, sowie durch Bestimmung von deren Mittelwertlinien. In Abb. 4 sind die auf der Grundlage einer 10-Blockteilung errechneten Mittelwertlinien, geordnet nach der Lage der Intensitätsspitze, in drei Blockgruppen (Gruppe a: Block 1 bis 3; Gruppe b: Block 4 bis 6; Gruppe c: Block 7 bis 9), dargestellt. Abb. 4d zeigt schließlich noch die Mittelwertkurven der drei Blockgruppen, welche deutliche Grundzüge einzelner Ereignistypen erkennen lassen und als Grundlage für die Festlegung von Bemessungsergebnissen dienen.

Abschließend ist zu bemerken, daß sich bei allen Untersuchungen über die zeitliche Struktur des Niederschlages die auf der Grundlage der zeitvariablen Niederschlagsaufzeichnung geschaffene Datenbasis als außerordentlich vorteilhaft erweist.

#### LITERATUR

- Bergmann H., 1982: A hydrological Research Basin in Austria: Planning and Aims Int.Symp. on Hydr.Res.Basins and their use in Water Res.Planning, Berne.
- Bergmann H. & H. Stubenvoll, 1983: Rain Gauging by Using Variable Time Intervals and its Importance for Stormrain-fall Analysis in Small River Basins. Proc. XVIII.Gen.Ass.IUGG Symp.H 4, Hamburg.
- Bergmann H. & H. Stubenvoll, 1984: Struktur von Niederschlagsereignissen. Bericht 1983 über das IHP-Projekt HO 29 Hydrographisches Zentralbüro beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- Horvath E., 1980: Automatisches Regenmeßgerät, Beschreibung. Institut für Angewandte Systemtechnik am Forschungszentrum Graz.
- Stubenvoll H., 1982: First Results of Researches in the Hydrological Research Basin Pöllau/East Styria. Int.Symp. on Hydr.Res.Basins and their use in Water Res.Planning, Berne.

ANMERKUNG: die vorliegenden Untersuchungen wurden im Rahmen eines IHP-Projektes durchgeführt, für dessen Förderung die Verfasser dem Hydrographischen Zentralbüro beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft in Wien ihren verbindlichen Dank aussprechen.

VERBESSERTE VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE ANALYSE VON NIEDERSCHLAGS-  
EREIGNISSEN DURCH MESSWERTAUFZEICHNUNG IN VARIABLEN ZEITSCHRITTEN.

H.Bergmann & H.Stubenvoll

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1 : Empirische Häufigkeiten und Verteilung der Zeitschritte  $\Delta t$   
Abb. 2 : Auswahl 'bedeutender Niederschlagsereignisse'  
Abb. 3 : Darstellungsarten von Niederschlagsereignissen  
Abb. 4 : Intensitäts-Summendiagramme.  
Gruppierung der Ereignisse nach Lage des Intensitäts-  
maximums.

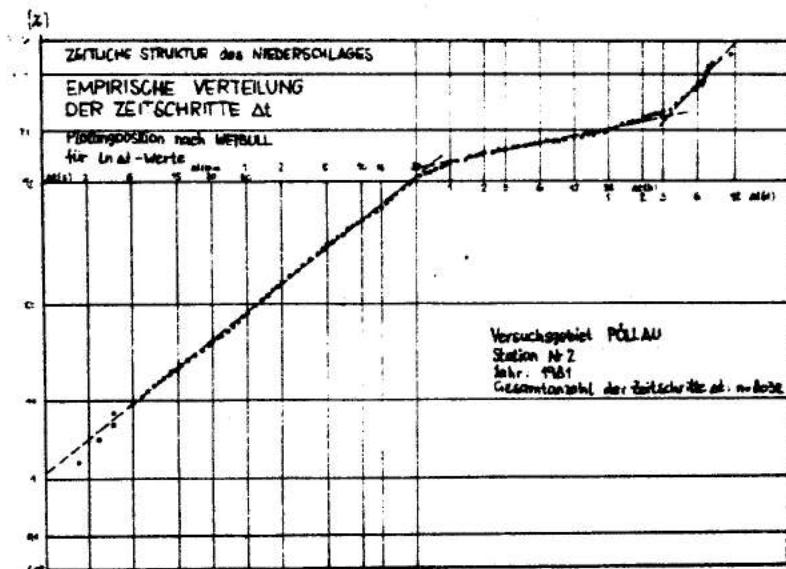
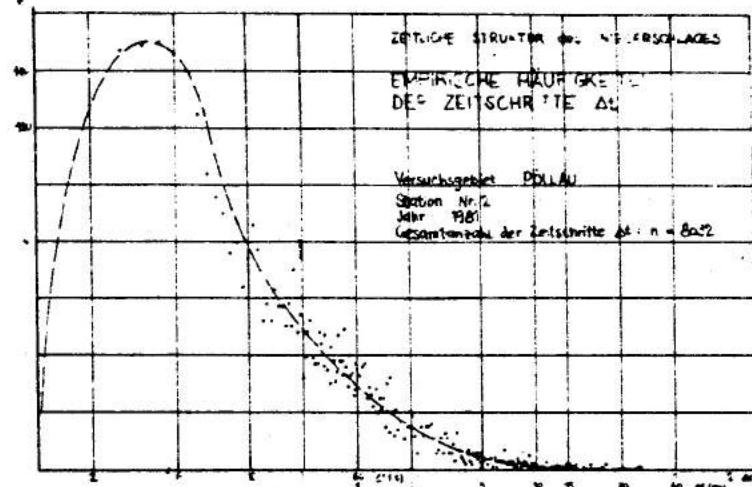
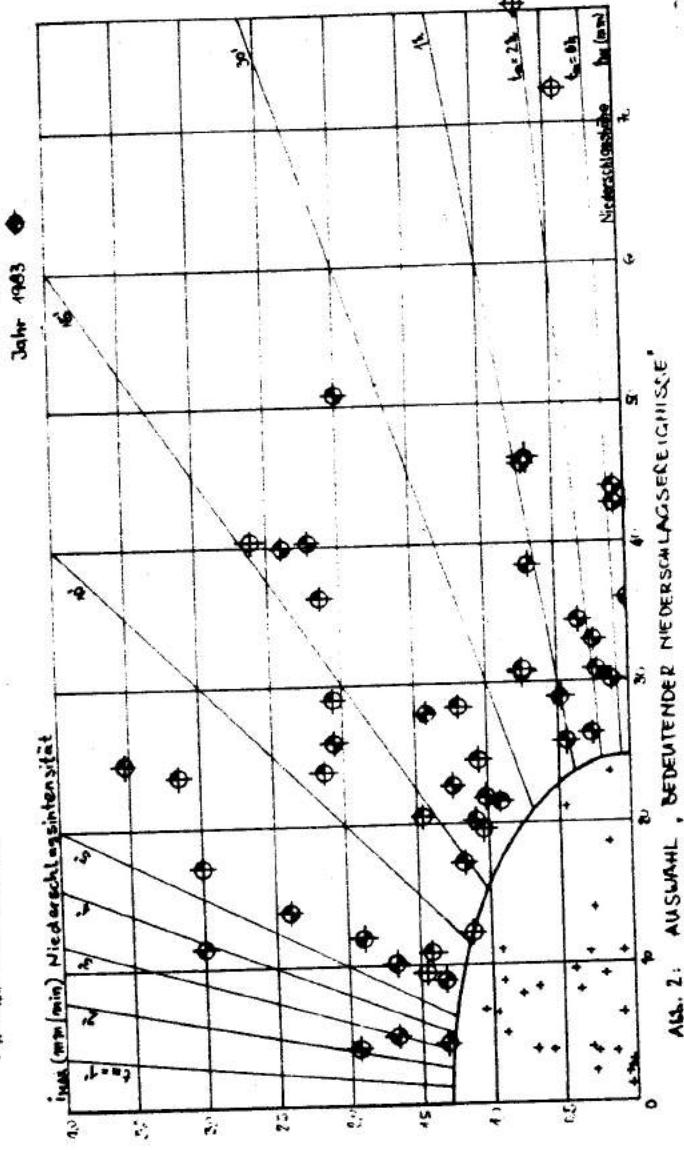


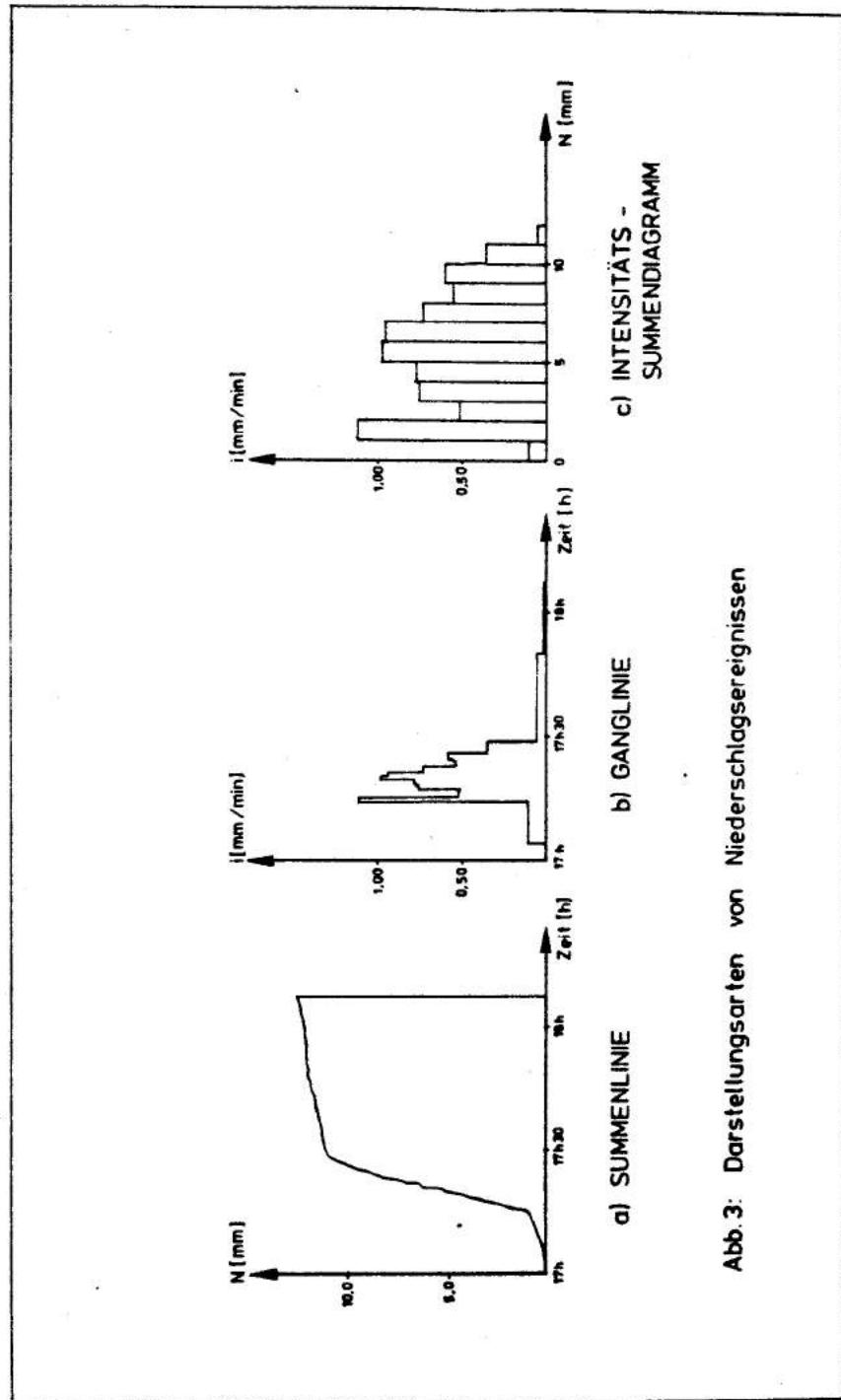
Abb. 1: EMPIRISCHE HÄUFIGKEITEN UND VERTEILUNG DER ZEITSCHRITTE  $\Delta t$

ZWEIDIMENSIONALE DARSTELLUNG  
DER NIEDERSCHLAGSERGÄNISSE

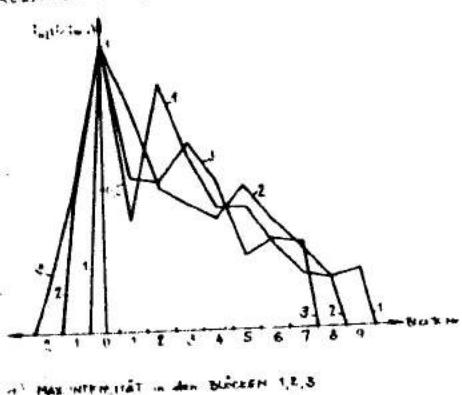
( $i_{\text{m}} - i_{\text{an}}$ -DIAGRAMM), MAXIMALINTENSITÄTSZEIT  $t_{\text{m}} = t_{\text{m}} / t_{\text{an}}$



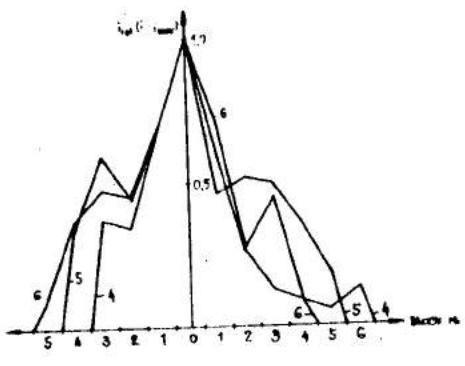
8 -



RELATIVE INTENSITÄT - SUMMENDIAGRAMME

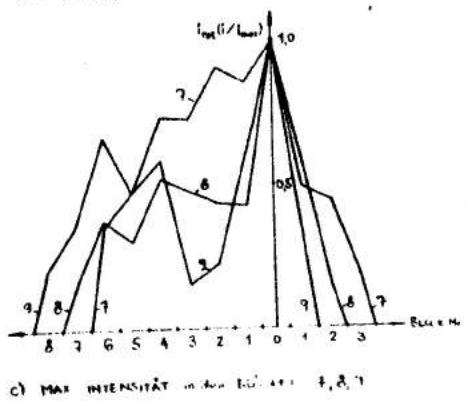


a) MAX. INTENSITÄT in den BLOCKEN 1,2,3

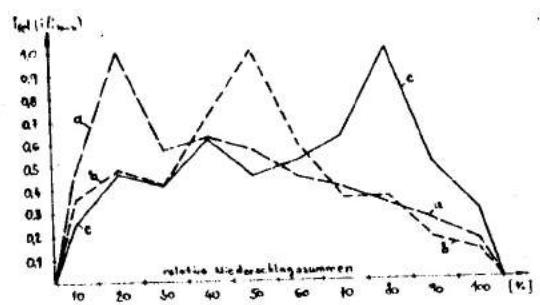


b) MAX. INTENSITÄT in den BLOCKEN 4,5,6

STATION (E), VERSICHERUNGSBIEGEL NIEDER



c) MAX. INTENSITÄT in den BLOCKEN 1-8,9



d) MITTELWERD DER RELATIVEN INTENSITÄTSVERLAUFE DER EREIGNISGRUPPEN a, b, c

XII КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНОЗАМ  
Братислава, 1984.

И. Жуффа, И. Абони

Улучшение модели непрерывного  
прогноза с учётом неточностей  
в наблюдении

I. Abonyi, I. Zsuffa

Korrektion des kontinuierlichen  
Prognosemodells unter Berück-  
sichtigung auf die beobachtungs-  
mässigen Ungenauigkeit

XII KONFERENZ DER DONAULÄNDER ÜBER HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN  
Bratislava, 1984.

## Улучшение модели непрерывного прогноза с учётом неточностей в наблюдении

Работа содержит описание математического модели для непрерывного прогноза уровней воды в Дунае. Метод - статистическая оценка - основывающийся на связях в одомерных рек и приспособляющийся к актуальному состоянию водного режима. Достоверность прогноза с более большой заблаговременностью повышает оперативное использование рекурсивного моделя, дополненного алгоритмом фильтра Калмана. Модель можно развивать в своей структуре и легко адаптировать для других рек с притоками.

## Korrektion des kontinuierlichen Prognosemodells unter Berücksichtigung auf die Beobachtungsmässigen Ungenauigkeit

Die Arbeit enthält die Beschreibung des mathematischen Modells der stetigen Vorhersage des Wasserstandes der Donau. Das Verfahren ist eine auf Pegelverbindungen basierende sich dem aktuellen Zustand des Wasserstandes adaptiv anpassende statistische Einschätzung. Die Sicherheit der langfristigen Vorhersage wird durch die operative Anwendung des, mit dem Kalman-Filter erweiterten rekursiven Modells gesteigert. Das Modell kann in seiner Struktur weiterentwickelt und auch auf Flussstrecken mit Zulauf verwendet werden.

KORREKTION DES KONTINUIERLICHEN PROGNOSEMODELLS UNTER  
BERÜCKSICHTIGUNG AUF DIE BEOBSCHTUNGSMÄSSIGEN  
UNGENAUIGKEIT

István Abonyi und István Zsuffa  
Mihály Pollack Technische Institut für Wasserwirtschaft  
Hochschule /VGI/  
Baja, Ungarn Budapest, Ungarn

1. Vorgeschichte

Auf der Konferenz in Bukarest im Jahre 1982. haben wir unsere statistische Prognosemethode ausführlich dargelegt. Die konkrete Adaptation der Methode bedeutet jenes stetige Wasserstandsvorhersage-System der Donau, welches die Staatsdirektion für Wasserwesen des Niederdonautals täglich auf operative Weise auf der Budapest-Apatin Strecke der Donau /auf 8 Wasserpegelstationen/ verwendet.

Die Ausgangsform des Prognosemodells:

$$\Delta x_i^t = M \left[ \left( \Delta x_{i+1}^{t-d_{i+1}}, \dots, \Delta x_m^{t-d_m} \right) \right] = h \left( \Delta x_{i+1}^{t-d_{i+1}}, \dots, \Delta x_m^{t-d_m} \right) \quad /1./$$

Die Funktion von  $m-1$  Variablen so zu bestimmen, dass der

$$M \left[ \left( \Delta x_i - h \left( \Delta x_{i+1}, \dots, \Delta x_m \right) \right)^2 \right] \quad /2./$$

Erwartungswert von "h" minimalisiert wird, ist die Aufgabe.

$\Delta x_i^t$  - bedeutet die zu erwartende eintägige Wasserstandsveränderung in einem  $t$  Zeitpunkt an dem  $i$  Wasserpegel,

$\Delta x_i$  - bedeutet die mit der  $\Delta x_i$  Kollektivreihe repräsentierte Zufallsvariable,

$M$  - der Operator des zu erwartenden Wertes der Herstellung.

Wir haben die gemeinsame normale Verteilung der in der Verbindung angeführten Zufallsvariable angenommen, die Gleichung der regressiven Hyperebene:

$$\hat{\Delta x}_i = a_0 + \sum_{j=1}^{m-i} a_j \cdot \Delta x_{i+j} \quad /3./$$

Mit Einführung fiktiver Variable in Vektorform aufgeschrieben:

$$\hat{\Delta \underline{x}} = \underline{a}' \Delta \underline{x} \quad /4./$$

wo  $\underline{a}'$  der Transponent des regressiven Koeffizienten enthaltenden Vektors ist.

Mit diesem Prognosemodell war die Genauigkeit im Falle von kurzfristiger Vorhersage /1-2 Tage/ entsprechend. Die Fehler der langfristigen Vorhersage nahmen aber stürmisch zu, die Autokorrelationsfunktion der Zeitreihe des Residuum wies darauf hin, dass in den Angaben der Pegelverbindung nicht genutzte Informationen geblieben sind. Die Fehler können teilweise auf "Schwäche" der Regression, Schwierigkeiten, der Identifikation zurückgewiesen werden, ferner enthält der Vorgang der Zusammenstellung des Modells auch heuristische Elemente. Im Interesse der Steigerung der Genauigkeit wandten wir uns an die Methode der Algorithmen zu. Wir haben die Weiterentwicklung des so ausgestalteten für Wasserstandsbereiche und Wasserstandsveränderungen empfindlichen sich dynamisch verändernden Vorhersagemodells zum Ziel gesetzt.

## 2. Berücksichtigung der Mess- und Modellfehler bei operativen Vorhersage

Die Entwicklungstätigkeit bedeutete im wesentlichen die Adaptation des Algorithmus des linearen Kalman-Filters.

Das Systemmodell:

$$\underline{x}/t+1/ = \underline{\underline{A}}/t+1/, t/ \underline{x}/t/ + \underline{w}/t/ \quad /5./$$

Der Zustand des Systems ( $\underline{x}/t+1/$ ) im  $/t+1/$  Zeitpunkt wird mit Hilfe von dem Zustand ( $\underline{x}/t/$ ) im Zeitpunkt  $t$  sowie von einer Zustandsübergangs-Matrix  $\underline{\underline{A}}/t+1, t/$  aufgeschrieben. Als additives Glied kommt im 5. noch  $\underline{w}/t/$  stochastisch-

sche Modellunsicherheit vor, von der wir annehmen, dass es ein voraussichtlich zeruswertiger Gaussischer weisser Lärm Prozess ist.

Unser  $\underline{x}/t/$  Zustandsvektor übersteht "vor dem Einsatz" einen vorhergehenden Optimalisierungsprozess. Im Laufe der Verfertigung des periodisch-gewöhnlich zehntägig, erneuerten Modells werden die optimalen Werte auf früher demonstrierte Weise mit zwei spezialen Filtern aus der Gesammtinformationsanzahl selektiert. Die zwei Filter verringern sowohl in Raum als auch in Zeit - auch auf mit unmittelbaren Erfahrungen beweisbare Weise - mit minimalen Informationsverlust optimal die Daten. Die Gesichtspunkte der Optimalisierung sind die, im vorangehenden Niedergeschriebenen: Zeitvorsprung, Wasserstandsdauer, Wasserstandsveränderung. Es muss aber unbedingt in Betracht genommen werden, dass statt der wirklichen  $\underline{x}/t/$  Werte nur mit den Messfehlern belasteten  $\underline{z}/t/$  Beobachtungsdaten gearbeitet werden kann. Also die Messgleichung:

$$\underline{z}/t/ = \underline{H}/t/ \underline{x}/t/ + \underline{y}/t/ \quad /6./$$

$\underline{y}/t/$  - ist der Vektor der Messfehler..  
So werden die wirklichen  $\underline{x}/t/$  Zustandsparameter mit  $\hat{\underline{x}}/t/t/$  Postprioritätseinschätzungen angenähert:

$$\hat{\underline{x}}/t/t/ = \hat{\underline{x}}/t/t-1/ + \underline{K}/t/ [\underline{z}/t/ - (\hat{\underline{x}}/t/t-1/)] \quad /7./$$

wo:

$\hat{\underline{x}}/t/t-1/$  - die Prioritätseinschätzung ,  
 $\underline{K}/t/$  - die Kalmansche-Filtermatrix ist.

$$\underline{K}/t/ = \underline{P}/t/t-1/ [\underline{P}/t/t-1/ + \underline{R}/t/]^{-1} \quad /8./$$

hier ist:

$\underline{P}/t/t-1/$  - die Prioritätskonorianzmatrix der Einschätzungsfehler,

$\underline{R}/t/$  - die Konorianzmatrix der Messfehler.

Die Konorianzmatrix der Einschätzungsfehler:

$$\underline{P}/t/t-1/ = \underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}/t,t-1/ \underline{P}/t/t-1/ \underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}^T/t,t-1/ + \underline{Q}/t/t-1/ \quad /9./$$

wo  $\underline{Q}/t/t-1/$  - die Konorianzmatrix der Modellfehler ist.

### 2.1. Die Einschätzung der Kovarianzmatrix der Messfehler

Für die Enthüllung der Beobachtungsfehler experimentierten wir mit zwei verschiedenen Methoden. An mehreren Wasserpegeln der Donau /zB: Baja, Dunaujváros/ waren die Möglichkeiten der gleichzeitigen Beobachtung an einer Flusswasserpegel und an einer mit dem fliessenden Gewässer in unmittelbarer Verbindung stehenden aber Stillwasserpegel gegeben. An der Stillwasserpegel eine fehlerlose Beobachtung vorausgesetzt, ist die, aus der Wallung spießende Streuung der Ablesefehler ausgerechnet worden.

$$\sigma = \frac{\sum_{n=1}^N (\Delta H_t^F - \Delta H_t^A)^2}{n} / 10. /$$

$\Delta H_t^F$  - Im t Zeitpunkt beobachtete Wasserstandsveränderung an dem Flusswasserpegel /im Verhältnis zum /t-1/ Zeitpunkt/,

$\Delta H_t^A$  - die beobachtete Wasserstandsveränderung an dem Stillwasserpegel.

Das erste Bild schildert die, in Baja beobachteten Wasserstand-Zeitreihen und die Abweichungen der Wasserstandsveränderungen. Aus der Abbildung geht es hervor, aber es kann auch numerisch bewiesen werden, dass der Beobachtungsfehler nicht bzw. nur in kleinem Masse zu den Charakteristiken des Abflussregimes, der Wasserstandsveränderung, dem Wasserstandsbereich geknüpft werden kann. Obwohl der zu der eintägigen Zeitverschiebung gehörige Wert der Autokorrelationsfunktion /2. Bild/ der Ablesefehler ausser dem zufälligen Bereich fällt, können aufgrund dieses Speichers, der, genetisch die Eigentümlichkeiten des Abflussregimes schwach wiederspiegelt, unmittelbar keine Rechnungen durchgeführt werden.

Wir haben wertvolle und konkrete Orientierungsangaben über die Ablesepunktlückigkeit der einzelnen Wasserpegel der Donau bekommen. Und diese Werte sind durch die Ergebnisse der anderen Untersuchungsmethode, die um die Klärung der, aus der Wallung spriessenden Beobachtungsfehler geführt werden ist, bestätigt worden! Diese Methode basiert auf drei gleichzeitigen, aber verschiedenen Ablesewerten. Die drei Werte:

- a./ der im Protokoll registrierte Wasserstand;
- b./ der aus der ständigen Wallung spriessende Höchstwert  $H_t^{\max}$ ;
- c./ der aus der ständigen Wallung spriessende kleinste Wert  $H_t^{\min}$ .

Bei der Beschreibung des Messfehlers versuchten wir die Wirkung der Anziehung der "abgerundeten Zahlen" in Rücksicht zu nehmen. Statistisch ist es leicht nachweisbar, dass sich die letzten Ziffern der dreizifferigen Wasserstandsangaben nicht gleichmäßig verteilen. Die geraden Zahlen und der Nullwert dominieren. Diese Eigentümlichkeit verändert sich je nach der Station, aber ist für je eine Station /und Beobachtungsstelle/ langfristig charakteristisch. Es ist leicht einzusehen, dass so eine "Abrundung" mit der Einordnung in Klassen denselben Prozess bedeutet. Das daraus stammende Streuungssquadrat des Messfehlers ist mit der Sheppard Korrektion gut einschätzbar und so kann es mit dem, aus der Wallung herrührenden Streuungssquadrat des Messfehlers zusammengezogen werden.

Die Streuung der Ablesefehler sind mit der Formel

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e^2 / t /}{n}} \quad /11./$$

ausgerechnet worden,

wo

$$\tilde{\sigma}_{/t/} = \frac{\max H_t - \min H_t}{2} \quad /12./$$

Die sich aus zwei verschiedenen Methoden ergeben-  
den Werte können der richtigen Einschätzung der Mess-  
fehler Gewähr bieten. So haben wir die Ausfüllung der  
R/t/ Konorianzmatrix der Beobachtungsfehler für gelöst  
betrachtet. Die R/t/ Matrix ist solange Zeitinvariant bis  
sich die im Beobachtungsnetz zutragenden physischen Ver-  
änderungen /zB: Verlegen des Wasserpegels/ die Erneuerung  
der Matrix nicht beansprüchen.

### 3. Mit dem Kalman-Filter modifizierte quasi-operative Vorhersagen und Erfahrungen

Das im /5./ verfasste Vorhersagesystem wurde mit,  
aufgrund früherer Angaben ausgelegten konkreten Werten  
initialisiert in Gang gesetzt. Die Q/t/, P/t|t/, P/t|t-1/,  
K/t/ Matrizes sind auf rekursiver Weise kontinuierlich  
erneuert worden. Die  $\Phi/t|t-1/$  Zustandübergangsmatrix  
wurde mit der OFF-LINE LKN Einschätzung 10 täglich aktu-  
alisiert. Als Vergleichsbasis diente das in der Zeit pa-  
ralell, betriebsmäßig laufende, regressive formerkennende  
Modell. Im Falle eines kurzen Zeitdauers der Vorhersage  
gibt es zwischen den Ergebnissen der zwei Modelle keine  
Abweichung, bei grösserer Vorhersagefrist sind die Ergeb-  
nisse des, mit dem Kalman-Filter erweiterten Modells besser,  
aber noch immer sehr divergent.

Die Parameter untersuchend konnte es festgestellt  
werden - besonders im Falle der kurzen Vorhersagefrist -,  
dass sich die K/t/ Filtermatrix der I Einheitsmatrix nähert.  
Da:

$$\hat{x}/t|t/ = \tilde{K}/t/ \hat{x}/t|t-1/ + \underline{K}/t/ \underline{z}/t/ \quad /13./$$

und

$$\underline{K}/t/ = \underline{I} - \tilde{K}/t/ \quad /14./$$

daraus folgt, wenn

$$\underline{K}/t/ \rightarrow I, \text{ dann } \tilde{K}/t/ \rightarrow \underline{Q}$$

• 7 •

Der Algorithmus funktioniert also so, dass er die Prioritätseinschätzung bzw. dessen Informationsgehalt ignoriert. Der Filter neutralisiert sich, das kann zugleich auch bedeuten, dass die Ergebnisse des Vorhersagemodells in dieser Struktur weiter nicht zu verbessern sind. Im Laufe der Konstruierung des Modells geschlossene mehrfache Kompromisse sind die Ursachen der grösseren Unsicherheiten der mehrtägigen Vorhersage. Denken wir nur daran, dass im Laufe der Optimalisierung der  $\underline{x}/t/$  Zustandsmatrix das Verfahren immer auf eine bestimmte Variable verwendet wurde. So produziert zB: das autoregressive Glied rechts im unteren Zipfel der Zustandsübergangsmatrix bizarre Modellfehler. Einen anderen Kompromiss bedeutet die OFF-LINE Erneuerung der  $\underline{\underline{P}}/t,t-1/$  Matrix. Die Veränderlichkeit der Elemente der Matrix /3. Bild/ wurde untersucht, die tägliche Erneuerung ist begründet.

Die Erfahrungen unserer Arbeit zusammenfassend kann es festgestellt werden, dass unser, mit dem Kalman-Filter erweitertes Modell in erster Linie aus rechentechnischem Gesichtspunkt einen Fortschritt bedeutet, weil es mit weniger Angaben mit entsprechender Pünktlichkeit schneller eine Vorhersage leistet. Obwohl die Identifikationsschwierigkeiten noch weiter bestehen, vereinfachen die weniger "in Frage kommenden" Variablen die Selektion. Im Falle verschiedener Zeitvorsprünge beansprucht aber die Wechselwirkung zwischen der, die Vorhersagepünktlichkeit primär bestimmende Zustandsübergangsmatrix und der Kalmansche Filtermatrix weitere Untersuchungen.

Literatur

Abonyi-Zsuffa /1978./: Stetige Wasserstandsvorhersage auf einer Strecke ohne einen wesentlichen Nebenfluss.

Wasserwirtschaftliche Publikationen

Abonyi-Zsuffa /1982./: Real-time forecasting model for the Hungarian part of River Danube  
Dunamenti Országok XI. Előrejelzési Konferenciája, Bukarest

Szöllősi-Nagy-Ambrus /1979./: Adaptivmodell der stetigen Vorhersage des Abflussregimes der Theiss  
VITUKI-Bericht, Budapest

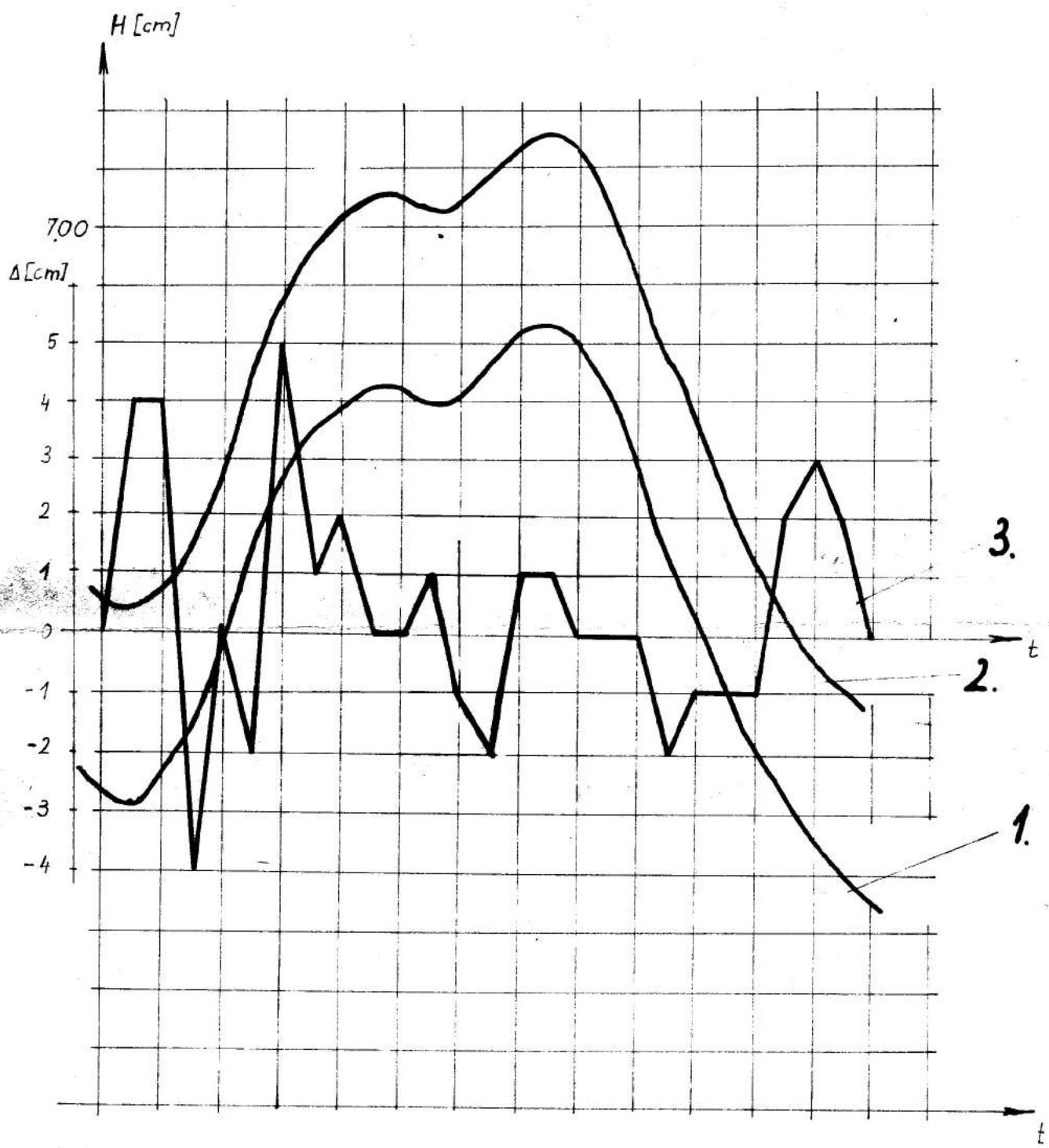


BILD 1.

AN DEN BAJAER FLUSS - UND STILLWASSERPEGELN BEOABCHTE  
WASSERSTÄNDE, UND DIE DIFFERENZEN DER WASSERSTANDSVERÄN-  
DERUNGEN.

1. STILLWASSERPEGEL
2. FLUSSWASSERPEGEL
3.  $\Delta = (\Delta H_t^{(F)} - \Delta H_t^{(S)})$

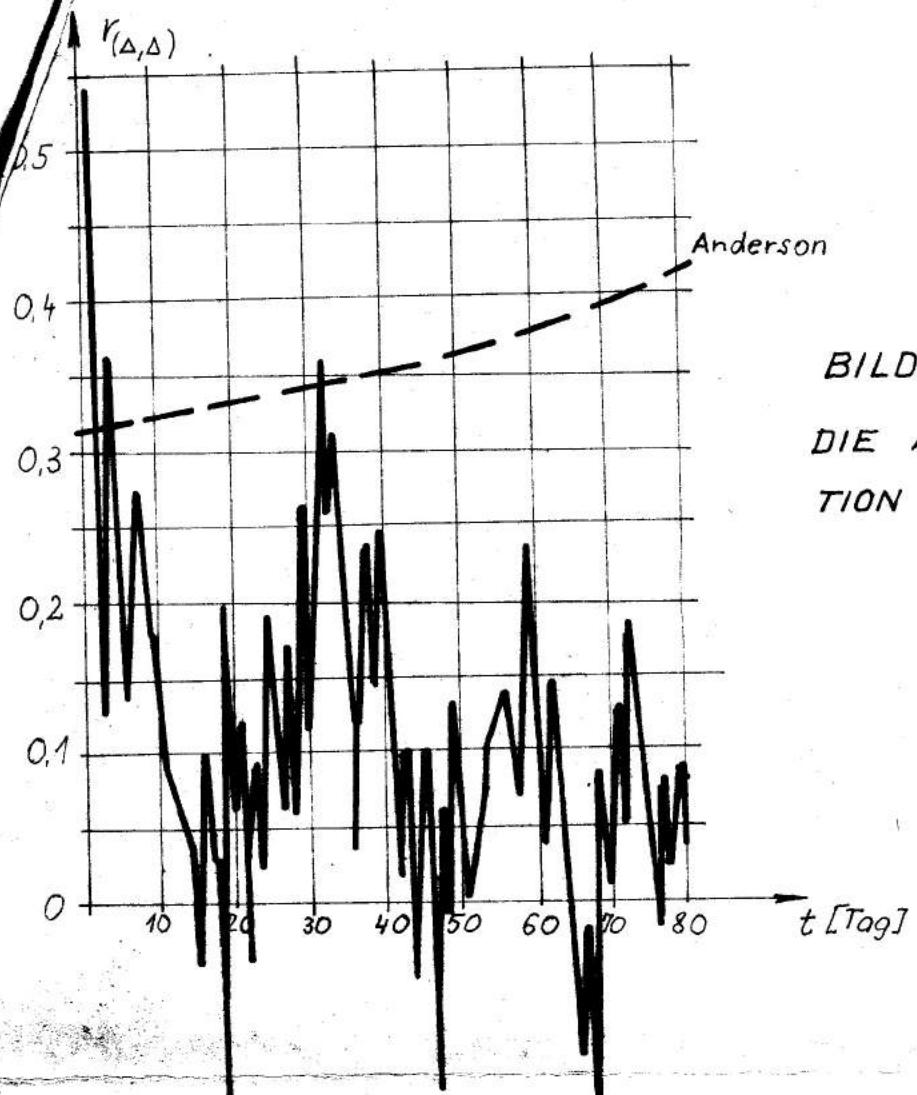


BILD 2.

DIE AUTOKORRELATIONSFUNKTION DER BEOBSCHAUUNGSFEHLER.

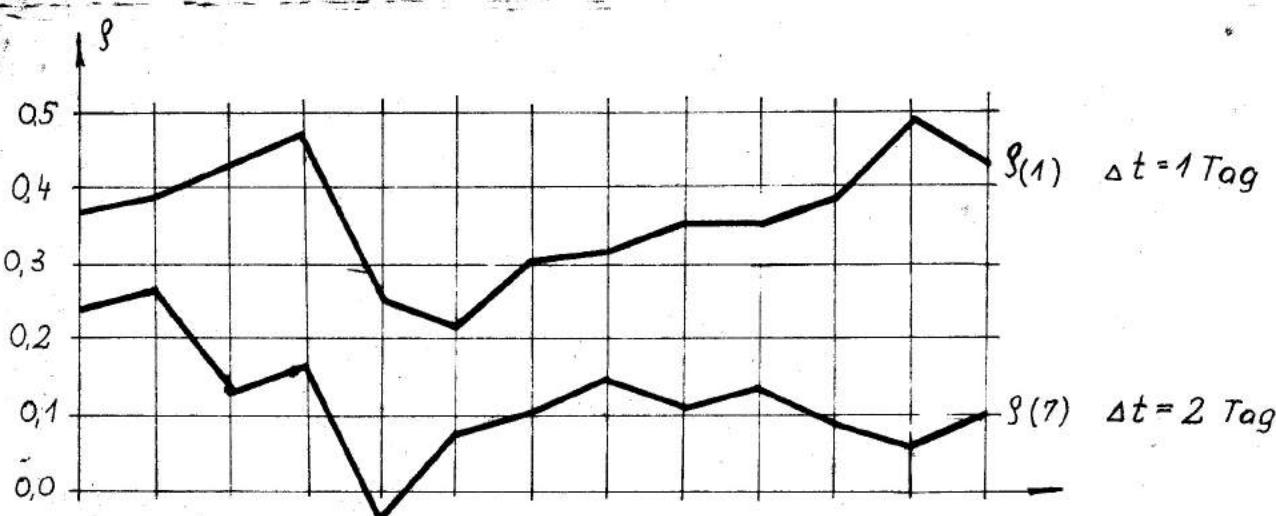


BILD 3.

DIE VERÄNDERLICHKEIT DER ELEMENTE DER  $\Phi(t, t-1)$  MATRIX.