

Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

**Estimation des probabilités de crues et d'étiages dans
le bassin du Rhin**

**Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahrschein-
lichkeit im Rheingebiet**

Rapporteur: H. G. Mendel

**Auteurs/Autoren: W. Buck
R. Kipgen
J. W. van der Made
F. de Montmollin
H. Zettl
J. F. Zumstein**



**Rapport no. I-4 de la CHR
Bericht Nr. I-4 der KHR**

Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

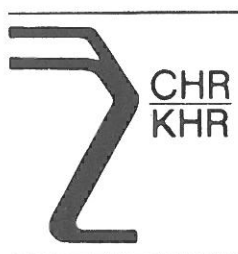
Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

Estimation des probabilités de crues et d'étiages
dans le bassin du Rhin

Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahr-
scheinlichkeit im Rheingebiet

Rapporteur: H. G. Mendel, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Auteurs/Autoren: W. Buck, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universi-
tät Karlsruhe
R. Kipgen, Administration des services techniques de l'agriculture,
Luxembourg
J. W. van der Made, Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage
F. de Montmollin, Service hydrologique national, Berne
H. Zettl, Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für
Land- und Forstwirtschaft, Wien
J. F. Zumstein, Agence financière de bassin Rhin-Meuse, Metz



Secretariaat CHR | KHR
Maerlant 4-6

Postbus 17
8200 AA Lelystad
Pays-Bas | Niederlande

Rapport no. I-4 de la CHR
Bericht Nr. I-4 der KHR

Langues originales: français, allemand et néerlandais
Originalsprachen: Französisch, Deutsch und Niederländisch

© 1986, CHR/KHR
ISBN 90 70 980 037

Nederlandstalige gedeelten:

Samenvatting: blz. 43

Bijzonderheden CHR: blz. 72

English texts:

Summary: p. 43

Particulars CHR: p. 72

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK,
DEN HAAG

Estimation

Estimation des probabilités de crues et d'étiages dans le bassin du Rhin = Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit im Rheingebiet / rapporteur: H. G. Mendel: auteurs/Autoren: W. Buck [et al.]. – 's-Gravenhage: CHR/KHR. – Ill., graf., tab. – (Rapport de la CHR = Bericht der KHR; no. 1-4)
Tekst in het Frans en Duits. – Met lit. opg. – Met samenvatting in het Nederlands en Engels.

ISBN 90-70980-03-7

SISO 568.2 UDC 556.53(282.243.1)

Trefw.: hydrologie; Rijn.

Préface

La Décennie Hydrologique Internationale (DHI), conduite par l'Unesco au cours des années 1965 à 1974, comptait parmi les objectifs principaux de son programme, celui d'améliorer la coopération internationale à l'échelle régionale, dans le domaine de l'hydrologie. Les Etats riverains du Rhin se sont groupés dans le cadre de ce programme, comme d'autres Etats l'ont fait dans d'autres régions, et ils ont fondé ensemble en 1970 la «Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin (CHR)». La Suisse, l'Autriche, la République fédérale d'Allemagne, la France, le Grand-Duché de Luxembourg et les Pays-Bas collaborent aux travaux de la CHR. Le Gouvernement des Pays-Bas s'est acquis la gratitude de ses partenaires en mettant à leur disposition un secrétariat permanent, chargé de la conduite des travaux. Le premier résultat concret de cette activité a été la publication d'une «Monographie hydrologique» ouvrage monumental décrivant les aspects géographiques et hydrologiques du bassin du Rhin, au travers d'un texte richement illustré, accompagné de cartes et de diagrammes sous forme d'atlas. Les données hydrologiques les plus importantes, provenant de stations de mesure sélectionnées, sont présentées dans un volume annexé, sous forme de tableaux. La «Monographie» se veut un inventaire de tout ce qui a trait à l'hydrologie dans le bassin du Rhin.

Lors de sa réunion plénière à Boppard (RFA) en 1978, la Commission a pris la décision de poursuivre la coopération sur la base de cet inventaire. Elle désire se consacrer à des questions pratiques importantes et par dessus tout à l'amélioration des échanges d'information et de données au travers des frontières entre Etats. A la fin de ce rapport on trouve quelques informations sur les activités de la CHR et ses travaux courants, sous forme d'un résumé.

Un des projets mis sur pied dans ce sens a été consacré aux problèmes de standardisation des méthodes de mesures, des paramètres hydrologiques et des méthodes de calcul.

A cet effet, un groupe de travail «Standardisation et traitement des données» a été constitué, ayant comme mission de dresser un rapport sur les problèmes de la détermination des débits dans le bassin du Rhin. Dans ce cadre général les tâches suivantes ont été définies:

- la détermination des débits dans le bassin du Rhin au niveau des régions frontalières;
- la description des stations de mesure, comprenant l'établissement d'un tableau des stations de mesure importantes pour des organismes internationaux;
- l'estimation des probabilités de crues et d'étiages dans le bassin du Rhin.

Vorwort

Im Rahmen der in den Jahren 1965 bis 1974 von der Unesco durchgeführten Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) galt einer der Schwerpunkte des Programms der Verbesserung der regionalen internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Hydrologie. Wie in anderen Regionen haben sich in diesem Programm auch die Rheinanliegerstaaten zusammengefunden und im Jahre 1970 die »Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR)« gegründet. In der KHR arbeiten die Schweiz, Österreich, die Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, das Großherzogtum Luxemburg und die Niederlande mit. Dabei stellt die niederländische Regierung dankenswerterweise ein ständiges Sekretariat für die Durchführung der Arbeiten zur Verfügung. Als erstes Ergebnis veröffentlichte die KHR im Jahre 1978 eine umfangreiche hydrologische Monographie, in der die geographischen und hydrologischen Verhältnisse im Rheingebiet in einem Kartenwerk und einem Textteil dargestellt sind. Die wichtigsten hydrologischen Daten von ausgewählten Meßstellen sind in einem der Monographie beigelegten Tabellenteil aufgeführt. Die Monographie versteht sich als hydrologisches Inventar des Rheingebietes.

Auf ihrer Plenarsitzung im Jahre 1978 in Boppard/Bundesrepublik Deutschland hat die KHR die Fortsetzung der Zusammenarbeit auf der Grundlage dieses Inventars beschlossen. Dabei will sie sich wichtigen praktischen Fragen widmen, um vor allem den Informations- und Datenaustausch über die Landesgrenzen hinweg zu verbessern. Am Schluß dieses Berichtes sind einige nähere Informationen über die KHR und ihre laufenden Tätigkeiten in Kurzfassung aufgenommen.

Eines der Projekte widmet sich dem wichtigen Problem der Standardisierung von hydrologischen Messungen, hydrologischen Parametern und Rechenmethoden.

Es wurde daher eine Arbeitsgruppe »Standardisierung und Verarbeitung der Daten« eingerichtet, mit dem Auftrag, einen Bericht über die Probleme der Abflußermittlung im Rheingebiet anzufertigen. Dabei wurde die folgende Aufgabe übernommen:

- Abflußermittlung im Rheingebiet im Bereich der Landesgrenzen;
- Meßstellenbeschreibungen, einschließlich Aufstellung eines Verzeichnisses der für internationale Organisationen wichtigen Meßstellen;
- Berechnung der Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit im Rheingebiet.

En ce qui concerne ce dernier point, le groupe de travail a décidé, lors de sa première session tenue à Strasbourg, le 12 octobre 1978, de rédiger un inventaire des diverses méthodes utilisées dans le bassin du Rhin. A cet effet M. H. G. Mendel a été désigné comme rapporteur. Le présent rapport comprend cet inventaire, poursuivi par le groupe de travail.

Lors de l'établissement des contributions nationales, on s'est abstenu volontairement de procéder selon un schéma uniforme, afin que les différents auteurs aient la possibilité de traiter plus en détail les méthodes du pays. On trouvera en plus des différentes contributions nationales un résumé des symboles et des dénominations utilisés, tandis que les fonctions mathématiques et les méthodes utilisées sont données dans un tableau (annexes 2 et 3). En plus la relation entre les diverses fonctions de distribution est décrite dans un appendice séparé.

Le rapport ne contient pas de recommandation pour une méthode déterminée pour l'avenir concernant le calcul des probabilités en hautes et basses eaux dans les différents pays. Plutôt il semble souhaitable de fournir des séries de débits les plus longues possibles – éventuellement complétées de données de précipitation – des stations sélectionnées, afin d'y appliquer les méthodes décrites et de les comparer, et de vérifier l'exactitude de l'extrapolation.

Un exemple des résultats du calcul de la probabilité de crues est donné en annexe 4 pour les stations de Rheinfelden et de Kaub.

Le présent rapport est le quatrième de la série des publications officielles de la CHR. Il existe une seconde série de rapports, publiés sous la responsabilité de leur auteur.

ir. J. van Malde
Président de la CHR

Zur letzten Aufgabe hat die Arbeitsgruppe auf ihrer ersten Sitzung am 12. Oktober 1978 in Straßburg beschlossen, eine Übersicht über die im Rheingebiet angewandten Verfahren zu erstellen. Dazu wurde H. G. Mendel als Berichtersteller benannt. Der vorliegende Bericht umfaßt diese von der Arbeitsgruppe bezweckte Übersicht.

Zur Abfassung der nationalen Beiträge wurde bewußt nicht nach einem einheitlichen Schema vorgegangen, um den einzelnen Autoren die Möglichkeit zu geben, auf die Methoden des betreffenden Landes vertieft einzugehen. Im Anschluß an die folgenden nationalen Beiträge sind die darin benutzten Symbole und ihre Bezeichnungen zusammengestellt, während die angewandten statistischen Verfahren in einer Tabelle dargestellt sind (Anlagen 2 und 3). Außerdem wurde in einem separaten Anhang auf den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Verteilungsfunktionen eingegangen.

Der Bericht enthält keine Empfehlung für ein zukünftiges abgestimmtes Vorgehen bei der Berechnung der Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit in den einzelnen Ländern. Es scheint eher wünschenswert, homogene und möglichst lange Abflußreihen – ggfs. durch Niederschlagsdaten ergänzt – von ausgewählten Stationen bereitzustellen, um die beschriebenen Methoden darauf anzuwenden, zu vergleichen und die Zuverlässigkeit der Extrapolation zu prüfen.

Ein Beispiel der Resultate der Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnung an den Meßstellen Rheinfelden und Kaub ist in Anlage 4 enthalten.

Der vorliegende Bericht bildet die vierte Publikation der offiziellen KHR-Veröffentlichungen. Daneben veröffentlicht die KHR eine 2. Reihe von Berichten, für deren Inhalt allein die Autoren verantwortlich zeichnen.

ir. J. van Malde
Vorsitzender der KHR

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Préface</i>	3
1	Estimation des probabilités de crues et d'étiages en Suisse (F. de Montmollin)	11
1.1	Introduction.	11
1.2	Probabilité de crues	11
1.3	Probabilité d'étiages	15
Fig. 1.1	Exemple d'analyse fréquentielle	13
2	Détermination des probabilités d'occurrence de crues et d'étiages en Autriche (H. Zettl)	17
3	Calcul de la probabilité de crues et d'étiages en République fédérale d'Allemagne (W. Buck)	21
3.1	Introduction.	21
3.2	Probabilité de crues	22
3.2.1	Données	22
3.2.2	Analyse des données	22
3.2.3	Calcul de la probabilité de crues	23
3.3	Probabilité d'étiages	25
3.3.1	Valeurs permettant de caractériser les étiages	25
3.3.2	Sélection des données	25
3.3.3	Analyse des données	26
3.3.4	Estimation des probabilités d'étiages	26
Fig. 3.1	Organigramme de la recommandation du DVWK	24
4	Estimation des probabilités de crues et d'étiages en France (J. F. Zumstein)	30
4.1	Valeurs caractéristiques des crues et des étiages	30
4.2	Echantillonnage	30
4.3	Lois de distribution	31
4.3.1	Choix des lois de distribution	31
4.3.2	Estimation des paramètres	31
4.3.3	Temps de récurrence	32
4.4	Conclusion	32
5	Estimation des probabilités de crues et d'étiages au Luxembourg (R. Kipgen)	33
5.1	Introduction.	33
5.2	Probabilité de crues	33
6	Détermination de la crue de projet pour le Rhin aux Pays-Bas (J. W. van der Made)	35
6.1	Aperçu historique.	35
6.2	Analyse de la probabilité de crues	36
6.3	Durées de dépassement.	37
6.4	Probabilité d'étiages	37
Fig. 6.1	La région considérée	35
Fig. 6.2	Sélection des débits de pointe.	36
Fig. 6.3	Fonction de répartition des débits de pointe du Rhin à Lobith	38
Fig. 6.4	Fonction de répartition bidimensionnelle de débits et de durées de dépassement	39
Tab. 6.1	Combinaison des valeurs de débits Q_0 et des durées de dépassements continus T (en jours) pour une fréquence de 8.10^{-4} par an	40
7	Résumé (français, allemand, néerlandais, anglais)	41
	Bibliographie	45
	Annexes	
Annexe 1	Carte géographique du bassin du Rhin	49
Annexe 2	Liste des symboles et dénominations employés	52
Annexe 3	Aperçu comparatif des méthodes utilisées pour l'estimation des probabilités de crues et d'étiages dans les différents états membres de la CHR	54
Annexe 4	Exemples des calculs de probabilités de crues aux stations de Rheinfelden et de Kaub	56

Appendice (H. G. Mendel)

	Aperçu systématique des fonctions de distribution utilisées dans le bassin du Rhin	59
Fig. 1	Fonctions de distribution qui sont dérivées de la loi normale	65
Fig. 2	Variantes de la loi Gamma générale	67
	Quelques informations sur la CHR (français, allemand, néerlandais, anglais)	70

INHALTSVERZEICHNIS

	<i>Vorwort</i>	3
1	Berechnung der Hoch- und Niederwasserwahrscheinlichkeit in der Schweiz (F. de Montmollin)	11
1.1	Einleitung	11
1.2	Hochwasserwahrscheinlichkeit	11
1.3	Niederwasserwahrscheinlichkeit	15
Abb. 1.1	Beispiel einer Häufigkeitsanalyse	13
2	Die Ermittlung von Hoch- und Niederwasserwahrscheinlichkeiten in Österreich (H. Zettl)	17
3	Die Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit in der Bundesrepublik Deutschland (W. Buck)	21
3.1	Einführung	21
3.2	Hochwasserwahrscheinlichkeit	22
3.2.1	Datenmaterial	22
3.2.2	Datenanalyse	22
3.2.3	Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit	23
3.3	Niedrigwasserwahrscheinlichkeit	25
3.3.1	Niedrigwasser-Kenngrößen	25
3.3.2	Datenauswahl	25
3.3.3	Datenanalyse	26
3.3.4	Ermittlung der Niedrigwasserwahrscheinlichkeit	26
Abb. 3.1	Ablaufdiagramm der DVWK-Empfehlung	24
4	Berechnung der Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit in Frankreich (J. F. Zumstein)	30
4.1	Hoch- und Niedrigwasserkenngrößen	30
4.2	Stichprobenauswahl	30
4.3	Verteilungsgesetze	31
4.3.1	Auswahl der Verteilungsgesetze	31
4.3.2	Parameterschätzung	31
4.3.3	Wiederkehrzeiten	32
4.4	Schlußbemerkung.	32
5	Berechnung der Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit in Luxemburg (R. Kipgen)	33
5.1	Einleitung	33
5.2	Hochwasserwahrscheinlichkeit	33
6	Bestimmung des Bemessungshochwassers für den Rhein in den Niederlanden (J. W. van der Made)	35
6.1	Historischer Überblick	35
6.2	Analyse der Hochwasserwahrscheinlichkeit	36
6.3	Überschreitungsdauern	37
6.4	Niedrigwasserwahrscheinlichkeit	37
Abb. 6.1	Das betrachtete Gebiet	35
Abb. 6.2	Auswahl der Scheitelabflüsse	36
Abb. 6.3	Verteilungsfunktion der Scheitelabflüsse des Rheins am Pegel Lobith	38
Abb. 6.4	Zweidimensionale Verteilungsfunktion der Abflüsse und der Überschreitungsdauern	39
Tab. 6.1	Kombination der Abflußwerte Q_0 und der Überschreitungsdauern T (in Tagen) für eine Häufigkeit von $8 \cdot 10^{-4}$ mal pro Jahr	40
7	Zusammenfassung (Französisch, Deutsch, Niederländisch, Englisch)	41
	Literaturverzeichnis	45
	Anlagen	
Anlage 1	Geographische Karte des Rheineinzugsgebietes	49
Anlage 2	Verzeichnis der benutzten Symbole und Bezeichnungen	52
Anlage 3	Vergleichender Überblick der für die Ermittlung von Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit in den verschiedenen Mitgliedstaaten der KHR angewandten Verfahren	54
Anlage 4	Beispiele von Berechnungen von Hochwasserwahrscheinlichkeiten an den Stationen Rheinfelden und Kaub	56

	Anhang (H. G. Mendel)	
	Systematische Zusammenstellung der im Rheingebiet benutzten Verteilungsfunktionen	59
Abb. 1	Verteilungsfunktionen, die von der Normalverteilung abgeleitet sind	65
Abb. 2	Varianten der allgemeinen Gammaverteilung	67
	Einige Informationen über die KHR (Französisch, Deutsch, Niederländisch, Englisch)	70

1. ESTIMATION DES PROBABILITÉS DE CRUES ET D'ÉTIAGES EN SUISSE

1.1 Introduction

La dernière statistique des crues pour la Suisse a été entreprise en 1970 sur l'initiative conjointe du Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (LHYDREP) et de l'ancien Service fédéral des routes et digues. Il s'agit d'une analyse des séries annuelles pour l'ensemble des stations recensées sur le territoire suisse. Elle a été publiée en 1974, sous le titre suivant: »Les débits maximaux des cours d'eau suisses observés jusqu'en 1969«.

Le but de ce travail est avant tout de faciliter le choix de la »crue de projet« (design flood) lors de corrections de cours d'eau, sans pour autant recommander de façon impérative l'utilisation de l'une ou l'autre des diverses lois de distribution usuelles.

A côté de cet ouvrage à caractère officiel, il existe une série de publications issues des écoles polytechniques de Lausanne et Zürich traitant de domaines particuliers, comme par exemple la régionalisation de paramètres permettant d'évaluer la probabilité de crue de cours d'eau non jaugés.

En ce qui concerne les probabilités d'étiages, on ne possède pas encore de statistique équivalente à celle des crues. La contribution la plus significative provient aussi du LHYDREP, sous la forme d'une thèse traitant de 17 stations, réparties au mieux sur le pays.

Mais un important programme du Fonds national de la recherche scientifique devrait améliorer l'état des connaissances dans ce domaine au cours des prochaines années.

1.2 Probabilité de crues

La publication de données concernant les crues a débuté en 1935 sous forme d'un tableau et de graphiques, mis à la disposition de spécialistes. En 1958 paraît le premier recueil des crues des cours d'eau suisses: »Les débits maximaux des cours d'eau suisses observés jusqu'en 1956« [IFTP, 1958], ouvrage bilingue (allemand et français), composé principalement de tableaux des

1. BERECHNUNG DER HOCH- UND NIEDERWASSERWAHRSCHEINLICHKEIT* IN DER SCHWEIZ

1.1 Einleitung

Die letzte Hochwasserstatistik der Schweiz wurde als Gemeinschaftsarbeit des hydraulischen Laboratoriums der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (LHYDREP) und des früheren Eidgenössischen Amtes für Straßen- und Flußbau im Jahre 1970 durchgeführt. Es handelt sich dabei um eine Analyse der Jahresreihen aller verfügbaren Stationen in der Schweiz. Das Werk wurde 1974 unter dem Titel »Die größten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflußmengen von schweizerischen Gewässern« publiziert.

Das Ziel dieser Publikation ist vor allem, die Festlegung des Bemessungshochwassers (design flood) für Gewässerkorrekturen zu erleichtern, ohne jedoch ausschließlich das eine oder das andere der zahlreichen üblichen Verteilungsgesetze zu empfehlen.

Neben diesem Werk mit offiziellem Charakter gibt es eine Reihe von Publikationen der Technischen Hochschulen von Lausanne und Zürich, welche spezielle Gebiete wie etwa die Regionalisierung von Parametern zur Bestimmung der Hochwasserwahrscheinlichkeit an Gewässern ohne Abflußdaten behandeln.

Für die Niederwasserwahrscheinlichkeit existieren keine Ausarbeitungen wie für Hochwasser. Der wichtigste Beitrag stammt ebenfalls vom LHYDREP in Form einer Dissertation, in der 17 Stationen aus der gesamten Schweiz behandelt werden.

Ein großes Programm des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung dürfte jedoch in den nächsten Jahren die Kenntnisse auf diesem Gebiet verbessern.

1.2 Hochwasserwahrscheinlichkeit

Die Publikation von Hochwasserdaten begann 1935 in Form von Tabellen und von Graphiken, welche den Fachleuten zur Verfügung standen. Im Jahre 1958 erschien ein erster Überblick über die Hochwasser in schweizerischen Gewässern: »Die größten bis zum Jahre 1956 beobachteten Abflußmengen von schweizerischen Gewässern« [IFTP, 1958]. Dieses zweisprachige

* Die Begriffe Niederwasser (Schweiz, Österreich) und Niedrigwasser (Deutschland) werden synonym benutzt.

crues observées et de différentes représentations graphiques. La notion de probabilité de crue n'apparaît pas encore: »le problème de la fréquence des crues« ainsi que »le calcul des débits maximums probables« n'ont pu être examinés dans le cadre de ce travail.

La réédition de cet ouvrage [ASF, 1974], pour les débits observés jusqu'en 1969, introduit l'analyse fréquentielle en même temps que la méthode probabiliste. Les lois de distribution les plus courantes ont été ajustées et représentées graphiquement, simultanément avec les valeurs observées. Il s'agit des distributions suivantes:

log-normale de Galton (G2 et G3)
Fuller
Gamma
log-Pearson III
Goodrich
Fréchet
Gumbel

La loi log-Pearson III ne donnant que des différences négligeables par rapport aux lois »log-normales« de Galton à 2 et 3 paramètres (G2 et G3), les courbes correspondantes n'ont pas été représentées. Les ajustements sont effectués par la méthode des moments et vérifiés par le test du χ^2 .

Le papier utilisé pour les courbes de fréquence est celui de Galton à 2 paramètres, sauf dans certains cas indiqués spécialement. Les deux lois de Galton se sont révélées bien adaptées pour l'estimation des crues cinquantennaires et centenaires qui figurent dans le tableau général des valeurs observées.

On dispose des séries d'observations systématiques suivantes:

> 100 ans dans 1 série
> 50 ans dans 59 séries
> 25 ans dans 140 séries
> 10 ans dans 246 séries

La publication comprend:

- un tableau renseignant sur le bassin versant, la durée des observations, les débits moyens et les débits extrêmes;
- des représentations graphiques des débits spécifiques maximaux et moyens en fonction de la superficie des bassins versants pour différents cours d'eau;

Werk (deutsch und französisch) enthält hauptsächlich Tabellen mit beobachteten Hochwasserwerten und zahlreiche graphische Darstellungen. Der Begriff der Hochwasserwahrscheinlichkeit tauchte noch nicht auf: »Das Problem der Häufigkeit der Hochwasser« wie auch »die Berechnung der höchsten für eine bestimmte längere Periode zu erwartenden Abflußwerte« konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden.

Die Neuauflage dieses Werkes [ASF, 1974] für die bis 1969 beobachteten Abflüsse führte gleichzeitig die Häufigkeitsanalyse und die Methode der Wahrscheinlichkeiten ein. Die üblichen Verteilungsgesetze wurden angewandt und zusammen mit den beobachteten Werten graphisch dargestellt. Es handelt sich um folgende Verteilungen:

Log-Normal nach Galton (G2 und G3)
Fuller
Gamma
Log-Pearson III
Goodrich
Fréchet
Gumbel

Da die Log-Pearson III -Verteilung gegenüber der »Log-Normalen« Funktion nach Galton mit 2 und 3 Parametern (G2 bzw. G3) nur geringfügige Unterschiede zeigte, wurden die entsprechenden Kurven nicht dargestellt. Die Anpassungen wurden nach der Momentenmethode durchgeführt und mit dem χ^2 -Test überprüft.

Die Häufigkeitskurven wurden mit Ausnahme einiger Spezialfälle auf ein »log-normales« Wahrscheinlichkeitsnetz (G2) aufgezeichnet. Die beiden Galton-Funktionen erwiesen sich als am besten angepaßt für die 50- und 100-jährlichen Hochwasser.

Es standen Reihen folgender Längen zur Verfügung:

> 100 Jahre: 1 Reihe
> 50 Jahre: 59 Reihen
> 25 Jahre: 140 Reihen
> 10 Jahre: 246 Reihen

Die Veröffentlichung umfaßt:

- eine tabellarische Zusammenstellung mit Angaben über das Einzugsgebiet, die Beobachtungsdauer, die Größe der mittleren Abflüsse und die Hochwasserspitzen;
- graphische Darstellungen der maximalen und der mittleren spezifischen Abflußmengen in Abhängigkeit von der Größe des Einzugsgebietes für verschiedene Gewässer;

- des formules des lois de distribution utilisées et quelques méthodes de calcul des fréquences expérimentales.
- les représentations graphiques des résultats de l'analyse statistique des crues annuelles (fréquences des crues) pour 238 stations (voir fig. 1.1) ainsi que des débits spécifiques des crues centenaires en fonction de la superficie des bassins versants;
- quelques formules empiriques pour la détermination des crues;
- une carte du réseau hydrographique sur laquelle est portée la position des différentes stations et la durée correspondante des observations.
- die Formeln der benutzten Verteilungsgesetze und einige »plotting position formulas«;
- graphische Darstellungen der statistischen Auswertung der jährlichen Hochwasserspitzen (Hochwasserfrequenzen) für 238 Stationen (s. Abb. 1.1) einschließlich der 100-jährlichen Hochwasserabflussspenden in Abhängigkeit von der Größe des Einzugsgebietes;
- einige empirische Hochwasserformeln mit einer graphischen Darstellung;
- eine Gewässerkarte, auf der die Dauer der Beobachtungen und die Lage der einzelnen Meßstationen ersichtlich sind.

Rhin du Lac de Constance à Bâle Rhein vom Bodensee bis Basel

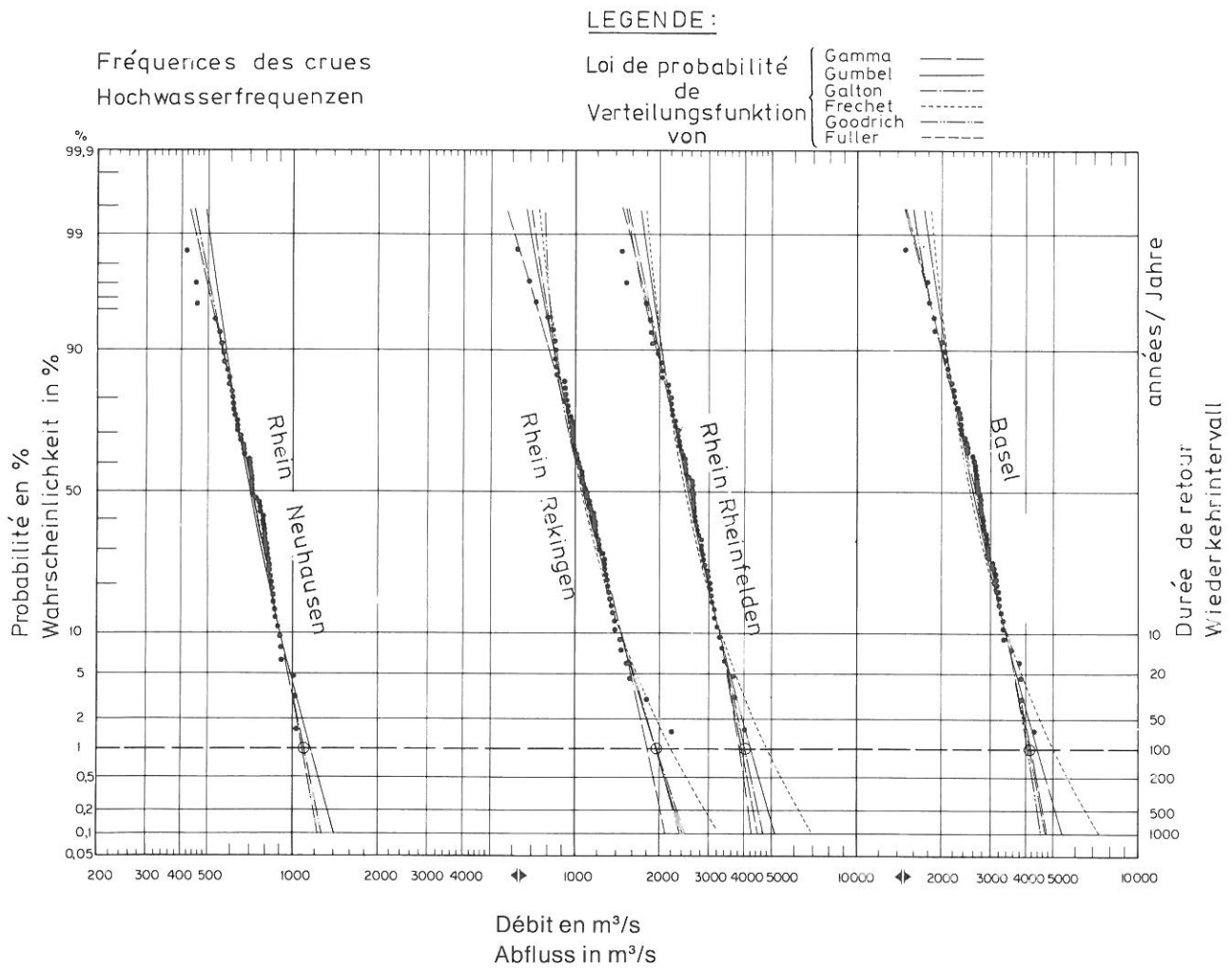


Fig. 1.1 Exemple d'analyse fréquentielle [ASF, 1974]

Abb. 1.1 Beispiel einer Häufigkeitsanalyse [ASF, 1974]

Le programme de calcul, mis au point par le LHYDREP, est décrit plus en détail par Bruschin et Estève [1973] qui exposent en particulier les quelques problèmes posés par l'automatisation des calculs dans le cas de la loi log-Pearson III. Au sujet du choix d'une loi unique, valable pour différents pays, les auteurs notent ceci: »Les conclusions tirées quant à l'utilisation d'une seule loi aux USA, au Canada, en Allemagne et en Suisse ne sont pas entièrement concordantes et dépendent, comme nous avons pu le constater, de facteurs subjectifs: type d'ordinateur, programme (sauts de routine), algorithmes adoptés, etc.. La solution que nous proposons est de généraliser l'utilisation des lois de Galton avec comme alternative, en cas de rejet par le test d'adéquation, les lois de Gumbel et de Fréchet à considérer dans l'ordre«. L'application pratique des résultats obtenus est traitée dans une publication de l'Office fédéral de l'économie des eaux [BWW, 1982]. Le Service hydrologique national prépare pour 1986 une nouvelle analyse, limitée aux stations du réseau fédéral pour lesquelles on dispose de séries de plus de 30 années d'observation. Cette analyse sera faite selon le processus recommandé par l'Association de l'économie hydraulique et de génie rural d'Allemagne fédérale (DVWK)*. Un exemple des résultats du calcul fait selon cette méthode est donné en annexe 4 pour les stations de Rheinfelden et de Kaub.

Divers travaux ont été consacrés à la détermination des probabilités des hautes eaux dans des bassins versants où les débits n'ont pas été observés. Bruschin et Falvey [1974] commentent les aspects probabilistes de l'analyse fréquentielle des crues et présentent une étude régionale pour la Suisse au nord des Alpes qui est l'application d'une technique mise au point par l'US Geological Survey. Un paramètre, dont on peut lire les valeurs sur une carte, permet de calculer la crue de probabilité choisie pour un bassin quelconque.

Bruschin et North [1977] ont examiné deux autres procédures appliquées aux Etats Unis avant de développer une méthode de régionalisation basée simplement sur la normalisation des crues, obtenue en divisant chacune de leurs valeurs par la valeur de la crue de probabilité 0,5 notée Q_2 , très proche de la moyenne de la série. On calcule ensuite un »indice de variance« $V = Q_{10}/Q_2$ (où Q_{10} est la crue de probabilité 0,1).

Das vom LHYDREP erstellte Rechenprogramm ist von Bruschin und Estève [1973] detailliert beschrieben. Dort sind insbesondere einige Probleme im Zusammenhang mit der automatischen Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit nach der Log-Pearson III Verteilung beschrieben. Zur Auswahl eines einzigen für verschiedene Länder gültigen Verteilungsgesetzes schreiben die Autoren: »Die Schlußfolgerungen, die in Bezug auf die Verwendung eines einzigen Verteilungsgesetzes in den USA, in Kanada, in Deutschland und in der Schweiz gezogen wurden, sind nicht ganz übereinstimmend. Wie wir bemerkt haben, sind sie von subjektiven Faktoren abhängig: Computer-Typ, Programme (verfügbare Routinen), angenommene Algorithmen etc. Als Lösung schlagen wir vor, die Galtonverteilung zu empfehlen, wobei im Falle eines negativen Anpassungstests auch die Gumbel- und in zweiter Linie die Fréchetverteilung verwendet werden kann«. Die praktische Anwendung der auf diese Art ermittelten Resultate wird in einer Wegleitung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft [BWW, 1982] behandelt. Die Landeshydrologie bereitet für 1986 eine neue Analyse vor, begrenzt auf Stationen des eidgenössischen Netzes, für welche Beobachtungsreihen von mehr als 30 Jahren zur Verfügung stehen. Diese Analyse wird nach der vom deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK)* empfohlenen Methode durchgeführt. Ein Beispiel der Resultate einer nach dieser Methode durchgeführten Berechnung für die Meßstellen Rheinfelden und Kaub ist in Anlage 4 enthalten.

Verschiedene Arbeiten behandeln die Bestimmung der Hochwasserwahrscheinlichkeit in Einzugsgebieten ohne Abflußdaten. Bruschin and Falvey [1974] diskutieren Probleme bei der Berechnung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. Sie stellen auch eine Studie für die gesamte Schweiz nördlich der Alpen vor, wo sie eine vom US Geological Survey entwickelte Methode anwenden. Dabei erlaubt ein Parameter, dessen Wert aus einer Karte herausgelesen werden kann, ein Hochwasser von einer gegebenen Wahrscheinlichkeit für irgendein Einzugsgebiet zu berechnen.

Bruschin und North [1977] haben zwei andere in den USA angewandte Verfahren geprüft und daraus eine Methode zur Regionalisierung entwickelt. Dazu wird zunächst jeder Wert der Reihe durch den Wert Q_2 (Wahrscheinlichkeit 0,5) dividiert und der Varianzindex $V = Q_{10}/Q_2$ berechnet. (Q_{10} ist das Hochwasser mit der Wahrscheinlichkeit 0,1).

* Voir § 3.2.3.

* Siehe § 3.2.3.

Les variations de Q_2 en fonction de la surface des bassins sont étudiées sur des diagrammes bi-logarithmiques, ce qui permet, en tenant compte des indices de variance, de définir des zones géographiques. Il devient alors possible de procéder à des estimations des probabilités de crue pour des cours d'eau n'ayant jamais été jaugés.

Widmoser [1974] a cherché des corrélations entre les paramètres des distributions et des caractéristiques physiographiques des bassins, tels que pente moyenne, surface, étendue, longueur de la vallée et altitude moyenne. L'étude a porté sur une quarantaine de stations.

Une méthode de détermination de la crue de projet a été décrite ultérieurement [WIDMOSER, 1977].

Zeller et ses collaborateurs [ZELLER, 1971, 1974, 1981; ZELLER, GEIGER et RÖTHLISBERGER, 1976] ont établi les fonctions de répartition des précipitations de forte intensité, dans le but de disposer d'une base pour la planification des corrections de torrents. En effet, dans le cas des torrents de montagne, les séries de mesure de débit sont généralement trop courtes pour autoriser l'ajustement d'une loi de probabilité. Les valeurs mesurées sont représentées sur papier probabiliste de Gumbel, en même temps que la »limite des records mondiaux«, tracée à partir des valeurs des plus fortes précipitations qui ont pu être mesurées sur l'ensemble du monde pour des durées données.

On ne peut conclure sans signaler que la méthode probabiliste n'a pas convaincu tout le monde et que certains praticiens préfèrent s'appuyer sur la notion contestée de la plus grande crue possible. C'est ainsi que Vischer [1980] trace des courbes enveloppes pour les débits spécifiques de crue (q_{\max} , exprimés en $m^3/s \cdot km^2$) dans les trois grands bassins principaux du pays. Pour le bassin du Rhin, cette courbe enveloppe a pour équation:

$$q_{\max} = 50 \cdot E^{-0,5}$$

où E est la surface du bassin, comprise entre 5 et 10000 km^2 .

En fait, les plus grandes crues imaginables seraient certainement celles dues à la vidange brutale d'un lac d'accumulation, artificiel ou naturel, à la suite d'un séisme ou de l'éboulement d'un pan de montagne. Les risques de tels événements sont peut-être supérieurs à l'occurrence d'une crue millénaire par exemple. Mais peu d'auteurs se sont penchés sur la question.

1.3 Probabilité d'étiages

Les conséquences des étiages étant d'un tout autre ordre que celles des crues, le besoin d'une statistique

Die Beziehungen zwischen Q_2 und der Einzugsgebietsfläche werden auf doppellogarithmischem Papier dargestellt. Unter Berücksichtigung des Varianzindexes können so geographische Zonen definiert werden, in denen für Gebiete ohne Abflußdaten Hochwasserwahrscheinlichkeiten geschätzt werden können.

Widmoser [1974] hat Beziehungen zwischen der Häufigkeitsverteilung von Hoch- und Niederwasserabflüssen und Gebietscharakteristika wie mittlere Neigung, Fläche, Umfang, Tallänge, mittlere Höhe usw. von 40 Einzugsgebieten untersucht.

Ein Verfahren zur Bestimmung eines Bemessungshochwassers ist in [WIDMOSER, 1977] beschrieben.

Mit dem Ziel, eine Planungsgrundlage für Wildbachverbauungen zu schaffen, haben Zeller und Mitarbeiter [ZELLER, 1971, 1974, 1981; ZELLER, GEIGER und RÖTHLISBERGER, 1976] Verteilungsfunktionen von Starkniederschlägen erarbeitet. Für die meisten Wildbäche sind die Abflußreihen zu kurz, um ein Verteilungsgesetz anwenden zu können. Die Niederschlagswerte werden auf Wahrscheinlichkeitspapier nach Gumbel dargestellt, das auch die »Weltrekordgrenze« enthält, welche aus den höchsten je auf Erden gemessenen Starkniederschlägen von gegebener Dauer ermittelt wurde.

Abschließend soll auch noch darauf hingewiesen werden, daß die Wahrscheinlichkeitsmethode nicht von jedermann akzeptiert wird und daß vor allem einige Praktiker es vorziehen, sich auf den umstrittenen Begriff des höchstmöglichen Hochwassers abzustützen. So hat Vischer [1980] Kurven für Hochwasserabflussspenden (q_{\max} , ausgedrückt in $m^3/s \cdot km^2$) für die drei großen Haupteinzugsgebiete der Schweiz bestimmt. Für das Einzugsgebiet des Rheins läßt sich diese Hüllkurve mit folgender Formel beschreiben:

$$q_{\max} = 50 \cdot E^{-0,5}$$

wobei E die Fläche des Einzugsgebietes ist, gültig für Größen zwischen 5 und 10000 km^2 .

In Wirklichkeit dürften die größten vorstellbaren Hochwasser durch plötzliche Entleerungen von natürlichen oder künstlichen Stauseen, infolge eines Erdbebens oder eines Bergsturzes auftreten. Das Risiko solcher Ereignisse wird oft höher eingeschätzt als etwa das Eintreten eines 1000-jährlichen Hochwassers. Dennoch gehen die wenigsten Autoren auf diese Problematik ein.

1.3 Niederwasserwahrscheinlichkeit

Da die Auswirkungen von Niederwasser ganz anders sind als die von Hochwasser, bestand bis jetzt in

comparable à celle faite pour les crues ne s'est pas réellement fait sentir jusqu'ici.

On trouve pourtant chez Widmoser [1974] les paramètres des distributions de la probabilité d'étiage pour 24 bassins suisses, calculés selon les méthodes usuelles de l'analyse fréquentielle. Mais l'événement auquel on s'intéresse est en général autant le débit minimum atteint que la durée pendant laquelle un débit critique n'a pas pu être atteint. North [1980, 1981] a suivi cette voie et a étudié 17 bassins en Suisse pour chacun desquels il a construit des courbes de probabilité d'étiage en fonction du jour de l'année.

La connaissance des débits d'étiage devient une nécessité avec l'accroissement des rejets polluants dans les cours d'eau et une étude importante a été organisée avec l'appui du Fonds national de la recherche scientifique [WALTER, 1983].

der Schweiz kaum ein echter Bedarf nach statistischen Analysen ähnlich denen für Hochwasser.

Bei Widmoser [1974] findet man Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Niederwasser in 24 schweizerischen Einzugsgebieten, berechnet nach den üblichen Methoden der Häufigkeitsanalyse. Normalerweise interessiert man sich jedoch sowohl für den minimalen erreichten Abfluß als auch für die Dauer, während der ein kritischer Wert unterschritten wird. North [1980, 1981] hat dieses Ziel verfolgt und für 17 Gebiete in der Schweiz für die einzelnen Kalendertage die Niederwasserwahrscheinlichkeit und deren Dauer berechnet und graphisch dargestellt.

Mit der zunehmenden Einleitung von Schmutzwasser in unsere Gewässer wird die Kenntnis der Niederwasserabflüsse immer wichtiger. Nicht zuletzt deshalb unterstützt der schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung eine umfassende Studie auf diesem Gebiet [WALTER, 1983].

2. DÉTERMINATION DES PROBABILITÉS D'OCCURRENCE DE CRUES ET D'ÉTIAGES EN AUTRICHE

La détermination des probabilités d'occurrence de pointes de crues est une tâche importante du Service hydrographique d'Autriche (Bureau Central d'Hydrographie au Ministère fédéral de l'Agriculture et des Forêts, en tant que Service fédéral, et Services hydrographiques régionaux dans les provinces fédérales). De telles études sont également effectuées par des bureaux de planification, par des sociétés d'hydro-électricité, ainsi que par des instituts universitaires; dans ce cas, lorsqu'il s'agit de projets concrets, on harmonise généralement les valeurs avec celles du Service hydrographique. On complète en outre ces études – spécialement dans le cas de travaux effectués par des bureaux de planification pour des projets fondamentaux d'aménagement des eaux – en recourant à des modèles précipitations-débits.

Ci-après sont décrites brièvement les méthodes appliquées par le Service hydrographique. Parmi les plus anciennes utilisées nous mentionnerons les deux suivantes:

Dès 1950 on a effectué au Bureau Central d'Hydrographie, spécialement pour des études de fréquences des crues concernant quelques grands fleuves, des études théoriques probabilistes basées sur de longues séries, selon la théorie des populations mixtes de V. Felber [Glasel, 1954], où la population mixte examinée est divisée en plusieurs populations partielles symétriques. La manière de procéder à cette subdivision de la population de crues en populations partielles est, bien entendu, dans une certaine mesure, subjective, et l'application de cette méthode exige un grand volume de calcul.

En 1958 H. Kreps [KREPS, 1975] a décrit une méthode graphique qui – comme la méthode de Felber – reprend l'ensemble des valeurs de crues d'une série d'années. Cette nouvelle méthode a été appliquée dans une large mesure par le Service hydrographique autrichien pour obtenir des données, même dans le cas de séries d'observation relativement courtes. On détermine pour chaque valeur de crue la durée de retour selon une formule (plotting position formula) établie par Kreps et ensuite ces valeurs sont représentées graphiquement sur un papier bilogarithmique. Puis ces points sont ajustés graphiquement par une courbe aussi droite que possible, qui représente la loi de probabilité pour la population de crues en question. Une fois que la population est déterminée, cette méthode n'exige que peu de temps et on obtient de bonnes valeurs même dans le cas de courtes séries d'observations, spécialement pour les crues les plus fréquentes. Cette méthode comporte toutefois des désavantages: d'une part le caractère subjectif de la représentation graphique de la courbe d'ajuste-

2. DIE ERMITTLUNG VON HOCH- UND NIEDERWASSERWAHRSCHEINLICHKEITEN IN ÖSTERREICH

Die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Hochwasser-Scheitelwerten stellt eine wichtige Aufgabe des Hydrographischen Dienstes in Österreich dar (Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft als Bundesdienststelle und Hydrographische Landesdienststellen in den Bundesländern). Derartige Untersuchungen werden aber auch von Projektierungsbüros, Kraftwerksgesellschaften sowie von Universitätsinstituten durchgeführt, wobei für konkrete Projekte meist eine Abstimmung der Werte mit dem Hydrographischen Dienst erfolgt. Bei diesen Untersuchungen, insbesondere bei Arbeiten von Projektierungsbüros für wasserwirtschaftliche Grundsatzkonzepte, werden auch Niederschlag-Abfluß-Modelle herangezogen.

In der Folge werden die beim Hydrographischen Dienst angewendeten Methoden kurz beschrieben. Von den aus früheren Jahren bekannten Untersuchungsmethoden sollen zwei Verfahren vorgestellt werden.

So wurden nach 1950 im Hydrographischen Zentralbüro, vor allem für Hochwasserhäufigkeitsuntersuchungen an einigen größeren Flüssen, wahrnehmungstheoretische Untersuchungen von längeren Reihen nach der Mischkollektiv-Theorie von V. Felber durchgeführt [GLASEL, 1954], bei der das jeweilige Mischkollektiv in mehrere symmetrische Teilkollektive zerlegt wird. Die Art der Zerlegung des Kollektivs in Teilkollektive hängt dabei allerdings bis zu einem gewissen Grad vom Bearbeiter ab, und es ist zur Durchführung des Verfahrens auch ein großer Rechenaufwand erforderlich.

Von H. Kreps wurde 1958 ein graphisches Verfahren angegeben [KREPS, 1975], das ebenso wie die Methode Felber sämtliche Hochwasserwerte einer Jahresreihe heranzieht und beim Hydrographischen Dienst in Österreich verbreitet Anwendung fand, um Anhaltspunkte auch bei relativ kurzen Reihen zu erhalten. Dabei wird zu jedem beobachteten Hochwasserwert die Jährlichkeit nach einer von Kreps angegebenen Formel (plotting position formula) ermittelt und in einem doppellogarithmischen Netz aufgetragen. Die Punkte werden durch eine möglichst gestreckte Kurve graphisch ausgeglichen, die die Verteilungsfunktion für das betreffende Hochwasserkollektiv darstellt. Wenn das Kollektiv einmal vorhanden ist, erfordert die Methode relativ wenig Arbeit und es ergeben sich vor allem für die häufigeren Hochwässer gute Werte auch bei nur kurzen Jahresreihen. Nachteilig ist die subjektive graphische Festlegung der Ausgleichskurve durch den Bearbeiter vor allem bei Extrapolationen, und auch die Erfahrung, daß es bei Anwendung dieser Formel für

ment, surtout s'il s'agit d'extrapolations; d'autre part le fait d'expérience que l'application de cette formule pour la durée de retour peut entraîner un aplatissement de la courbe de distribution.

Une nouvelle organisation des données hydrologiques a permis de mettre en mémoire des données contrôlées de débits de fleuves autrichiens à partir de 1951. De la sorte, des séries de débit de 25 à 30 années ont pu être traitées électroniquement. Cela a permis au Bureau Central d'Hydrographie de faire analyser en 1981 les populations de crues de toutes les stations de mesure des débits dont il a le contrôle, pour obtenir une base générale visant à la détermination ou à l'évaluation des fréquences de crues.

Les probabilités de crues ont été calculées généralement selon trois distributions différentes:

- Gumbel
- Pearson III ou log-Pearson III (selon une recommandation du DVWK)*
- Schreiber-Nobilis

Seules les valeurs des débits maximums annuels étant prises en compte avec les deux premières méthodes, il a fallu déterminer des valeurs correctives pour les crues plus fréquentes en dessous de HQ_{10} . On a calculé en outre des intervalles de confiance destinés à l'appréciation de la validité de l'ajustement.

La troisième méthode a été proposée par H. Schreiber [SCHREIBER, 1970] qui modifie le procédé de Kreps. Pour la représentation graphique la durée de retour est calculée selon la formule n/m (n = nombre d'années de la série, m = le rang de la crue). Pour n années, on forme une série partielle à partir des $2n$ plus grands maximums mensuels. En liaison avec d'autres critères comme par exemple la relation HQ_{10}/HQ_{100} , cette méthode graphique s'est avérée satisfaisante dans la pratique, en raison de ses possibilités d'application rapides et car elle fournit, même dans le cas des crues les plus fréquentes, des valeurs réalistes.

Afin de permettre aussi un traitement de la méthode susmentionnée par voie de calcul, F. Nobilis [NOBILIS, 1981] a étudié diverses formules mathématiques pour un assez grand nombre de populations. Le résultat en a été qu'on a finalement défini le rapport entre la durée de retour n/m et la valeur HQ_n comme l'équation de régression $HQ_n = B + A \ln(n/m)$. Cette relation a permis une évaluation des populations de crues enregistrées. La fiabilité de l'ajustement respectif n'est pas vérifiée au moyen d'intervalles de confiance mais simplement à l'aide de la valeur du coefficient de corrélation.

* Voir § 3.2.3.

die Jährlichkeit zu einer Verflachung der Verteilungskurve kommen kann.

Da nach entsprechender Datenorganisation überprüfte Abflußdaten der österreichischen Flüsse ab 1951 abgespeichert sind und somit nunmehr Abflußreihen von 25 bis 30 Jahren elektronisch verarbeitet werden können, hat das Hydrographische Zentralbüro im Jahre 1981 die Hochwasserkollektive aller beim Hydrographischen Dienst erfaßten Abflußmeßstellen auswerten lassen, um allgemeine Grundlagen für die Festlegung bzw. Beurteilung von Hochwasserhäufigkeiten zu erhalten.

Dabei wurde die Hochwasserwahrscheinlichkeit nach drei verschiedenen Verteilungsgesetzen berechnet:

- Gumbel
- Pearson III bzw. Log-Pearson III (entsprechend der Empfehlung des DVWK)*
- Schreiber-Nobilis

Da bei den beiden erstgenannten Verfahren nur die Jahreshöchstwerte in die Berechnung eingehen, mußten für die häufigeren Hochwässer unter HQ_{10} Korrekturwerte ermittelt werden. Ferner wurden zur Beurteilung der Güte der Anpassung auch Konfidenzintervalle berechnet.

Das dritte Verfahren geht auf einen Vorschlag von H. Schreiber zurück [SCHREIBER, 1970], der das Verfahren von Kreps modifiziert hat. Es wird die Jährlichkeit nach der »plotting position formula« n/m berechnet (n = Anzahl der Jahre der Reihe, m = Rang des jeweiligen Hochwassers) und mit den $2n$ größten Monatswerten der n Jahre eine partielle Serie gebildet. In Verbindung mit weiteren Kriterien, wie z.B. dem Verhältnis HQ_{10}/HQ_{100} , hat sich diese graphische Methode in der Praxis durch rasche Anwendbarkeit gut bewährt und liefert auch im Bereich der häufigeren Hochwässer realistische Werte.

Um nun auch eine rechnerische Behandlung der Methode zu ermöglichen, hat F. Nobilis [NOBILIS, 1981] verschiedene mathematische Ansätze für eine größere Anzahl von Kollektiven unter diesen Voraussetzungen untersucht. Als Ergebnis wurde schließlich der Zusammenhang zwischen der Jährlichkeit n/m und HQ_n als Regressionsgleichung $HQ_n = B + A \ln(n/m)$ definiert und auch mit dieser Beziehung eine Auswertung der gespeicherten Hochwasserkollektive vorgenommen. Die Brauchbarkeit der jeweiligen Anpassung wird dabei nicht durch Konfidenzintervalle sondern mit Hilfe der Größe des Korrelationskoeffizienten festgestellt.

* Siehe § 3.2.3.

Pour permettre l'évaluation des résultats de calculs, les populations de crues respectives ainsi que les valeurs HQ_n calculées ont été représentées graphiquement sur leurs papiers de probabilités respectifs. A des fins de comparaison, on a représenté ensemble les résultats des 3 méthodes sur papier bilogarithmique.

Ces calculs et représentations graphiques, qui sont encore à contrôler et à analyser, existent aussi pour toutes les stations limnimétriques du bassin du Rhin autrichien avec des séries de débits comprenant actuellement 25 à 30 années, y compris ceux des deux importantes stations limnimétriques Gisingen/Ill et Kennelbach/Bregenzerach, dont les données ont été publiées dans la Monographie hydrologique du bassin du Rhin [CHR, 1978].

Dès que ces bases furent obtenues, on a commencé l'analyse des résultats, nécessairement divergents, des 3 méthodes pour les stations limnimétriques de toute l'Autriche. Il faut examiner la validité de l'ajustement de la population des crues à la fonction de probabilité respective, tout en éliminant les résultats inutilisables. En outre, il faut considérer la justesse des stations limnimétriques ou de la population des crues, les inhomogénéités dans la série d'années étudiée (par exemple, effets des interventions humaines sur le régime des crues) ainsi que les conditions météorologiques, orographiques et géologiques de la région en question. Sur la base de cette analyse, on détermine, tout d'abord provisoirement, pour quelles stations limnimétriques les fréquences des crues sont encore, en plus, à homogénéiser régionale-ment. On se propose de déterminer pour chaque région les courbes de débits spécifiques de crues en fonction de la superficie du bassin versant, ou de présenter des coupes en long hydrologiques pour les valeurs HQ_n . Ces travaux s'étendant à toute l'Autriche exigeront encore beaucoup de temps.

En général, ces ajustements sont effectués jusqu'aux crues centenaires, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence d'un peu plus du triple de la longueur de la période d'observation. Cependant, pour des tâches spécifiques, on demande aussi au Service hydrographique d'indiquer les crues d'occurrence encore moins fréquentes. On essaiera d'évaluer la probabilité de telles crues sur la base d'autres critères, comme par exemple la fréquence des fortes précipitations.

Il ne nous semble pas utile de classer une valeur simplement comme crue catastrophique vu qu'un tel classement est tout à fait subjectif et ne permet pas une comparaison des valeurs.

Le Service hydrographique autrichien n'a pas encore effectué d'études de probabilités d'étiages. L'en-

Zur Beurteilung der Berechnungsergebnisse wurden die jeweiligen Hochwasserkollektive und die berechneten HQ_n -Werte im jeweiligen Wahrscheinlichkeitspapier graphisch aufgetragen und, um einen Vergleich zu ermöglichen, die Ergebnisse der 3 Verfahren in einem doppellogarithmischen Netz auch gemeinsam dargestellt.

Diese Berechnungen und Auftragungen, die noch einer Prüfung und Wertung bedürfen, liegen auch für alle Abflußmeßstellen aus dem österreichischen Rheingebiet mit Abflußreihen von derzeit 25 bis 30 Jahren vor, darunter auch für die beiden wichtigen Meßstellen Gisingen/Ill und Kennelbach/Bregenzerach, deren Daten in der Hydrologischen Monographie des Rheingebietes [KHR, 1978] veröffentlicht sind.

Nach Vorliegen dieser Grundlagen wurde mit der Wertung der naturgemäß voneinander abweichenden Ergebnisse der 3 Verfahren für die einzelnen Pegelstellen in ganz Österreich begonnen. Dabei ist die Güte der Anpassung des Kollektivs an die jeweilige Verteilungsfunktion zu prüfen, wobei ungeeignete Ergebnisse auszuscheiden sind. In Betracht zu ziehen sind dabei auch die jeweilige Güte der Abflußmeßstelle bzw. des Hochwasserkollektivs, Inhomogenitäten innerhalb der betrachteten Jahresreihe (z.B. durch menschliche Einflüsse auf die Hochwasserhältnisse) sowie auch die meteorologischen, orographischen und geologischen Verhältnisse des betreffenden Gebietes. Auf Grund dieser Wertung werden dann zunächst provisorisch für jede Pegelstelle die Hochwasserhäufigkeiten festgelegt, die dann noch gebietsweise untereinander abzustimmen sind. Als Ziel wird die gebietsweise Festlegung von Hochwasserabflußpendenkurven in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße bzw. die Aufstellung hydrologischer Längsschnitte für HQ_n -Werte angestrebt. Diese Arbeiten werden für ganz Österreich noch geraume Zeit in Anspruch nehmen.

Diese Abstimmungen erfolgen im allgemeinen bis zu 100-jährlichen Hochwasserereignissen, wobei diese Eintrittswahrscheinlichkeit etwas mehr als der dreifachen Länge des Beobachtungszeitraumes entspricht. Für bestimmte Aufgaben wird allerdings vom Hydrographischen Dienst auch die Angabe von Hochwasserabflüssen größerer Jährlichkeiten verlangt, wozu weitere Kriterien, wie Häufigkeiten von Starkniederschlägen, herangezogen werden.

Die allgemeine Einstufung eines Wertes nur als Katastrophenhochwasser wird als nicht zweckmäßig angesehen, da diese Angabe völlig subjektiv ist und keinen Vergleich der Werte untereinander zuläßt.

Untersuchungen über Niederwasserwahrscheinlichkeiten wurden vom Hydrographischen Dienst in

semble des questions concernant les basses eaux prend, également en Autriche, de l'importance pour les divers secteurs de l'économie hydraulique. On se propose donc, dans un but pratique, d'en faire une analyse systématique. Toutefois, il faudra tenir compte des influences dues à l'utilisation des eaux par l'homme pour éviter des conclusions erronées.

Pour l'étude de l'ensemble des questions concernant les basses eaux, on a confié un projet d'études »Analyse des basses eaux« à un institut universitaire.

Österreich bisher noch nicht vorgenommen. Der Fragenkomplex Niederwasser gewinnt aber auch in Österreich für verschiedene Bereiche der Wasserwirtschaft zunehmend an Bedeutung. Systematische praxisorientierte Auswertungen werden deshalb angestrebt. Hierbei wird auch auf künstliche Einflüsse durch menschliche Nutzungen zu achten sein, um Fehlschlüsse zu vermeiden.

Zur Untersuchung des gesamten Fragenkomplexes wurde ein Forschungsprojekt »Niederwasseraanalyse« an ein Universitätsinstitut in Auftrag gegeben.

3. CALCUL DE LA PROBABILITÉ DE CRUES ET D'ÉTIAGES EN RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE D'ALLEMAGNE

3.1 Introduction

Il est de plus en plus courant de chercher à caractériser des événements de crue, et également d'étiage, par leur durée de retour ou leur probabilité d'occurrence, que ce soit lors du classement d'une onde de crue actuelle ou d'une période de basses eaux en tant qu'événement se produisant toutes les n -années, ou bien lors de la définition de mesures pour les projets d'ouvrages hydrauliques. Ainsi il est prévu d'étudier les mesures de rétention de crue du Rhin supérieur entre Bâle et Mannheim pour une crue ayant une durée moyenne de retour T_n égale à 200 ans.

Dans beaucoup de cas il n'est pas suffisant de caractériser un événement de crue seulement par son débit de pointe, ou une période d'étiage par son débit minimal. D'autres paramètres du régime hydraulique s'y ajoutent tels que la durée de l'onde, la durée de la montée de l'onde de crue, le volume de l'onde (lors des phénomènes de crue). Mais il n'est pas encore courant, en pratique, de les traiter ensemble dans des analyses de probabilité à plusieurs dimensions. On établit tout au plus des régressions, séparément pour les divers paramètres caractéristiques, ou alors on choisit pour l'analyse la grandeur la mieux en rapport avec le but visé.

Les formules empiriques si appréciées autrefois pour le calcul des crues maximales (HHQ) ne sont heureusement plus guère utilisées. Elles ne permettaient pas d'indiquer la probabilité d'occurrence des événements. Il n'a aucune objection à faire contre les formules empiriques récentes qui permettent de caractériser une crue se produisant toutes les n -années, à l'aide de paramètres de bassins (grandeur, précipitations, pente, densité du réseau fluvial, etc.) et dont la validité régionale a été mise en évidence. Au contraire, elles sont une aide appréciable pour la détermination de la crue de projet dans les bassins sans données.

Les premières tentatives de calcul de la crue maximale possible ou de la plus grande crue probable faites en République fédérale d'Allemagne l'ont été pour des bassins de grandeur réduite. Ces essais s'appuient sur le concept américain de »Probable Maximum Flood (PMF)«. Cette valeur limite de débit peut être utilisée avantageusement comme limite supérieure de la variable aléatoire, lorsqu'on choisit par exemple une distribution bêta.

Les procédés d'analyse statistique des crues et des

3. DIE BERECHNUNG VON HOCH- UND NIEDRIGWASSERWAHRSCHEINLICHKEIT IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

3.1 Einführung

Die Charakterisierung von Hochwasser- und zunehmend auch von Niedrigwasserereignissen nach der Jährlichkeit oder der Wahrscheinlichkeit setzt sich immer mehr durch. Sei es bei der Einstufung einer aktuellen Hochwasserwelle oder einer Niedrigwasserperiode als n -jährliches Ereignis oder bei der Festlegung von Bemessungsgrößen für wasserbauliche Projekte. So ist beispielsweise vorgesehen, die Hochwasserretentionsmaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Mannheim auf ein Hochwasser mit einer mittleren Kehrzeit von $T_n = 200$ Jahren auszulegen.

In vielen Fällen reicht es nicht aus, ein Hochwasserereignis nur mit seinem Scheitelabfluß oder eine Niedrigwasserperiode mit ihrem Minimalabfluß als kennzeichnende Größe zu bezeichnen. Weitere Ganglinienparameter kommen hinzu, wie die Wellendauer, die Scheitelanstiegszeit, das Wellenvolumen (beim Hochwasserereignis) usw. Ihre gemeinsame Behandlung in mehrdimensionalen Wahrscheinlichkeitsanalysen hat sich in der Praxis noch nicht durchgesetzt, allenfalls werden Regressionsbeziehungen aufgestellt. In den meisten Fällen werden die kennzeichnenden Parameter jedoch statistisch getrennt behandelt oder es wird die für die jeweilige wasserwirtschaftliche Aufgabenstellung im Vordergrund stehende Größe für die Analyse ausgewählt.

Die früher so beliebten empirischen Formeln zur Berechnung des Maximalhochwassers (HHQ) sind glücklicherweise kaum noch in Anwendung. Sie gestatten keine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit. Gegen empirische Formeln neuerer Art, welche die Angabe eines n -jährlichen Hochwassers anhand von Einzugsgebietsparametern (Größe, Niederschlag, Gefälle, Gewässerdichte usw.) ermöglichen und deren Gültigkeit für eine Region nachgewiesen ist, bestehen keine Einwände. Sie sind vielmehr eine willkommene Hilfe für Bemessungsaufgaben an Gewässerstellen bzw. in Einzugsgebieten ohne Abflußbeobachtungen.

Für die Berechnung des maximal möglichen bzw. des vermutlichen größten Hochwassers gibt es in der Bundesrepublik Deutschland für nicht zu große Einzugsgebiete erste Ansätze, die von dem amerikanischen »Probable Maximum Flood (PMF)« – Konzept ausgehen. Dieser Abflußgrenzwert kann vorteilhaft als obere Begrenzung des Merkmalsbereichs von Verteilungsfunktionen angesetzt werden, wenn z.B. eine Beta-Verteilung gewählt wird.

Die in der Bundesrepublik Deutschland im Bereich

étiages en Allemagne, soit dans les services de l'administration fédérale des eaux et des voies navigables, soit dans les services de l'économie hydraulique des »Länder«, ou encore dans diverses institutions universitaires et autres, vont être commentés dans ce qui suit. Etant donné cependant que les modes opérationnels sont pour la plupart d'une grande variété, il ne saurait être question d'une énumération complète.

3.2 Probabilité de crues

3.2.1 Données

L'analyse statistique des phénomènes de crue se concentre généralement sur le débit de pointe; à côté de cela, des statistiques de volume d'onde au-dessus de débits seuil sont d'un usage courant pour les projets de mesures de rétention.

En général, les statistiques de crues sont effectuées pour des séries d'années c.à.d. que le plus gros débit de crue d'une année hydrologique (de novembre à octobre) est pris comme échantillon pour l'analyse. On utilise des séries partielles avec tous les débits dépassant un débit seuil lorsque la série d'observation est courte ou lorsqu'il est intéressant de considérer des débits de récurrence réduite.

Les données de mesure sont publiées dans les annuaires hydrologiques. Cependant, dans certains cas il est nécessaire de s'en remettre aux hydrogrammes originaux des stations (incertitude lors de gros débits, indépendance des événements etc.).

Pour les périodes extrapolées usuelles allant jusqu'à 100 ou même au-delà, il est nécessaire de pouvoir se référer à 30 années d'observation au moins. Afin d'obtenir des résultats plus sûrs on effectue, surtout lorsque les échantillons sont petits, des observations régionales (également le long d'un fleuve).

3.2.2 Analyse des données

Afin de pouvoir traiter les données selon la théorie des probabilités il faut que celles-ci soient statistiquement indépendantes et stationnaires. Cela signifie d'une part que des valeurs consécutives dans la série de temps sont indépendantes les unes des autres et d'autre part que les paramètres statistiques, dans des intervalles de temps quelconques, ne diffèrent pas de façon significative les uns des autres.

Parmi les procédés applicables se trouvent l'analyse par autocorrélation, l'analyse spectrale et l'analyse par régression. Les tests non paramétriques ont également fait leurs preuves dans la pratique.

L'examen de nombreuses séries chronologiques de

der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, der Wasserwirtschaftsverwaltung der Länder, in Universitätsinstituten und anderen Institutionen in Gebrauch befindlichen Verfahren der statistischen Hoch- und Niedrigwasseranalyse werden im folgenden erläutert. Da die Vorgehensweisen teilweise recht unterschiedlich sind, kann hier jedoch keine vollständige Darstellung erfolgen.

3.2 Hochwasserwahrscheinlichkeit

3.2.1 Datenmaterial

Die statistische Analyse von Hochwasserereignissen konzentriert sich im allgemeinen auf den Scheitelabfluß; daneben sind für die Planung von Rückhaltemaßnahmen auch Statistiken von Wellenvolumina über Schwellenwerten (Füllen) üblich.

Scheitelstatistiken werden meistens für Jahresserien durchgeführt, d.h. der jeweils größte Scheitelabfluß eines hydrologischen Jahres (November bis Oktober) wird als Stichprobenwert in die Untersuchung einbezogen. Partielle Serien mit allen Scheitelabflüssen oberhalb eines Schwellenwertes werden meistens dann verwandt, wenn entweder die Beobachtungsreihe kurz ist oder Abflüsse geringer Jährlichkeit von Interesse sind.

Die Meßdaten sind in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern veröffentlicht. In manchen Fällen ist es jedoch notwendig, auf die Original-Pegelaufzeichnungen zurückzugreifen (Unsicherheit bei hohen Abflüssen, Unabhängigkeit der Ereignisse usw.).

Für die üblichen Extrapolationsspannen bis zu 100 Jahren, gelegentlich auch darüber, ist es erforderlich, auf mindestens 30 Beobachtungsjahre zurückgreifen zu können. Zur Absicherung der Ergebnisse, besonders bei kleinem Stichprobenumfang, werden regionale Betrachtungen (auch entlang eines Gewässers) angestellt.

3.2.2 Datenanalyse

Voraussetzung für eine wahrscheinlichkeitstheoretische Behandlung von Daten ist deren statistische Unabhängigkeit und deren Stationarität. Das bedeutet zum einen, daß in der Zeitreihe aufeinanderfolgende Werte voneinander unbeeinflusst sind und zum anderen, daß die statistischen Parameter in beliebigen Zeitabschnitten innerhalb der Beobachtungsreihe nicht signifikant voneinander abweichen.

Einige der anwendbaren Verfahren sind die Autokorrelations-, die Spektral- und die Regressionsanalyse. Auch verteilungsfreie Tests haben sich in der Praxis bewährt.

Die Untersuchung zahlreicher Zeitreihen von

crues a montré que dans les séries d'observation des débits de crues il n'existe pas, dans la plupart des cas, de dépendances, de périodes ou de tendances pouvant être démontrées et expliquées. La construction des barrages a provoqué des augmentations importantes des ondes de crue du Rhin supérieur. Ainsi, dans l'état actuel des aménagements, les débits de pointe à la station de Maxau sont passés de 4450 m³/s en l'an 1955 à environ 5000 m³/s, ce qui correspond à une augmentation de près de 12%; lors de la plus grande crue observée (1882/83), d'après les calculs de la commission d'études des crues du Rhin, l'augmentation est de 20%. Avec des séries de données soumises à de telles tendances il y a lieu de procéder à une correction de tendances avant l'exploitation statistique.

Le traitement d'événements exceptionnels apparaissant dans des séries d'observation relativement courtes pose des problèmes particuliers.

3.2.3 Calcul de la probabilité de crues

Les nombreux procédés utilisés ne peuvent être tous traités ici de façon détaillée. On n'exposera ici que les caractéristiques fondamentales de la méthode ainsi qu'un procédé particulier.

Des analyses de probabilité se déroulent de la façon suivante:

- a. choix préalable de fonctions de distribution appropriées:
par exemple log-normal, Pearson III, log-Pearson III et loi de Gumbel.
- b. Estimation des paramètres:
par exemple par la méthode des moments et la méthode du maximum de vraisemblance, procédé graphique éventuellement.
- c. Tests d'ajustement et de rang:
par exemple test de Kolmogoroff-Smirnov et test de vraisemblance, comparaison visuelle des fréquences expérimentales (plotting positions) et des fonctions de distribution.
- d. Vérification du respect des conditions physiques limites:
par exemple les limites supérieures et inférieures de la variable aléatoire.
- e. Etablissement de débits maximums de crues de récurrence spécifiée, en tenant compte éventuellement de limites de confiance.

La recommandation concernant le calcul des probabilités de crues publiée par l'Association de l'Economie Hydraulique et de génie rural (DVWK) en 1976 et rééditée en 1979 revient à l'une des lois de distribution Pearson III, log-Pearson III et Gamma. Elle est basée sur l'analyse d'environ 150 séries de données d'Europe centrale et est prévue comme procédé de base pour

Hochwasserabflüssen hat gezeigt, daß in den meisten Fällen nachweisbare und erklärbare Abhängigkeiten, Perioden und auch Trends nicht vorhanden sind. Am Oberrhein sind im Zuge des Staustufenbaus beträchtliche Aufsteilungen der Hochwasserwellen zu verzeichnen. So haben sich beispielsweise die Scheitelabflüsse am Pegel Maxau von etwa 4450 im Jahre 1955 auf etwa 5000 m³/s im heutigen Ausbauzustand erhöht, d.h. um ca. 12%; beim bisher größten beobachteten Hochwasser (1882/83) beträgt die Zunahme nach den Berechnungen der Hochwasserstudienkommission für den Rhein ca. 20%. Bei derartig beeinflussten Datenreihen ist vor der statistischen Auswertung eine Trendbereinigung durchzuführen.

Die Behandlung von extremen Ereignissen innerhalb relativ kurzer Beobachtungsreihen wirft besondere Probleme auf.

3.2.3 Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit

Von den zahlreichen praktizierten Verfahren können hier nicht alle ausführlich behandelt werden. Es werden im folgenden die allgemeinen Grundzüge des Vorgehens sowie ein spezielles Verfahren dargestellt.

Umfassende Wahrscheinlichkeitsanalysen laufen in folgenden Stufen ab:

- a. Vorauswahl geeigneter Verteilungsfunktionen:
z.B. Log-Normal-, Pearson III-, Log-Pearson III-, Gumbelverteilung.
- b. Parameterschätzung:
z.B. nach Momenten- und Maximum-Likelihood-Methode, evtl. graphisches Verfahren.
- c. Anpassungs- und Rangtests:
z.B. Kolmogoroff-Smirnov-Test und Likelihood-Quotienten-Test, visueller Vergleich von Eintragungstellen (plotting positions) und Verteilungsfunktion.
- d. Überprüfen der Einhaltung physikalischer Randbedingungen:
z.B. obere und untere Begrenzung des Merkmalsbereiches.
- e. Festlegen von Hochwasserscheitelabflüssen bestimmter Jährlichkeit, evtl. unter zusätzlicher Berücksichtigung von Vertrauensbändern.

Die vom Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) im Jahre 1976 herausgegebene und im Jahre 1979 neu aufgelegte Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit läuft auf eine der Verteilungen Pearson III, Log-Pearson III und Gamma hinaus. Sie basiert auf einer Untersuchung von etwa 150 mitteleuropäischen Datenreihen und ist als

l'utilisation courante. On a tenu particulièrement à avoir un mode opératoire simple et objectif (nombre limité de paramètres, méthode des moments, facteurs de fréquence tabellisés, pas de méthode graphique). Le choix de l'une des distributions du système Pearson dépend de la grandeur du paramètre et du coefficient d'asymétrie et de la limite du domaine des caractéristiques (voir fig. 3.1). Un exemple des résultats du calcul des probabilités de crue fait selon la méthode de log-Pearson III est donné en annexe 4 pour les stations de Rheinfelden et de Kaub.

Basisverfahren für den normalen Gebrauch gedacht. Auf die einfache und objektive Handhabung (begrenzte Parameterzahl, Momentenmethode, tabellierte Häufigkeitsfaktoren, keine graphische Methode) wurde besonderer Wert gelegt. Die Entscheidung für eine der drei Verteilungen aus dem Pearson-System ist von der Größe der Parameter, Schiefe und Begrenzung des Merkmalsbereich abhängig (s. Abb. 3.1). Ein Beispiel der Resultate einer nach der Log-Pearson III Methode durchgeführten Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnung für die Meßstellen Rheinfelden und Kaub ist in Anlage 4 enthalten.

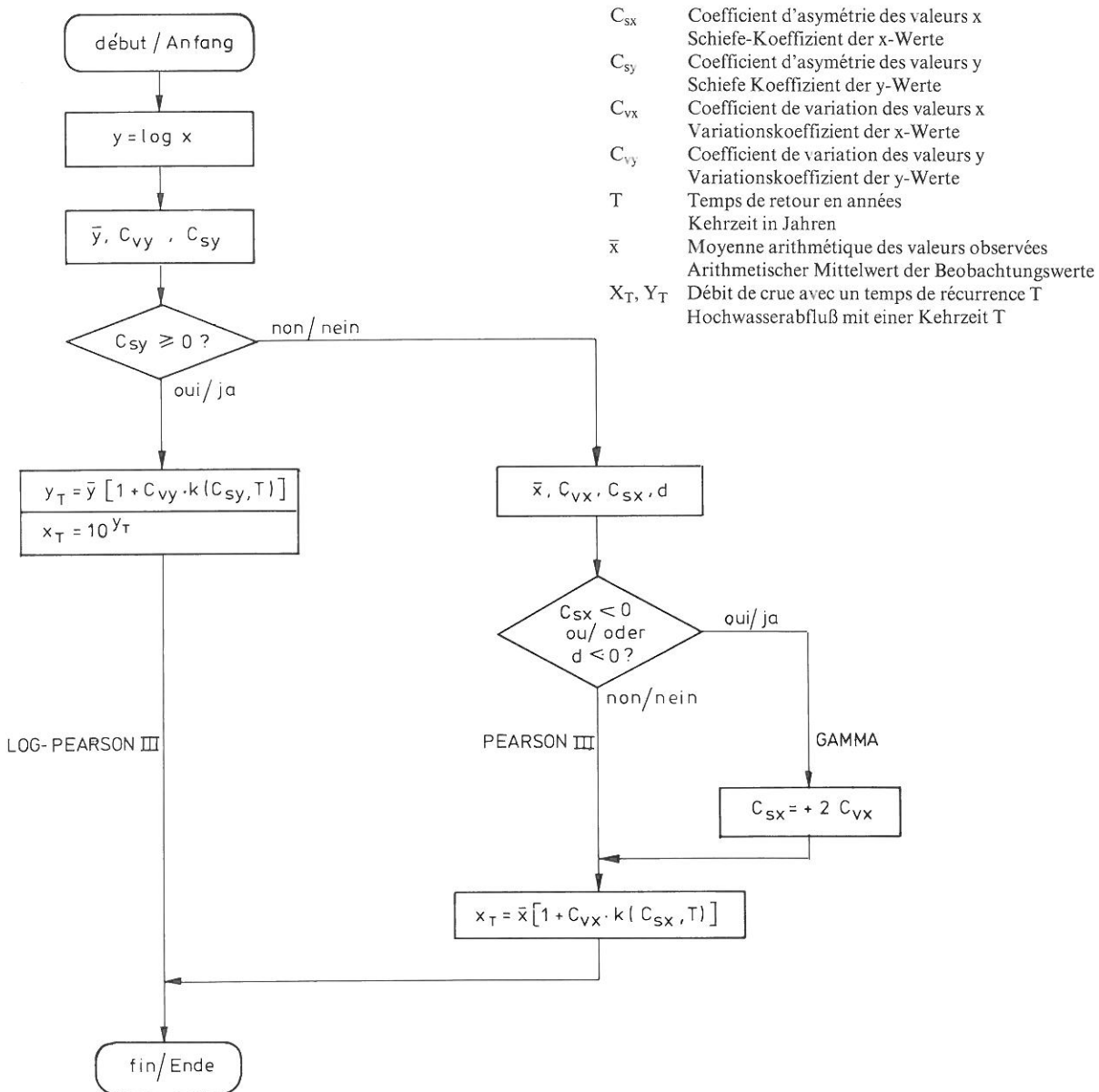


Fig. 3.1 Organigramme de la recommandation du DVWK

Abb. 3.1 Ablaufdiagramm der DVWK-Empfehlung

3.3 Probabilité d'étiages

Les cours d'eau devant faire face à une demande croissante sous forme de prélèvements (approvisionnement en eau, refroidissement, etc.), tout en étant soumis à une charge polluante renforcée d'eaux usées et de rejets thermiques, on s'occupe d'une façon plus active, ces dernières années, de la question des étiages. C'est l'analyse des étiages qui est à même d'offrir les bases de la planification d'aménagements hydrauliques, servant par exemple à améliorer la qualité de l'eau destinée à l'alimentation des agglomérations urbaines, et servant surtout aussi à soutenir les débits d'étiages au moyen de retenues et de dérivations.

3.3.1 Valeurs permettant de caractériser les étiages

Les caractéristiques les plus importantes du point de vue des applications en économie hydraulique sont:

- la valeur du débit d'étiage,
- la durée d'étiage et
- le volume du déficit,

toutes trois étant associées à une indication de fréquence ou de probabilité d'occurrence.

La valeur du débit d'étiage $NM \times Q$ est définie comme la plus petite des moyennes arithmétiques pouvant être obtenues à partir des x valeurs journalières consécutives, prises dans un intervalle de temps déterminé (par exemple 1 an).

La durée d'un débit d'étiage est le nombre total de jours ΣD pendant lesquels une valeur de débit seuil D_s n'a pas été atteinte, et ceci au cours d'un laps de temps déterminé (par exemple 1 an). On définit aussi la durée d'un étiage comme la plus longue période de non-dépassement $\max D$ d'une valeur de débit seuil Q_s , au cours du laps de temps donné.

On appelle déficit la quantité d'eau qu'il est nécessaire d'apporter pour maintenir le débit au dessus d'une valeur seuil, (ΣV en m^3/s), pendant tout le laps de temps choisi (généralement 1 an). Une autre définition fait du déficit la plus grande valeur négative $\max V$ en m^3 , de l'intégrale de l'hydrogramme $Q(t)$ par rapport à la valeur seuil Q_s , et ceci dans les limites de l'intervalle de temps fixé.

3.3.2 Sélection des données

Dans le domaine des étiages, la sélection des données est une opération qui demande passablement plus de temps que dans le cas de l'analyse des crues, aussi est-il recommandé de la programmer sur ordinateur.

Il est conseillé d'utiliser une division en années allant du 1er avril au 31 mars, de façon à éviter dans une

3.3 Niedrigwasserwahrscheinlichkeit

Vor allem die immer größeren Anforderungen an die Gewässer in quantitativer Hinsicht (Wasserversorgung, Kühlwasser usw.) und die verstärkte Belastung durch Abwasser und Abwärme haben bewirkt, daß man sich in neuerer Zeit intensiver mit Niedrigwasserzuständen befaßt. Die Niedrigwasseranalyse bietet die Planungsgrundlagen für wasserbauliche Maßnahmen z.B. in der Siedlungswasserwirtschaft zur Verbesserung der Wassergüte und vor allem auch für Maßnahmen zur Niedrigwasseraufhöhung durch Speicher und Überleitungen.

3.3.1 Niedrigwasser-Kenngrößen

Die wichtigsten Kenngrößen im Hinblick auf eine Anwendung in der Wasserwirtschaft sind:

- die Größe des Niedrigwasserabflusses,
- die Dauer eines Niedrigwasserereignisses und
- die Größe des Defizits,

alle in Verbindung mit einer Häufigkeits- oder Wahrscheinlichkeitsangabe.

Die Größe des Niedrigwasserabflusses wird präzisiert als das kleinste mittlere arithmetische Mittel $NM \times Q$ von x aufeinanderfolgenden Tageswerten des Abflusses innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes (z.B. 1 Jahr).

Die Dauer eines Niedrigwasserabflusses wird angegeben als Summe aller Unterschreitungstage ΣD eines Schwellenwertes Q_s innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes (z.B. 1 Jahr) oder als längste Unterschreitungsdauer $\max D$ eines Schwellenwertes Q_s innerhalb des Zeitabschnittes.

Als Abflußdefizit wird die Wassermenge bezeichnet, die als Zuschuß bereitgestellt werden muß, um den Abfluß während des ganzen Zeitabschnittes (z.B. 1 Jahr) oberhalb eines bestimmten Schwellenwertes zu halten (ΣV in m^3) oder aber als größte Fehlmenge $\max V$ in m^3 zwischen Schwellenwert Q_s und der Ganglinie $Q(t)$ innerhalb des Zeitabschnittes.

3.3.2 Datenauswahl

Die Auswahl der Daten gestaltet sich im Niedrigwasserbereich etwas aufwendiger als bei der Hochwasseranalyse; die Verwendung von Programmen ist ratsam.

Es empfiehlt sich, eine Jahreseinteilung 1. April bis 31. März zu wählen, weil dann das Hinziehen von Nie-

large mesure les périodes d'étiage tombant à cheval sur deux années consécutives.

3.3.3 Analyse des données

Dans les analyses effectuées jusqu'ici, sur les séries chronologiques de différentes stations du bassin du Rhin, on n'a pas pu établir partout l'indépendance des valeurs caractéristiques, telles que $NM \times Q$ par exemple, ce qui indique une capacité de stockage relativement grande des bassins versants.

Les résultats des analyses de tendance montrent, pour quelques-unes des valeurs caractéristiques d'étiage, un »trend« positif. Ceci s'explique physiquement par l'accroissement des déversements d'eaux usées provenant de stations d'épuration, qui précèdent en période d'étiage, rehaussent le débit naturel. Par contre, un effet contraire est produit par l'imperméabilisation de surfaces toujours plus importantes, avec la construction d'immeubles, de routes, etc.

Les tests effectués ont montré, dans l'ensemble, que les variables relatives aux étiages, tirées des séries d'observations, ne peuvent être purement et simplement soumises à une analyse fréquentielle. La tendance à la persistance n'étant que faible, et en raison de périodicités ne pouvant pas être expliquées physiquement, on ne parvient à supprimer en général qu'un »trend« évident au départ. La conséquence d'une telle suppression de la tendance est que la fonction d'autocorrélation et les périodicités ne se montrent plus que sous une forme très affaiblie.

Tout comme dans l'analyse des crues, on note une incertitude de mesure des données. Les causes principales en sont: profils de mesure inadaptés ou insuffisamment aménagés, manque de vérification des valeurs de débit, suivant le profil en long du cours d'eau, et à l'aide de plusieurs stations de mesure, perturbations momentanées du débit naturel due à l'exploitation des forces hydrauliques, dont on n'aurait pas tenu compte.

3.3.4 Estimation des probabilités d'étiages

L'Association allemande pour l'économie des eaux et de génie rural (DVWK) a fait paraître en 1983 une recommandation concernant l'analyse statistique des étiages, dans laquelle les différentes étapes de l'analyse fréquentielle de la caractéristique $NM \times Q$ sont ainsi définies:

a) Détermination des éléments de l'échantillon

On part de l'hydrogramme constitué par la série des débits moyens journaliers Q , s'étendant sur N années.

drigwasserereignissen über den »Jahreswechsel« hinaus weitgehend vermieden werden kann.

3.3.3 Datenanalyse

In den bisher durchgeführten Untersuchungen verschiedener Pegelreihen im Rheingebiet konnte die Unabhängigkeit der Werte (z.B. $NM \times Q$) nicht überall nachgewiesen werden. Das deutet auf ein relativ großes Speichervermögen der Einzugsgebiete hin.

Die Ergebnisse von Trenduntersuchungen zeigen bei einigen Niedrigwasser-Kenngrößen mehrerer Pegel einen positiven Trend. Das ist physikalisch erklärbar durch zunehmende Abwassereinleitungen aus Kläranlagen, die gerade bei Niedrigwasserverhältnissen den natürlichen Abfluß erhöhen. In entgegengesetzter Richtung wirkt die zunehmende Bodenversiegelung durch Bebauung, Straßenbau usw.

Die vorliegenden Testergebnisse haben insgesamt gezeigt, daß die aus den Beobachtungsreihen gewonnenen Niedrigwasservariablen nicht ohne Vorbehalt einer Wahrscheinlichkeitsanalyse unterzogen werden dürfen. Wegen der nur schwachen Erhaltungstendenz und der physikalisch nicht erklärbaren Periodizitäten wird im allgemeinen nur ein etwa vorhandener Trend beseitigt. Eine solche Trendbereinigung hat dann auch zur Folge, daß sich Autokorrelation und Periodizitäten nur noch in stark abgeschwächter Form zeigen.

Wie auch im Hochwasserbereich ist eine Unsicherheit im Datenbereich zu verzeichnen. Die wichtigsten Ursachen sind: ungeeignete oder ungeeignet ausgebaute Meßquerschnitte, fehlende flußlängsschnittbezogene Überprüfung der Abflußwerte mehrerer Pegelstellen und die Nichtbeachtung kurzzeitiger nutzungsbedingter Störungen des natürlichen Abflusses.

3.3.4 Ermittlung der Niedrigwasserwahrscheinlichkeit

Im Jahre 1983 wurde vom Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) eine Empfehlung zur statistischen Untersuchung von Niedrigwasserabflüssen herausgegeben. Darin sind folgende Rechenschritte für die Wahrscheinlichkeitsanalyse der Kenngröße $NM \times Q$ angegeben:

a) Berechnung der Stichprobenelemente

Es wird von der in mittleren Tageswerten Q vorliegenden Abflußganglinie über N Jahre ausgegangen.

Après avoir défini le découpage dans le temps (par exemple en années) et la durée x de l'étiage, on calcule la moyenne mobile, atteinte au cours du laps de temps choisi (1 an), constitue alors un élément de l'échantillon de la caractéristique d'étiage $NMxQ$. Il est à noter que des éléments consécutifs de cet échantillon ne doivent pas provenir d'un même étiage.

En vue de l'utilisation des fonctions de répartition recommandées, il est nécessaire encore de disposer des éléments $NMxQ_i$ sous forme logarithmique, si bien que l'échantillon est désormais constitué des éléments $x = \ln NMxQ$.

b) Représentation graphique

Il est recommandé d'utiliser les deux représentations graphiques suivantes:

- Report des éléments de l'échantillon $NMxQ_i$ sous forme de série chronologique, pour toute la période couverte par les observations.
- Report des éléments $x = \ln NMxQ$ sur papier de probabilité gaussien.

Dans ce second graphique, l'abscisse ou »plotting position« est la fréquence expérimentale, pour le calcul de laquelle on recommande la formule $P(x) = \frac{5m - 2}{5n + 1}$ où n est le nombre total de ces éléments, dans l'ordre croissant, numérotés du plus petit ($m = 1$), au plus grand ($m = n$).

Le graphique de la série chronologique donnera une indication sur la présence éventuelle de valeurs aberrantes, dans l'échantillon, qu'il conviendra de ré-examiner; le même graphique peut faire apparaître une tendance.

La représentation graphique sur papier probabiliste rend possible une première évaluation des débits d'étiage correspondant à une probabilité particulière, avec cependant une marge d'appréciation subjective, contrairement à ce que donne l'analyse par ajustement numérique.

c) Test pour déceler la présence d'une tendance

L'analyse fréquentielle part de l'hypothèse que les données de l'échantillon sont homogènes. Il est très fréquent qu'une hétérogénéité soit révélée par la tendance. Cette dernière peut avoir sa cause dans un accroissement des dérivations, apports ou prélèvements. L'analyse de la tendance se fait au moyen d'une régression linéaire, montrant si les éléments de l'échantillon dépendent significativement du temps.

Nach Festlegung des Zeitabschnittes (z.B. 1 Jahr) und der Dauer x werden fortlaufend die um einen Tag verschobenen Abflußsummen über x Tage ermittelt. Die durch x dividierte kleinste Abflußsumme eines jeden Zeitabschnittes (1 Jahr) bildet ein Stichprobenelement der Niedrigwasser-Kenngröße $NMxQ$. Benachbarte Elemente dürfen nicht der gleichen Niedrigwasser-Periode entstammen.

Für die Anwendung der empfohlenen Verteilungsfunktionen werden die so gefundenen Stichprobenelemente $NMxQ_i$ in logarithmierter Form benötigt, so daß die Stichprobe nunmehr aus den Elementen $x = \ln NMxQ$ besteht.

b) Graphische Darstellungen

Zwei graphische Darstellungen werden empfohlen:

- Auftragen der Stichprobenelemente $NMxQ_i$ als Zeitreihe über der Beobachtungsdauer.
- Auftragen der Stichprobenelemente $x = \ln NMxQ$ in ein Wahrscheinlichkeitspapier nach Gauss.

Als Plotting-Position-Formel wird $P(x) = \frac{5m - 2}{5n + 1}$ empfohlen, wobei m die Rangzahl der steigend angeordneten Stichprobenelemente und n deren Anzahl ist, d.h. das kleinste Element erhält die Rangzahl $m = 1$, das größte Element die Rangzahl $m = n$.

Die aufgetragene Zeitreihe gibt Aufschluß über »Ausreißer« in der Stichprobe, deren nochmalige Prüfung anzuraten ist und weist auf einen eventuellen Trend hin.

Die Darstellung im Wahrscheinlichkeitspapier ermöglicht eine erste Abschätzung von Niedrigwasserabflüssen bestimmter Häufigkeit, jedoch im Gegensatz zu den Ergebnissen nach rechnerischer Anpassung mit einem subjektiven Entscheidungsspielraum.

c) Prüfung der Stichprobe auf linearen Trend

Bei der statistischen Analyse wird davon ausgegangen, daß die Daten der Stichprobe homogen sind. Besonders häufig wird eine Inhomogenität durch den Trend hervorgerufen. Dieser könnte z.B. durch zunehmende Einleitung oder Entnahme verursacht sein. Durch die Trendanalyse wird mittels linearer Regression überprüft, ob eine signifikante zeitliche Abhängigkeit der Stichprobenelemente vorliegt.

A l'aide de test du Student on vérifie que le paramètre de la régression indiquant la variation moyenne de débit par année s'écarte significativement de zéro. Pour ce test, on utilise les éléments de l'échantillon sous leur forme non-logarithmique. Au cas où une tendance est mise en évidence, elle doit être éliminée.

d) Choix des fonctions de répartition

Des études détaillées, faites avec 9 fonctions de répartition ont montré que trois d'entre elles s'ajustent également bien aux éléments de l'échantillon

$x = \ln NMxQ$. Ce sont:

- Distribution normale
- Loi de Pearson type III
- Loi des valeurs extrêmes du type III (Weibull)

Appliquées aux éléments originaux $NMxQ$, ces fonctions sont désignées comme log-normale, Pearson III et extrêmes logarithmiques type III.

Bien que ces trois fonctions soient également bien adaptées, les extrapolations qu'elles permettent d'obtenir peuvent diverger sensiblement. Il est donc recommandé d'effectuer les prédictions d'étiages extrêmes au moyen des trois fonctions.

e) Calcul des paramètres de l'échantillon

Pour l'utilisation des trois distributions, il faut calculer, à partir des éléments $x = \ln NMxQ$ de l'échantillon, les paramètres suivants:

- Moyenne arithmétique \bar{x}
- Ecart-type s
- Coefficient d'asymétrie C_s

Le calcul de ces paramètres se fait selon la méthode des moments, sans tenir compte de la forme de la distribution. Les méthodes d'estimation des paramètres, dépendantes de la distribution (comme par exemple la méthode de maximum de vraisemblance ou celle de l'entropie), demandent des temps de calcul beaucoup plus grands.

f) Détermination du temps de retour

Le choix du temps de retour dépend non seulement de la série d'observations disponibles mais aussi également des tâches imposées dans le domaine de l'économie des eaux. Dans la mesure du possible, le temps de retour ne devrait pas dépasser le double de la longueur de la série d'observations.

g) Estimation du débit correspondant à une période de retour fixé

L'estimation de valeurs x pour une période de retour $T = 1/P(x)$ se fait pour chacune des 3 distributions au moyen de la formule $x(T) = \bar{x} + s \cdot k$.

Les facteurs de fréquence normés k sont donnés

Mit Hilfe des Student-Tests wird geprüft, ob der Regressionskoeffizient, der die durchschnittliche Abflußänderung pro Jahr angibt, signifikant von Null abweicht. Für diesen Test werden die Stichprobenelemente in der nicht logarithmierten Form benötigt. Falls ein Trend vorliegt, muß er bereinigt werden.

d) Auswahl der Verteilungsfunktionen

Ausführliche Untersuchungen mit 9 Verteilungsfunktionen haben gezeigt, daß drei Verteilungsfunktionen zur Anpassung an die Stichprobenelemente

$x = \ln NMxQ$ gleich gut geeignet sind:

- Normalverteilung
- Pearson III-Verteilung
- Extremal III-Verteilung (Weibullverteilung)

Angewendet auf die ursprünglichen Elemente $NMxQ$ werden die Funktionen als Log-Normal-, Pearson III- und Extremal III-Verteilung bezeichnet.

Trotz der gleich guten Eignung der drei Verteilungsfunktionen können die mit ihnen extrapolierten Werte deutliche Unterschiede aufweisen. Es wird daher empfohlen, eine Extremwertprognose mit allen drei Funktionen durchzuführen.

e) Berechnung der Stichprobenparameter

Für die Anwendung der drei Verteilungsfunktionen sind mit den Elementen $x = \ln NMxQ$ folgende statistische Parameter aus der Stichprobe zu berechnen:

- Arithmetisches Mittel \bar{x}
- Standardabweichung s
- Schiefekoeffizient C_s

Die Berechnung der statistischen Parameter erfolgt nach der verteilungsunabhängigen Momentenmethode. Verteilungsabhängige Schätzverfahren für die Parameter (z.B. Maximum-Likelihood-Methode, Entropie-Methode) erfordern einen wesentlich höheren Rechenaufwand.

f) Festlegung der Kehrzeit

Die Wahl der Kehrzeit hängt außer von der verfügbaren Beobachtungsreihe auch von der wasserwirtschaftlichen Aufgabe ab. Die doppelte Beobachtungsdauer sollte möglichst nicht überschritten werden.

g) Berechnung der Abflüsse für vorgegebene Kehrzeit

Die Berechnung von Werten x mit einer Kehrzeit $T = 1/P(x)$ erfolgt für die einzelnen Verteilungsfunktionen aus $x(T) = \bar{x} + s \cdot k$.

Die normierten Häufigkeitsfaktoren k für ausge-

dans la recommandation du DVWK, pour des temps de retour choisis, dans le cas de la distribution normale ($C_s = 0$) et de la loi de Pearson du type III, dans le domaine $-2,0 \leq C_s \leq 2,0$.

Les débits d'étiage cherchés $NMxQ(T)$ sont obtenus de la relation $NMxQ(T) = \exp[x(T)]$.

h) Test d'adéquation

Avec les distributions recommandées, il est superflu dans la règle d'avoir encore recours à un test d'adéquation. Cependant, si les valeurs calculées $NMxQ(T)$ présentent une forte dispersion, une limitation de l'étendue des valeurs peut être obtenue à l'aide d'un test d'adéquation. On recommande alors le test de Kolmogoroff-Smirnov.

i) Détermination des débits d'étiage de référence

On ne peut pas donner de préférence à l'une ou l'autre des trois distributions retenues, en ce qui concerne leur plus ou moins bonne adaptation. Les débits d'étiage $NMxQ(T)$ obtenus avec leur aide sont aussi vraisemblables les uns que les autres. Même leur moyenne arithmétique ne peut être considérée comme plus probable. En lieu et place d'une valeur chiffrée unique $NMxQ(T)$, on considérera plutôt un domaine qui a une chance de contenir la vraie valeur.

La recommandation du DVWK propose donc d'étudier les influences que peut avoir ce domaine de l'échelle des valeurs sur les mesures de planification considérées, et ensuite, après évaluation des divers coûts et risques, de fixer un débit d'étiage de référence.

On ne dispose pas encore des recommandations relatives aux »durées d'étiage« et au »déficit de débit«. Des recherches à cet effet sont conduites par le DVWK.

wählte Kehrzeiten sind der DVWK-Empfehlung für die Normalverteilung ($C_s = 0$) und für die Pearson III-Verteilung im Bereich $-2,0 \leq C_s \leq 2,0$ beigefügt.

Die gesuchten Niedrigwasserabflüsse $NMxQ(T)$ werden berechnet aus $NMxQ(T) = \exp[x(T)]$.

h) Anpassungstest

Bei den empfohlenen Verteilungsfunktionen erübrigt sich in der Regel ein Anpassungstest. Liegen die berechneten $NMxQ(T)$ -Werte jedoch weit auseinander, so kann eine Eingrenzung des Wertebereichs mit Hilfe eines Anpassungstests erreicht werden, wobei der Kolmogoroff-Smirnov-Test empfohlen wird.

i) Festlegung des maßgebenden Niedrigwasserabflusses

Für die drei Verteilungsfunktionen besteht keine Rangfolge bezüglich ihrer Eignung. Die aus ihnen berechneten Niedrigwasserabflüsse $NMxQ(T)$ sind gleich wahrscheinlich. Auch das arithmetische Mittel dieser Werte verdient keine Bevorzugung. An die Stelle eines festen Zahlenwertes $NMxQ(T)$ tritt damit ein Wertebereich, der den wahren Wert einschließen kann.

Die DVWK-Empfehlung schlägt deshalb vor, die Auswirkungen des Wertebereichs auf die jeweilige Planungsmaßnahme zu untersuchen und dann nach Abschätzung der unterschiedlichen Kosten und Risiken einen maßgebenden Niedrigwasserabfluß festzusetzen.

Entsprechende Empfehlungen zu den Niedrigwasserkenngrößen »Niedrigwasserdauer« und »Abflußdefizit« liegen noch nicht vor. Untersuchungen dazu werden vom DVWK durchgeführt.

4. ESTIMATION DES PROBABILITÉS DE CRUES ET D'ÉTIAGES EN FRANCE

4.1 Valeurs caractéristiques des crues et des étiages

Les services français utilisent couramment les variables suivantes:

- le débit minimal de l'année (étiage absolu);
- le débit moyen mensuel minimal, correspondant au minimum, relevé chaque année, des débits moyens mensuels (QMNA).
- le débit moyen minimal de 30 jours consécutifs d'une année (VC 30);
- les différents débits dits »caractéristiques« qui sont atteints, ou ne sont pas atteints, n jours ou n mois par an. Ce sont:
 - * DC1, DC3, DC6, DC9: débits caractéristiques égaux ou dépassés 1, 3, 6, 9 mois par an;
 - * DCC: débit caractéristique de crue, égalé ou dépassé 10 jours par an;
 - * DCE: débit caractéristique d'étiage, égalé ou non dépassé 10 jours par an; ou bien
 - * DC10J, DC20J ... DCnJ: débit égalé ou non dépassé 10 jours, 20 jours, n jours par an. Dans le décompte des jours des débits caractéristiques, ceux-ci peuvent être consécutifs ou non.
- le débit seuil (QC). Il correspond pour une année donnée aux maximums des valeurs atteintes ou dépassées pendant n jours consécutifs.
- les débits instantanés et journaliers maximums. Il s'agit de valeurs chronologiques indépendantes mensuelles ou annuelles et de valeurs obtenues par application de méthodes sélectionnant des crues indépendantes au-dessus d'un débit seuil (QC).

4.2 Echantillonnage

Il est recommandé lors des études statistiques d'utiliser des échantillons comportant au moins 20 à 30 événements. Par ailleurs, il est admis que le temps de récurrence d'un événement minimal ou maximal d'une série chronologique observée peut être valablement estimé par le double de la durée de la série. En fait, le choix dépend également de la dispersion de l'échantillonnage propre à la forme et à la nature de la distribution de l'échantillon considéré. Le découpage saisonnier des échantillons est couramment pratiqué lors de l'étude des phénomènes extrêmes. Dans ce cas, les échantillons sont regroupés en saisons de façon à obtenir des classes de mois homogènes du point de vue hydrologique. Le nombre des saisons varie en pratique de 2 à 4. Il est recommandé de prendre un nombre de saisons assez faible en regroupant le plus possible les mois. Il semble difficile d'obtenir la séparation en saisons en se basant sur un test statistique. Dans l'est de la France

4. BERECHNUNG DER HOCH- UND NIEDRIGWASSERWAHRSCHEINLICHKEIT IN FRANKREICH

4.1 Hoch- und Niedrigwasserkenngrößen

Von französischen Dienststellen werden folgende Variablen benutzt:

- der kleinste Abfluß pro Jahr (absolut niedrigster Wert);
- der kleinste mittlere Monatsabfluß eines Jahres (QMNA);
- der kleinste mittlere Abfluß an 30 aufeinanderfolgenden Tagen eines Jahres (VC30);
- die verschiedenen sog. charakteristischen Abflüsse, die an n Tagen oder n Monaten pro Jahr erreicht oder über- bzw. unterschritten werden. Dies sind:
 - * DC1, DC3, DC6, DC9: charakteristische Abflüsse mit einer Überschreitungsdauer von 1, 3, 6, 9 Monaten pro Jahr;
 - * DCC: charakteristischer Hochwasserabfluß, erreicht oder überschritten an 10 Tagen pro Jahr;
 - * DCE: charakteristischer Niedrigwasserabfluß, erreicht oder unterschritten an 10 Tagen pro Jahr;
 - * DC10J, DC20J, DCnJ: Abfluß, der an 10, 20 oder n Tagen pro Jahr erreicht oder unterschritten wurde. Dabei ist es unerheblich, ob diese einzelnen Zeiträume zusammenhängen oder nicht.
- »Hochwasserswellenwert« (QC). Er entspricht dem größten an n aufeinanderfolgenden Tagen erreichten oder überschrittenen Abfluß eines Jahres;
- die maximalen momentanen- und täglichen Abflüsse. Es handelt sich um voneinander unabhängige Höchstwerte eines Monats oder eines Jahres sowie um Scheitelwerte über einem vorgegebenen Hochwasserswellenwert (QC).

4.2 Stichprobenauswahl

Es wird empfohlen, für die statistischen Studien Stichproben zu benutzen, die wenigstens 20 bis 30 Werte enthalten. Im übrigen ist es zulässig, aus einer Reihe von n Jahren auf Abflüsse mit einer Jährlichkeit von 2n zu schließen. Die Länge der möglichen Extrapolation wird auch von der Stichprobenstreuung sowie von der Form und Beschaffenheit der untersuchten Stichprobe beeinflusst. Bei hydrologischen Extremwertanalysen empfiehlt sich oft eine jahreszeitliche Unterteilung. Dabei werden hydrologisch homogene Monate in »Jahreszeiten« zusammengefaßt. In der Praxis wird ein Jahr in 2 bis 4 Jahreszeiten unterteilt. Es wird empfohlen, eine ziemlich geringe Anzahl von Jahreszeiten mit möglichst vielen Monaten zu benutzen. Es ist schwierig, eine Unterteilung in Jahreszeiten auf der Basis von statistischen Tests zu erhalten. In Ostfrankreich benutzt man folgende Einteilung:

Kalte Jahreszeit von November bis April

on utilise le découpage suivant:
saison froide de novembre à avril
saison chaude de mai à octobre

Warme Jahreszeit von Mai bis Oktober

4.3. Lois de distribution

4.3 Verteilungsgesetze

4.3.1 Choix des lois de distribution

4.3.1 Auswahl der Verteilungsgesetze

Ce sont des lois de formulation mathématique connue permettant d'estimer la fréquence au dépassement (ou au non-dépassement), le temps de récurrence d'une valeur de cette variable pour un temps de récurrence fixé. Le nombre de ces lois est illimité, mais on n'utilise guère que celles pour lesquelles il n'est pas trop difficile d'estimer d'après l'échantillon disponible les valeurs des paramètres entrant dans les formulations mathématiques. Les lois de distribution mentionnées ci-dessus sont caractérisées par les grandeurs statistiques suivantes:

- valeur moyenne
- variance
- coefficient d'asymétrie.

Ces grandeurs sont obtenues à partir de l'échantillon.

Als Verteilungsgesetze werden mathematische Funktionen bezeichnet, welche es erlauben, die Über- oder Unterschreitungshäufigkeit oder das Wiederkehrintervall eines gegebenen Wertes der hydrologischen Variable oder den Wert selbst zu schätzen. Die Anzahl dieser Gesetze ist unbegrenzt. Es werden aber nur diejenigen verwendet, mit denen es sinnvoll gelingt, aus der verfügbaren Stichprobe die Parameterwerte des Verteilungsgesetzes zu schätzen. Die im folgenden genannten Verteilungsgesetze werden durch die statistischen Größen

- Mittelwert
- Varianz
- Schiefe

gekennzeichnet. Diese Größen werden aus der Stichprobe ermittelt.

En hydrologie, les lois de distribution suivantes sont les plus souvent utilisées:

- loi normale ou de Gauss (valeur moyenne, variance)
- loi log-normale ou de Galton (valeur moyenne, variance, coefficient d'asymétrie)
- loi de Pearson III ou Gamma incomplète (valeur moyenne, variance, coefficient d'asymétrie)
- loi log-Gamma (valeur moyenne, variance, coefficient d'asymétrie)
- loi de Goodrich ou exponentielle généralisée (valeur moyenne, variance, coefficient d'asymétrie)
- loi de Gumbel (valeur moyenne, variance).

In der Hydrologie sind folgende Verteilungsgesetze gebräuchlich:

- Normal- oder Gaussverteilung (Mittelwert, Varianz)
- Log-Normalverteilung oder Galtonverteilung (Mittelwert, Varianz, Schiefe)
- Pearson III-Verteilung (Mittelwert, Varianz, Schiefe)
- Log-Gammaverteilung (Mittelwert, Varianz, Schiefe)
- Goodrichverteilung (Mittelwert, Varianz, Schiefe)
- Gumbelverteilung (Mittelwert, Varianz).

Le choix de la loi de distribution est fonction de la variable hydrologique ainsi que des caractéristiques physiques et climatiques des bassins versants. En général, on peut associer:

aux valeurs annuelles: les distributions a, c, e
aux valeurs mensuelles: les distributions b, c, e
aux valeurs instantanées minimales ou maximales: les distributions b, c, f

Die Wahl des Verteilungsgesetzes hängt von der hydrologischen Variablen sowie den physischen und klimatologischen Charakteristika des Einzugsgebietes ab. Bewährt hat sich folgende Zuordnung:

jährliche Werte: Verteilungen a, c, e
monatliche Werte: Verteilungen, b, c, e
momentane Minimal- oder Maximalwerte: Verteilungen b, c, f

La distribution d, très utilisée aux USA pour les valeurs instantanées maximales, est parfois aussi employée en France.

Die Verteilung d, die in den USA für die momentanen Maximalwerte gebräuchlich ist, wird gelegentlich auch in Frankreich angewendet.

4.3.2 Estimation des paramètres

4.3.2 Parameterschätzung

La recherche des valeurs des paramètres permettant d'adapter la formulation mathématique choisie aux valeurs de l'échantillon peut se faire:

- soit par méthode graphique, pour les distributions a,

Die Bestimmung der Parameterwerte, die es gestatten, das betreffende Gesetz auf die Stichprobe anzuwenden, kann wie folgt geschehen:

- entweder graphisch bei den Gesetzen a, b, f unter Ver-

- b, f, par utilisation de papiers graphiques (spéciaux pour chacune de ces distributions). Les points reportés sur ces graphiques présentent un alignement si l'échantillon étudié suit la loi testée;
- soit par méthode mathématique, dont la meilleure est celle du maximum de vraisemblance, plus efficace que la méthode des moments.

La vérification de l'adéquation des distributions choisies (avec des valeurs calculées des paramètres) à l'échantillon dont on dispose, peut se faire par le test classique du χ^2 (qui toutefois est inopérant dans sa réponse à l'adéquation des extrémités des distributions théoriques et expérimentales), ou par d'autres tests tel que le test de Brunet-Moret proposé dans le cahier ORSTOM, [série Hydrologie, vol. xv, n° 3, 1978] qui donne plus de poids aux valeurs extrêmes qu'aux valeurs centrales. Souvent la vérification visuelle est utilisée.

4.3.3 Temps de récurrence

Le choix des temps de récurrence utilisés dépend surtout des diverses contraintes économiques liées aux aménagements des eaux de surface. Les temps de récurrence choisis permettent de calculer les variables hydrologiques par application de la loi de distribution utilisée. On trouvera ci-dessous un résumé des temps de récurrence usuels:

- débits moyens mensuels ou annuels 2 ans (médian), 5 ans, 10 ans, 20 ans et 100 ans
- débits d'étiage 2 ans (médian), 5 ans, 10 ans, 20 ans
- débits de crue: le temps de récurrence dépend du type d'ouvrage proposé. Les temps de récurrence suivants sont les plus utilisés: 10 ans, 50 ans, 100 ans, 1000 ans et même 10000 ans pour le dimensionnement des déversoirs de crues de grands ouvrages. Notons que pour un débit de crue centenaire ou millénaire, calculé par ajustement d'une loi sur un échantillon relativement très petit, l'intervalle de confiance est très grand et qu'il vaudrait mieux parler de »crue exceptionnelle« sans temps de récurrence bien défini.

4.4 Conclusion

Lors de l'estimation de très grandes récurrences, il faut disposer de longues séries de variables hydrologiques afin de mettre correctement en oeuvre les lois de distribution choisies. Comme la plupart des observations effectuées en France sont assez récentes, il est nécessaire d'extrapoler, dans certains cas, les séries observées. Ceci nécessite l'élaboration de modèles hydrologiques faisant intervenir les précipitations, dont les séries d'observations disponibles sont généralement plus longues. L'estimation des valeurs extrêmes des débits peut nécessiter, par ailleurs, des informations supplémentaires sur l'état de saturation des sols (méthode du gradex).

wendung von graphischem Papier (je Gesetz ein besonderes Papier). Die auf diese Diagramme übertragenen Punkte stellen eine Gerade dar, wenn die Stichprobe dem betreffenden Gesetz folgt;

- oder mathematisch, am besten nach der Maximum-Likelihood-Methode, die wirkungsvoller als die Momentenmethode ist.

Die Überprüfung der Genauigkeit der ausgewählten Gesetze (mit den aus den Parametern errechneten Werten) kann durch den klassischen χ^2 -Test erfolgen (jedoch für Extremwerte ungeeignet) oder durch den Test von Brunet-Moret, der in einem Heft von ORSTOM vorgeschlagen wurde [Reihe Hydrologie, Bd. xv, No. 3 von 1978]; er verleiht den Extremwerten mehr Gewicht als den mittleren Werten. Oftmals erfolgt eine visuelle Überprüfung.

4.3.3 Kehrzeiten

Die Wahl der Kehrzeiten hängt vor allem von der wasserwirtschaftlichen Aufgabenstellung ab. Für vorgegebene Kehrzeiten kann man die hydrologischen Bemessungsgrößen durch Anwendung des ausgewählten Verteilungsgesetzes bestimmen. Gebräuchliche Kehrzeiten sind:

- mittlere monatliche oder jährliche Abflüsse: 2 Jahre, 5 Jahre, 10 Jahre, 20 Jahre und 100 Jahre
- Niedrigwasserabflüsse: 2 Jahre, 5 Jahre, 10 Jahre, 20 Jahre
- Hochwasserabflüsse: die Kehrzeit hängt von der Art der geplanten Baumaßnahme ab. Gebräuchliche Kehrzeiten sind: 10 Jahre, 50 Jahre, 100 Jahre, 1000 Jahre und sogar 10000 Jahre für die Dimensionierung der Hochwasserüberläufe großer Bauwerke. Wir möchten anmerken, daß der Vertrauensbereich für ein hundert- oder tausendjähriges Hochwasser sehr groß ist, wenn er aus einer kleinen Stichprobe ermittelt wurde. Hier wäre es besser, von einem »außergewöhnlichen Hochwasser« ohne genau definierte Kehrzeit zu sprechen.

4.4 Schlußbemerkung

Bei sehr großen Intervallen muß man über lange hydrologische Zeitreihen verfügen, um die ausgesuchten Verteilungsgesetze korrekt zur Anwendung zu bringen. Da in Frankreich die meisten hydrologischen Zeitreihen recht kurz sind, ist es in bestimmten Fällen nötig, die beobachteten Reihen zu erweitern. Dies macht die Einbeziehung von Niederschlägen in die hydrologischen Modelle notwendig, da deren Beobachtungsreihen im allgemeinen länger sind. Zur Berechnung der Abflußextremwerte bedarf es dabei zusätzlicher Informationen über den Sättigungsgrad des Bodens (Gradexmethode).

5. ESTIMATION DES PROBABILITÉS DE CRUES ET D'ÉTIAGES AU LUXEMBOURG

5.1 Introduction

Les cours d'eau du Grand-Duché de Luxembourg, en ce qui concerne leur quantité, rentrent dans la compétence de trois ministères différents. Il y a premièrement le service de la navigation (ministère des transports) qui s'occupe de la Moselle, le seul cours d'eau navigable du Luxembourg. Un autre service, la division des eaux de l'administration des ponts et chaussées (ministère des travaux publics) a sous sa compétence les cours d'eau navigables et flottables, ainsi que les aménagements hydroélectriques. Le troisième est le service de la météorologie et de l'hydrologie de l'administration des services techniques de l'agriculture (ministère de l'agriculture et de la viticulture). Il a sous sa compétence les cours d'eau du pays qui ne sont ni navigables, ni flottables.

5.2 Probabilité de crues

Le service de la navigation fait des prévisions de crues de la Moselle de façon empirique. Après collecte des cotes des limnimètres en amont, il détermine les cotes probables pour la partie de la Moselle longeant le Luxembourg.

La division des eaux calcule les débits maxima plus une marge de sureté selon des cotes connues ou sinon selon différentes formules pour leur besoin de la construction d'ouvrages.

Le service de la météorologie et de l'hydrologie entretient une vingtaine de stations de mesure dont la principale tâche est de collectionner les cotes et d'établir des courbes de débit. Il ne dispose que depuis quelques années de moyens de mesures à travailler lors de hautes eaux (2 télépheriques plus une cyclopotence). Des débits correspondant à une probabilité particulière (surtout les hautes eaux) sont principalement demandées pour la construction d'ouvrages mais spécialement pour des surfaces tributaires de petite étendue. On se base si possible sur des données de cours d'eau comparables, sinon il faut les déterminer par des méthodes de calcul.

Pour le calcul deux méthodes sont principalement employées.

Pour la première, il s'agit de prévisions pour des régions à forte concentration de terrains consolidés, on emploie la méthode de calcul »selon Pecher« [LAUTRICH, 1978]. On détermine une pluie de référence qui dépend

5. BERECHNUNG DER HOCH- UND NIEDRIGWASSERWAHRSCHEINLICHKEIT IN LUXEMBURG

5.1 Einleitung

Die Wasserläufe des Großherzogtums Luxemburg fallen in den Amtsbereich von drei verschiedenen Ministerien, was ihre Wassermengen anbelangt. Zum einen gibt es den Navigationsdienst (Transportministerium), der sich mit der Mosel, dem einzigen schiffbaren Wasserlauf Luxemburgs, befaßt. Eine weitere Dienststelle, die Wasserabteilung der Bautenverwaltung (Ministerium für öffentliche Bauten) hat in ihrem Amtsbereich alle schiffbaren und flößbaren Gewässer sowie alle hydroelektrischen Bauwerke. Die dritte Dienststelle ist der meteorologische und hydrologische Dienst der Verwaltung der technischen Dienststellen für Landwirtschaft (Ministerium für Ackerbau und Weinbau). Er hat unter seinem Amtsbereich alle Wasserläufe des Landes die weder schiffbar noch flößbar sind.

5.2 Hochwasserwahrscheinlichkeit

Der Navigationsdienst macht Hochwasservorhersagen für die Mosel auf empirische Art. Nachdem er die Pegelstände stromaufwärts eingeholt hat, bestimmt er die wahrscheinlichen Pegelstände für den Abschnitt der Mosel, der Luxemburg berührt.

Für verschiedene Arbeiten an den Wasserläufen errechnet die Wasserabteilung die höchsten Wassermengen, zu welchen ein Sicherheitsfaktor hinzugerechnet wird, mit Hilfe von bekannten Pegelständen oder durch verschiedene mathematische Formeln.

Der meteorologische und hydrologische Dienst unterhält etwa 20 hydrologische Meßstationen. Die Hauptaufgabe besteht darin, Pegelstände zu sammeln und Abflußkurven zu erstellen. Erst seit einigen Jahren verfügt er über die notwendigen technischen Einrichtungen um auch bei Hochwasser arbeiten zu können (zwei stationäre Seilbahnstationen und ein transportabler Kran). Abflüsse bestimmter Häufigkeiten (hauptsächlich von Hochwasser) werden für verschiedene Arbeiten an den Wasserläufen gefragt, dies besonders für kleine Einzugsgebiete. Man stützt sich wenn möglich auf Ergebnisse von vergleichbaren Wasserläufen, andernfalls werden sie mittels mathematischer Formeln bestimmt.

Für das Errechnen werden hauptsächlich zwei Methoden angewandt.

Handelt es sich um Gegenden mit großem Anteil an bebauter Fläche, so benutzt man die Rechenmethode »nach Pecher« [LAUTRICH, 1978]. Man bestimmt eine Regenspende, die von den bestehenden klimati-

des données climatologiques existantes, ainsi que de la grandeur de la surface tributaire. En plus on choisit arbitrairement, selon les facteurs économiques, une période de retour acceptable dont dépend un coefficient d'intensité. Un autre facteur est le coefficient de débit de pointe, qui dépend de la topographie du terrain et du pourcentage de la surface consolidée.

S'il s'agit de régions non urbaines, on utilise la méthode dite de »Kalweit« [KALWEIT, 1973]. On fait intervenir à la place du pourcentage de la surface consolidée un coefficient dépendant de la nature du terrain. En plus, selon une courbe dénivellation-distance on change la pluie de référence (généralement établie pour 15 minutes) en fonction du temps de concentration.

Pour la rivière de l'Alzette et ses affluents ($\approx 1000 \text{ km}^2$) il existe un modèle déterministe (précipitation-débit) établi par le professeur Rohde (Aachen). Ce modèle a été jaugé par un bureau d'études luxembourgeois en fonction de données (pluies et débits) connues. Ce modèle permet de simuler le comportement des cours d'eau par rapport à des transformations diverses, mais permettrait aussi de prédire des crues à court terme en introduisant les différentes précipitations réelles.

schen Gegebenheiten, sowie von der Größe des Einzugsgebietes abhängt. Außerdem sucht man eine Regenhäufigkeit, die wirtschaftlich tragbar ist und von der der Zeitabflussfaktor abhängt. Der Spitzenabflussbeiwert hängt von der Topographie und dem Anteil an bebauten Flächen ab.

Handelt es sich um ländliche Gebiete, so verwendet man die Methode »nach Kalweit« [KALWEIT, 1973]. An Stelle des Anteils an bebauten Flächen tritt eine Gebietskonstante, die von den Bodenverhältnissen des Gebietes abhängt. Auch wird die Konzentrationszeit aus einem Monogramm (Unebenheit-Entfernung) errechnet, durch welche die Regenspende (normalerweise für 15 Minuten) geändert wird.

Für den Wasserlauf Alzette und seine Nebenbäche (etwa 1000 km^2) besteht ein deterministisches Modell (Regenspende-Abfluß), das von Professor Rohde (Aachen) aufgestellt wurde. Dieses Modell wurde von einem luxemburgischen Ingenieurbüro mit Hilfe von bestehenden Werten (Regen-Abflußwerte) geeicht. Es erlaubt das Verhalten der Wasserläufe gegenüber verschiedenen Änderungen zu simulieren. Man könnte damit auch Hochwässer kurzfristig vorhersagen, würde man die verschiedenen Regenspenden einspeisen.

6. DÉTERMINATION DE LA CRUE DE PROJET POUR LE RHIN AUX PAYS-BAS

6.1 Aperçu historique

Ce chapitre concerne les divers bras du Rhin aux Pays-Bas:

6. BESTIMMUNG DES BEMESSUNGSHOCHWASSERS FÜR DEN RHEIN IN DEN NIEDERLANDEN

6.1 Historischer Überblick

Dieses Kapitel bezieht sich auf die Arme des Rheins in den Niederlanden:

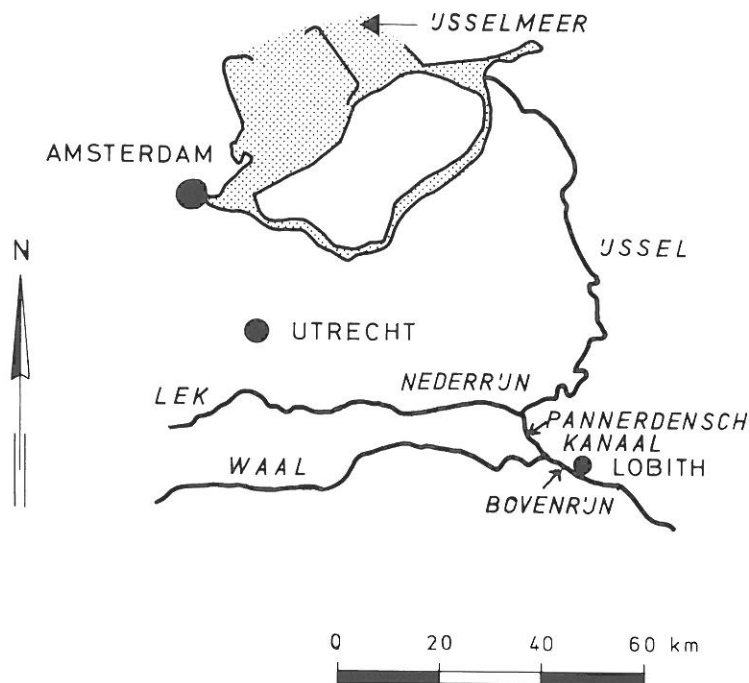


Fig. 6.1 La région considérée

Abb. 6.1 Das betrachtete Gebiet

Dans les régions basses de la République fédérale d'Allemagne comme aux Pays-Bas, les fleuves sont bordés de digues, construites déjà avant le 13^{ème} siècle. Au cours des siècles, beaucoup de digues se sont rompues, ce qui a provoqué des inondations et des dégâts. C'est pour cette raison qu'on a décidé après un désastre survenu en 1862 d'exhausser les digues et d'améliorer la capacité d'écoulement par des régulations fluviales. Les projets des ouvrages furent établis sur la base des niveaux d'eau maximaux observés jusqu'à alors. Toutefois, ces mesures de protection se sont avérées insuffisantes, car lors des hautes eaux de 1926, des inondations n'ont pu être évitées.

In den niedrigen Gebieten der Bundesrepublik Deutschland und in den Niederlanden sind die Flüsse von Deichen begrenzt, die schon vor dem 13. Jahrhundert gebaut wurden. Im Laufe der Jahrhunderte sind viele Deiche gebrochen, was Überschwemmungen und dementsprechende Schäden verursacht hat. Es wurde deshalb nach der Katastrophe im Jahre 1861 beschlossen, die Deiche zu erhöhen und die Abflußkapazität durch Flußregulierungen zu verbessern. Diese Projekte basierten auf den höchsten beobachteten Wasserständen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die vorgenommenen Schutzmaßnahmen unzureichend waren, denn während des Hochwassers von 1926 konnten Überschwemmungen nicht verhindert werden.

La catastrophe qui a ravagé la région de l'estuaire en 1953 a permis de renouveler les connaissances acquises jusque là. La reconstruction des digues a été entreprise en prévoyant un risque de débordement plus faible que précédemment. De plus un renforcement des digues fluviales a été décidé de façon à mieux tenir compte du très haut potentiel de destruction possibles, et de la mise en danger de vies humaines, dans les zones inondables (forte densité de population, de cultures et de constructions). Ces considérations ont débouché sur une recommandation de dimensionner les digues en fonction d'un débit dont la période de récurrence serait de 1250 ans, ce qui représente une probabilité d'occurrence de 8.10^{-4} dans une année.

6.2 Analyse de la probabilité de crues

L'étape suivante a consisté à établir la courbe des probabilités de crue en fonction des débits de pointe. Cette courbe donne une indication quant à la crue de projet pour la station de Lobith, à la frontière germano-néerlandaise, en aval de laquelle le Rhin se divise en deux bras et ne peut plus être jaugé à l'aide d'une station limnimétrique unique.

La présente étude n'utilise pas seulement les maximums annuels mais bien toutes les valeurs de pointe. Ces dernières sont définies comme les valeurs de débit qui n'ont été dépassées ni pendant les k jours précédents, ni pendant les k jours suivants. Pour le Rhin à Lobith, la valeur $k = 15$ jours est apparue comme bien adaptée pour assurer l'indépendance des crues en question (voir fig. 6.2). Il a fallu fixer encore une limite inférieure aux crues devant être sélectionnées. Cette limite, déterminée par le niveau d'inondation du lit hivernal, est fixée à $5000 \text{ m}^3/\text{s}$. On a convenu en même temps que cette limite marquerait la séparation entre l'ensemble des crues mineures et celui des crues majeures.

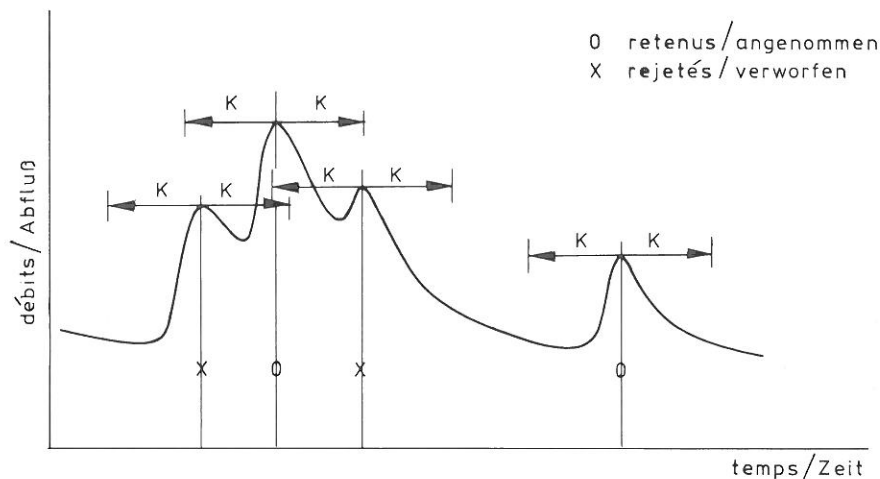


Fig. 6.2 Sélection des débits de pointe

Die Katastrophe im Deltagebiet im Jahre 1953 hat nun zu neuen Erkenntnissen geführt. Der Aufbau der Deiche sah ein geringeres Restrisiko vor. In gleicher Weise wurde auch eine Verstärkung der Flußdeiche beschlossen, und zwar unter besonderer Berücksichtigung des hohen Gefährdungspotentials im Bereich der Überschwemmungsflächen (Bevölkerungsdichte, Landwirtschaft, Gebäude). Dies führte zu einer Empfehlung, die Deichprofile auf einen Abfluß mit der Kehrzeit von 1250 Jahren auszulegen, was einer Hochwasserwahrscheinlichkeit von 8.10^{-4} entspricht.

6.2 Analyse der Hochwasserwahrscheinlichkeit

Der zweite Schritt bestand darin, die Kurve der Hochwasserwahrscheinlichkeit als Funktion des Scheitelabflusses zu bestimmen. Diese Kurve gibt einen Hinweis für das Bemessungshochwasser der Station Lobith an der deutsch-niederländischen Grenze, unterhalb der sich der Rhein in zwei Arme gabelt. Somit besteht unterhalb Lobith nicht mehr die Möglichkeit, den Abfluß des Rheins an einem einzigen Pegel zu erfassen.

Die vorliegende Untersuchung benutzt nicht nur die Jahreshöchstwerte, sondern alle Scheitel. Diese sind definiert als diejenigen Scheitelwerte, die in einer Zeitspanne von k Tagen vorher und k Tagen nachher nicht überschritten werden. Für den Rhein bei Lobith hat sich $k = 15$ Tage als geeignet herausgestellt, um die Unabhängigkeit des betreffenden Hochwassers zu gewährleisten (s. Abb. 6.2). Ferner wurde für die Einbeziehung als Hochwasser eine untere Grenze von $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt, die sich aus der Höhe der Überflutung des Winterbettes ergibt. Man ist geneigt, diesen Grenzwert gleichzeitig als Wendepunkt im Abflußgeschehen zu betrachten, der die Gesamtheit der niedrigen Hochwasser von der Gesamtheit der höheren Hochwasser trennt.

Abb. 6.2 Auswahl der Scheitelabflüsse

A la fig. 6.3, les débits de pointe Q pour la station de Lobith sont reportés linéairement en fonction de leur fréquence de non-dépassement $F(Q)$, repérée par une échelle logarithmique pour $1-F(Q)$.

Il apparaît que la suite des points ainsi reportés s'ajuste selon deux lignes droites que se coupent vers $Q \approx 5000 \text{ m}^3/\text{s}$. La dispersion des points au-dessus de $Q = 7500 \text{ m}^3/\text{s}$ est considérée comme aléatoire.

Comme les fréquences sont repérées par une échelle logarithmique, la fonction pour $Q > 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ doit alors correspondre à une distribution exponentielle. Pour cette raison, les recherches se sont concentrées sur ce type de distribution.

Pour la vérification de l'adéquation on a appliqué deux tests de capacité de discrimination élevée et dont la statistique des lois de distribution sont connues [STEPHENS, 1974]. Il s'agit du test d'Anderson-Darling et celui de Cramer-von Mises. Un test spécial, connu sous le nom de «cumulative total time on test statistic» [BARLOW, et al., 1972] peut être employé pour vérifier si le taux d'échec $r(Q)$ reste constant. Dans le cas précédent, le taux d'échec peut être considéré comme constant et par conséquent on peut conserver l'hypothèse d'une distribution exponentielle. Avec la probabilité de la crue de projet fixée à 8.10^{-4} par an, on obtient pour celle-ci un débit de $16500 \text{ m}^3/\text{s}$ (voir fig. 6.3).

6.3 Durées de dépassement

Pour la stabilité des digues, non seulement les débits ou les niveaux maximums sont importants, mais également le temps durant lequel un certain niveau est continuellement dépassé. Ceci exige une étude des liaisons entre les lois de probabilité régissant les débits et les durées.

L'étude a abouti au graphique représenté à la fig. 6.4. Cette figure montre une distribution bidimensionnelle des débits d'une part, et des durées de dépassement d'autre part. Les courbes représentent des lignes de même fréquence, exprimée en fréquence P avec laquelle les débits donnés et les durées données ont été dépassés simultanément.

On a tiré de ce graphique la table 6.1, donnant les durées de dépassement de certains débits, avec une probabilité de $P = 8.10^{-4}$.

6.4 Probabilité d'étiages

Aux Pays-Bas, on n'a pas fait d'études particulières concernant la répartition de fréquences des étiages. Ce-

In Abb. 6.3 sind die Scheitelabflüsse Q am Pegel Lobith linear über ihrer Häufigkeit aufgetragen, wobei die Größe $1-F(Q)$ in logarithmischem Maßstab gewählt wurde ($F(Q)$: Unterschreitungswahrscheinlichkeit von Q).

Es fällt auf, daß sich die Punktfolge durch zwei Geraden anpassen läßt, die sich bei $Q \approx 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ schneiden. Die Streuung der Punktfolge bei $Q > 7500 \text{ m}^3/\text{s}$ sei als Zufallseffekt gedeutet.

Da die Häufigkeit logarithmisch eingetragen wurde, muß die Funktion für $Q > 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ also mit einer Exponentialverteilung übereinstimmen. Die Untersuchung hat sich daher auf diesen Typ von Verteilungsfunktionen konzentriert.

Zur Prüfung der Anpassung wurden zwei Tests angewandt, die ein scharfes Trennvermögen haben und für deren Statistik Verteilungsfunktionen zur Verfügung stehen [STEPHENS, 1974]. Es sind dies der Anderson-Darling- und der Cramer-von Mises-Test. Ein spezieller Test, die sogenannte «cumulative total time on test statistic» [BARLOW et al, 1972], kann zur Prüfung auf konstante «failure rate» $r(Q)$ benutzt werden. Der Test hat ergeben, daß die failure rate konstant ist, sodaß die Annahme einer Exponentialverteilung beibehalten werden konnte. Mit der auf 8.10^{-4} festgelegten Wahrscheinlichkeit des Bemessungshochwassers erhält man für dieses einen Abfluß von $16500 \text{ m}^3/\text{s}$ (s. Abb. 6.3).

6.3 Überschreitungsdauern

Für die Stabilität der Deiche ist neben dem Extremwert des Abflusses oder des Wasserstandes auch die Überschreitungsdauer eines bestimmten Wertes von Bedeutung. Dies erfordert eine Untersuchung der zusammenhängenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Abfluß und Dauer.

Das Endergebnis der Untersuchung war die in Abb. 6.4 dargestellte Graphik. Sie zeigt eine zweidimensionale Verteilungsfunktion der Abflüsse einerseits und der Überschreitungsdauern andererseits. Die Kurven stellen Linien gleicher Wahrscheinlichkeit dar, ausgedrückt durch die Häufigkeit P , womit sowohl der gegebene Abfluß als auch die gegebene Dauer überschritten wird.

Aus dieser Graphik folgt die nachstehende Tab. 6.1. Aus ihr kann man die Überschreitungsdauer bestimmter Abflüsse bei der Überschreitungswahrscheinlichkeit 8.10^{-4} entnehmen.

6.4 Niedrigwasserwahrscheinlichkeit

In den Niederlanden wurde keine spezielle Analyse der Häufigkeitsverteilung von Niedrigwasser durchge-

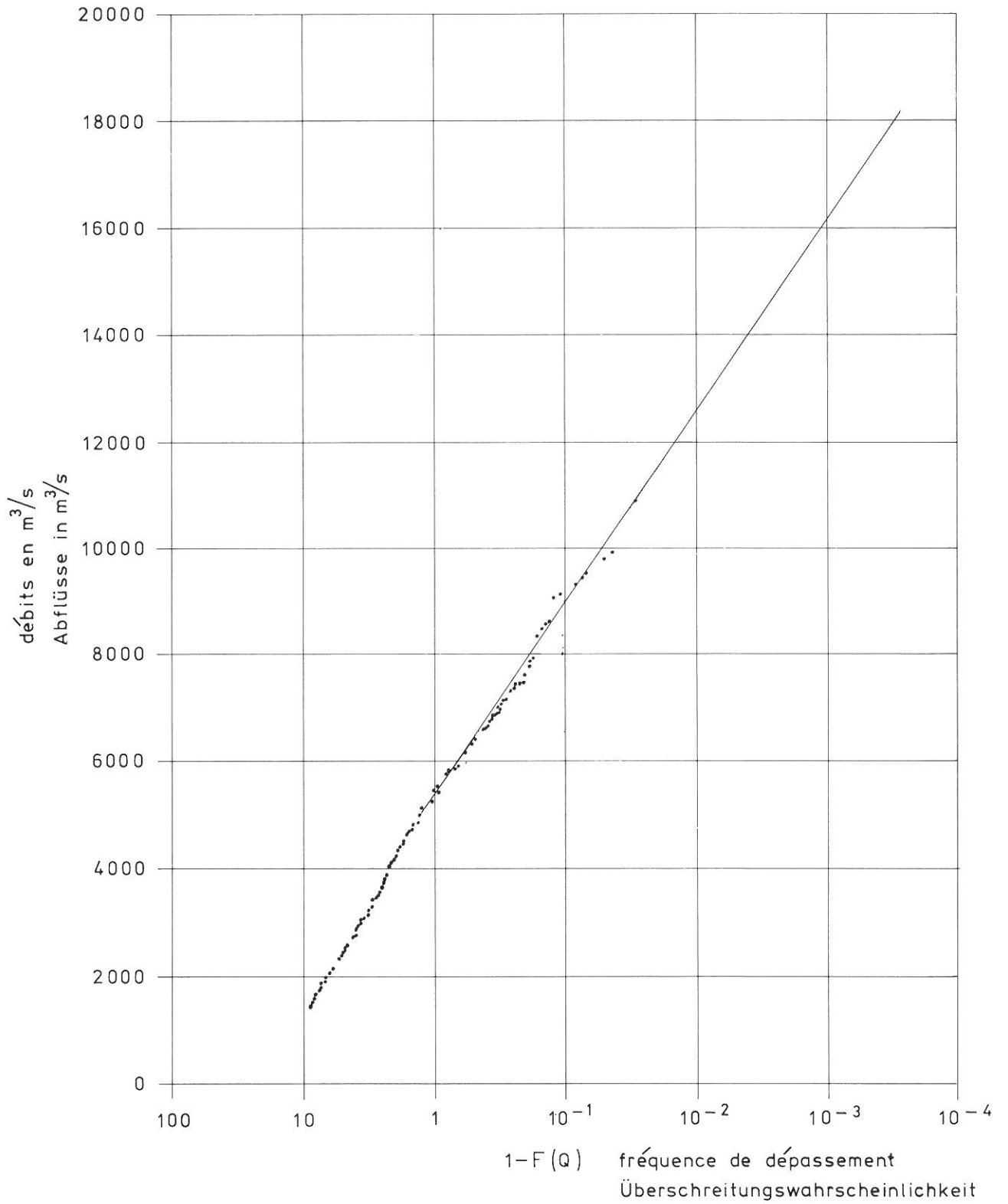


Fig. 6.3 Fonction de répartition des débits de pointe du Rhin à Lobith

Abb. 6.3 Verteilungsfunktion der Scheitelabflüsse des Rheins am Pegel Lobith

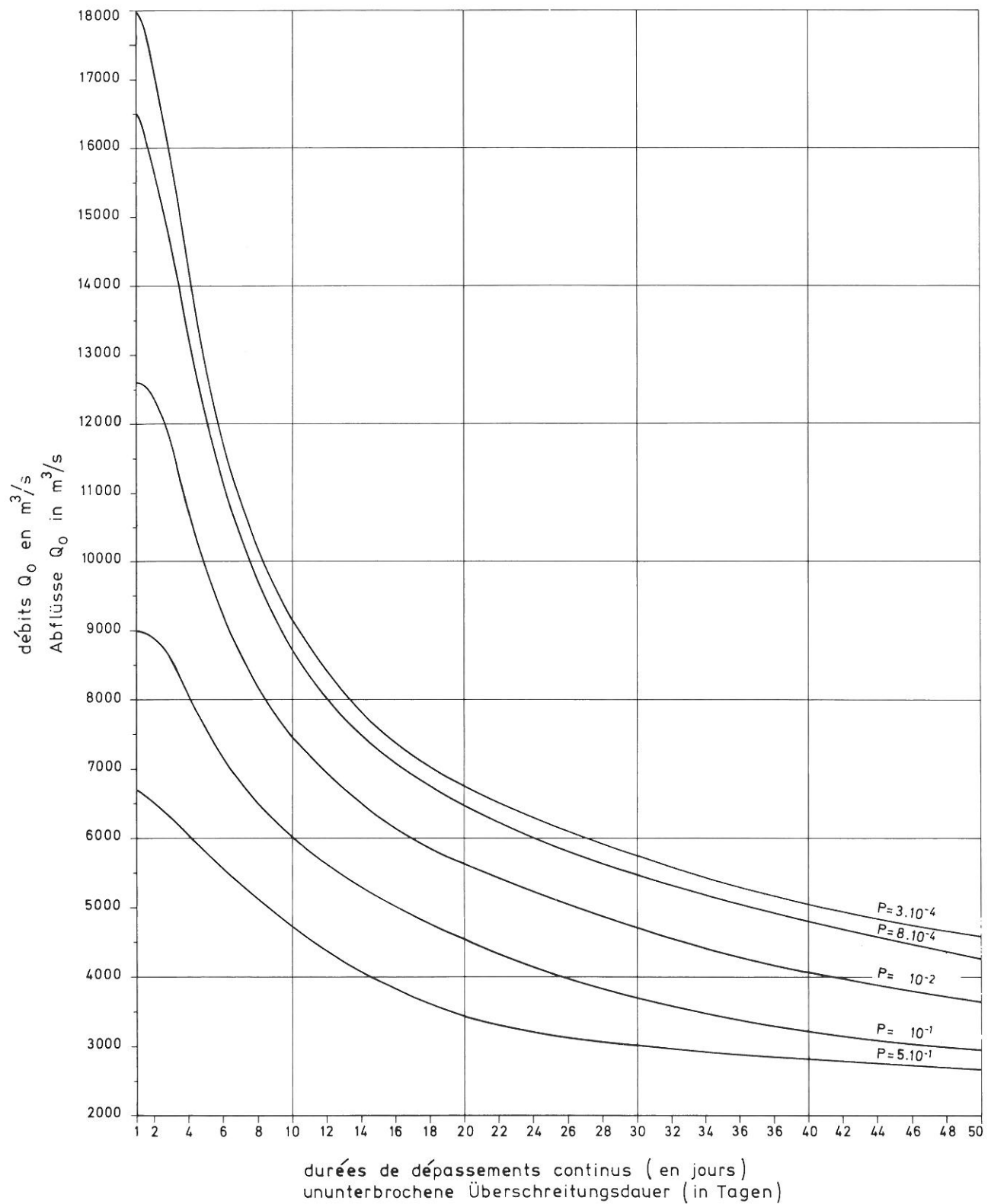


Fig. 6.4 Fonction de répartition bidimensionnelle des débits et des durées de dépassement
 $P = 1 - F(Q)$

Abb. 6.4 Zweidimensionale Verteilungsfunktion der Abflüsse und der Überschreitungsdauern
 $P = 1 - F(Q)$

Q_0 m ³ /s	T days
16500	1
14000	3,5
13000	4
12000	5,5
11000	6,5
10000	7,5
9000	9
8000	12
7000	16
6000	24
5000	36

Tab. 6.1 Combinaison des valeurs de débits Q_0 et des durées de dépassements continus T (en jours) pour une fréquence de 8.10^{-4} par an

Tab. 6.1 Kombination der Abflußwerte Q_0 und der Überschreitungsdauern T (in Tagen) für eine Häufigkeit von 8.10^{-4} mal pro Jahr

pendant, des représentations graphiques ont parfois été établies. La fig. A. 6.24 de la Monographie Hydrologique [CHR, 1978] en donne un exemple.

führt. Es wurden jedoch manchmal graphische Darstellungen zusammengestellt. Als Beispiel sei auf Abb. A. 6.24 der Hydrologischen Monographie [CHR, 1978] hingewiesen.

7. RÉSUMÉ

Le présent rapport a surtout pour objet l'estimation des probabilités de crues. A cet effet, tous les Etats riverains du Rhin utilisent des fonctions mathématiques de distribution, qui sont ajustées aux pointes de crues observées, généralement suivant la méthode des moments (annexe 3).

Dans aucun des Etats riverains du Rhin il n'existe de directives concernant le calcul de probabilités de crues. Actuellement, de telles directives ne sont pas prévues, car on ne peut pas enlever à l'ingénieur concerné la responsabilité pour le dimensionnement des mesures de construction.

La publication, éditée en Suisse en 1974 par le Service fédéral des routes et des digues, intitulée «Les débits maximaux des cours d'eau suisses observés jusqu'en 1969», a le caractère d'un recueil de documentation. Dans cette publication, les probabilités de dépassement sont indiquées pour 238 stations hydrométriques, et cela théoriquement suivant Galton pour toutes les stations hydrométriques et graphiquement pour 139 stations suivant les 6 lois de distribution usuelles. Une étude concernant les probabilités d'étiages est en cours.

En Autriche, le Service hydrométrique calcule les probabilités de crue à quelques stations hydrométriques au moyen des fonctions de distribution de Gumbel et Pearson (Pearson III et log-Pearson III) ainsi que selon la méthode Schreiber-Nobilis. En général les ajustements sont effectués jusqu'à la crue centenaire, tout en tenant compte des critères hydrologiques propres à chaque bassin. Des travaux d'analyse concernant les basses eaux sont en préparation.

En République fédérale d'Allemagne, l'Association de l'Economie Hydraulique et de génie rural (DVWK) a publié une recommandation, révisée en 1979, comportant une méthode de calcul simple, qui peut être appliquée même à l'aide d'une calculatrice de poche ou de table en utilisant la loi de distribution Pearson III ou log-Pearson III. Le but de cette recommandation est également de rendre les calculs mutuellement comparables. Par contre, le responsable peut toujours décider, dans les cas particuliers, quelle crue il doit choisir comme crue de projet. Plus récemment, une recommandation concernant l'évaluation des probabilités d'étiage sur des bases statistiques est aussi parue dans la série des règles du DVWK.

En France, le choix d'une loi de distribution est effectué par chaque service hydrologique en fonction du type de variable traitée (annexe 3), après étude des caractéristiques physiques et climatiques des bassins versants. Les lois utilisées sont, en général, celles pour

7. ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Bericht hat überwiegend die Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit zum Inhalt. In allen Rheinanliegerstaaten benutzt man dabei mathematische Verteilungsfunktionen. Sie werden hauptsächlich mittels der Momentenmethode an die gemessenen Hochwasserspitzen angepaßt (Anlage 3).

Richtlinien zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit existieren in keinem Rheinanliegerstaat. Es sind auch keine Bestrebungen im Gange, solche Richtlinien zu erstellen, da dem bearbeitenden Ingenieur nicht die Verantwortung für die Dimensionierung von Baumaßnahmen abgenommen werden soll.

Den Charakter einer Materialsammlung hat die in der Schweiz im Jahre 1974 vom Eidgenössischen Amt für Straßen- und Flußbau herausgegebene Veröffentlichung »Die größten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflußmengen von schweizerischen Gewässern«. Hier werden die Überschreitungswahrscheinlichkeiten für 238 Pegel dargestellt, und zwar theoretisch nach Galton für alle Pegel und graphisch für 139 Pegel nach 6 gebräuchlichen Verteilungsgesetzen. Eine Untersuchung der Niedrigwasserwahrscheinlichkeit ist im Gange.

In Österreich werden vom Hydrographischen Dienst nach den Verteilungsfunktionen von Gumbel und Pearson (Pearson III und Log-Pearson III) sowie nach Schreiber-Nobilis die Wahrscheinlichkeiten im allgemeinen bis zum 100-jährlichen Hochwasser für ausgewählte Abflußmeßstellen berechnet, wobei dann eine gebietsweise Abstimmung der Ergebnisse untereinander nach hydrologischen Kriterien erfolgt. Arbeiten zur Analyse von Niedrigwasserereignissen sind in Vorbereitung.

In der Bundesrepublik Deutschland hat der Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) eine im Jahre 1979 überarbeitete Empfehlung veröffentlicht, die einen einfachen, mittels Taschen- oder Tischrechner zu vollziehenden Rechengang unter Verwendung der Pearson III- oder Log-Pearson III-Verteilung enthält. Sinn der Empfehlung ist es auch, die Rechnungen untereinander vergleichbar zu machen. Dagegen wird dem Einzelnen nicht die Entscheidung abgenommen, nach welchem Hochwasser zu bemessen ist. Inzwischen erschien in der Reihe der DVWK-Regeln auch eine Empfehlung zur Berechnung von Niedrigwasser auf statistischer Grundlage.

In Frankreich wird von den einzelnen hydrologischen Dienststellen nach Analyse der physischen und klimatologischen Charakteristika des Einzugsgebietes ein für die jeweilige hydrologische Variable (Anlage 3) geeignetes Verteilungsgesetz gewählt. Es haben sich

lesquelles il n'est pas trop difficile d'estimer, d'après l'échantillon disponible, les valeurs des paramètres entrant dans les formulations mathématiques.

La vérification de l'adéquation des distributions peut se faire par des tests classiques ou par des tests mis au point au sein de services spécialisés. Le choix des temps de récurrence dépend surtout des diverses contraintes d'ordre économique liées aux aménagements des eaux de surface.

Pour pallier à l'insuffisance d'information hydrologique, l'estimation des valeurs extrêmes de débit peut nécessiter l'emploi de la méthode du gradex, en prenant en compte les précipitations et en supposant des conditions d'écoulement déduites de l'état de saturation des sols.

Au Grand-Duché du Luxembourg, trois ministères s'occupent des débits des cours d'eau, à savoir:

- le ministère de l'agriculture;
- le ministère des travaux publics;
- le ministère des transports.

Des déterminations de probabilités de crues sont, pour le moment, encore faites de manière empirique pour la Moselle. Pour les autres cours d'eau, ils sont estimés selon différentes méthodes mathématiques. Ces estimations sont établies surtout pour les travaux aux cours d'eau ou pour la construction d'ouvrages.

Aux Pays-Bas, dans le bassin du Rhin, le calcul des probabilités de crues est effectué seulement pour la station limnimétrique de Lobith/Bovenrijn. Comme l'analyse des valeurs annuelles maximums a le désavantage, que beaucoup d'informations importantes se perdent, on préfère une méthode, où toutes les valeurs de débits de pointe disponibles, ayant une certaine valeur (supérieure à $5000 \text{ m}^3/\text{s}$), sont utilisées. L'application du test d'Anderson-Darling et du test de Cramer-von Mises, ainsi que du test concernant le comportement du »failure rate« (le »cumulative total time on test statistic«) ont montré, que la distribution de la fréquence de la population choisie correspond le mieux à la loi exponentielle. Non seulement la fréquence des débits de pointe, mais aussi la durée de dépassement continue de diverses valeurs de débits furent étudiées.

solche Verteilungsgesetze bewährt, deren statistische Kenngrößen ohne große Schwierigkeiten aus der verfügbaren Stichprobe abgeleitet werden können.

Die Prüfung der Güte der Anpassung kann entweder durch die klassischen statistischen Tests oder durch solche Tests erfolgen, die von Fachinstituten für diese speziellen Zwecke erarbeitet werden. Die Wahl der Kehrzeiten wird von der wasserwirtschaftlichen Aufgabe und von ökonomischen Faktoren mitbestimmt.

Zur Verlängerung von Abflußreihen und damit zu einer besser abgesicherten Extremwertanalyse wird das Gradex-Verfahren angewendet, bei dem Niederschlagsdaten und ein vom Sättigungsgrad des Bodens abhängiger Abflußbeiwert einbezogen werden.

Im Großherzogtum Luxemburg sind drei Ministerien für die Abflußmessungen der Flüsse zuständig. Es sind dies:

- das Ministerium für Landwirtschaft;
- das Ministerium für öffentliche Bauten;
- das Ministerium für Transport.

Die Hochwasserwahrscheinlichkeiten für die Mosel werden momentan noch auf empirische Art ermittelt. Diejenigen für die übrigen Gewässer werden nach verschiedenen mathematischen Methoden bestimmt. Diese Berechnungen dienen vornehmlich als Grundlagen für Wasserverlegungen und wasserangrenzende Arbeiten.

In den Niederlanden werden im Rheingebiet nur für den Pegel Lobith/Bovenrijn Hochwasserwahrscheinlichkeiten berechnet. Weil die Analyse der Jahreshöchstwerte den Nachteil hat, daß viele wichtige Informationen nicht benutzt werden, wurde eine Methode bevorzugt, die alle verfügbaren Abflußscheitelwerte über einem bestimmten Wert ($5000 \text{ m}^3/\text{s}$) einbezieht. Bei Anwendung des Anderson-Darling- und des Cramer-von Mises-Tests, sowie des Tests der »failure rate« (die sog. »cumulative total time on test statistic«) hat sich ergeben, daß die Häufigkeitsverteilung der ausgewählten Stichprobe am besten mit einer Exponentialverteilung übereinstimmt. Neben der Häufigkeit der Scheitelwerte wurde auch die ununterbrochene Überschreitungsdauer der verschiedenen Abflußwerte untersucht.

7. SAMENVATTING

Dit rapport gaat voornamelijk over de berekening van hoogwaterkansen. Voor die berekening worden in alle Rijnsoeverstaten wiskundige verdelingsfuncties toegepast op bekende topafvoeren; de aanpassing aan die functies geschiedt overwegend volgens de momentenmethode (bijlage 3).

In geen enkele Rijnsoeverstaat bestaan bindende richtlijnen voor deze berekening van hoogwaterkansen. Dergelijke richtlijnen zijn ook niet in voorbereiding, omdat naar algemeen inzicht de verantwoordelijkheid voor de dimensionering van kunstwerken bij de ontwerper behoort te berusten.

De in Zwitserland in 1974 door het »Eidg. Amt für Straßen- und Flußbau« uitgegeven publikatie »Die größten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflußmengen von schweizerischen Gewässern« heeft het karakter van een documentatie. Voor 238 stations zijn de overschrijdingskansen weergegeven, en wel analytisch volgens Galton voor alle stations en grafisch volgens 6 gebruikelijke verdelingsfuncties voor 139 stations. Onderzoek naar de laagwaterkansen is gaande.

In Oostenrijk berekent de »Hydrographische Dienst« de kansen van hoogwaters aan enkele meetstations en wel volgens de verdelingsfuncties van Gumbel en Pearson (Pearson III en log-Pearson III) alsmede volgens de methode Schreiber-Nobilis. Over het algemeen beschouwt men geen lagere overschrijdingsfrequenties dan één keer per honderd jaar; verder worden de uitkomsten op grond van hydrologische maatstaven nog per gebied op elkaar afgestemd. Een onderzoeksproject »Laagwateranalyse« is thans in uitvoering.

In de Bondsrepubliek Duitsland heeft het DVWK (»Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.«) in 1979 een herziene aanbeveling voor een eenvoudige rekenmethode gepubliceerd, die ook met behulp van een zak- of tafelrekenmachine is uit te voeren; dit betreft de Pearson III of de log-Pearson III verdeling. Deze aanbeveling heeft tevens ten doel, de berekeningen onderling te kunnen vergelijken. Echter blijft de beslissing m.b.t. de ontwerpafvoer en de bijbehorende afvoergolf onverkort bij de verantwoordelijke persoon c.q. dienst berusten. Intussen verscheen in de reeks DVWK-regels ook een aanbeveling m.b.t. de statistische berekening van de kansen op laagwater.

In Frankrijk bepaalt elke hydrologische dienst na bestudering van de fysische en klimatologische kenmerken van het (de) betrokken stroomgebied(en) en lettend op de beschouwde veranderlijke (bijlage 3), zelf van welke verdelingsfunctie zal worden uitgegaan. In het al-

7. SUMMARY

This report covers mainly the calculation of the high discharge probabilities. For this calculation, mathematical distribution functions of the peak flows are used in all riparian states. Fitting of these functions to the measured high water peaks is generally done, using the method of moments (annex 3).

In none of the riparian states there exist directives for the calculation of the high discharge probability. At present, such directives are not in preparation either, because the responsibility for the dimensioning of the construction should rest with the engineer in charge of the design.

The Swiss publication »Die größten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflußmengen von schweizerischen Gewässern«, which was published in 1974 by the »Eidg. Amt für Straßen- und Flußbau« has the character of a documentation-inventory. The frequency distribution of 238 gauging stations has been represented, to wit analytically according to the Galton distribution for all stations and grafically according to 6 usual distribution functions for 139 gauging stations. At present, the low discharge probability is being examined.

In Austria, the »Hydrographische Dienst« calculates the probabilities of high discharges at selected gauging stations according to the distribution functions of Gumbel and Pearson (Pearson III and log-Pearson III) and according to the method of Schreiber-Nobilis. Generally, calculations are made up to a frequency of exceedance of once per 100 years. Afterwards, the results for all regions are mutually adjusted on the basis of hydrological criteria. The calculation of the low discharge probability is in preparation.

In the Federal Republic of Germany, the DVWK (»Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.«) published in 1979 a revised recommendation concerning a simple method to calculate the Pearson III or the log-Pearson III distribution using a pocket or table calculator. This recommendation is also meant to make the calculations intercomparable. However, the responsible person is not relieved of the determination of the design criteria for discharge and related discharge peaks. More recently, a recommendation concerning the calculation of the probability of low discharges on statistical bases was published in the series of DVWK-rules.

In France, each hydrological service selects the most appropriate distribution law for the hydrological variable in question after analysis of the physical and climatological characteristics of the region (annex 3). Generally, those distribution laws are applied, whose

gemeen vinden alleen die verdelingen toepassing, waarmee de in wiskundige formules gebruikte parameters zonder al te veel moeite aan de hand van de beschikbare steekproef te schatten zijn.

Voor onderzoek naar de hoedanigheid der aanpassing staan de gebruikelijke klassieke toetsen, of toetsen ontwikkeld door specialistische instituten ter beschikking. De keuze van de voor het schatten der extreme waarden gebruikte herhalings tijden wordt voornamelijk beïnvloed door sociaal-economische overwegingen.

Ter verlenging van de bestaande reeksen met het oog op het schatten van extreme waarden past men soms de »Gradex«-methode toe. Hierbij wordt gebruik gemaakt van neerslaggegevens en van de verzadigingsgraad van de bodem.

In het Groothertogdom Luxemburg houden drie ministeries zich bezig met afvoerbepalingen van rivieren, nl.:

- het ministerie van landbouw
- het ministerie van openbare werken
- het ministerie van transport

Voor de Moezel worden de hoogwaterkansen thans nog op empirische wijze bepaald. Voor de overige waterlopen wordt dit volgens verschillende wiskundige methoden gedaan. Deze berekeningen dienen voornamelijk als basis voor waterbouwkundige werken.

In Nederland heeft de Rijkswaterstaat voor wat betreft de Rijn en zijn takken alleen voor het station Lobith/Bovenrijn hoogwaterkansen berekend. Omdat analyse van de jaarmaxima het nadeel heeft, dat veel belangrijke informatie ongebruikt blijft, wordt de voorkeur gegeven aan een methode waarbij alle beschikbare afvoertoppen boven een bepaalde waarde (5000 m³/s) worden gebruikt. Bij toepassing van de Anderson-Darling test en van de Cramer-von Mises test, alsmede van de test naar het verloop van de »failure rate« (de zogenaamde »cumulative total time on test statistic«) bleek, dat met de exponentiële verdeling de beste aanpassing aan de opgetreden topafvoeren kan worden verkregen. In aansluiting hierop zijn ook de overschrijdingskansen van de aaneengesloten overtreffingsduur van hoge Bovenrijnafvoeren onderzocht.

statistical parameters can be estimated from the available sample without too many problems.

The goodness of fit can be examined by the usual classical tests or by tests, specifically developed for these purposes by specialized institutes. The choice of return periods is mainly dependent on socio-economical factors.

In order to expand existing discharge series and to ensure a better estimate of extreme values, the »Gradex« method is applied. This method makes use of precipitation data and of the degree of saturation of the soil.

In the Grand Duchy of Luxemburg three ministries are engaged in the determination of discharges of rivers, namely:

- the ministry of agriculture
- the ministry of public works
- the ministry of transport

At present, determinations of high discharge probabilities for the Moselle are still made empirically. For the other water courses they are calculated by different mathematical methods. These calculations mainly serve as a basis for civil engineering works.

In the Netherlands, as far as the Rhine basin is concerned, the probabilities of high discharges were calculated for the gauging station Lobith/Bovenrijn only. As the analysis of the annual maxima has the disadvantage, that much important information is left unused, a method with which all available discharge peaks over a certain level (5000 m³/s) are considered is preferred. By application of the Anderson-Darling test, the Cramer-von Mises test and the test concerning the course of the »failure rate« (the so called »cumulative total time on test statistic«) the exponential distribution appeared to result in the best fit to the peak flow data. Apart from the frequency of the discharge peaks, the durations of surpassing of various discharge values have been studied.

Chapitre 1/Kapitel 1

- ASF (1974): Die größten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflußmengen von schweizerischen Gewässern – Les débits maximaux des cours d'eau suisses observés jusqu'en 1969. Eidg. Amt für Straßen- und Flußbau/Service fédéral des routes et digues, Bern.
- BRUSCHIN, J.; ESTEVE, R. (1973): Utilisation de l'analyse fréquentielle des crues pour la détermination de la crue de projet. Schweiz. Bauzeitung, Heft 32 und 33.
- BRUSCHIN, J.; FALVEY, F. (1974): Risques relatifs aux crues. Réflexions à propos des résultats d'une analyse concernant la Suisse au nord des Alpes. Bulletin technique de la Suisse romande, 100^{ème} année, 10 oct. 1974, No. 21. pp. 416...427.
- BRUSCHIN, J.; NORTH, M. (1977): Projekthochwasser für Einzugsgebiete ohne Abflußbeobachtungen. Schweiz. Bauzeitung, Heft 25, 23. Juni 1977, S. 407...427.
- BWW (1982): Hochwasserschutz an Fließgewässern – Wegleitung 1982/Protection contre les crues des cours d'eau – Directives 1982. Bundesamt für Wasserwirtschaft/Office fédéral de l'économie des eaux.
- IFTP (1958): Die größten bis zum Jahre 1956 beobachteten Abflußmengen von schweizerischen Gewässern – Les débits maximaux des cours d'eau suisses observés jusqu'en 1956. Eidg. Oberbauinspektorat/Inspection fédérale des travaux publics, Bern.
- NORTH, M. (1980): La simulation des processus hydrologiques intermittents par des modèles alternés inhomogènes. Bulletin des Sciences Hydrologiques, 25,1,3/1980, pp. 5...12.
- NORTH, M. (1981): Processus hydrologiques intermittents. Etude de modélisations stochastiques et applications. Thèse No. 419, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.
- VISCHER, D. (1980): Das höchstmögliche Hochwasser und der empirische Grenzabfluß. Schweiz. Ingenieur und Architekt, Heft 40/80.
- WALTER, M. (1983): Projet du F.N.R.S.: Estimation des débits d'étiage sur des cours d'eau sans mesures directes. Etude de synthèse et de méthodologie. Compte rendu de la Journée d'étude en hydrologie de surfaces »basses eaux et étiages«, IGR No. 175, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (Institut de génie rural).
- WINDMOSER, P. (1974): Extremabflüsse aus vierzig kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. Schweiz. Bauzeitung, Heft 32, 8. August 1974, S. 757...765.
- WIDMOSER, P. (1977): Ein Verfahren zur Bemessung nach Extremwertbeobachtungen. Wasserwirtschaft 67, 2, S. 35..38.
- ZELLER, J. (1971): Die Häufigkeitsanalyse extremer Niederschläge und Abflüsse als Planungsgrundlage im Wildbachverbau. Schweiz. Bauzeitung, Heft 24.
- ZELLER, J. (1974): Starkniederschläge und ihr Einfluß auf Hochwassereignisse. Fortbildungskurs für Hydrologie in Sursee, 1974. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH-Zürich.
- ZELLER, J.; GEIGER, H.; RÖTHLISBERGER, H. (1976): Die Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, 1976. Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen.
- ZELLER, J. (1981): Starkniederschläge und ihr Einfluß auf Hochwasserereignisse. Elemente zur Abschätzung der Hochwasserabflüsse kleiner Einzugsgebiete. Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen. 8903 Birmensdorf, Berichte, Nr. 126.

Chapitre 2/Kapitel 2

- GLASEL, E. (1954): Die Hochwasserverhältnisse des Inns auf Grund exakter Methoden und ein Vergleich mit empirischen Hochwasserformeln. Association Internationale d'Hydrologie, No. 38, Tome II, Brüssel.
- KREPS, H. (1975): Praktische Arbeit in der Hydrographie. 25 Jahre im Dienste der Hydrographischen Landesabteilung Steiermark. Österreichisches Nationalkomitee für die Internationale Hydrologische Dekade, Wien.
- SCHREIBER, H. (1970): Über Methoden zur Berechnung der n-Jährlichkeit von Hochwässern. Österreichische Wasserwirtschaft, Jg. 22, Heft 5/6, Wien.
- NOBILIS, F. (1981): Zur Berechnung der n-Jährlichkeit von Hochwässern und zur Interpretation von Konfidenzintervallen. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 49, Wien.

Chapitre 3/Kapitel 3

- BUCK, W. (1979): Wahrscheinlichkeitsverteilungen zur Hoch- und Niedrigwasseranalyse. 1. Grundlehrgang für Hydrologie des DVWK, Karlsruhe/Bonn.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK) (1976): Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Heft 101, DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin (1. Auflage).
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK) (1979): Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Heft 101, DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin (2. Auflage).
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK) (1983): Wahl des Bemessungshochwassers – internationaler Vergleich. Heft 62, DVWK-Schriften, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK) (1983): Niedrigwasseranalyse, Teil 1: Statistische Untersuchung des Niedrigwasserabflusses. Heft 120, DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- INTERNATIONALE HOCHWASSERSTUDIENKOMMISSION FÜR DEN RHEIN (1978): Schlußbericht der Internationalen Hochwasserstudienkommission.
- SCHRÖDER, R. C. M.; BELKE, D.; BRANDT, TH. (1978): Probleme der Niedrigwasseranalyse. Wasser und Boden, Heft 4.

Chapitre 4/Kapitel 4

- BRUNET-MORET, Y. (1978): Recherche d'un test d'ajustement. Série Hydrologie de L'ORSTOM, Vol. xv, no. 3.
- DUBAND, M.; GUILLOT, P. (1968): Compte rendu des »X^e Journées de l'hydraulique«, question 1, rapport 7. Société hydrotechnique de France.
- DUBREUIL, P. (1974): Initiation à l'analyse hydrologique (dix exercices des corrigés). Ed. Mason & Cie, Paris; O.R.S.T.O.M., Paris.
- LARRAS, J. (1972): Prévision et prédétermination des étiages et des crues. Ed. Eyrolles, Paris.
- REMENIERAS, G. (1965): L'Hydrologie de l'ingénieur. Ed. Eyrolles, Paris.
- ROCHE, M. (1963): Hydrologie de surface. Ed. Gauthier-Villars.

Chapitre 5/Kapitel 5

KALWEIT, H. (1973): Verfahren zur Ermittlung von Hochwasserabflüssen aus kleinen Niederschlagsgebieten. Bericht 214/73, Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Mainz.

LAUTRICH, R. (1978): Der Abwasserkanal. Berechnung mit dem Zeitabflußfaktor (ϵ) nach Pecher. Kapitel 2.7.5.

Chapitre 6/Kapitel 6

BARLOW, R. E.; BARTHOLOMEY, D. J.; BREMNER, J. M.; BRUNK, H. D. (1972): Statistical inference under order restrictions. Wiley, New-York.

COMMISSIE RIVIERDIJKEN (1977): Rapport Commissie Rivierdijken. 's-Gravenhage.

VAN DER MADE, J. W. (1967): Assessment of a design discharge of a river. Publication No. 84. Int. Ass. Sc. Hydr., Gentbrugge.

STEPHENS, M. A. (1974): EDF Statistics for goodness of fit and some comparisons. Journ. Am. Stat. Ass., Vol. 69, pp. 730...737.

Appendice (p. 59)/Anhang (S. 59.)

CHOW, V. T. (1964): Applied Hydrology. Mc Graw Hill Book Company.

EIDGENÖSSISCHES AMT FÜR STRASSEN- UND FLUSSBAU (1974): Die größten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflusssmengen von schweizerischen Gewässern. Bern. Abschnitt I (Bericht).

GUMBEL, E. J. (1963): Statistical Forecast of Droughts. IAHS-Bull. VIII/1.

LARRAS, J. (1972): Préviation et prédétermination des étiages et des crues. Collection du B.C.E.O.M., Paris.

MENDEL, H. G. (1972): A new proposal for computation of flood frequency. Symposium on Hydrology, Fort Collins, pp. 325...333.

TROUTMAN, B. M. (1985): Error and parameter estimation in precipitation-runoff modeling, WRR, Vol. 21, No. 8, pp. 1195...1222.

YEVJEVICH, V. (1972): Probability and statistics in hydrology. Fort Collins, Water Res. Publ.

Technische Anwendungen der statistischen Theorie der Extremwerte. Schweizer Archiv, 30. Jg., No. 2. S. 33...47 (1964).

**CARTE GÉOGRAPHIQUE DU BASSIN DU RHIN
GEOGRAPHISCHE KARTE DES RHEINEIN-
ZUGSGEBIETES**



LISTE DES SYMBOLES ET DÉNOMINATIONS EMPLOYÉS
VERZEICHNIS DER BENUTZTEN SYMBOLE UND BEZEICHNUNGEN

ANNEXE 2
ANLAGE 2

Symboles Symbole	Terme français Französische Bezeichnung	Terme allemand Deutsche Bezeichnung	Chapitre Kapitel	Page Seite
A, B	Paramètres à déterminer (par régression)	Parameter	2	18
C_{vx}	Coefficient de variation des valeurs x	Variationskoeffizient der x-Werte	3	24
C_{vy}	Coefficient de variation des valeurs y	Variationskoeffizient der y-Werte	3	24
C_{sx}	Coefficient d'asymétrie des valeurs x	Schiefe-Koeffizient der x-Werte	3	24
C_{sy}	Coefficient d'asymétrie des valeurs y	Schiefe-Koeffizient der y-Werte	3	24
d	Limite inférieure du domaine couvert par la distribution de Pearson III $d = \bar{x}(1 - \frac{2C_{vx}}{C_{sx}})$	Untere Grenze des Merkmalbereichs der Pearson-III-Verteilung $d = \bar{x}(1 - \frac{2C_{vx}}{C_{sx}})$	3	24
DC1, DC3, DC6, DC9,	Débits caractéristiques de 1, 3, 6 et 9 mois par an	Charakteristische Abflüsse an 1, 3, 6, 9 Monate pro Jahr	4	30
DCC	Débit caractéristique de crue, égalé ou dépassé 10 jours par an	Charakteristischer Hochwasserabfluß, erreicht oder überschritten an 10 Tagen pro Jahr	4	30
DCE	Débit caractéristique d'étiage, égalé ou non dépassé 10 jours par an	Charakteristischer Niedrigwasserabfluß, erreicht oder unterschritten an 10 Tagen pro Jahr	4	30
DC10J, DC20J... DCnJ	Débit égalé ou non dépassé 10 jours, 20 jours, n jours par an	Abfluß, der an 10, 20 oder n Tagen pro Jahr erreicht oder unterschritten wurde	4	30
ΣD	Nombre total de jours pendant lesquels une valeur seuil n'a pas été atteinte	Summe der Unterschreitungstage	3	25
maxD	Déficit (d'écoulement)	Längster Unterschreitungsdauer von Q_s	3	25
E	Surface du bassin, (comprise entre 5 et 10 000 km ²)	Fläche des Einzugsgebietes, (gültig für Größen zwischen 5 und 10 000 km ²)	1	15
F(Q)	Fonction de répartition de débits	Verteilungsfunktion (Unterschreitungswahrscheinlichkeit) der Abflüsse	6	37
HQ _n	Débit de crue avec temps de retour n	n-jährlicher Hochwasserabfluß	2	18
HHQ	Crue maximale	Maximalhochwasser	3	21
k	Facteur de fréquence normé (sous forme de table, pour chacune des distributions)	Normierter Häufigkeitsfaktor (liegt für die einzelnen Verteilungen tabelliert vor)	3	28
k	Intervalle de temps pendant lequel les valeurs des pointes consécutives sont considérées comme indépendantes les unes des autres; pour le Rhin à Lobith k est fixé à 15 jours	Mindeste Zeitspanne, die aufeinanderfolgende Scheitelwerte als unabhängig von einander trennt; für den Rhein bei Lobith wurde k = 15 Tage festgelegt	6	37
m	Rang de la crue respective	Rang des jeweiligen Hochwassers	2	18
m	Rang de l'élément respective	Rang des jeweiligen Elementes	3	27
n	Nombre d'années de la série considérée	Anzahl der Jahre der betrachteten Reihe	2	18
n	Nombre d'éléments de l'échantillon	Anzahl Stichprobenelemente	3	27
n	Nombre de jours consécutifs, nombre de mois consécutifs	Anzahl der aufeinanderfolgenden Tage eines Jahres an denen der Hochwasserschwellenwert QC überschritten wird	4	30
N	Nombre d'années de la série considérée	Anzahl der Jahre der betrachteten Reihe	3	26
NMxQ	Débit d'étiage	Kleinster mittlerer Abfluß	3	25
NMxQ(T)	Estimation de NMxQ en fonction de la période de retour	NMxQ als Funktion der Wiederkehrzeit	3	29
P	Probabilité de dépassement	Überschreitungswahrscheinlichkeit	6	37
PMF	»Probable Maximum Flood« plus grande crue probable	»Probable Maximum Flood« vermutlich größtes Hochwasser	3	21

LISTE DES SYMBOLES ET DÉNOMINATIONS EMPLOYÉS
VERZEICHNIS DER BENUTZTEN SYMBOLE UND BEZEICHNUNGEN

ANNEXE 2
ANLAGE 2

Symboles Symbole	Terme français Französische Bezeichnung	Terme allemand Deutsche Bezeichnung	Chapitre Kapitel	Page Seite
q max	Débit spécifique de crue	Hochwasserabflußspende	1	15
QC	Débit seuil	Hochwasserschwellenwert	4	30
QMNA	Débit moyen mensuel minimal, pour l'année	Kleinster mittlerer Monatsabfluß eines Jahres	4	30
Q _n	Crue de probabilité 1/n	Hochwasser mit der Wahrscheinlichkeit 1/n	1	14
Q _s	Valeur seuil de débit	Schwellenwert des Abflusses	3	25
Q ₀	Débit donné	Gegebener Abfluß	6	40
r(Q)	»Failure rate« taux d'échec	»Failure rate« Versagensrate	6	37
s	Ecart-type	Standardabweichung	3	28
T, T _n	Temps de retour en années	Kehrzeit in Jahren	3	24,21
T	Durée de dépassement de Q ₀ en jours	Überschreitungsdauer in Tagen	6	40
V	Indice de variance	Varianzindex	1	14
VC ₃₀	Débit moyen minimal de 30 jours consécutifs, pour l'année	Kleinster mittlerer Abfluß an 30 aufeinanderfolgenden Tagen eines Jahres	4	30
ΣV, max V	Différents déficits (d'écoulement)	Unterschiedliche Abflußdefizite	3	25
x	Valeur observée de débit	Beobachtungswert (Abfluß)	3	27
\bar{x}	Moyenne arithmétique des valeurs observées	Mittelwert der Beobachtungswerte (arithmetisch)	3	24
x(T)	Estimation d'une valeur en fonction de sa période de retour	Beobachtungswert als Funktion der Kehrzeit	3	28
\bar{y}	Moyenne arithmétique des valeurs d'observation logarithmiques y = log x	Mittelwert der logarithmischen Beobachtungswerte y = log x	3	24
X _T , Y _T	Débit de crue avec un temps de récurrence T	Hochwasserabfluß mit der Kehrzeitsspanne T	3	24

APERÇU COMPARATIF DES MÉTHODES UTILISÉES POUR L'ESTIMATION DES PROBABILITÉS DE CRUES ET D'ÉTIAGES DANS LES DIFFÉRENTS ÉTATS MEMBRES DE LA CHR

Pays	Suisse	Autriche	R.F.A.	France	Pays-Bas
1. Données statistiques utilisées					
- valeurs maximales annuelles	x	x	x	x	-
- valeurs maximales sélectionnées 1901-1975	-	-	-	-	x
- toutes les valeurs extrêmes	-	x (série partielle)	x (dans certains cas)*	-	-
- débits spécifiques moyens	x	-	-	-	-
- différents données	-	-	-	x (comme valeurs maximales de 1, 6, 12 mois)	-
2. Probabilité P de la crue de projet					
	$2 \cdot 10^{-2}$ ou 10^{-2}	$> 10^{-2}$	10^{-2} à 10^{-3}	selon le but	
	0	$< 10^{-2}$ (dans certain cas)	$5 \cdot 10^{-3}$ (Rhin supérieur: Bâle-Mannheim)	$10^{-4} < P < 10^{-1}$ crue	$8 \cdot 10^{-4}$
3. Fonctions de répartition					
- loi normale	-	-	-	x (pour valeurs annuelles)	-
- loi de Galton	x	-	-	x (pour valeurs mensuelles et valeurs extrêmes instantanées)	-
- loi exponentielle	-	-	-	-	x
- loi gamma	x	-	x (crue)	-	-
- loi de Pearson III	-	x	x (crue)	x	-
- loi log-Pearson III	x	x	x (crue)	-	-
- loi de Goodrich	x	-	-	x (pour valeurs mensuelles et annuelles)	-
- loi de Weibull (loi des valeurs extrêmes du type III)	-	-	x (étiage)	-	-
- loi de Gumbel (loi des valeurs extrêmes du type I)	x	x	-	x (pour valeurs extrêmes instantanées)	-
4. Estimation des paramètres					
- méthode des moments	x	x	x	-	x
- méthode graphique	-	-	-	x	-
- maximum de vraisemblance	-	-	x	x	-
5. Tests					
- χ^2	-	- calcul d'intervalles de confiance - coefficients de corrélation - analyses de tendance	- autocorrélation, analyse spectrale, analyse de régression, tests non-paramétriques - Student - analyse de tendances - Kolmogoroff-Smirnov - test de vraisemblance	- Fisher-Snedecor pour le découpage saisonnier - χ^2 - Brunet-Moret	- Anderson-Darling - Cramer-von Mises - »cumulative total time on test statistic«
6. Autres méthodes					
		Equation de régression (selon Schreiber-Nobilis)			

* Utilisées pour des crues non exceptionnelles ou pour des périodes d'observation courtes

N.B. Au Luxembourg, le calcul du débit de projet ne se base généralement pas sur une série de débits, mais sur des précipitations déterminées (cf. chapitre 5)

VERGLEICHENDER ÜBERBLICK DER FÜR DIE ERMITTLUNG VON HOCH- UND NIEDRIGWASSERWAHRSCHEINLICHKEIT IN DEN VERSCHIEDENEN MITGLIEDSTAATEN DER KHR ANGEWANDTEN VERFAHREN

Land	Schweiz	Österreich	B.R.D.	Frankreich	Niederlande
1. Angewandte statistische Daten					
- Jahreshöchstwerte	x	x	x	x	-
- ausgewählte Scheitelwerte 1901-1975	-	-	-	-	x
- alle Scheitel	-	x (partielle Serie)	x (in bestimmten Fällen)*	-	-
- mittlere spezifische Abflüsse	x	-	-	-	-
- verschiedene Daten	-	-	-	x (z.B. Höchstwerte von 1, 6, 12 Monaten)	-
2. Wahrscheinlichkeit P des Bemessungshochwassers					
	$2 \cdot 10^{-2}$ oder 10^{-2} 0	$> 10^{-2}$ 10^{-2} $< 10^{-2}$ (in bestimmten Fällen)	10^{-2} bis 10^{-3} $5 \cdot 10^{-3}$ (Oberrhein: Basel-Mannheim)	abhängig vom Zweck $10^{-4} < P < 10^{-1}$ (Hochwasser)	$8 \cdot 10^{-4}$
3. Verteilungsfunktionen					
- Normalverteilung	-	-	-	x (für jährliche Werte)	-
- Galtonverteilung	x	-	-	x (für monatliche und momentane Extremwerte)	-
- Exponentialverteilung	-	-	-	-	x
- Gammaverteilung	x	-	x (Hochwasser)	-	-
- Pearson III-Verteilung	-	x	x (Hochwasser)	x	-
- Log-Pearson III-Verteilung	x	x	x (Hochwasser)	-	-
- Goodrichverteilung	x	-	-	x (für monatliche und jährliche Werte)	-
- Weibullverteilung (Extremalverteilung Typ III)	-	-	x (Niedrigwasser)	-	-
- Gumbelverteilung (Extremalverteilung Typ I)	x	x	-	x (für momentane Extremwerte)	-
4. Parameterschätzung					
- Momentenmethode	x	x	x	-	x
- graphisches Verfahren	-	-	-	x	-
- Maximum-Likelihood	-	-	x	x	-
5. Testverfahren					
	$-\chi^2$	- Berechnung von Konfidenzgrenzen - Korrelationskoeffizienten - Trendanalysen	- Autokorrelation, Spektral- und Regressionsanalyse, verteilungsfreie Tests - Student - Trendanalysen - Kolmogoroff-Smirnov - Likelihood-Quotiententest	- Fisher-Snedecor, für die Trennung in Jahreszeiten - χ^2 - Brunet-Moret	- Anderson-Darling - Cramer-von Mises - »cumulative total time on test statistic«
6. Sonstige Verfahren					
		Regressionsgleichung (nach Schreiber-Nobilis)			

* Für nicht so seltene Hochwasserereignisse oder für kurze Beobachtungsperioden angewandt
N.B. In Luxemburg liegt der Berechnung des Bemessungsabflusses im allgemeinen nicht eine Abflußreihe, sondern ein maßgebend gesetzter Niederschlag zugrunde (s. Kapitel 5)

ANNEXE 4

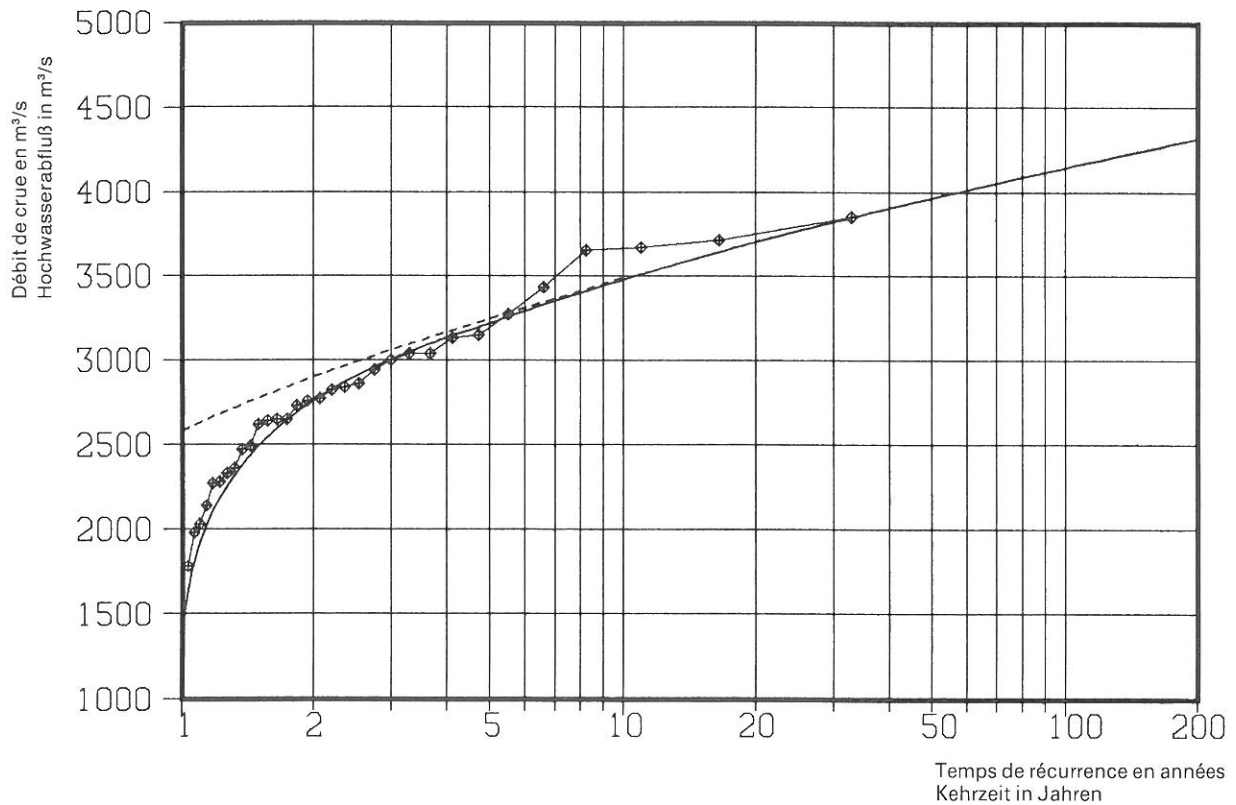
EXEMPLES DES CALCULS DE PROBABILITÉS DE CRUES AUX STATIONS DE RHEINFELDEN ET DE KAUB

Pour les stations qui ont été représentées dans les figures, la probabilité de crues a été calculée suivant la méthode logarithmique Pearson III (recommandation du DVWK). Pour le processus de calcul, la série partielle, c.à.d. les $n = 32$ plus hautes valeurs de débits (les débits de pointe) d'une série d'observation a été choisi.

ANLAGE 4

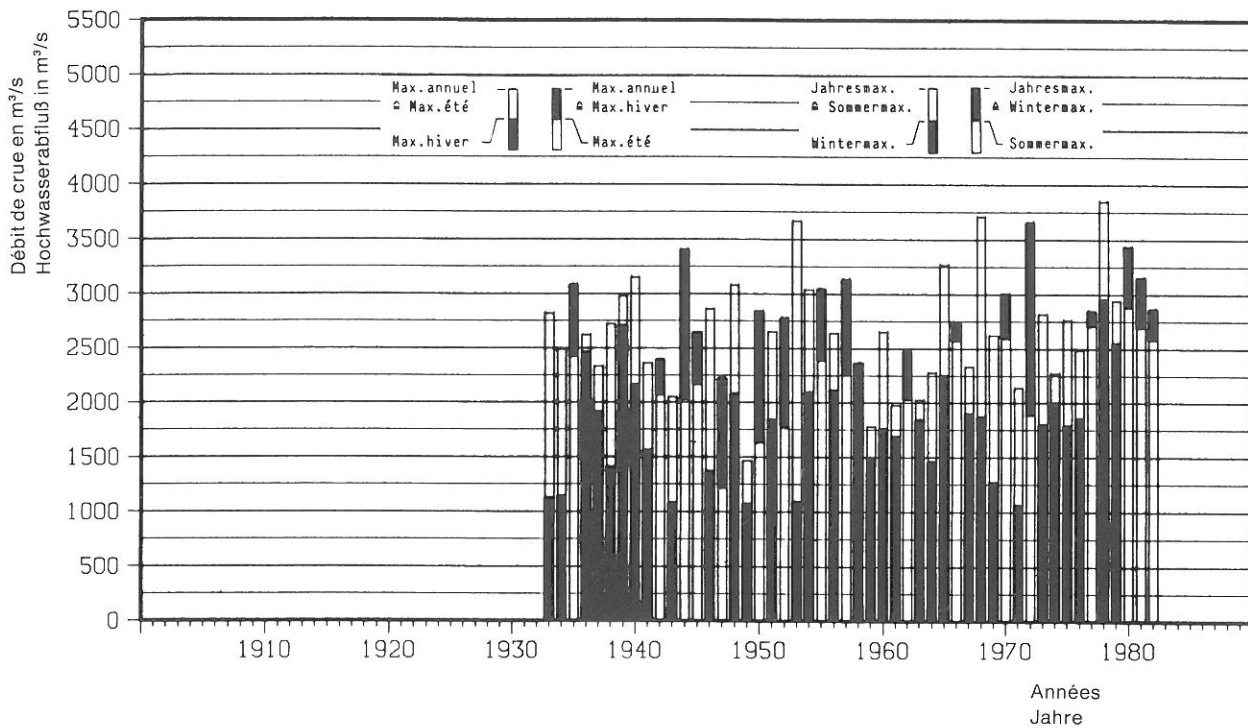
BEISPIELE VON BERECHNUNGEN VON HOCHWASSERWAHRSCHEINLICHKEITEN AN DEN STATIONEN RHEINFELDEN UND KAUB

Für die in den Abbildungen dargestellten Pegel wurde die Hochwasserwahrscheinlichkeit nach dem logarithmischen Pearson-III Verfahren (DVWK-Empfehlung) durchgeführt. Für den Rechengvorgang wurde die partielle Serie, d.h. die $n = 32$ höchsten Abflußwerte (Scheitelwerte) aus einer Beobachtungsreihe ausgewählt.



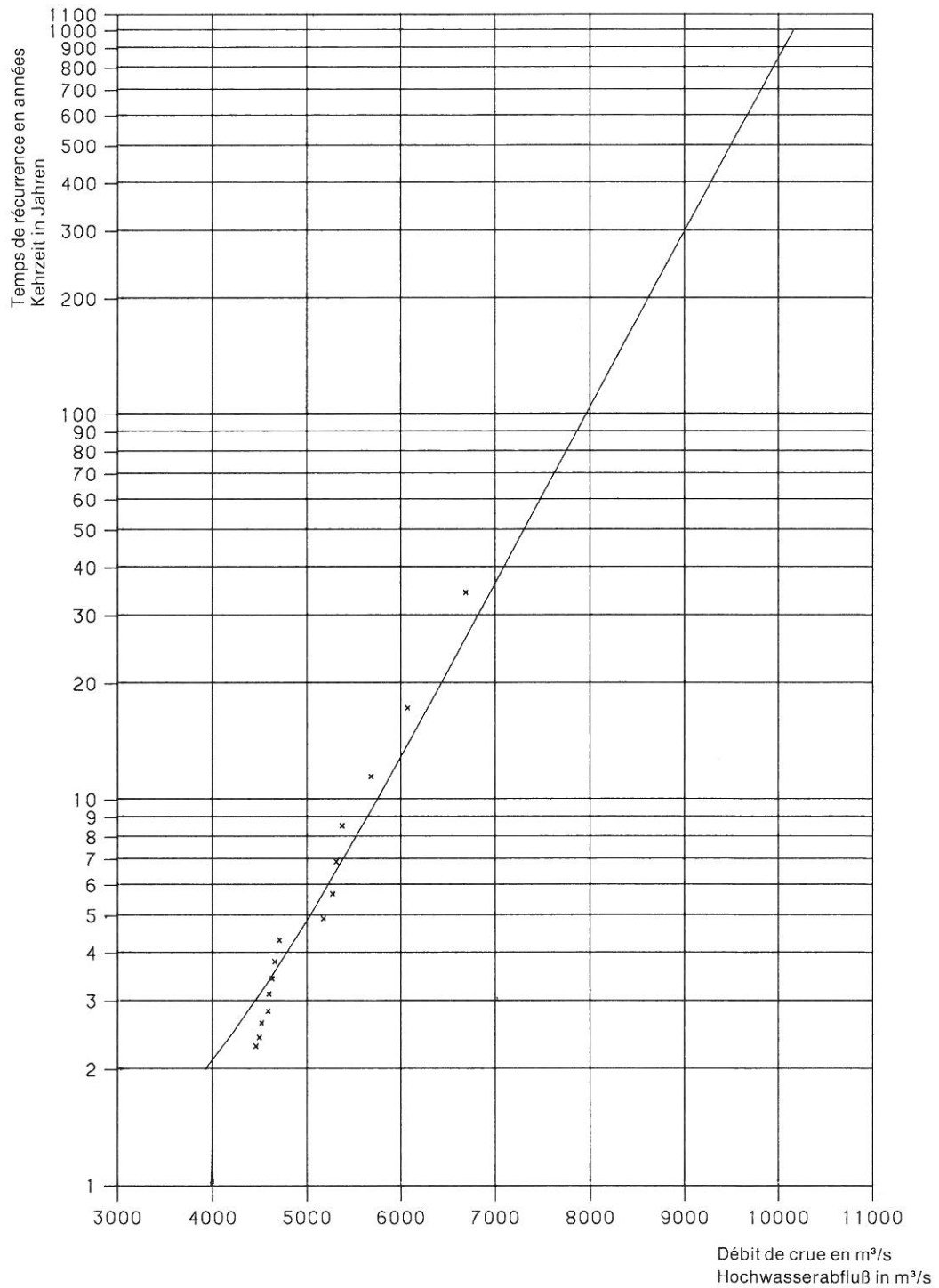
Probabilités de crues pour les débits annuels maximums à la station Rheinfelden/Rhin des années 1951–1982 suivant la recommandation de l'Association allemande pour l'économie des eaux et de génie rural (DVWK)

Hochwasserwahrscheinlichkeit für die höchsten jährlichen Abflüsse am Pegel Rheinfelden/Rhein der Jahre 1951–1982 nach der Empfehlung des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK)



Crues d'été et crues d'hiver maximales à la station Rheinfelden/Rhin des années 1933-1982

Maximale Sommer- und Winterhochwasser am Pegel Rheinfelden/Rhein der Jahre 1933-1982



Probabilités de crues pour les débits annuels maximums à la station Kaub/Rhin des années 1951–1982 suivant la recommandation de l'Association allemande pour l'économie des eaux et de génie rural (D.V.W.K.)

Hochwasserwahrscheinlichkeit für die höchsten jährlichen Abflüsse am Pegel Kaub/Rhein der Jahre 1951–1982 nach der Empfehlung des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (D.V.W.K.)

APPENDICE

APERÇU SYSTÉMATIQUE DES FONCTIONS DE DISTRIBUTION UTILISÉES DANS LE BASSIN DU RHIN

(Bibliographie: voir p. 47)

Il est bien connu que les fréquences d'observations naturelles se prêtent à un ajustement par des fonctions de répartition mathématiques. Cette constatation s'applique également aux processus précipitation-débit, bien que les fonctions de répartition rencontrées ne puissent être dérivées à partir des caractéristiques physiques des bassins hydrographiques. La connaissance de ces fonctions de répartition étant cependant indispensable, surtout pour la gestion des ressources hydrauliques, l'hydrologue doit recourir à des méthodes statistiques pour les obtenir.

La fonction mathématique qui doit être ajustée aux fréquences observées cumulées (donnant la probabilité de non-dépassement), est appelée fonction de répartition et est notée $F(x)$. Elle est normalisée en posant

$$\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1$$

La distribution des fréquences est appelée densité de probabilité* et est dérivée de l'expression précédente:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (1)$$

En utilisant ces méthodes statistiques on doit tenir compte des particularités suivantes:

1. Seuls des débits positifs interviennent: $x \geq 0$.
2. Plus les débits deviennent grands, moins ils sont fréquents et par conséquent la densité des fréquences diminue, de même que la probabilité de dépassement.
3. La distribution des fréquences est généralement unimodale, c'est-à-dire que la fréquence ne présente qu'un seul maximum, correspondant à une valeur unique du débit. Cette valeur est généralement positive, elle peut dans certains cas être nulle.

En premier lieu, les données d'observation (par exemple les débits d'une station) sont reportées sur un graphique en fonction de leur probabilité de dépassement, de façon à obtenir une répartition empirique. Ensuite

* On utilise également l'expression »densité des fréquences«

ANHANG

SYSTEMATISCHE ZUSAMMENSTELLUNG DER IM RHEINGEBIET BENUTZTEN VERTEILUNGSFUNKTIONEN

(Literaturverzeichnis: siehe S. 47)

Bekanntlich können Naturbeobachtungen bestimmte Häufigkeiten zugeordnet werden, die sich durch sog. mathematische Verteilungsfunktionen beschreiben lassen. Das trifft auch auf den Niederschlag-Abfluß-Prozeß zu, jedoch ist aus physikalischen Gesetzmäßigkeiten im Einzugsgebiet die betreffende Verteilungsfunktion nicht ableitbar. Da sie aber insbesondere von Seiten der wasserwirtschaftlichen Planung benötigt wird, ist der Hydrologe auf statistische Verfahren angewiesen.

Die mathematische Funktion, die an die empirisch gewonnene (Unterschreitungs-)Wahrscheinlichkeit anzupassen ist, nennt man Verteilungsfunktion mit der Bezeichnung $F(x)$. Sie wird normiert, indem man

$$\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1$$

setzt.

Die sog. Verteilungsdichte ist hieraus abgeleitet:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (1)$$

Bei der Verwendung der statistischen Verfahren sind folgende physikalischen Randbedingungen zu beachten:

1. Es treten nur positive Abflüsse auf: $x \geq 0$.
2. Mit zunehmender Größe werden die Abflüsse immer seltener, folglich werden die Verteilungsdichte und die Überschreitungswahrscheinlichkeit immer kleiner.
3. Die Häufigkeitsverteilung ist im allgemeinen eingipflig, d.h. für einen bestimmten Abfluß existiert eine maximale Häufigkeit. Dieser Wert ist im allgemeinen positiv, er kann aber auch gleich null sein.

Zunächst wird aus Beobachtungswerten (z.B. Abflüsse an einem Pegel) mit Hilfe einer Graphik eine sog. empirische Verteilung gebildet. Danach wird unter Berücksichtigung der o.g. Randbedingungen eine mathe-

une fonction de répartition mathématique sera choisie sur la base des particularités énoncées ci-dessus et sera ajustée à la répartition empirique. Pour cet ajustement, on dispose de plusieurs méthodes, par exemple celle des moments et celle du maximum de vraisemblance.

Un aperçu des procédés utilisés dans les différents pays figure à l'annexe 3.

Quelques-unes des distributions de fréquence les plus utilisées sont réunies en un tableau à la figure 1. On a cherché à y faire apparaître les relations systématiques existant entre les différents types de fonctions et leurs paramètres.

Cette présentation commence avec la distribution la plus connue, la loi normale ou distribution de Gauss (chiffre 1 de la figure 1) qui est basée sur le théorème central limite:

Si l'on tire d'une population de distribution quelconque des échantillons au hasard, la distribution de leurs moyennes s'approche de la loi normale à mesure que leur taille s'accroît.

La loi normale a la forme fondamentale* suivante:

$$f_B(x) = e^{-\alpha x^2} \quad (2)$$

La substitution de $(x-\bar{x})$ à x dans l'équation (1) permet de déplacer la moyenne. Pour $\bar{x} \gg 0$ et avec des variables positives (par exemple des débits), la loi normale peut donner dans la pratique de bons résultats. La forme générale de la loi normale est indiquée sur la figure 1, chiffre 1, à gauche.

On peut obtenir des variantes de la loi normale en substituant une fonction de x à la variable x dans $F(x)$. Un exemple en est fourni par la loi log-normale qui a elle-même plusieurs variantes utilisables:

- distribution log-normale classique: $x \rightarrow \ln x$
- distribution de Gibrat: $x \rightarrow \ln x + B$
- distribution de Galton: $x \rightarrow A \cdot \ln(x-C) + B$

Pour ces variantes, le domaine de validité change comme indiqué dans la partie droite de la figure 1, chiffre 1.

D'une structure tout aussi simple, la distribution exponentielle bilatérale (distribution de Laplace, chiffre II de la figure 1) a la forme fondamentale suivante:

* Par forme fondamentale, on entend ici la fonction non normalisée qu'il s'agisse de $f(x)$ ou de $F(x)$.

matische Verteilungsfunktion ausgewählt und an die empirische Häufigkeitsverteilung angepaßt. Hierfür stehen mehrere Methoden zur Verfügung, z.B. die Momentenmethode und die Maximum-Likelihood-Methode.

Eine Übersicht der in den verschiedenen Ländern angewandten Verfahren findet man in Anlage 3.

In Abb. 1. sind einige oft verwendete Verteilungsdichtefunktionen zusammengestellt. Es wurde versucht, einen systematischen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Typen und ihren Parametern zu geben.

Die Übersicht geht von der bekanntesten Verteilung, der Normalverteilung (Gaussverteilung), aus (I in Abb. 1.). Ihre Grundlage liegt im sog. zentralen Grenzwertsatz:

Wenn man aus einer beliebigen Grundgesamtheit Stichproben von genügend großem Umfang entnimmt, sind die Mittelwerte dieser Stichproben wieder normalverteilt.

Die Normalverteilung hat die Basisform*:

$$f_B(x) = e^{-\alpha x^2} \quad (2)$$

Ersetzt man in (1) x durch $(x-\bar{x})$, so verschiebt sich der Mittelwert. Für $\bar{x} \gg 0$ und bei Verwendung von positiven Variablen (z.B. Abflüssen) kann die Normalverteilung in der Praxis gute Ergebnisse liefern. Die allgemeine Form der Normalverteilung ist in Abb. 1, I links angegeben.

Varianten der Normalverteilung erhält man, indem man in $F(x)$ die Variable x durch eine Funktion von x ersetzt. Ein Beispiel hierfür ist die logarithmische Normalverteilung, von der wiederum mehrere Varianten gebräuchlich sind:

- klass. Log-Normalverteilung: $x \rightarrow \ln x$
- Gibratverteilung: $x \rightarrow \ln x + B$
- Galtonverteilung: $x \rightarrow A \cdot \ln(x-C) + B$

Dabei ändert sich der Gültigkeitsbereich, wie in Abb. 1, I rechts angegeben.

Von ähnlich einfacher Struktur ist die zweiseitige Exponentialverteilung (Laplaceverteilung, II in Abb. 1 links). Die Basisform dieser Verteilung lautet:

* Unter »Basisform« seien hier die nichtnormierten Funktionen $f(x)$ und $F(x)$ verstanden.

$$f_B(x) = e^{-\alpha|x|} \quad (3)$$

Ici aussi x peut être remplacé ($x-\bar{x}$) si la distribution ne comprend que des valeurs positives. Cette distribution peut être utilisée quand la fréquence diminue très rapidement au voisinage de $x = \bar{x}$ [TROUTMAN, 1985].

Quand, dans une série aléatoire, les éléments présentant les valeurs les plus basses se trouvent être les plus fréquents, la distribution des fréquences peut être décrite convenablement par la distribution exponentielle unilatérale (figure 1, chiffre III, à gauche):

$$f_B(x) = e^{-\alpha x} \quad (4)$$

$$(x \geq 0)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\alpha x} \quad (5)$$

Abstraction faite de la valeur absolue des variables, l'équation (4) représente la moitié droite de la distribution exponentielle bilatérale (3). Il s'avère que de nombreux paramètres hydrologiques suivent une distribution exponentielle et cela se vérifie en particulier avec les débits partiels dépassant une certaine valeur limite x_0 . Les fonctions (4) et (5) sont représentées par des lignes droites sur un papier logarithmique simple, ce qui est un avantage appréciable dans la pratique. La distribution (5), translatée par la substitution $x \rightarrow (x-x_0)$ est appelée distribution de Fuller (figure 1, chiffre III, à droite).

Quand la densité des fréquences doit admettre la valeur $f(x) = 0$ pour $x = 0$, le terme $e^{-\alpha x}$ sera multiplié par un facteur x^β . Il en résulte une nouvelle distribution de forme fondamentale:

$$f_B(x) = x^\beta \cdot e^{-\alpha x}, \quad (6)$$

qui est connue sous le nom de distribution gamma simple. Sa forme normalisée est donnée à la figure 1, chiffre IV à gauche. On obtient des variantes de la distribution gamma simple en remplaçant x dans $F_B(x)$ par l'une des expressions suivantes (figure 1, chiffre IV, à droite):

- Pearson type III: $x \rightarrow (x-x_0)$
- log-Pearson type III: $x \rightarrow \ln x$ ou $x \rightarrow \ln(x-x_0)$

On trouve des exemples de cette dernière distribution dans l'annexe 4, pour les stations de Rheinfelden et de Kaub.

La distribution gamma simple est un cas spécial de la distribution gamma générale ($\gamma = 1$):

$$f_B(x) = x^\beta e^{-\alpha x^\gamma} \quad (7)$$

L'équation (7) n'est pas utilisée sous cette forme dans la pratique hydrologique; elle est cependant applicable après les substitutions $x \rightarrow (x-x_0)$ et $\beta \rightarrow (\gamma-1)$:

$$f_B(x) = e^{-\alpha|x|} \quad (3)$$

Auch hier kann man x durch $(x-\bar{x})$ ersetzen, wenn die Verteilung nur positive Werte annehmen soll. Sie läßt sich anwenden, wenn die Häufigkeit in der Nähe von $x = \bar{x}$ sehr stark abnimmt [TROUTMAN, 1985].

Wenn von einer Zufallsreihe die Elemente mit den niedrigsten Werten am häufigsten vorkommen, so läßt sich diese Häufigkeitsverteilung gut mit der einseitigen Exponentialverteilung beschreiben (Abb 1, III links):

$$f_B(x) = e^{-\alpha x} \quad (4)$$

$$(x \geq 0)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\alpha x} \quad (5)$$

Abgesehen vom Absolutwert der Variablen stellt Gleichung (4) die rechte Hälfte der zweiseitigen Exponentialverteilung (3) dar. Es erweist sich, daß viele hydrologische Größen einer Exponentialverteilung folgen, insbesondere auch die Teilmenge ab einem bestimmten Grenzwert x_0 . Auf einfach logarithmischem Papier bilden die Gleichungen (4) und (5) eine gerade Linie, was für die Praxis von Vorteil ist. Die verschobene Verteilung welche man durch die Substitution $x \rightarrow (x-x_0)$ in (5) erhält nennt man Fullerverteilung (siehe Abb. 1, III rechts).

Wenn bei der Verteilungsdichte auch der Wert $f(x) = 0$ für $x = 0$ zugelassen sein soll, multipliziert man den $e^{-\alpha x}$ -Term der Exponentialverteilung mit dem Faktor x^β . Es entsteht dann eine neue Verteilungsdichte der Basisform:

$$f_B(x) = x^\beta \cdot e^{-\alpha x}, \quad (6)$$

die als (einfache) Gammaverteilung bekannt ist. In Abb. 1, IV links findet man ihre normierte Form. Varianten der einfachen Gammaverteilung erhält man, indem x in $F_B(x)$ wie folgt ersetzt wird (siehe Abb. 1, IV, rechts):

- Pearson Typ III: $x \rightarrow (x-x_0)$
- Log-Pearson Typ III: $x \rightarrow \ln x$ oder $x \rightarrow \ln(x-x_0)$

Beispiele der Anwendung dieser Verteilung findet man in Anlage 4 für die Stationen Rheinfelden und Kaub.

Die (einfache) Gammaverteilung ist ein Sonderfall der allgemeinen Gammaverteilung ($\gamma = 1$):

$$f_B(x) = x^\beta e^{-\alpha x^\gamma} \quad (7)$$

Gleichung (7) wird in dieser Form in der Hydrologie praktisch nicht angewendet, jedoch nach der Substitution $x \rightarrow (x-x_0)$ und $\beta \rightarrow (\gamma-1)$:

$$f(x) = \alpha \gamma (x-x_0)^{\gamma-1} \cdot e^{-\alpha(x-x_0)^\gamma} \quad (8)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\alpha(x-x_0)^\gamma} \quad (9)$$

Celle-ci est appelée distribution de Goodrich, type A; elle peut également être tirée de l'équation (5) par la substitution $x \rightarrow (x-x_0)^\gamma$.

La distribution gamma générale (7) peut être utilisée pour en dériver les distributions que l'on appelle lois des valeurs extrêmes. Par exemple si β est remplacé par $\gamma-1$ et α est remplacé par $(\beta^*)^{-\gamma}$, l'équation (7) aboutit à la forme fondamentale de la loi de Fréchet ou, en d'autres termes, à la distribution des valeurs extrêmes, type II, qui est identique à la distribution de Goodrich (8):

$$f_B(x) = x^{\gamma-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\beta^*}\right)^\gamma} \quad (10)$$

On peut produire la distribution de Weibull ou, autrement dit, la distribution des valeurs extrêmes, type III, par la substitution $x \rightarrow (x-x_0)$, avec la condition $x \geq x_0$. Par analogie avec (9), l'équation (10) mène pour la distribution des valeurs extrêmes, type II, à l'expression suivante:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta^*}\right)^\gamma} \quad (11)$$

où pour la distribution des valeurs extrêmes, type III, x est à remplacer de nouveau par $(x-x_0)$.

Tandis que la distribution de Fréchet est utilisée pour calculer la probabilité de crue, la distribution de Weibull, introduite par Gumbel, sert à estimer la probabilité des eaux basses, x_0 représentant alors le débit d'étiage le plus petit possible («minimum drought»). Il est clair que jusqu'à la translation $x \rightarrow (x-x_0)$, la forme des deux distributions est identique!

En substituant e^x à x dans l'équation (10), on obtient après quelques transformations la distribution des valeurs extrêmes de Gumbel, type I, qui sert à calculer la probabilité de crue:

$$f_B(x) \approx e^{-\alpha x - e^{-\alpha x}} \quad (12)$$

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha x}} \quad (13)$$

D'une manière tout à fait analogue, en prenant le logarithme de la distribution de Gumbel (12), on retrouve la distribution de Fréchet (10).

Pour toutes ces distributions, les valeurs caractéristiques statistiques, comme le mode, la moyenne, la variance et l'asymétrie peuvent se trouver dans la littérature [YEVEVICH, 1972].

$$f(x) = \alpha \gamma (x-x_0)^{\gamma-1} \cdot e^{-\alpha(x-x_0)^\gamma} \quad (8)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\alpha(x-x_0)^\gamma} \quad (9)$$

Dies ist die sogenannte Goodrichverteilung, Typ A, die man nach der Substitution $x \rightarrow (x-x_0)^\gamma$ aus (5) erhält.

Aus der allgemeinen Gammaverteilung (7) lassen sich u.a. die sog. Extremalverteilungen ableiten. Ersetzt man z.B. β durch $\gamma-1$ und α durch $(\beta^*)^{-\gamma}$, so folgt aus (7) die Basisform der Fréchet- oder Extremal Typ II-Verteilung, die identisch ist mit der Goodrichverteilung (8):

$$f_B(x) = x^{\gamma-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\beta^*}\right)^\gamma} \quad (10)$$

Die Weibull- oder Extremal Typ III-Verteilung erhält man durch die Substitution $x \rightarrow (x-x_0)$ mit $x \geq x_0$. Analog zu (9) folgt aus (10) für die Extremal Typ II-Verteilung:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta^*}\right)^\gamma} \quad (11)$$

wobei für die Extremal Typ III-Verteilung wiederum $x \rightarrow (x-x_0)$ zu ersetzen ist.

Während die Fréchetverteilung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit benutzt wird, dient die von Gumbel eingeführte Weibullverteilung zur Berechnung der Niedrigwasserwahrscheinlichkeit; hier stellt x_0 den kleinsten möglichen Niedrigwasserabfluß («minimum drought») dar. Es ist klar, daß bis auf die Translation $x \rightarrow (x-x_0)$ die Form beider Verteilungen identisch ist!

Wird in Gleichung (10) x durch e^x ersetzt, so erhält man nach einigen Umformungen die von Gumbel angegebene Extremal Typ I-Verteilung, die zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit dient:

$$f_B(x) \approx e^{-\alpha x - e^{-\alpha x}} \quad (12)$$

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha x}} \quad (13)$$

Völlig analog führt der Weg von der Gumbelverteilung (12) durch Logarithmieren wieder zur Fréchetverteilung (10).

Von all diesen Verteilungen kann man die sogenannten statistischen Kenngrößen Modus, Mittelwert, Varianz und Schiefe aus der Literatur entnehmen [YEVEVICH, 1972].

Alors que la figure 1 renferme les distributions les plus importantes, des cas simples aux cas les plus compliqués, la figure 2 montre uniquement un classement de ces fonctions de distribution selon un point de vue analytique.

Während in Abb. 1 die wichtigsten Verteilungen vom einfachen zum komplizierten Fall zusammengestellt sind, enthält Abb. 2 ausschließlich eine Ordnung dieser Verteilungsfunktionen nach analytischen Gesichtspunkten.

Fig. 1 Fonctions de distribution qui sont dérivées de la loi normale
 Abb. 1 Verteilungsfunktionen, die von der Normalverteilung abgeleitet

Densité des fréquences $f(x)$ / Verteilungsdichte $f(x)$ Fonction de distribution $F(x)$ / Verteilungsfunktion $F(x)$	Domaine de validité pour débits Gültigkeitsbereich für Abflüsse
I Loi normale (Gauss)/ Normal (Gauss)-Verteilung $f(x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi\sigma^2)}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$ $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) \cdot dx$	$\bar{x} \geq 0; x > 0$
II Loi exponentielle bilatérale/ Zweiseitige Exponentialverteilung (Laplace) $f(x) = \frac{\alpha}{2} \cdot e^{-\alpha x-\bar{x} }$ $F(x) = 1 - e^{-\alpha x-\bar{x} }$	$\bar{x} \geq 0; x > 0$
III Loi exponentielle unilatérale/ Einseitige Exponentialverteilung $f(x) = \alpha e^{-\alpha x}$ $F(x) = 1 - e^{-\alpha x}$	$x \geq 0$
IV Loi Gamma simple/ Einfache Gammaverteilung $f(x) = \frac{\alpha^{\beta+1}}{\Gamma(\beta+1)} \cdot x^{\beta} \cdot e^{-\alpha x}$ $F(x) = \int_0^x f(x) \cdot dx$	$x \geq 0$
V Loi Gamma générale/ Allgemeine Gammaverteilung $f(x) = \gamma \cdot \frac{\alpha^{\beta+1} \gamma}{\Gamma\left(\frac{\beta+1}{\gamma}\right)} \cdot x^{\beta} \cdot e^{-\alpha x \gamma}$ $F(x) = \int_0^x f(x) \cdot dx$	$x \geq 0$

Fig. 2 Variantes de la loi Gamma générale
 Abb. 2 Varianten der allgemeinen Gammaverteilung

Paramètres/ Parameter			Nom/ Name	$f_{\mathbb{B}}(x)$
a	b	c		
α	β	1	Gamma	$x^{\beta} \cdot e^{-\alpha x}$
0	$\frac{1}{2\sigma^2}$	2	Normale/Normal	$e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$
$\gamma-1$	$\beta^{-\gamma}$	γ	Valeurs extrêmes II/III/ Extremal II/III	$x^{\gamma-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}}$
α	0	1	Exponentielle/ Exponential	$e^{-\alpha x}$
<p>En substituant e^x à x dans la distribution des valeurs extrêmes, type II, c Durch Substitution von e^x für x in die Extremal Typ II-Verteilung, erhä</p>				
			Valeurs extrêmes I/ Extremal I	$e^{-\alpha x - e^{-\alpha x}}$
<p>En prenant le logarithme de la distribution normale, on obtient: Durch Logarithmierung der Normalverteilung, erhält man:</p>				
			Log-normale/ Log-Normal	$\frac{1}{x} \cdot e^{-\frac{(\ln x - \ln \bar{x})^2}{2\sigma_1^2}}$

PUBLICATIONS DE LA CHR

KHR-VERÖFFENTLICHUNGEN

CHR/KHR (1978): Le bassin du Rhin. Monographie Hydrologique. Staatsuitgeverij, La Haye/
Das Rheingebiet. Hydrologische Monographie. Staatsuitgeverij, Den Haag. ISBN 90 12017750

Rapports de la CHR

Berichte der KHR

I-1 GREBNER, D. (1982): Prévisions objectives et quantitatives des précipitations dans le bassin du Rhin. Etat de la question en 1982 (édition épuisée)/

Objektive, quantitative Niederschlagsvorhersagen im Rheingebiet. Stand 1982 (nicht mehr lieferbar).

I-2 GERHARD, H.; MADE, J. W. VAN DER; REIFF, J.; VREES, L. P. M. DE (1983): La sécheresse et les basses eaux de 1976. (2ème édition, 1985)/

Die Trocken- und Niedrigwasserperiode 1976. (2. Auflage, 1985). ISBN 90 709800 10

I-3 HOFIUS, K. (1985): Bassins de recherches hydrologiques dans le bassin du Rhin/

Hydrologische Untersuchungsgebiete im Rheingebiet. ISBN 90 7098 00 29

I-4 BUCK, W.; KIPGEN, R.; MADE, J. W. VAN DER; MONTMOLLIN, F. DE; ZETTL, H.; ZUMSTEIN, J. F. (1986):

Estimation des probabilités de crues et d'étéiages dans le bassin du Rhin/

Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit im Rheingebiet. ISBN 90 70980037

Rapports sous l'égide de la CHR

Berichte unter der Schirmherrschaft der KHR

II-1 MADE, J. W. VAN DER (1982): Analyse quantitative des débits (édition épuisée)/

Quantitative Analyse der Abflüsse (nicht mehr lieferbar).

Quelques informations sur la:

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'HYDROLOGIE DU BASSIN DU RHIN (CHR)

Institution

1970 A la suite de la coopération des comités nationaux pour le PHI dans le cadre de la coopération régionale du programme de L'UNESCO de la Décennie Hydrologique Internationale (DHI).

1975 Poursuite des travaux dans le cadre du Programme Hydrologique International (PHI) de L'UNESCO et du Programme d'Hydrologie Opérationnelle (PHO) de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM).

1978 Appui des travaux de la Commission par l'échange d'une note verbale par l'intermédiaire des Ministères des affaires étrangères des pays concernés.

Pays participants

la Suisse, l'Autriche, la République fédérale d'Allemagne, la France, le Luxembourg, les Pays-Bas.

Langues de travail

français et allemand.

Tâches

- Encourager la coopération des instituts hydrologiques scientifiques et des services hydrologiques dans le bassin du Rhin.
- Faciliter l'échange de données et d'informations dans le bassin du Rhin (par exemple données actuelles et prévisions).
- Harmoniser les données de base dans le bassin du Rhin.
- Echange des résultats de recherches hydrologiques scientifiques dans le bassin du Rhin.

Organes de la Commission

Représentants permanents (séances 2 à 3 fois par an).
Comité de rédaction.
Groupes de travail.
Groupes de concertation.
Rapporteurs.

Travaux effectués

Monographie hydrologique volumineuse sur le bassin du Rhin.
Publications de rapports des groupes de travail, des rapporteurs («série I») et des auteurs individuels («série II») – voir p. 69

Einige Informationen über die:

INTERNATIONALE KOMMISSION FÜR DIE HYDROLOGIE DES RHEINGEBIETES (KHR)

Gründung

1970 Durch regionale Zusammenarbeit der IHD-Nationalkomitees im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) der UNESCO.

1975 Fortsetzung der Arbeiten im Rahmen des Internationalen Hydrologischen Programms (IHP) der UNESCO und des Operationellen Hydrologischen Programms (OHP) der WMO.

1978 Unterstützung der Arbeiten der Kommission durch Austausch einer Verbal-Note über die Ministerien für auswärtige Angelegenheiten der mitarbeitenden Länder.

Mitarbeitende Länder

Schweiz, Österreich, Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Luxemburg, Niederlande.

Arbeits Sprachen

Französisch und Deutsch.

Aufgaben

- Förderung der Zusammenarbeit der wissenschaftlichen hydrologischen Institute und der hydrologischen Dienste im Rheingebiet.
- Erleichterung des Daten- und Informationsaustausches im Rheingebiet (z.B. aktuelle Daten, Vorhersagen).
- Vereinheitlichung der Datengrundlagen im Rheingebiet.
- Austausch von hydrologischen Forschungsergebnissen im Rheingebiet.

Arbeitsgremien

Ständige Vertreter (Sitzungen 2 bis 3 mal pro Jahr).
Redaktionsausschuß.
Arbeitsgruppen.
Kontaktgruppen.
Rapporteurs.

Arbeitsergebnisse

Umfangreiche Monographie über das Rheingebiet.
Publikationen der Arbeitsgruppen, der Rapporteurs («Serie I») und von individuellen Autoren («Serie II») – siehe S. 69.

Groupes de travail et leurs tâches

»Standardisation«:

- Harmonisation des mesures de débits au niveau des tronçons frontaliers du Rhin et de ses affluents.
- Sélection d'un réseau de mesure en vue d'une description représentative de la situation hydrologique dans le bassin du Rhin et d'une description uniforme des stations de mesure.
- Sélection de paramètres hydrologiques caractéristiques.
- Etablissement d'un aperçu des stations de mesure importantes.

»Prévisions«:

- Présentation de tous les modèles de prévision des hauteurs d'eau et des débits dans le bassin du Rhin et description des méthodes utilisées.
- Elaboration de propositions sur le flux de données et d'informations en vue de prévisions au-delà des frontières.
- Analyse des coûts et bénéfices de prévisions d'étiages.
- Prévisions quantitatives des précipitations.

Rapporteurs et leurs tâches

»Précipitations régionales«:

- Description des méthodes utilisées dans le bassin du Rhin.
- Propositions concernant l'échange continu des valeurs de précipitations régionales.

»Bibliographie«:

- Recueil de la bibliographie hydrologique sur le bassin du Rhin du 1970 au 1980.

Autres publications prévues

- Aperçu des données hydrologiques sur la période 1971–1980 (suite à tome B de la Monographie).
- Influence de l'étalonnage des moulinets hydrométriques sur la précision des mesures de débits.
- Les crues de 1983 sur le Rhin et sur la Moselle.

Arbeitsgruppen und ihre Aufgaben

»Standardisierung«:

- Abstimmung der Abflußermittlung in Grenzschnitten des Rheins und seiner Nebenflüssen.
- Auswahl eines Meßnetzes zur repräsentativen Beschreibung der hydrologischen Situation im Rheingebiet mit einheitlicher Meßstellenbeschreibung.
- Auswahl von charakteristischen hydrologischen Parametern.
- Erstellen einer Übersicht über wichtige Meßstellen im Rheingebiet.

»Vorhersagen«:

- Zusammenstellung aller Wasserstands- und Abflußvorhersagemodelle im Rheingebiet einschließlich Beschreibung der angewandten Methoden.
- Erarbeitung von Vorschlägen über Daten- und Informationsfluß für länderübergreifende Vorhersagen.
- Kosten-Nutzen Analyse von Niedrigwasservorhersagen.
- Quantitative Niederschlagsvorhersagen.

Rapporteure und ihre Aufgaben

»Gebietsniederschläge«:

- Zusammenstellung der im Rheingebiet angewandten Methoden.
- Vorschläge für aktuellen Austausch von Gebietsniederschlagsdaten.

»Bibliographie«:

- Zusammenstellung der hydrologischen Literatur über das Rheingebiet von 1970 bis 1980.

Weitere vorgenommene Veröffentlichungen

- Übersicht hydrologischer Daten über die Periode 1971–1980 (Fortschreibung von Teil B der Monographie).
- Einfluß der Kalibrierung hydrometrischer Meßflügel auf der Zuverlässigkeit der Abflußermittlung.
- Die Hochwasser von 1983 an Rhein und Mosel.

Enige gegevens betreffende de:

INTERNATIONALE COMMISSIE VOOR DE HYDROLOGIE VAN HET RIJNGEBIED (CHR)

Oprichting

1970 In het kader van het Internationaal Hydrologisch Decennium (IHD) van de UNESCO, door samenwerking tussen de betreffende nationale comités.

1975 Voortzetting der werkzaamheden in het kader van het Internationaal Hydrologisch Programma (IHP) van de UNESCO en het Operationeel Hydrologisch Programma (OHP) van de WMO.

1978 Ondersteuning van het werk der Commissie door een nota-uitwisseling tussen de ministeries van buitenlandse zaken van de samenwerkende landen.

Deelnemende landen

Zwitserland, Oostenrijk, Bondsrepubliek Duitsland, Frankrijk, Luxemburg, Nederland.

Voertalen

Frans en Duits.

Taken

- Bevorderen van de samenwerking tussen de wetenschappelijke hydrologische instituten en diensten in het stroomgebied van de Rijn.
- Bevordering van gegevens- en informatieuitwisseling in het stroomgebied van de Rijn (b.v. actuele gegevens, voorspellingen).
- Standaardisering van gegevensbestanden in de Rijn-oeverstaten.
- Uitwisseling van hydrologische onderzoeksresultaten m.b.t. het stroomgebied van de Rijn.

Commissieorganen

Permanente vertegenwoordigers (bijeenkomsten 2 à 3 keer per jaar).
Redactiecomité.
Werkgroepen.
Contactgroepen.
Rapporteurs.

Produkten

Hydrologische Monografie »Het stroomgebied van de Rijn«.
Publikaties van rapporten van werkgroepen, rapporteurs (»serie I«) en individuele auteurs (»serie II«) – zie blz. 69.

Some information on the:

INTERNATIONAL COMMISSION FOR THE HYDROLOGY OF THE RHINE BASIN (CHR)

Foundation

1970 By regional co-operation of the national IHD-committees within the framework of UNESCO's IHD (International Hydrological Decade).

1975 Continuation of the activities in the framework of UNESCO's IHP (International Hydrological Program) and the OHP (Operational Hydrological Program) of WMO.

1978 Support of the Commission's activities by exchange of a verbal note through the foreign offices of the participating countries.

Participating countries

Switzerland, Austria, Federal Republic of Germany, France, Luxemburg, The Netherlands.

Working languages

French and German.

Tasks

- Support of co-operation of the scientific hydrological institutes and the hydrological services in the Rhine basin.
- Promotion of the exchange of data and information in the Rhine basin (e.g. current data and forecasts).
- Standardization of data bases in the Rhine basin countries.
- Exchange of results of hydrological research in the Rhine basin.

Organs of the Commission

Permanent representatives (meetings 2 or 3 times a year).
Editing committee.
Working groups.
Contact groups.
Rapporteurs

Results

Hydrological Monograph »The Rhine basin«.

Publications of reports compiled by working groups, rapporteurs (»series I«) and individual authors (»series II«) – see p. 69.

Werkgroepen en hun taken

»Standaardisering«:

- Op elkaar afstemmen van afvoermeetmethoden op grensoverschrijdende riviervakken van de Rijn en zijn zijrivieren.
- Bepaling van een meetnet voor een representatieve beschrijving der hydrologische situatie in het Rijngebied, alsmede een beschrijving der meetstations.
- Keuze van karakteristieke hydrologische parameters.
- Samenstellen van een overzicht van belangrijke meetstations in het Rijngebied.

»Voorspellingen«:

- Beschrijving van de in het Rijngebied gebezigde waterstands- en afvoervoorspellingsmodellen en de daarbij gebruikte methoden.
- Uitwerking van voorstellen betreffende gegevens- en informatiestromen voor grensoverschrijdende voorspellingen.
- Kosten-baten analyse van laagwatervoorspellingen.
- Kwantitatieve neerslagvoorspellingen.

Rapporteurs en hun taken

»Gebiedsneerslag«:

- Samenvatting van de in het Rijngebied toegepaste methoden.
- Voorstellen voor uitwisseling van actuele gegevens over gebiedsneerslag.

»Bibliografie«:

- Samenstelling van een lijst van hydrologische literatuur over het Rijngebied vanaf 1970 tot 1980.

Verdere voorgenomen publikaties

- Overzicht van hydrologische gegevens over de periode 1971–1980 (vervolg op deel B der Monografie).
- Invloed van de ijking van snelheidsmolentjes op de nauwkeurigheid van afvoerbepalingen.
- De hoogwaters van 1983 op de Rijn en de Moezel.

Working groups and their tasks

»Standardization«:

- Harmonization of discharge measurements for border crossing riversections of the Rhine and its tributaries.
- Selection of a measuring network for the representative description of the hydrological situation in the Rhine basin, including a standardized account of the gauging stations.
- Selection of characteristic hydrological parameters.
- Compilation of a survey on important gauging stations in the Rhine basin.

»Forecasting«:

- Compilation of all forecasting models for water levels and discharges in the Rhine basin including a description of the applied methods.
- Elaboration of suggestions for the exchange of data and information for border crossing forecasts.
- Cost-benefit analysis of low-flow forecasting.
- Quantitative forecasting of precipitation.

Rapporteurs and their tasks

»Areal precipitation«:

- Summary of methods applied in the Rhine basin.
- Recommendations for current exchange of areal precipitation data.

»Bibliography«:

- Compilation of a bibliography of hydrological publications on the Rhine basin from 1970 to 1980.

Further projected reports

- Survey on hydrological data over the period 1971–1980 (continuation of part B of the Monograph).
- Influence of the calibration of current meters on the accuracy of discharge measurements.
- The floods of 1983 on the Rhine and the Moselle.

