

# Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

## Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

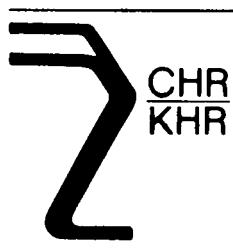


n° 10028

La sécheresse et les basses eaux de 1976

Die Trocken- und Niedrigwasserperiode 1976

H. Gerhard, Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden  
J. W. van der Made, Rijkswaterstaat, Den Haag  
J. Reiff, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt  
L. P. M. de Vrees, Rijkswaterstaat, Den Haag



Secretariaat CHR | KHR  
Hoofskade 1

Postbus 20907  
2500 EX 's-Gravenhage  
Pays-Bas | Niederlande

Rapport no. I-2 de la CHR  
Bericht Nr. I-2 der KHR

langues originales: néerlandais et allemand  
Originalsprachen: Niederländisch und Deutsch

© 1983, CHR/KHR  
ISBN 9070980010

## PRÉFACE

La Décennie Hydrologique Internationale (DHI/IHD), 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/KHR). 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. Aux côtés des Pays-Bas, la République fédérale d'Allemagne, la France, l'Autriche et la Suisse collaborent aux travaux de la CHR. 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.

Comme déjà expliqué dans la monographie susmentionnée, la CHR s'est proposé d'établir un rapport sur les événements hydrologiques extraordinaires, comme les sécheresses ou les crues extrêmes. La sécheresse en Europe occidentale et centrale en 1976 constituait un tel événement.

A la séance plénière tenue à Boppard on a désigné deux rapporteurs (H. Gerhard et J. W. van der Made) qui furent chargés de dresser un rapport sur la sécheresse en 1976 et sur ses conséquences dans le bassin du Rhin. Le présent rapport a pu être établi grâce à la collaboration de plusieurs spécialistes et après consultation de différents rapports nationaux à ce sujet. Il forme le deuxième rapport dans la série I des publications de la CHR. En plus des publications officielles de la CHR, il existe une deuxième série de rapports (Série II), publiés sous l'égide de la CHR.

PDoz. Dr. H.-J. Liebscher  
Président de la CHR

## 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« (CHR/KHR) gegründet. Dabei stellte die niederländische Regierung dankenswerterweise ein ständiges Sekretariat für die Durchführung der Arbeiten zur Verfügung. Neben den Niederlanden arbeiten in der KHR die Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Österreich und die Schweiz mit. 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 Inventar.

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.

Wie schon in der erwähnten Monographie erläutert, hat sich die KHR vorgenommen, über außergewöhnliche hydrologische Ereignisse wie Trockenheiten und extreme Hochwässer zu berichten. Ein solches Ereignis war die Trockenheit in West- und Mitteleuropa im Jahre 1976.

Es wurden daher auf der Plenarsitzung in Boppard zwei Rapporteurs eingesetzt (H. Gerhard und J. W. van der Made) mit der Aufgabe, einen Bericht über die Trockenheit und ihre Auswirkungen im Rheingebiet anzufertigen. Der vorliegende Bericht kam dank der Mitarbeit verschiedener Sachverständiger sowie aufgrund verschiedener nationaler Berichte zu diesem Thema zustande. Er bildet die zweite Publikation in der Reihe I von KHR-Veröffentlichungen. Neben den offiziellen KHR-Veröffentlichungen wird eine zweite Reihe (II) von Berichten unter der Schirmherrschaft der KHR veröffentlicht.

PDoz. Dr. H.-J. Liebscher  
Vorsitzender der KHR

# TABLE DES MATIÈRES

	<i>Préface</i>	3
<b>1</b>	<b>Introduction</b>	8
<b>2</b>	<b>Considérations météorologiques sur la sécheresse de 1976 (J. Reiff, Pays-Bas)</b>	9
2.1	Énoncé du problème	9
2.2	Précipitations	9
2.3	Répartition de la pression atmosphérique sur l'hémisphère nord	16
2.4	Températures de l'eau de mer en 1976	21
2.5	Conclusions	22
Fig. 2.1	Débits du Rhin à Lobith 1901...1975 et 1976; distribution de fréquence	10
Fig. 2.2	Répartition des précipitations sur l'Europe pour la période de mars...août 1976	12
Fig. 2.3	Écarts (en %) entre les précipitations de mars...août 1976 et les précipitations moyennes de la période 1931...1960	13
Fig. 2.4	Distributions de fréquences des précipitations pendant la période de mars...août selon les séries de Baur et de Braak	15
Fig. 2.5	Carte d'isohypes anormales de la surface de 500 mbar pour la période de mars...mai 1976 par rapport à la période 1949...1973	17
Fig. 2.6	Carte d'isohypes anormales de la surface de 500 mbar pour la période de juin...août 1976 par rapport à la période 1949...1973	18
Fig. 2.7	Carte des anomalies des températures superficielles de l'eau de mer pour la période de mars...mai 1976	19
Fig. 2.8	Carte des anomalies des températures superficielles de l'eau de mer pour la période de juin...août 1976	20
Tab. 2.1	Précipitations mensuelles dans le bassin du Rhin pour la période 1931...1960 et pour 1976	11
Tab. 2.2	Coefficients de corrélation r pour la relation linéaire entre les valeurs moyennes saisonnières des anomalies de 500 mbar d'une part et des anomalies des températures en surface de l'eau de mer d'autre part	22
<b>3</b>	<b>Description hydrologique générale de la sécheresse de 1976 (L. P. M. de Vrees, Pays-Bas)</b>	23
3.1	Introduction	23
3.2	Considérations hydrologiques	28
Fig. 3.1	Écarts à la normale 1931...1980 des débits moyens annuels à Rheinfelden, Worms, Kaub, Andernach et Lobith pour la période 1931...1980 (en %)	24
Fig. 3.2	Écarts à la normale 1931...1980 des débits moyens à Rheinfelden, Worms, Kaub, Andernach et Lobith pour la période de mars...août (1931...1980) (en %)	25
Fig. 3.3	Variations du niveau des eaux souterraines à Orschwiller, Rastatt-Foerch, Francfort, Dorsten et Hoenderloo	26
Fig. 3.4	Hydrogramme à Lobith pour la période 1975...1977 et débits moyens mensuels de la période 1931...1980	27
Fig. 3.5	Hydrogramme pour la période d'octobre 1975...janvier 1977 et débits moyens mensuels à Rheinfelden, Worms, Kaub, Andernach et Lobith et pour Lobith moins Rheinfelden pour la période 1931...1980	30
Tab. 3.1	Débits moyens mensuels et débits moyens sur 6 mois à Lobith pour plusieurs années sèches (en m <sup>3</sup> /s)	26
Tab. 3.2	Pourcentage des surfaces et des débits de quatre stations de mesure par rapport à celle de Lobith	32
<b>4</b>	<b>Considérations statistiques (H. Gerhard, République fédérale d'Allemagne)</b>	33
4.1	Régime hydrologique en étiage	33
4.2	Données	34
4.3	Vérification de l'homogénéité	35
4.4	Probabilité d'apparition de basses eaux	36
4.4.1	Courbes de même fréquence de débit	40
4.4.2	Fonction de répartition	43
4.4.3	Fréquences de débits moyens d'étiage	43
4.5	Appréciation de la période de sécheresse de 1976	46
Fig. 4.1	Débits moyens mensuels d'étiage pour quelques stations rhénanes pour les années 1951...1980	33
Fig. 4.2	Valeurs moyennes minimales des débits sur plusieurs jours pour quelques stations rhénanes pour les années 1951...1980	34
Fig. 4.3	Courbes doubles cumulées des débits aux stations de Bâle, Plochingen, Schweinfurt et Cochem	37
Fig. 4.4.a	Tendances et limites de signification (95%, 99%) des plus faibles moyennes sur plusieurs jours de la série 1821...1978	38
Fig. 4.4.b	Tendances et limites de signification (95%, 99%) des moyennes minimales journalières des débits de la série 1821...1978	39
Fig. 4.5.a... 4.5.1	Courbes de même fréquence de débit et valeurs mensuelles minimales de l'année 1976	41
Fig. 4.6.a... 4.6.1	Fréquences de débits moyens minimaux de basses eaux d'après la distribution de Weibull	44
Fig. 4.7	Distribution empirique des débits d'étiage de 1951...1978 de différentes durées pour la station de Kaub	46
Tab. 4.1	Stations utilisées avec bassin versant	35
Tab. 4.2	Débits caractéristiques des années de sécheresse 1921, 1934, 1947, 1964 et 1976	40
Tab. 4.3	Débits probables de périodes minimales de 5 jours de récurrence moyenne définie (d'après la distribution de Weibull)	46
Tab. 4.4	Débits moyens probables de la période de mars à août (m <sup>3</sup> /s) de récurrence moyenne définie (d'après la distribution de Weibull)	48

<b>5</b>	<b>Bilan hydrique du bassin du Rhin en amont de Lobith pour la période d'octobre 1975 à janvier 1977 (L. P. M. de Vrees, Pays-Bas)</b>	49
5.1	Établissement du bilan hydrique	49
5.2	Précipitations	50
5.3	Écoulement	51
5.4	Évapotranspiration	52
5.5	Emmagasinement	52
5.5.1	Généralités	52
5.5.2	Emmagasinement sous forme de neige	52
5.5.3	Volume stocké en eau souterraine	53
5.5.4	Emmagasinement sous forme d'humidité du sol	54
5.6	Autres considérations	55
Fig. 5.1	Hauteurs moyennes mensuelles des précipitations dans le bassin du Rhin pendant la période d'octobre 1975...janvier 1977 et moyennes mensuelles des précipitations de la période 1931...1960	50
Fig. 5.2	Hydrogramme et hydrogramme de base à Lobith pour la période d'octobre 1975...janvier 1977	51
Tab. 5.1	Somme des précipitations, écoulements, évapotranspiration et emmagasinement pour trois périodes sur le bassin du Rhin en amont de Lobith	51
Tab. 5.2	Équivalents en eau de la couche de neige des hivers 1975/1976 et 1976/1977 jusqu'au 1er février 1977 inclus (mm)	53
<b>6</b>	<b>Quelques conséquences de la sécheresse et évolution future</b>	58
6.1	Quelques conséquences de la sécheresse de 1976 (L. P. M. de Vrees, Pays-Bas)	58
6.2	Évolution future (H. Gerhard, République fédérale d'Allemagne)	60
<b>7</b>	<b>Résumé et recommandations (français, allemand, néerlandais, anglais)</b>	62
	<b>Bibliographie</b>	69
	<b>Annexes</b>	
Annexe 1	Nappes aquifères dans le bassin du Rhin	71
Annexe 2	Carte géographique	73
Annexe 3	Hauteurs mensuelles des précipitations pendant la période 1931...1960 et en 1976	75
Annexe 4	Stations pluviométriques et polygones de Thiessen avec surfaces en km <sup>2</sup>	77
Annexe 5	Bilan hydrique du bassin du Rhin	79
Annexe 6	Débits moyens journaliers minimaux et valeurs moyennes de 10 années à la station de Bâle	80

## 1. INTRODUCTION

En 1976, une grande partie de l'Europe occidentale et centrale a été touchée par une sécheresse exceptionnelle. La zone concernée comprenait entre autres la majeure partie du bassin du Rhin.

Pour cette raison, il fut décidé lors de la cinquième session plénière de la CHR en 1978, d'étudier et de faire paraître dans une publication les différents aspects de cette sécheresse et les conséquences qu'elle a eues pour le bassin de Rhin du point de vue hydrologique.

La structure du présent rapport est plus ou moins la même que celle du chapitre A.6.2 de la monographie de la CHR («Considérations sur les périodes de basses eaux de 1959 et 1964»). Comme la sécheresse de 1976 paraissait cependant plus grave que celles de 1959 et 1964, les divers aspects de la sécheresse de 1976 (développements météorologiques, développements hydrologiques, considérations statistiques, le bilan hydrique et les conséquences de la sécheresse pour la vie sociale et l'environnement) furent traités ici plus en détail. La description de l'influence de la sécheresse de 1976 dans le bassin du Rhin a été faite à partir de différents rapports parus dans les Etats membres de la CHR à la suite de la sécheresse de 1976 et répertoriés dans la bibliographie jointe. La sécheresse n'ayant pas eu de conséquences importantes pour la partie autrichienne du bassin du Rhin, on n'a pas fait paraître de rapport autrichien. A part de ces rapports nationaux, la coopération de divers services et d'experts des états membres de la CHR a été indispensable à l'établissement de ce rapport.

La situation géographique de tous les sites, régions, rivières etc., cités dans le présent rapport, est représentée à l'annexe 2.

## 1. EINLEITUNG

1976 war ein großer Teil West- und Mitteleuropas von einer außergewöhnlichen Trockenperiode betroffen. Die Trockenperiode umfaßte u.a. den größten Teil des Einzugsgebietes des Rheins.

Deshalb wurde während der fünften Plenarsitzung der KHR in 1978 der Beschluß gefaßt, die verschiedenen Aspekte und Folgen, die diese Trockenperiode aus hydrologischer Sicht für das Einzugsgebiet des Rheins mit sich brachte, zu untersuchen und in einer KHR-Veröffentlichung zu beschreiben.

Die Struktur des vorliegenden Berichtes stimmt mehr oder weniger mit derjenigen des Kapitels A.6.2 der KHR-Monographie («Betrachtungen über die Niedrigwasserperioden von 1959 und 1964») überein. Weil die Trockenheit von 1976 aber wesentlich bedeutender erschien als diejenigen von 1959 und 1964, wurden die verschiedenen Aspekte der Trockenperiode 1976 (meteorologische Betrachtungen, hydrologische Entwicklungen, statistische Betrachtungen, die Wasserbilanz und die Folgen der Trockenheit für Wirtschaft und Umwelt) hier eingehender behandelt. Die Beschreibung des Einflusses, den die Trockenperiode 1976 im Einzugsgebiet des Rheins hatte, ist aus verschiedenen Berichten zusammengestellt, die in den Mitgliedstaaten der KHR aufgrund der Trockenperiode von 1976 erschienen und in der Literaturliste enthalten sind. Die Trockenperiode von 1976 hatte keine wesentlichen Auswirkungen für den österreichischen Teil des Rheineinzugsgebietes, so daß kein österreichischer Bericht erschienen ist. Nicht nur die nationalen Berichte, sondern auch die Mitarbeit verschiedener Dienststellen und Fachleute aus den Mitgliedstaaten der KHR war für das Zustandekommen dieses Berichtes unentbehrlich.

Die geographische Lage aller in diesem Bericht genannten Orte, Gebiete, Wasserläufe, u.dgl. wird in Anlage 2 dargestellt.

## 7. RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

Le présent rapport donne une description de divers aspects de la sécheresse de 1976 et de son influence sur le bassin du Rhin. Les phénomènes de cette période de sécheresse sont expliqués du point de vue météorologique et hydrologique.

L'étude commence par des considérations météorologiques (chap. 2) qui mettent en parallèle les faibles précipitations survenues entre mars et août 1976 et les »anomalies« constatées dans la répartition de la pression atmosphérique au niveau de 500 mbar sur l'hémisphère nord. Ces phénomènes se sont révélés être liés à des anomalies des valeurs moyennes des températures de l'eau des océans Atlantique et Pacifique, constatées à la même époque. Comme ces températures et, par conséquent, les anomalies de la pression atmosphérique ne peuvent être prévues actuellement, des périodes de sécheresse comme celle de 1976 ne peuvent pas être prévues non plus. Les données de précipitations de la République fédérale d'Allemagne et des Pays-Bas mènent à la conclusion, que l'on peut dire avec une certitude de 95% qu'une période de sécheresse comme celle de la période de mars à août 1976 se produit entre une fois tous les 150 ans et une fois tous les 2000 ans, pourvu qu'il n'y ait pas de changements climatiques.

Le chapitre 3 donne une description hydrologique de la sécheresse de 1976. A partir de données de cinq stations hydrométriques rhénanes et de cinq stations piézométriques il est expliqué que l'extrême sécheresse avait été précédé, pour ce qui est du Rhin, d'une période sèche commencée en 1971 et interrompue seulement par quelques mois humides en 1975. Les précipitations de ces mois humides n'ont pas pu remettre le volume en eau souterraine fortement diminué au même niveau qu'avant 1971. Une analyse profonde de la période de sécheresse de 1976 montre, qu'en effet, celle-ci commença déjà en octobre 1975 et qu'elle a duré jusqu'en février 1977. En outre du niveau de l'eau souterraine fortement diminué, les facteurs suivants y ont joué un rôle:

- les faibles précipitations;
- les faibles quantités de l'eau de fonte au printemps 1976;
- la grande évaporation potentielle, causé par les températures élevées de l'air et par le grand nombre d'heures d'ensoleillement;
- les besoins croissants en eau.

La région alpine a joué un rôle très important pour les débits du Rhin: en juillet 1976 les débits à Rheinfelden constituaient 93% des débits à Lobith.

## 7. ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN

Der vorliegende Bericht beschreibt verschiedene Aspekte der Trockenperiode 1976 und ihre Auswirkungen im Rheineinzugsgebiet. Die Phänomene dieser Trockenperiode werden aus meteorologischer und aus hydrologischer Sicht erklärt.

Die Studie beginnt mit einer meteorologischen Betrachtung (Kap. 2), worin der geringe Niederschlag in der Periode März bis August 1976 in eine Beziehung zu den seinerzeit aufgetretenen Abweichungen (sog. Anomalien) der Luftdruckverteilung in der 500-mb-Höhenschicht über der Nordhalbkugel gesetzt wird. Wie sich herausstellte, hing diese Luftdrucklage ihrerseits wieder mit den zur gleichen Zeit bestehenden Abweichungen von den mittleren Werten der Wassertemperaturen im Atlantik und Pazifik zusammen. Weil diese Temperaturen, und somit auch die Anomalien der Luftdruckverteilung, momentan noch nicht vorhergesagt werden können, können auch Trockenperioden so wie die von 1976 noch nicht vorhergesagt werden. Aufgrund von Niederschlagsdaten aus der Bundesrepublik Deutschland und aus den Niederlanden wird geschlossen, daß eine Trockenheit so wie die der Periode März bis August 1976, bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95% durchschnittlich zwischen einmal alle 150 und einmal alle 2000 Jahre vorkommt, vorausgesetzt es tritt keine Klimaänderung auf.

Kapitel 3 enthält eine hydrologische Beschreibung der Trockenperiode 1976. Anhand von Daten von fünf Rheinpegeln und von fünf Grundwassermeßstellen wird gezeigt, daß der Trockenperiode des Jahres 1976 – was den Rhein betrifft – eine Trockenperiode vorausging, die schon 1971 einsetzte und nur durch einige nasse Monate im Jahre 1975 unterbrochen war. Der Niederschlag dieser nassen Monate genügte jedoch nicht, um die inzwischen stark verringerten Grundwassermengen auf den Stand wie vor 1971 zurückzubringen. Eine weitere Analyse der Trockenperiode 1976 zeigt, daß sie schon Oktober 1975 einsetzte und eigentlich bis Februar 1977 dauerte. Außer dem verringerten Grundwasserstand spielten die nachstehenden Faktoren eine Rolle:

- die geringen Niederschlagsmengen;
- die geringen Schmelzwassermengen im Frühjahr 1976;
- die große potentielle Verdunstung, verursacht von den hohen Lufttemperaturen und der großen Anzahl Sonnenscheinstunden;
- der zunehmende Wasserbedarf.

Das Alpengebiet hat für den Abfluß des Rheins eine große Rolle gespielt: im Juli 1976 betrug der Abfluß bei Rheinfelden 93% des Abflusses bei Lobith.

Le chapitre 4 contient une analyse statistique des débits d'étiage du Rhin et de ses affluents. La probabilité d'occurrence des basses eaux fut étudiée pour douze stations importantes. Avant de déterminer les probabilités des débits, on a procédé à des vérifications d'homogénéité et à une analyse des tendances. Des lignes empiriques de fréquence au non-dépassement des débits moyens des différents mois montrent, que la fréquence d'occurrence de l'événement des basses eaux de 1976 est d'une fois tous les 3–10 ans pour la Rhin en amont de Bâle et d'une fois tous les 10–40 ans pour les affluents. Pour évaluer les conditions d'étiage à l'aide d'analyses théoriques de probabilité on a retenu la loi de distribution des valeurs extrêmes du type III (Weibull) qui, de cinq lois utilisées, donnait la meilleure adaptation. Cette loi de distribution montre que les débits moyens journaliers minimums de 5 jours jusqu'aux valeurs moyennes de 180 jours consécutifs ont une probabilité d'occurrence d'une fois tous les 10–25 ans pour le Rhin en amont de Bâle, et d'une fois tous les 10 ans pour le Rhin à Kaub et à Lobith. Au fur et à mesure que l'on considère des périodes plus longues, la période de sécheresse de 1976 devient un phénomène de plus en plus rare. De l'analyse des débits moyens mensuels de mars à août on peut conclure, que la période de récurrence moyenne des débits de 150 ans ou plus (cf. chap. 2) à la station de Lobith, est provoquée par une coïncidence de débits des affluents du Rhin, qui ont tous, à l'exception du Neckar, une période de récurrence plus courte (25 à 50 ans).

Le chapitre 5 est consacré au bilan hydrique du bassin du Rhin en amont de Lobith pour la période d'octobre 1975 à janvier 1977. Ce bilan a été établi sur la base d'une méthode correspondant à celle employée dans la Monographie pour les années sèches de 1959 et 1964. Quant à l'évaporation et l'emmagasinement de l'eau sous forme de neige et d'humidité du sol, on n'a disposé que de peu de données de mesure pour 1976. Dans l'annexe 5, la courbe des précipitations effectives cumulées diminuées du stock neigeux est comparée avec celle des débits plus le volume stocké en eau souterraine. La différence, le »facteur équilibreur«, devrait pouvoir représenter l'emmagasinement sous forme d'humidité du sol et les imprécisions des valeurs des divers éléments.

Le chapitre 6 décrit quelques conséquences de la période de sécheresse pour l'agriculture, l'approvisionnement en eau potable, la navigation, l'approvisionnement en énergie, la qualité de l'eau et la répartition de l'eau. On doit s'attendre à ce que le besoin croissant en eau, causé e.a. par la production d'énergie, aggravera les conditions d'étiage.

In Kapitel 4 werden die Niedrigwasserabflüsse des Rheins einer statistischen Analyse unterzogen. An zwölf wichtigen Pegeln wurde die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Niedrigwasser untersucht. Die Daten wurden zunächst auf Homogenität geprüft und einer Trendanalyse unterzogen, bevor die Abflußwahrscheinlichkeiten ermittelt werden konnten. Empirische Unterschreitungslinien der mittleren Abflüsse in den einzelnen Monaten zeigen, daß die Eintretenswahrscheinlichkeit des Niedrigwasserereignisses 1976 im Rhein oberhalb von Basel einmal alle 3–10 Jahre beträgt; in den Nebenflüssen beträgt sie einmal alle 10–40 Jahre. Bei den wahrscheinlichkeitstheoretischen Untersuchungen diente die Extremalverteilung Typ III (Weibull) der Beurteilung der Niedrigwasserhältnisse, da sie die beste Anpassung von fünf verschiedenen Verteilungsfunktionen ergab. Aus dieser Verteilung ergibt sich, daß die kleinsten mittleren Tagesabflüsse von 5 Tagen bis den kleinsten mittleren Werten von zusammenhängenden 180 Tagen oberhalb von Basel eine Eintretenswahrscheinlichkeit von einmal alle 10–25 Jahre, und bei Kaub und Lobith von einmal alle 10 Jahre haben. Die Trockenperiode des Jahres 1976 wird mit zunehmender Dauer zu einem seltener werdenden Ereignis. Aus der Analyse der mittleren Abflüsse der Monate März bis August wird geschlossen, daß die mittlere Wiederkehrzeit des Abflusses am Pegel Lobith von 150 Jahren oder länger (siehe Kap. 2) von einem Zusammentreffen von Abflüssen der Nebenflüsse des Rheins verursacht wird, die mit Ausnahme des Neckars alle eine kürzere Wiederkehrzeit (25 bis 50 Jahre) haben.

Kapitel 5 enthält die Wasserbilanz des Einzugsgebietes des Rheins oberhalb von Lobith für die Periode Oktober 1975 bis Januar 1977. Die Aufstellung dieser Wasserbilanz knüpft an die in der Monographie für die trockenen Jahre 1959 und 1964 angewandte Methode an. Für 1976 konnten bezüglich der Verdunstung und der Wasserspeicherung in Form von Schnee und Bodenfeuchte relativ wenig Meßdaten herangezogen werden. In Anlage 5 wird die Summenkurve des effektiven Niederschlags abzüglich Schneespeicherung mit derjenigen des Abflusses plus Grundwasserspeicherung verglichen. Die Differenz, der »Abschlußposten«, könnte sich durch die Speicherung in Form von Bodenfeuchte und durch Ungenauigkeiten in den Werten der verschiedenen Komponenten erklären lassen.

Kapitel 6 beschreibt einige Folgen der Trockenperiode für die Landwirtschaft, die Trinkwasserversorgung, die Schifffahrt, die Energieversorgung, die Wasserqualität und die Wasserverteilung. Durch zunehmenden Wasserbedarf, u.a. für Energieerzeugung, werden die Niedrigwasserhältnisse sich in Zukunft wahrscheinlich noch verschärfen.

## Recommandations

On doit s'attendre que les problèmes, décrits dans ce rapport et touchant l'ensemble du bassin du Rhin, se manifesteront de nouveau à l'avenir, si des conditions comparables se produisent. Pour cette raison, il est fortement recommandé de suivre minutieusement les développements météorologiques et hydrologiques à long terme. Dans le domaine de la météorologie il s'agit de la persistance des types de circulation et de l'évolution des températures de l'eau de mer, tandis que pour l'hydrologie, le bilan hydrique est très important. Celui-ci devrait être établi périodiquement et d'une façon routinière. A cet effet, une bonne fourniture de données est très importante.

## Empfehlungen

Weil man die in diesem Bericht beschriebenen Probleme, die im ganzen Rheingebiet auftraten, in Zukunft bei ähnlichen Verhältnissen wieder erwarten kann, wird nachdrücklich empfohlen, die meteorologischen und hydrologischen Vorgänge auf längere Frist genau zu beobachten. Auf dem Gebiet der Meteorologie geht es dabei um die Persistenz von Zirkulationstypen und um den Verlauf der Meereswassertemperaturen, während für die Hydrologie die Wasserbilanz sehr wichtig ist. Diese sollte periodisch und routinenmäßig aufgestellt werden, wobei eine gute Datenlieferung sehr wichtig ist.