

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

Das Hochwasser 1988 im Rheingebiet

La crue de 1988 dans le bassin du Rhin

**KHR-Arbeitsgruppe
»Hochwasser 1988«
Groupe de travail de la CHR
«Crue de 1988»**



**Bericht Nr. I-9 der KHR
Rapport no. I-9 de la CHR**

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

Das Hochwasser 1988 im Rheingebiet

La crue de 1988 dans le bassin du Rhin

KHR-Arbeitsgruppe »Hochwasser 1988«

Groupe de travail de la CHR «Crue de 1988»

Autoren/Auteurs: Breukel, R.M.A. - Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA,
Lelystad
Busch, N. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Engel, H. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Giebel, H. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Gölz, E. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Hommes, A. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Keller, M. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Koolwijk, J. - Rijkswaterstaat Directie Gelderland, Arnhem
Mugie, A.L. - Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA, Lelystad
Speer, W. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Sprokkereef, E. - Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA,
Lelystad
Tippner, M. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Ven, F.H.M. van de - Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA,
Lelystad
Wilke, K. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Zieger, Ch. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz



Secretariaat CHR | KHR
Maerlant 16

Postbus 17
8200 AA Lelystad
Niederlande | Pays-Bas

Bericht Nr. I-9 der KHR
Rapport no. I-9 de la CHR

Originalsprachen: deutsch und niederländisch
Langues originales: allemand et néerlandais

© 1990, CHR/KHR
ISBN 90-7098-011-8

Het hoogwater van 1988 in het Rijngebied

Nederlandstalige gedeelten:
Aanbevelingen: blz. 78
Samenvatting: blz. 82
Bijzonderheden CHR: blz. 90

The flood of 1988 in the Rhine basin

English texts:
Recommendations: p. 78
Summary: p. 82
Particulars CHR: p. 90

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Hochwasser

Das Hochwasser 1988 im Rheingebiet = La crue de 1988 dans le bassin du Rhin / Autoren/auteurs: R.M.A. Breukel ... [et al.]; Originalsprachen: Deutsch und Niederländisch/langues originales: allemand et néerlandais. - Lelystad : CHR/KHR. - Ill. - (Bericht Nr. I-9 der KHR = Rapport no. I-9 de la CHR)
Tekst in het Duits en Frans. - Met lit. opg. - Met samenvattingen en aanbevelingen in het Engels en Nederlands.
ISBN 90-70980-11-8
SISO 568.2 UDC 556.53(282.243.1)
Trefw.: hydrologie ; Rijn.

Vorwort

Eines der Ziele, welches die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR) verfolgt, ist die länderübergreifende Beschreibung und Untersuchung von besonderen hydrologischen Ereignissen im Einzugsgebiet des Rheins. Im Rahmen dieser Zielsetzung erfolgten die in diesem Bericht beschriebenen Untersuchungen.

Das Hochwasserereignis vom März/April 1988 kann insbesondere im Mittellauf des Rheins als sehr selten eingestuft werden. Während im schweizerischen Einzugsgebiet des Rheins oberhalb des Bodensees der Hochwasserabfluß nur etwa einem 1-jährigen Hochwasser entsprach, muß dem Abfluß in der Gegend von Mainz aufgrund der historischen Meßreihe eine Wiederkehrzeit von etwa 100 Jahren zugeordnet werden. Auch im Unterlauf des Rheins weist das Ereignis eine hohe Wiederkehrzeit auf. Aus diesem Grunde veranlaßten die ständigen Vertreter der KHR eine Abklärung der meteorologischen Ursachen und eine Untersuchung des Ablaufs des Hochwasserereignisses. Neben der Abflußmenge waren aber auch die Menge der transportierten Feststoffe und der chemischen Inhaltsstoffe außerordentlich, so daß dieselben ebenfalls in die Untersuchung miteinbezogen wurden. Zudem bot das Hochwasserereignis die Möglichkeit, die im Rheingebiet implementierten Hochwasservorhersagemodelle auf ihre Effizienz zu überprüfen.

Mit der Durchführung der Untersuchungen wurde eine internationale Arbeitsgruppe von Experten betraut, welche den nun vorliegenden Bericht erarbeitete. Allen Beteiligten sei hier im Namen der KHR der aufrichtige Dank für die umfassende und ausgezeichnete Studie ausgesprochen. Dieser Dank gilt auch dem Sekretariat der KHR, welches unermüdlich die Koordination und die drucktechnischen Belange sicherstellte. Der Bericht in der vorliegenden Form kann als wegweisend für zukünftige Studien betrachtet werden.

Die Erfahrungen bei der Durchführung der Untersuchung führten zu Erkenntnissen der

Préface

Un des buts que poursuit la Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin (CHR) consiste à décrire et à étudier des événements hydrologiques particuliers, intéressant de vastes régions du bassin versant du Rhin. C'est dans ce cadre là que se rangent les recherches exposées dans le rapport que voici.

L'événement qu'a été la crue de mars-avril 1988 peut être considéré, tout particulièrement sur le cours moyen du Rhin, comme étant d'une catégorie très rare. Alors que dans la partie suisse du bassin, en amont du lac de Constance, le débit de crue observé n'a pas dépassé celui atteint pratiquement chaque année, dans la région de Mayence la crue a pu être classée comme centennale, au vu de la série de mesures historiques disponibles. Sur le cours inférieur du Rhin également, cet événement a été caractérisé par une période de retour élevée. C'est pour ces raisons que les représentants permanents de la CHR ont chargé d'entreprendre un examen des causes météorologiques de cette crue et d'étudier la façon dont elle s'est propagée. Ce ne sont pas seulement les débits qui ont eu ce caractère exceptionnel mais également l'important transport de matière solide et de substances dissoutes, si bien qu'on a inclu cet aspect dans l'étude. De plus, cet épisode de hautes eaux a été une occasion d'éprouver l'efficacité des modèles de prévision des crues mis en oeuvre dans le bassin du Rhin.

C'est un groupe de travail international d'experts qui a été chargé d'effectuer les recherches et ce même a assuré la rédaction du rapport présenté ici. Nous exprimons notre gratitude à tous ceux qui ont participé à cette excellente et importante étude. Nos sentiments de gratitude s'adressent aussi bien sûr aux membres du secrétariat de la CHR, qui assurent inlassablement les tâches de coordination et d'édition. Le résultat de tous ces efforts conjugués est, en définitive, un rapport pouvant être considéré comme un modèle pour les études futures.

Les expériences acquises en conduisant ces recherches ont permis aux membres du groupe

Arbeitsgruppe bezüglich der Verbesserung zukünftiger Datenerhebung von Hochwasserereignissen sowie Verbesserungsvorschlägen für die internationale Zusammenarbeit. Damit geht der Bericht über eine rein postume Analyse des Hochwasserereignisses 1988 hinaus und bringt zusätzliche zukunftsgerichtete Ideen und Anregungen. Die KHR wird versuchen, diese Empfehlungen in die Planung ihrer Tätigkeiten aufzunehmen und Impulse zu geben.

Der Präsident der KHR
M. Spreafico

de travail d'envisager de perfectionner les méthodes de relevé des données caractéristiques des crues et aussi de proposer des améliorations dans le domaine de la collaboration internationale. C'est ainsi qu'un rapport, purement consacré à l'étude d'une tranche de passé, débouche sur les idées franchement dirigées vers le futur. La CHR s'efforcera de s'inspirer ces recommandations lors de la planification de ses activités et de leur donner l'impulsion qu'elles méritent.

Le Président de la CHR
M. Spreafico

INHALTSVERZEICHNIS

	<i>Vorwort</i> (deutsch und französisch)	3
1.	Einleitung (deutsch und französisch)	13
2.	Angaben zur Meteorologie des Rheinhochwassers vom März/April 1988	15
2.1	Vorbemerkungen	15
2.2	Einordnung der Märznie­derschläge 1988 aus klimatologischer Sicht	15
2.3	Die Wetterentwicklung im hydrologischen Winterhalbjahr 1988	18
2.4	Das Wettergeschehen im März 1988	21
2.5	Räumliche Verteilung der Niederschläge in den Zeiträumen vom 10.-16.3. und 23.-29.3.1988	25
2.6	Schneehöhen, Schneeschmelze und äquivalente Wassermengen im März 1988	31
3.	Der Ablauf des Hochwassers vom März/April 1988	32
3.1	Das Abflußgeschehen	32
3.2	Das Hochwasserereignis 1988 im vieljährigen Vergleich	34
3.2.1	Das Hochwasser am Rhein	35
3.2.2	Das Hochwasser an den Nebenflüssen des Rheins	45
3.3	Einsatz von Retentionsmaßnahmen am Oberrhein.	46
3.4	Austauschvorgänge zwischen Fluß und Grundwasser	48
3.4.1	Langzeitspeicherung; der Basisabfluß	48
3.4.2	Uferspeicherung bei einzelnen Hochwasserwellen	49
3.4.2.1	Ergebnisse im Meßprofil »Urmitz«	49
3.4.2.2	Ergebnisse im Meßprofil »Bonn«	50
4.	Schwebstoff- und Wasserqualität	52
4.1	Schwebstoff	52
4.1.1	Allgemeines	52
4.1.2	Meßmethodik	53
4.1.3	Schwebstofffrachten	53
4.2	Wasserqualität	59
4.2.1	Chlorid	59
4.2.2	Mikroverunreinigungen	62
4.2.3	Schlußfolgerungen für die Wasserqualität	65
5.	Vorhersage des Wellenablaufs	66
5.1	Vorhersagen mit dem Modell Lobith	66
5.2	Vorhersagen mit dem MKF-Modell	67
5.3	Internationale Zusammenarbeit und Datenaustausch	71
6.	Durch das Hochwasser 1988 verursachte Schäden	73
7.	Empfehlungen (deutsch, französisch, niederländisch und englisch)	76
8.	Zusammenfassung (deutsch, französisch, niederländisch und englisch) ..	80
	Literaturverzeichnis	84
	KHR-Veröffentlichungen	86

	Einige Informationen über die KHR (deutsch, französisch, niederländisch und englisch)	88
	Kolophon	92
	Abbildungen und Tabellen	
Abb. 1.1	Satellitenbild des Rheinhochwassers 1988 am 2.4.1988	14
Tab. 2.1	Monatliche Niederschlagssummen ausgewählter Stationen des Monats März 1988 im Vergleich zu der Zeitreihe 1891-1988	17
Abb. 2.1.1	Mittlere monatliche Gebietsniederschläge (1951-1980) und aktuelle Gebietsniederschläge des hydrologischen Winterhalbjahres 1988 für den oberen Bereich des Rheineinzugsgebietes	19
Abb. 2.1.2	Mittlere monatliche Gebietsniederschläge (1951-1980) und aktuelle Gebietsniederschläge des hydrologischen Winterhalbjahres 1988 für den unteren Bereich des Rheineinzugsgebietes	20
Abb. 2.2.1	Witterungsverlauf im Monat März 1988 an der deutschen Klima- hauptstation Essen/Ruhr	21
Abb. 2.2.2	Witterungsverlauf im Monat März 1988 an der deutschen Klima- hauptstation Trier-Petrisberg	22
Abb. 2.2.3	Witterungsverlauf im Monat März 1988 an der deutschen Klima- hauptstation Nürnberg-Flughafen	22
Abb. 2.2.4	Witterungsverlauf im Monat März 1988 an der deutschen Klima- hauptstation Stuttgart	23
Abb. 2.2.5	Witterungsverlauf im Monat März 1988 an der niederländischen Klimahauptstation De Bilt	23
Abb. 2.3.1	Niederschlagssummen in mm vom 10.-16.3.1988	26
Abb. 2.3.2	Prozentuale Anteile der Niederschlagssummen vom 10.-16.3.1988 bezogen auf den vieljährigen Niederschlag des Monats März	27
Abb. 2.3.3	Niederschlagssummen in mm vom 23.-29.3.1988	28
Abb. 2.3.4	Prozentuale Anteile der Niederschlagssummen vom 23.-29.3.1988 bezogen auf den vieljährigen Niederschlag des Monats März	29
Tab. 2.2	Gebietsniederschlagssummen der beiden Witterungsperioden vom 10.-16.3 1988 und 23.-29.3.1988 im Vergleich zur Zeitreihe 1961-1980	30
Abb. 3.1	Verlauf der Wasserstände an ausgewählten Rhein- und Nebenfluß- pegeln	32
Abb. 3.2	Stereographische Darstellung des Rheinhochwassers März 1988 vom Bodensee bis zur deutsch-niederländischen Grenze	33
Abb. 3.3.1	Hochwasserscheitelabflüsse 1871/1988 (1 HQ/Jahr) am Pegel Rheinfelden mit gleitenden Mitteln und Trendgerade und gleitenden Mitteln der Jahres-MQ mit Trendgerade	35
Abb. 3.3.2	Hochwasserscheitelabflüsse 1871/1988 (1 HQ/Jahr) am Pegel Kaub mit gleitenden Mitteln und Trendgerade und gleitenden Mitteln der Jahres-MQ mit Trendgerade	36
Abb. 3.3.3	Hochwasserscheitelabflüsse 1901/1988 (1 HQ/Jahr) am Pegel Lobith mit gleitenden Mitteln und Trendgerade und gleitenden Mitteln der Jahres-MQ mit Trendgerade	37
Abb. 3.4.1	Extremwertverteilung Pegel Kaub/Rhein - Jahresreihe 1871/1988 (Jahr)	39
Abb. 3.4.2	Extremwertverteilung Pegel Kaub/Rhein - Jahresreihe 1871/1988 (Winter)	40

Abb. 3.4.3	Extremwertverteilung Pegel Kaub/Rhein - Jahresreihe 1871/1988 (Sommer)	41
Tab. 3.1	Einordnung der Hochwasserscheitel (QS) 1988 des Rheins in die Daten des Kollektivs der Zeitreihe 1871/1988 und Jährlichkeiten	42
Tab. 3.2	Zusammenstellung der 10 größten Hochwasser an ausgewählten Pegeln von Basel bis Lobith	44
Tab. 3.3	Hochwasserscheitel (QS) 1988 ausgewählter Rheinnebenflüsse mit Angabe ihrer Jährlichkeiten und Abflußspenden	45
Abb. 3.5	Auswirkungen des erstmaligen gezielten Einsatzes während des Hochwassers 1988 von Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein auf die Scheitelabflüsse unterhalb der Ausbaustrecke	47
Abb. 3.6	Berechnete Basisabflüsse und aufgetretene Abflüsse für den Pegel Lobith zwischen November 1987 und Mai 1988	48
Abb. 3.7	Ganglinien des Rheinwasserstandes und der Uferspeicherung im Meßprofil »Urmitz« zwischen November 1987 und Mai 1988	49
Abb. 3.8	Ganglinie der Grundwasservorratsänderung im Meßprofil »Bonn« im Zeitraum 1963 bis 1988	51
Abb. 3.9	Vergleich der Grundwasservorratsänderung im Meßprofil »Bonn« im Jahre 1988 mit mehreren Ganglinien aus dem Zeitraum 1963 bis 1988	51
Abb. 4.1	Satellitenbild der Schwebstoffkonzentration am 2.4.1988	52
Tab. 4.1	Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel im Abflußjahr 1988 und in der Hochwasserperiode vom 10.03.88 bis 10.04.88	54
Abb. 4.2	Monatliche Schwebstofffracht im Abflußjahr 1988 an den Meßstellen Maxau (km 362,3) und Weißenthurm (km 608,2)	55
Abb. 4.3	Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel im Hochwasserzeitraum vom 10.3.88 bis 10.4.88	56
Abb. 4.4	Die Schwebstofffracht des Rheins in der Hochwasserperiode 10.3.88 bis 10.4.88 sowie ihr Verhältnis zur Jahresschwebstofffracht des Abflußjahres 1988	57
Abb. 4.5	Ganglinien des täglichen mittleren Abflusses und der täglichen Schwebstofffracht in den Monaten März/April 1988 an den Meßstellen Maxau, Weißenthurm, Emmerich und Lobith	58
Abb. 4.6	Chloridkonzentration an der Meßstelle Lobith/Rhein, März-April 1988 ...	59
Abb. 4.7	Chloridfracht an der Meßstelle Lobith/Rhein, März-April 1988	60
Abb. 4.8	Abflußganglinie des Hochwassers 1988 an der Meßstelle Koblenz/Rhein ..	60
Abb. 4.9	Chloridkonzentration an der Meßstelle Koblenz/Rhein, März-April 1988	61
Abb. 4.10	Chloridfracht an der Meßstelle Koblenz/Rhein, März-April 1988	61
Abb. 4.11	Schwebstoffkonzentration an der Meßstelle Lobith/Rhein, März-April 1988	62
Abb. 4.12	Bleikonzentrationen der monatlichen Stichproben an der Meßstelle Lobith/Rhein im hydrologischen Jahr 1988	63
Abb. 4.13	AOX-Konzentration an der Meßstelle Koblenz/Rhein, März-April 1988 ..	64
Abb. 4.14	AOX-Fracht an der Meßstelle Koblenz/Rhein, März-April 1988	64
Abb. 5.1 - 5.4	Wasserstandsvorhersagen für 1, 2, 3 und 4 Tage sowie die gemessenen Werte am Pegel Lobith	66
Tab. 5.1	Zusammenstellung der Pegel, von denen Daten für eine Vorhersage in Worms und Emmerich benötigt werden	68

Abb. 5.5	Vergleich der gemessenen (durchgezogene Linie) mit den vorhergesagten Wasserständen für 6, 12, 18 und 24 Stunden am Pegel Worms . . .	69
Abb. 5.6	Vergleich der gemessenen (durchgezogene Linie) mit den vorhergesagten Wasserständen für 6, 12, 18 und 24 Stunden am Pegel Emmerich	69
Abb. 5.7	Abweichungen der Wasserstandsvorhersagen von den Meßwerten am Pegel Worms im März 1988	70
Abb. 5.8	Abweichungen der Wasserstandsvorhersagen von den Meßwerten am Pegel Emmerich im März 1988	70
Abb. 6.1	St. Goar/Rhein am 4.4.1988	73
Abb. 6.2	Koblenz/Rhein - Deutsches Eck am 26.3.1988	74
Abb. 6.3	Ochsenthurm Oberwesel/Rhein am 3.4.1988	74
Abb. 6.4	Pegel Köln am 28./29.3.1988	75
Abb. 6.5	Mobile Schutzwand in der kölnner Altstadt am 28./29.3.1988	75

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Préface</i> (allemand et français)	3
1.	Introduction (allemand et français)	13
7.	Recommandations (allemand, français, néerlandais et anglais)	76
8.	Résumé (allemand, français, néerlandais et anglais)	80
	Bibliographie	84
	Publications de la CHR	86
	Quelques informations sur la CHR (allemand, français, néerlandais et anglais)	88
	Colophon	92
	Figures et tableaux	
Fig. 1.1	Photo satellite de la crue de 1988 sur le Rhin, le 2.4.1988	14
Tab. 2.1	Précipitations du mois de mars 1988, pour une sélection de stations, comparées aux valeurs de la période 1891-1988	17
Fig. 2.1.1	Moyennes mensuelles des précipitations régionales (1951-1980) et précipitations régionales actuelles du semestre d'hiver 1988, pour la partie amont du bassin du Rhin	19
Fig. 2.1.2	Moyennes mensuelles des précipitations régionales (1951-1980) et précipitations régionales actuelles du semestre d'hiver 1988, pour la partie aval du bassin du Rhin	20
Fig. 2.2.1	Chronique météorologique du mois de mars 1988, à la station climatologique principale allemande d'Essen/Ruhr	21
Fig. 2.2.2	Chronique météorologique du mois de mars 1988, à la station climatologique principale allemande de Trèves-Petrisberg	22
Fig. 2.2.3	Chronique météorologique du mois de mars 1988, à la station climatologique principale allemande de Nürnberg-Aéroport	22
Fig. 2.2.4	Chronique météorologique du mois de mars 1988, à la station climatologique principale allemande de Stuttgart	23
Fig. 2.2.5	Chronique météorologique du mois de mars 1988, à la station climatologique principale néerlandaise de De Bilt	23
Fig. 2.3.1	Hauteurs totales des précipitations tombées du 10 au 16 mars 1988, exprimées en mm	26
Fig. 2.3.2	Hauteurs totales des précipitations tombées du 10 au 16 mars 1988, exprimées en pourcentage de la moyenne pluriannuelle du mois de mars	27
Fig. 2.3.3	Hauteurs totales des précipitations tombées du 23 au 29 mars 1988, exprimées en mm	28
Fig. 2.3.4	Hauteurs totales des précipitations tombées du 23 au 29 mars 1988, exprimées en pourcentage de la moyenne pluriannuelle du mois de mars	29
Tab. 2.2	Précipitations régionales des deux périodes d'intempéries, du 10-16.3.1988 et du 23-29.3.1988, comparées à celles de la série 1961-1980	30

Fig. 3.1	Chronique des niveaux d'eau pour une sélection de stations hydrométriques, sur le Rhin et ses affluents	32
Fig. 3.2	Représentation stéréographique de la crue du Rhin de mars 1988, du lac de Constance à la frontière germano-néerlandaise	33
Fig. 3.3.1	Débits de pointes annuels, de 1871 à 1988, à l'échelle de Rheinfelden, avec moyennes mobiles et tendance, avec aussi moyennes mobiles et tendance des débits annuels moyens	35
Fig. 3.3.2	Débits de pointes annuels, de 1871 à 1988, à l'échelle de Caub, avec moyennes mobiles et tendance, avec aussi moyennes mobiles et tendance des débits annuels moyens	36
Fig. 3.3.3	Débits de pointes annuels, de 1901 à 1988, à l'échelle de Lobith, avec moyennes mobiles et tendance, avec aussi moyennes mobiles et tendance des débits annuels moyens	37
Fig. 3.4.1	Distribution des valeurs extrêmes de la série 1871-1988, pour l'échelle de Caub/Rhin (année)	39
Fig. 3.4.2	Distribution des valeurs extrêmes de la série 1871-1988, pour l'échelle de Caub/Rhin (hiver)	40
Fig. 3.4.3	Distribution des valeurs extrêmes de la série 1871-1988, pour l'échelle de Caub/Rhin (été)	41
Tab. 3.1	Débits de pointes du Rhin (QS), en 1988, avec leur rang et leur durée de récurrence dans la série 1871-1988	42
Tab. 3.2	Les dix plus grandes crues, pour des échelles sélectionnées, de Bâle à Lobith	44
Tab. 3.3	Pointes de crues (QS) en 1988, pour un choix d'affluents du Rhin, avec périodes de récurrence et débits spécifiques correspondants	45
Fig. 3.5	Effets des mesures de rétention sur le Rhin supérieur, appliquées pour la première fois à l'occasion de la crue de mars 1988. On observe l'atténuation des débits maximaux en aval du bief d'étalement	47
Fig. 3.6	Débits de base calculés et débits mesurés, à l'échelle de Lobith, de novembre 1987 à mai 1988	48
Fig. 3.7	Hydrogramme des niveaux du Rhin et de l'emmagasinement dans la nappe phréatique riveraine, pour le profil de mesure «Urmitz», de novembre 1987 à mai 1988	49
Fig. 3.8	Hydrogramme des variations des réserves d'eau souterraine, pour le profil de mesure «Bonn», de 1963 à 1988	51
Fig. 3.9	Variations annuelles des réserves d'eau souterraine, au profil de mesure «Bonn». L'hydrogramme de 1988, comparé à ceux d'autres années, choisies dans la période 1963-1988	51
Fig. 4.1	Photo satellite montrant la concentration en matières en suspension du 2.4.1988	52
Tab. 4.1	Charge de matières en suspension dans le Rhin, le Neckar, le Main, le Lahn et la Moselle, pour l'année hydrologique 1988 entière et pendant la période de crue, du 10.3.88 au 10.4.88	54
Fig. 4.2	Charges mensuelles de matières en suspension, au cours de l'année hydrologique 1988, aux stations hydrométriques de Maxau (km 362,3) et de Weißenthurm (km 608,2)	55
Fig. 4.3	Charges de matières en suspension transportées par le Rhin, le Neckar, le Main, le Lahn et la Moselle, pendant la période de crue, du 10.3.88 au 10.4.88	56

Fig. 4.4	Evolution de la charge de matières en suspension transportées par le Rhin, pendant la période de crue du 10.3.88 au 10.4.88. Charges exprimées en tonnes et par rapport à l'année hydrologique 1988 entière	57
Fig. 4.5	Hydrogrammes du débit journalier et des charges journalières de matières en suspension, en mars et avril 1988, aux stations de Maxau, Weißenthurm, Emmerich et Lobith	58
Fig. 4.6	Concentration en chlorures à la station hydrométrique de Lobith/Rhin, en mars et avril 1988	59
Fig. 4.7	Charge de chlorures à la station hydrométrique de Lobith/Rhin, en mars et avril 1988	60
Fig. 4.8	Hydrogramme de la crue de 1988, à la station hydrométrique de Coblenze/Rhin	60
Fig. 4.9	Concentration en chlorures à la station hydrométrique de Coblenze/Rhin, en mars et avril 1988	61
Fig. 4.10	Charge de chlorures à la station hydrométrique de Coblenze/Rhin, en mars et avril 1988	61
Fig. 4.11	Concentration de matières en suspension à la station hydrométrique de Lobith/Rhin, en mars et avril 1988	62
Fig. 4.12	Concentrations en plomb des échantillons prélevés mensuellement à la station hydrométrique de Lobith/Rhin, au cours de l'année hydrologique 1988	63
Fig. 4.13	Concentration en AOX à la station hydrométrique de Coblenze/Rhin, en mars et avril 1988	64
Fig. 4.14	Charge d'AOX à la station hydrométrique de Coblenze/Rhin, en mars et avril 1988	64
Fig. 5.1 - 5.4	Prévisions des niveaux d'eau à 1, 2, 3 et 4 jours d'échéance, pour l'échelle de Lobith, avec les niveaux observés effectivement	66
Tab. 5.1	Stations hydrométriques dont les données sont utilisées pour les prévisions à Worms et à Emmerich	68
Fig. 5.5	Comparaison des niveaux observés à l'échelle de Worms (ligne ininterrompue) avec les valeurs prévues à 6, 12, 18 et 24 heures d'échéance	69
Fig. 5.6	Comparaison des niveaux observés à l'échelle d'Emmerich (ligne ininterrompue) avec les valeurs prévues à 6, 12, 18 et 24 heures d'échéance	69
Fig. 5.7	Ecart entre les niveaux d'eau prévus et les niveaux observés, à l'échelle de Worms, en mars 1988	70
Fig. 5.8	Ecart entre les niveaux d'eau prévus et les niveaux observés, à l'échelle d'Emmerich, en mars 1988	70
Fig. 6.1	St. Goar/Rhin, le 4.4.1988	73
Fig. 6.2	Coblenze/Rhin - Deutsches Eck, le 26.3.1988	74
Fig. 6.3	Ochsenthurm Oberwesel/Rhin, le 3.4.1988	74
Fig. 6.4	L'échelle de Cologne, le 28/29.3.1988	75
Fig. 6.5	Ecran de protection mobile dans la vieille ville de Cologne, le 28/29.3.1988	75

1. EINLEITUNG

Ein Hochwasser erregt weithin Interesse und ist zugleich ein spannendes Ereignis. Die Bevölkerung konzentriert sich im allgemeinen auf die Größe der entstandenen Schäden und auf den touristischen Reiz eines wild strömenden Flusses. Der Hydrologe hat vor allem Entstehung und Ablauf der Welle zu untersuchen, wobei die Frage der Eintretenswahrscheinlichkeit des betrachteten Ereignisses von großer Bedeutung ist. Die Wasserqualität wird von der Wasserführung in starkem Maße beeinflusst und bei Hochwasser sind die mitgeführten Sedimente sehr bedeutsam. Demzufolge wird auch das aquatische Ökosystem vom Hochwasser beeinflusst. Für die Wasser- und Deichbehörden am Fluß ist das Hochwasser eine Prüfung ihrer Hochwasserschutzsysteme, bei deren Versagen große Schäden entstehen und lebensbedrohende Situationen für Mensch und Tier eintreten können. Es ist deshalb notwendig, den Ablauf der Hochwasserwelle intensiv zu beobachten, um, wo nötig, Maßnahmen zur Verhütung oder Beschränkung von Schäden ergreifen zu können. Wichtig sind hier auch die Entscheidungen über den Einsatz von Retentionsmaßnahmen.

Das Hochwasser im Rhein vom März/April 1988 war in vielerlei Hinsicht ein bedeutsames Ereignis. An einigen Pegeln war es das Hochwasser mit dem größten Scheitel seit 1870. Um so bemerkenswerter ist es, daß das Ausmaß der Überschwemmungen beschränkt geblieben ist. Zum ersten Male im Verlauf eines Hochwassers sind Retentionsmaßnahmen am Oberrhein gezielt eingesetzt worden, um den Abflußscheitel zu verringern. Die Sedimentfracht des Flusses erreichte einen extremen Umfang; der Fluß wurde gleichsam durchgespült. Der Verlauf der Welle konnte mit den vorhandenen Hochwassermodellen befriedigend bis gut vorausberechnet werden.

Der vorliegende Bericht soll einen Überblick über das Hochwasserereignis 1988 geben und seine begleitenden Maßnahmen bewerten. Dazu wird versucht, Entstehung und Verlauf der Welle aus den Witterungsverhältnissen im Einzugsgebiet und aus dem Zusammentreffen

1. INTRODUCTION

Une crue suscite toujours l'intérêt et constitue même un événement captivant. En général, l'attention du public se concentre surtout sur l'étendue des dégâts, mais elle s'attache aussi à la fascination pittoresque d'un fleuve redevenu sauvage. L'hydrologue, lui, a surtout pour tâche d'étudier l'origine et le déroulement de l'onde de crue, sans négliger pour autant la très importante question de la probabilité de l'événement concerné. La qualité de l'eau est fortement influencée par le débit fluvial et, en cas de crue, les sédiments charriés jouent un rôle très important. Par conséquent, l'écosystème aquatique est également influencé par la crue. Pour les services publics riverains, chargés de la gestion des eaux et des digues, la crue est un test pour leurs systèmes de protection; en cas d'échec, des dégâts considérables peuvent se produire, la situation pouvant devenir très dangereuse pour la population, le bétail et la faune. Il est donc nécessaire d'observer très attentivement le déroulement d'une onde de crue, afin de pouvoir prendre, au bon endroit, des mesures permettant d'éviter ou au moins de limiter les dégâts. Dans ce contexte, on peut également souligner l'importance des décisions relatives à la mise en oeuvre de mesures de rétention.

La crue du Rhin, de mars et avril 1988 a été un événement important à plus d'un titre. Pour certaines stations elle a présenté la pointe de crue la plus haute depuis 1870, fait d'autant plus remarquable que le nombre de grandes inondations a été restreint. Pour la première fois lors d'une crue, des mesures de rétention ont été mises en oeuvre sur le Rhin supérieure, dans l'intention d'atténuer la pointe de débit. La charge en sédiments du fleuve a atteint une ampleur exceptionnelle; le lit du fleuve a été pour ainsi dire rincé. On peut noter que tout le déroulement de l'onde de crue a pu être anticipé, de façon satisfaisante à très satisfaisante, par les modèles de calcul disponibles.

Ce rapport a pour but, d'une part de donner une aperçu historique de la crue de 1988 et, d'autre part, d'évaluer les mesures prises sur le moment. A cette fin, on a essayé d'expliquer l'origine et le déroulement de l'onde de crue sur la base des conditions météorologiques

der Beiträge der verschiedenen Nebenflüsse zu erklären. Die Entwicklung der Wasserqualität und des Sedimentgehaltes werden bezogen auf den Abflußverlauf dargestellt. Dabei zeigen sich auch die wichtigsten Ursprungsgebiete der Sedimente. Als Fortsetzung des KHR-Berichtes über Abflußvorhersagemodelle [25] werden die Ergebnisse verschiedener Modelle bei diesem Hochwasser verglichen. Die internationale Zusammenarbeit bei der Datensammlung und bei einigen Untersuchungen ist beschrieben. Der Bericht enthält schließlich einige Fotos, die während des Hochwassers aufgenommen wurden und welche die verursachten Schäden deutlich machen. Ein Kapitel mit Empfehlungen beschließt den Bericht.

dans le bassin versant aussi bien qu'à partir de la convergence des apports des divers affluents. L'évolution de la qualité de l'eau et celle de la teneur en sédiments sont représentées en regard de l'hydrogramme des débits, avec l'indication des régions d'origine les plus importantes attribuables aux sédiments. Une comparaison des résultats obtenus, lors de cette crue, à l'aide de différents modèles de débit constitue en fait une suite au rapport de la CHR consacré à ce type de modèle [25]. Le présent rapport décrit également la collecte des données, ainsi qu'un certain nombre de travaux de recherche, qui ont donné lieu à une action remarquable de coopération internationale. Il contient enfin des photos, prises lors de cette crue, illustrant les dégâts qu'elle a provoqués. Un chapitre consacré à des recommandations conclut le rapport.

Um die Veröffentlichung des Berichtes zu beschleunigen, hat die KHR beschlossen nicht den ganzen Text, sondern nur die nachfolgenden Abschnitte ins Französische zu übersetzen:

- Vorwort
- Inhaltsverzeichnis
- Einleitung
- Empfehlungen
- Zusammenfassung
- Unterschriften der Tabellen und Abbildungen.

Afin d'accélérer la publication du rapport, la CHR a décidé de ne pas traduire le rapport entier en français. La traduction a donc été limitée aux parties suivantes:

- préface
- table des matières
- introduction
- résumé
- recommandations
- légende des tableaux et figures.



Abb. 1.1 Satellitenbild des Hochwassers 1988 am 2.4.1988

Fig. 1.1 Photo satellite de la crue de 1988, le 2.4.1988

2. ANGABEN ZUR METEOROLOGIE DES RHEINHOCHWASSERS VOM MÄRZ/APRIL 1988

2.1 Vorbemerkungen

Bei der Entstehung von Hochwassern sind nicht nur die aktuellen Witterungserscheinungen im Zeitraum des gerade abfließenden Hochwassers bzw. unmittelbar davor von Bedeutung. Das Wetter dieses Zeitraumes kann allenfalls als Auslöser der Hochwasser eingestuft werden. Als charakteristische Dauer auf der meteorologischen Zeitskala sind im Rheingebiet für derartige auslösende Witterungsperioden mindestens einwöchige, häufig aber auch mehrwöchige Zeitspannen zu nennen. Die hierbei vorherrschenden Wetterlagen werden dann mit denen verglichen, die im Katalog der Großwetterlagen beschrieben sind.

Zur Beantwortung der Frage, ob das durch die aktuelle Großwetterlage ausgelöste Hochwasser sich zu einem außerordentlichen Ereignis entwickeln kann, ist es notwendig, das Wettergeschehen in dem vorangegangenen mehrmonatigen Zeitraum zu beobachten. Vergleichsweise träge reagierende Boden- bzw. Bodenwasserverhältnisse und die Tatsache, daß Niederschläge in fester Form als Schnee und Eis monatelang zwischengespeichert werden und erst im Verlaufe des Hochwassers zum aktuellen Abfluß beitragen, sind als Gründe zu nennen, den Untersuchungszeitraum auf das gesamte vorangegangene hydrologische Halbjahr auszudehnen. Die charakteristische Dauer auf der meteorologischen Zeitskala ist somit um die nächstfolgende Größenordnung, den Bereich der Monate, erweitert.

Die größte im Rahmen dieser Untersuchung interessierende Dauer auf der Zeitskala berührt bereits die Klimatologie des Rheingebietes. Die Einordnung aktueller meteorologischer Größen in den klimatologischen Zeitrahmen ist für eine umfassende Beschreibung eines Rheinhochwassers unerlässlich.

2.2 Einordnung der Märznieerschläge 1988 aus klimatologischer Sicht

Parameter, die für die Klimatologie und Hydrologie große Bedeutung haben, sind die monatlichen Niederschlagssummen einzelner Stationen bzw. größerer Einzugsgebiete. Als Witterungsperioden, die das zu untersuchende Rheinhochwasser vom März/April 1988 auslösten, sind die beiden 7-tägigen Zeiträume vom 10.-16.3. und 23.-29.3. zu nennen. Da beide vollkommen auf den Monat März begrenzt sind, wurden die Monatssummen der o.g. Größen statistisch näher untersucht. Zu diesem Zweck wurde das gesamte Einzugsgebiet des Rheins (von den Quellen bis zur Mündung) in Einzugsgebiete der Nebenflüsse gemäß Vorschlag der KHR aufgeteilt [1]. Für jedes der insgesamt 17 Einzugsgebiete wurden 2-3 Stationen exemplarisch ausgewählt, von denen nahezu 100-jährige Beobachtungszeitreihen (1891-1988) der monatlichen Stationsniederschlagssummen vorliegen. Die Tabelle 2.1 enthält die Ergebnisse dieser statistischen Auswertung. Die größte gefallene monatliche Niederschlagssumme innerhalb dieser Stichprobe wurde mit 527 mm an der Station Freudenstadt im Hochschwarzwald gemessen (Spalte 3).

In Bad Kreuznach an der Nahe wurde mit 80 mm die geringste Summe registriert. Innerhalb der Einzugsgebiete sind bemerkenswerte Schwankungsbreiten der Niederschlagssummen zwischen den Stationen feststellbar (siehe Einzugsgebiet der Ill). Der Vergleich der Niederschlagssummen des März 1988 mit den langjährig gemittelten Märznieerschlägen (Spalte 4) zeigt, daß nahezu an allen Stationen ein Vielfaches der normalerweise fallenden Niederschläge registriert wurde. Anhand der prozentualen Anteile (Spalte 5) lassen sich aber auch einige regional hervortretende Unterschiede herausfiltern. Außerordentlich ergiebig waren die Niederschläge im März 1988 (mehr als 400% des vieljährigen Mittels) in der Ostschweiz, im Bereich der Aaremündung, im Hochschwarzwald und in Oberfranken. Der größte prozentuale Anteil, bezogen auf den vieljährigen Märznieerschlag, wurde in Beznau an der Aaremündung gemessen (439%), der Geringste (185%) in Trier. Zwei weitere

signifikante Merkmale sind bemerkenswert: Innerhalb der Einzugsgebiete herrscht ein starker Zusammenhang zwischen der relativen Abweichung und der geodätischen Höhe. Je höher die Station gelegen ist, desto stärker ist der Niederschlagsüberschuß ausgefallen. Eine deutliche Abnahme der Streubreite der relativen Anteile innerhalb der Einzugsgebiete verläuft von Süd nach Nord.

Entsprechend den empirischen Methoden, die in der HQ-Statistik der Hydrologie verwendet werden, wurde untersucht, welchen Stellenwert der Niederschlag des März 1988 in den vorliegenden Zeitreihen der ausgewählten Stationen einnimmt. Wie der Spalte 6 zu entnehmen ist, wurden im März 1988 vielerorts im Rheineinzugsgebiet die größten monatlichen Niederschlagssummen des Monats März seit Bestehen der Stationen bzw. in den letzten 100 Jahren registriert. Der Niederschlag im März 1988 nimmt innerhalb der Märzreihe der untersuchten Stationen in 66% der Fälle die Rangziffer 1 ein. Selbst bezüglich der Winterreihe der Stationen (Spalte 7) mit ihrem 6-fach größeren Datenumfang werden noch in 50% der Fälle Rangziffern zwischen 1-10 festgestellt. Die Einordnung des März-niederschlags 1988 in die entsprechenden Jahresreihen der Stationen (Spalte 8), die hauptsächlich durch die enormen konvektiven Niederschlagsereignisse des Sommers dominiert werden, enthüllt, daß an der Station Freudenstadt die größte gemessene monatliche Niederschlagssumme der letzten 100 Jahre gefallen ist. Wie Tabelle 2.1 zeigt, sind für extreme Hochwasserereignisse im Rheingebiet extreme Niederschlagssummen die Voraussetzung.

GEBIET/ RÉGION	STATION	HÖHE/ ALTITUDE (m)	NIEDERSCHLAG/ PRÉCIPITATION			RANG in der Reihe/ RANG dans la série 1891 - 1988		
			(mm)		(%)	MRZ/ MARS	WIN/ HIV	JAHR/ ANNÉE
			MRZ/ MARS 1988	MRZ Reihe/ MARS série	ANTEIL/ POURCENTAGE			
1	2	3	4	3/4	6	7	8	
Alpenrhein	Davos	1590	167	57	293	3	19	78
	Schiers	682	269	63	427	1	3	4
Bodensee und östl. Hochrhein	Isny	691	296	101	293	1	6	25
	Arbon	400	152	56	271	1	10	99
	Diessenhofen	405	119	57	208	1	45	156
Aare	Altdorf	451	212	74	286	2	12	41
	Zürich	596	190	69	276	1	8	49
	Bern	570	145	64	226	3	21	119
	Entlebuch	725	248	93	266	1	7	35
	Beznau	327	308	70	439	1	2	2
west. Hochrhein -süd. Oberrhein	Gengenbach	185	232	62	374	1	1	4
	Obermünster- tal	545	202	95	213	2	10	49
Ill	Oderen	450	426	137	311	1	10	11
	Straßburg	129	115	41	280	1	14	77
mittl. Oberrhein	Freudenstadt	797	527	127	415	1	1	1
	Karlsruhe	112	148	46	322	1	7	27
	Landau/Pf.	150	126	42	300	1	17	36
Neckar	Villingen	720	185	65	285	1	12	19
	Tübingen	445	146	42	348	1	1	34
	Heidelberg	110	132	48	275	1	7	49
nördl. Oberrhein - Mittelrhein	Darmstadt	147	129	47	274	1	5	37
	Wiesbaden-S.	145	106	39	272	1	9	58
Main	Weissenburg	422	132	39	338	1	2	32
	Nürnberg	310	178	41	434	1	1	3
	Bad Kissingen	262	132	52	254	1	16	38
	Frankfurt	112	197	45	249	2	23	76
Nabe	Kaiserslautern	248	102	42	243	2	45	111
	Bad Kreuznach	159	80	31	258	2	22	97
Lahn	Bad Camberg	217	112	40	280	1	8	55
	Kirchhain	230	103	37	278	1	11	55
	Eppendorf	300	162	52	312	1	4	13
Mosel	Toul	210	123	54	227	2	26	54
	Trier	144	100	54	185	5	56	156
	Prüm	465	184	67	275	1	4	6
Saar	Limbach	280	144	65	222	2	36	58
	Zweibrücken	330	143	60	238	3	34	60
	Mittersheim	233	147	60	245	2	24	46
Mittelrhein - Niederrhein	Neuwied-Wo.	121	125	48	260	1	1	26
	Euskirchen	176	111	40	278	1	1	37
	Siegen	263	223	72	310	1	11	11
Rubr	Winterberg-Al.	782	250	88	284	1	9	14
	Attendorn	307	206	77	268	1	20	23
	Velbert	220	161	72	224	2	16	42
Lippe	Soest	110	126	49	257	1	8	47
	Dortmund	120	152	54	281	1	4	23
	Hervest-Do.	33	126	51	247	2	26	61
Niederrhein	Kleve	45	122	52	235	2	22	70
	Hoofddorp	-3	118	48	247	2	27	93
	Winterswijk	34	123	51	240	2	15	52
	Putten	28	120	54	224	2	20	74
	Leeuwarden	11	117	44	265	1	14	72

Umfang der Reihen/Etendue des séries

März/mars: 98 Monate/mois
 Winter/hiver: 588 Monate/mois
 Jahr/année: 1176 Monate/mois

Tab. 2.1 Monatliche Niederschlagssummen ausgewählter Stationen des Monats März 1988 im Vergleich zu der Zeitreihe 1891-1988

Précipitations du mois de mars 1988, pour une sélection de stations, comparées aux valeurs de la période 1891-1988

2.3 Die Wetterentwicklung im hydrologischen Winterhalbjahr 1988

Wichtiger noch als die Kenntnis der Niederschlagssummen ausgewählter Stationen ist die Analyse des zeitlichen Verhaltens der Gebietsniederschläge. Die Abbildungen 2.1.1 und 2.1.2 zeigen die Entwicklung der aktuellen monatlichen Gebietsniederschlagssummen des hydrologischen Winterhalbjahres 1988 (Polygonzug) und als Histogramm die mittleren monatlichen Gebietsniederschläge des Bezugszeitraums 1951-1980.

Der Verlauf der mittleren vieljährigen Gebietsniederschläge für Gebiete oberhalb der Mainmündung (am Pegel Mainz) ist in dieser Jahreszeit geprägt durch geringfügige Schwankungen im Niederschlagsangebot von Monat zu Monat (Abb. 2.1.1). Bemerkenswerterweise sind in diesen Gebieten im vieljährigen Mittel die geringsten Niederschlagssummen ausnahmslos im Monat März zu erwarten. Signifikant anders verhalten sich die monatlichen Gebietsniederschläge des Winterhalbjahres in den Gebieten, die zum Rheinabfluß unterhalb der Mainmündung beitragen (Abb. 2.1.2). Eine abnehmende Tendenz der Niederschläge mit großen Summen im November hin zu deutlich geringeren Summen am Ende des Winterhalbjahres im April sind für die Klimate dieser Gebiete kennzeichnend.

Die Niederschlagsentwicklung in den Wintermonaten 1988 verläuft, wie die Abbildungen 2.1.1 und 2.1.2 zeigen, nahezu synchron in den untersuchten Gebieten. Der November als erster Monat des hydrologischen Jahres zeigte in allen Gebieten (außer Alpenrhein) ein durchschnittliches Verhalten. In der 2. und 3. Dekade fielen Niederschläge an insgesamt 17 Tagen. Gegen Ende des Monats wurden in den höheren Lagen bei merklich geringeren Temperaturen die ersten Schneefälle registriert. Die monatlichen Niederschläge der untersuchten Gebiete schwankten zwischen 75% und 125% der vieljährigen Mittelwerte.

Der Dezember war in allen Einzugsgebieten des Rheins zu trocken. Die gemessenen Niederschläge variierten zwischen 25% (im Nahegebiet) und 90% (im Emscher/Lippegebiet) der vieljährigen Mittelwerte. Niederschläge wurden an nur 11 - 12 Tagen registriert, die aber nach Beendigung einer 7-tägigen Frostperiode Mitte des Monats mit einer kräftigen Warmluftzufuhr am 18.12. z.T. ergiebige Mengen brachten (Triberg/Schwarzwald 66 mm).

Im Januar fielen in allen Gebieten häufig Niederschläge (an 19 - 23 Tagen), die in der Regel aber nur von geringer Intensität waren. Wie den Diagrammen der Abbildungen 2.1.1 und 2.1.2 zu entnehmen ist, waren aber die daraus resultierenden monatlichen Gebietsniederschläge überall mit Ausnahme der schweizerischen Gebiete und am Mittelrhein deutlich größer als die mittleren monatlichen Gebietsniederschläge der Normalperiode.

Die ab dem Monat Dezember einsetzende Tendenz hin zu überdurchschnittlichen Niederschlägen hielt auch im Monat Februar an. Die Anzahl der Tage mit Niederschlägen schwankte zwischen 20 und 25 Tagen und die prozentualen Anteile der Niederschlagshöhen an den vieljährigen Mittelwerten erreichten überall große Werte. Im Einzugsgebiet der Ill und im mittleren Oberrheingebiet (nördl. Vogesen und nördl. Schwarzwald) wurden fast 200% erreicht. Am 8. Februar erhielten die über NN + 400 m gelegenen Regionen bei Zufuhr erwärmter polarer Meeresluft eine dünne Schneedecke, die aber unter dem Einfluß des zur Monatsmitte herrschenden Hochdruckwetters (13.-16.2.) weitgehend wieder abschmolz. Nur oberhalb 500 m blieb der Schnee liegen. Die am 17. Februar mit einer Nordwest-Strömung erneut einsetzende Niederschlagstätigkeit brachte in den Tälern und mittleren Höhenlagen zwar nur geringfügige Intensitäten, in den oberhalb 500 m gelegenen Gebieten jedoch baute sich die dort bereits existierende Schneedecke weiter auf.

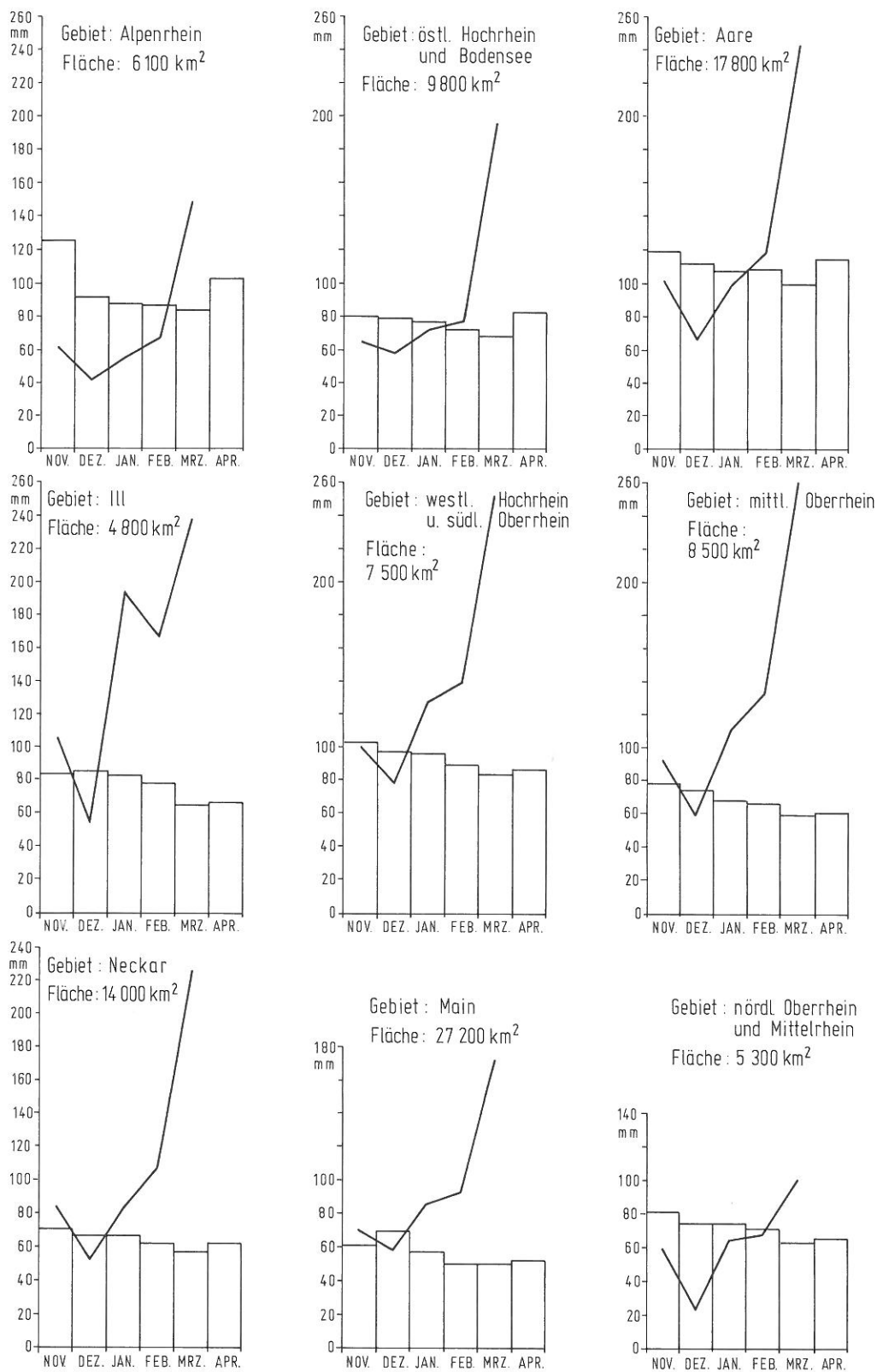


Abb. 2.1.1 Mittlere monatliche Gebietsniederschläge (1951-1980) und aktuelle Gebietsniederschläge des hydrologischen Winterhalbjahres 1988 für den oberen Bereich des Rheineinzugsgebietes

Fig. 2.1.1 Moyennes mensuelles des précipitations régionales (1951-1980) et précipitations régionales actuelles du semestre d'hiver 1988, pour la partie amont du bassin du Rhin

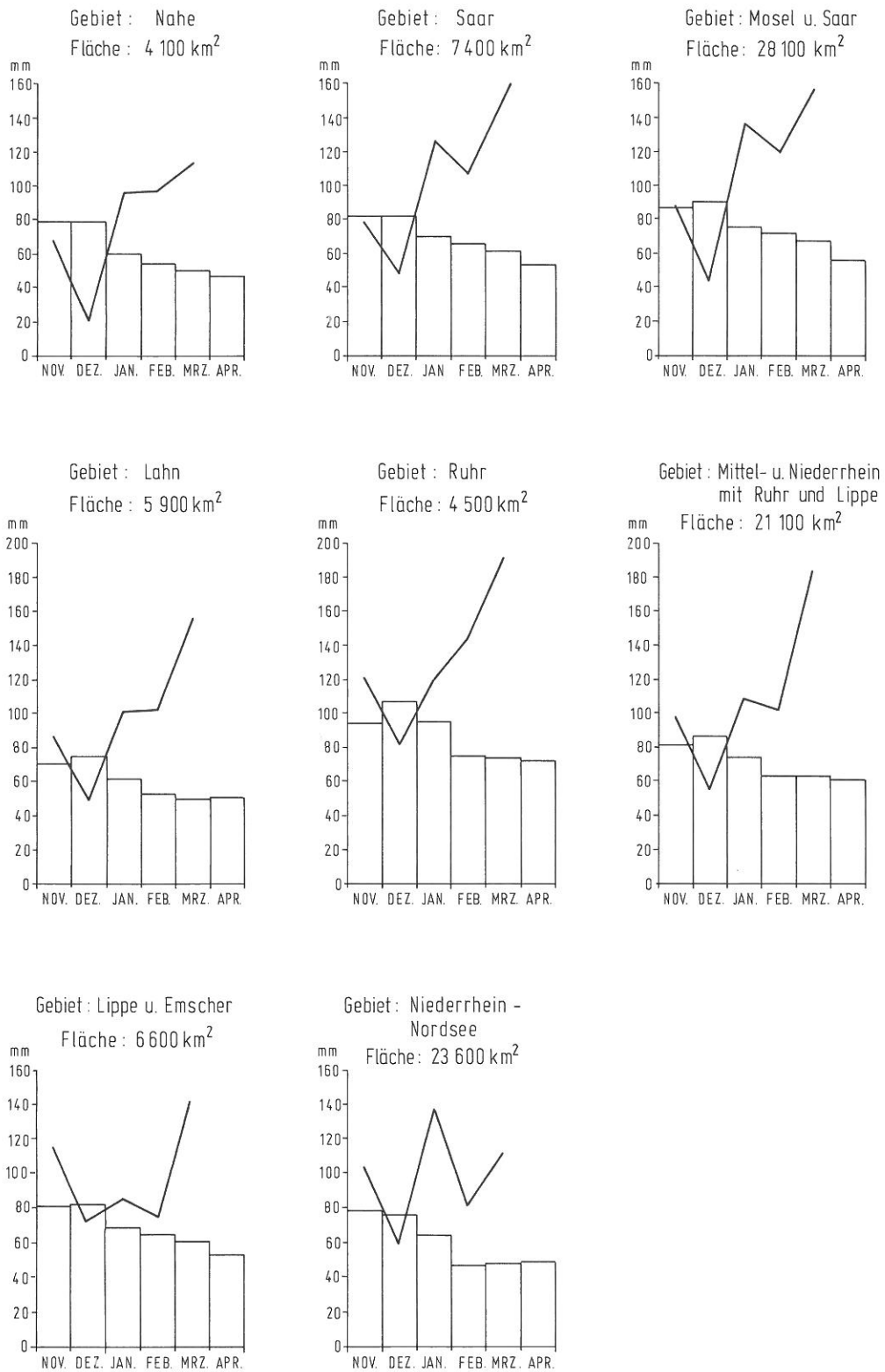


Abb. 2.1.2 Mittlere monatliche Gebietsniederschläge (1951-1980) und aktuelle Gebietsniederschläge des hydrologischen Winterhalbjahres 1988 für den unteren Bereich des Rheineinzugsgebietes

Fig. 2.1.2 Moyennes mensuelles des précipitations régionales (1951-1980) et précipitations régionales actuelles du semestre d'hiver pour la partie aval du bassin du Rhin

Nach dem 23. Februar kam es überall im Rheingebiet im Bereich des Zentrums des Tiefdruckgebietes über Mitteleuropa verbreitet zu Regen und Schnee bzw. zu Regen- und Schneeschauern. Im weiteren Verlauf dieser Witterungsperiode baute sich bei sinkenden Temperaturen bis zum Monatsende (29. Februar) in den Höhenlagen über 200 m eine mehrere Dezimeter mächtige geschlossene Schneedecke auf. In den Hochlagen von Schwarzwald und Vogesen (über 1000 m) erreichte die Schneedecke eine Höhe von ca. 100 cm.

Zusammenfassend läßt sich somit feststellen:

Die in Form von Schnee gespeicherten Niederschlagsmengen des Monats Februar in den mittleren und höheren Lagen der Gebirge trugen in erheblichem Maße zum Entstehen der Hochwasserwelle im Verlaufe des Monats März bei. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, daß die im Vergleich zu den vieljährigen Niederschlagssummen gemessenen überdurchschnittlichen Niederschläge des Winterhalbjahres 1988 in der vegetationsarmen Jahreszeit eine nachhaltige Wirkung zeigten, so daß zu Beginn des Monats März die Kapazität des Bodens, Wasser zu speichern, nahe an ihren Sättigungspunkt gelangte. Beide Gegebenheiten wirkten sich stimulierend auf den oberflächlichen Abfluß aus.

2.4 Das Wettergeschehen im März 1988

Der März 1988 war nach den Monatswerten bei unterdurchschnittlicher Sonnenscheindauer zu naß und zu kalt. Hinter dieser Kurzbeschreibung zum allgemeinen Witterungscharakter aus dem Amtsblatt der süddeutschen Wetterämter [2] verbirgt sich u.a.,

- daß mehrheitlich an den Stationen im Rheingebiet für 27-30 Tage meßbarer Niederschlag registriert wurde,
- daß auf dem Kahlen Asten, der höchsten Erhebung im Sauerland, jeder Tag des Monats Niederschläge brachte,
- daß an zahlreichen Stationen die höchsten monatlichen Niederschlagssummen in einem Monat März der letzten 100 Jahre registriert wurden.

Zwangsläufig stellen sich als Konsequenz im Rhein und seinen Nebenflüssen Hochwasser ein. Wie kam es hierzu?

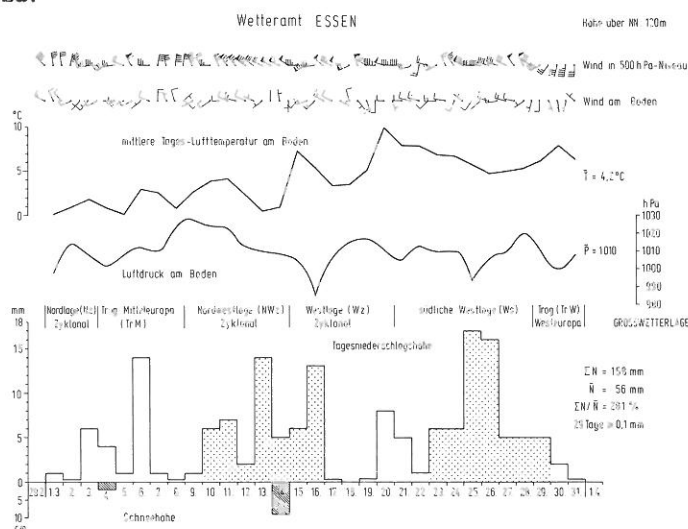


Abb. 2.2.1 Witterungsverlauf im Monat März 1988 an der deutschen Klimahauptstation Essen/Ruhr

Fig. 2.2.1 Chronique météorologique du mois de mars 1988, à la station climatologique principale allemande d'Essen/Ruhr

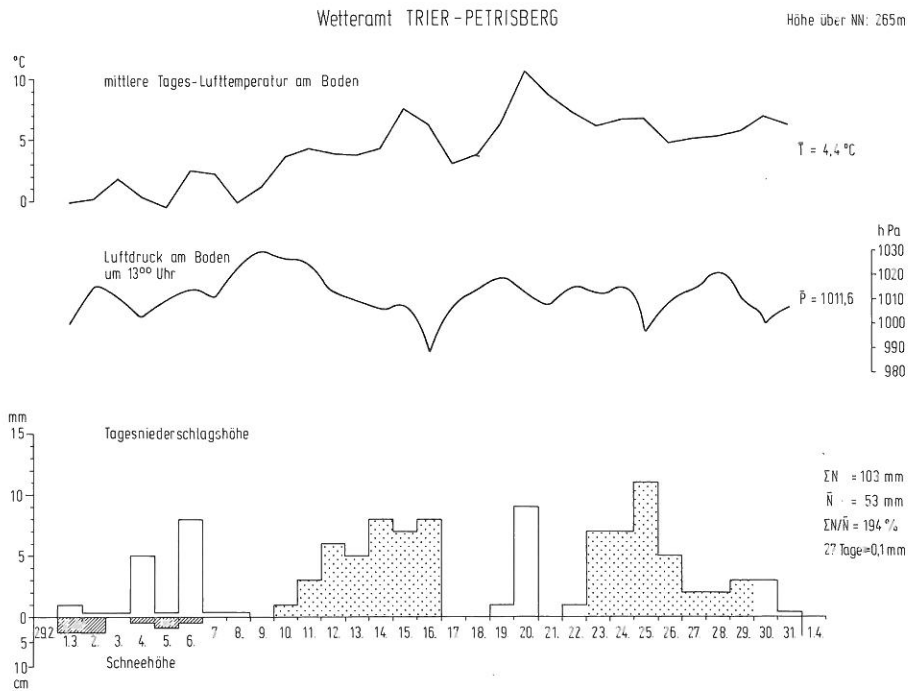


Abb. 2.2.2 Witterungsverlauf im Monat März 1988 an der deutschen Klimahauptstation Trier-Petrisberg

Fig. 2.2.2 Chronique météorologique du mois de mars 1988, à la station climatologique principale allemande de Trèves-Petrisberg

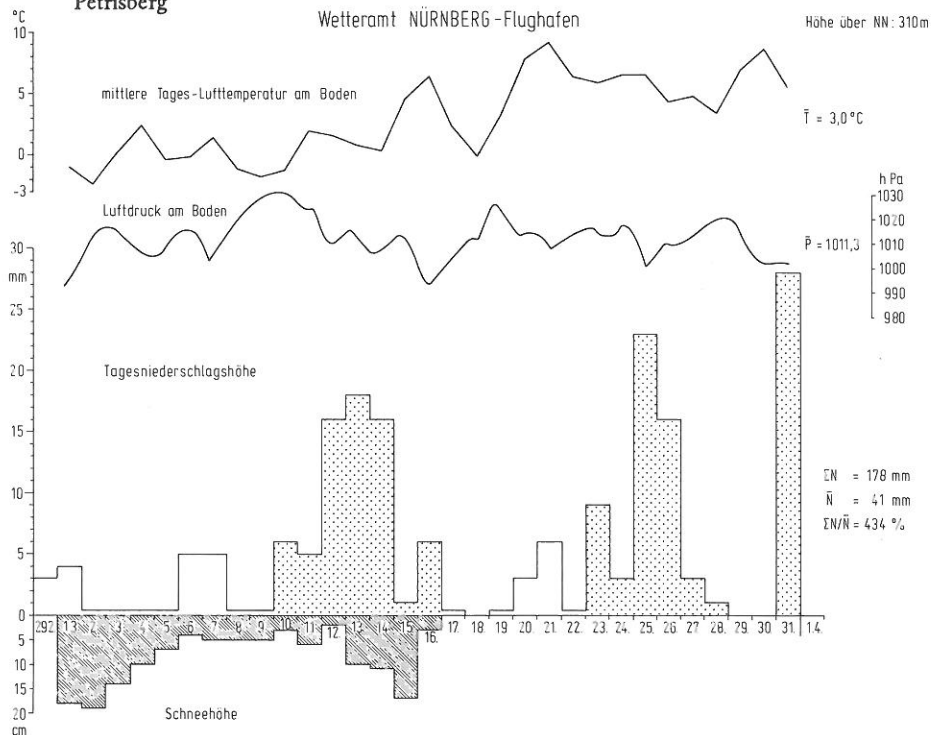


Abb. 2.2.3 Witterungsverlauf im Monat März 1988 an der deutschen Klimahauptstation Nürnberg-Flughafen

Fig. 2.2.3 Chronique météorologique du mois de mars 1988, à la station climatologique principale allemande de Nürnberg-Aéroport

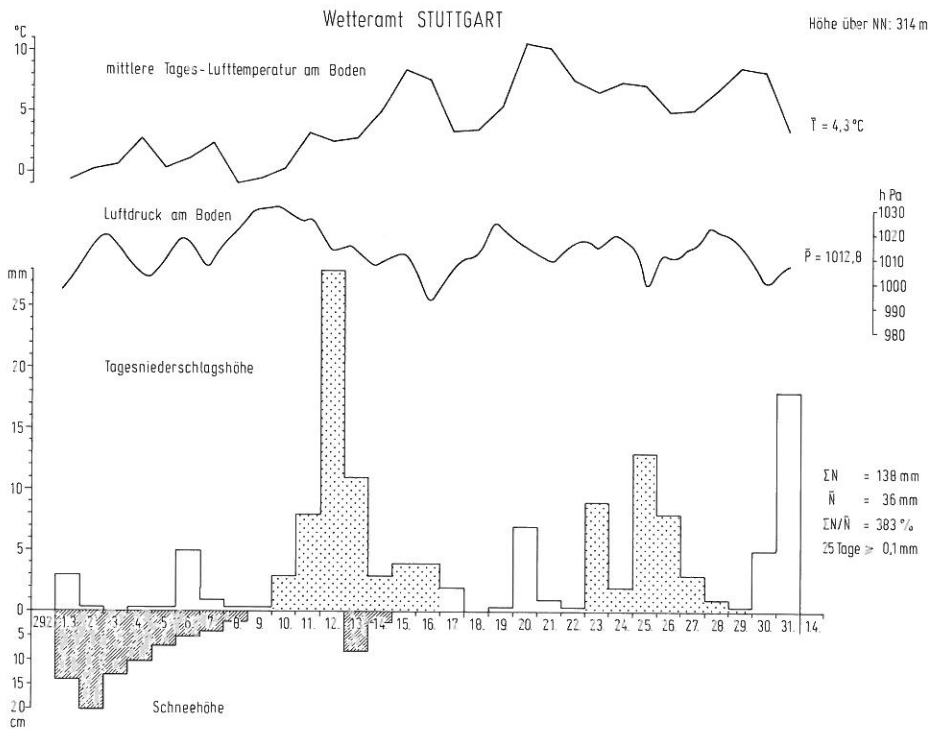


Abb. 2.2.4 Witterungsverlauf im Monat März 1988 an der deutschen Klimahauptstation Stuttgart

Fig. 2.2.4 Chronique météorologique du mois de mars 1988, à la station climatologique principale allemande de Stuttgart

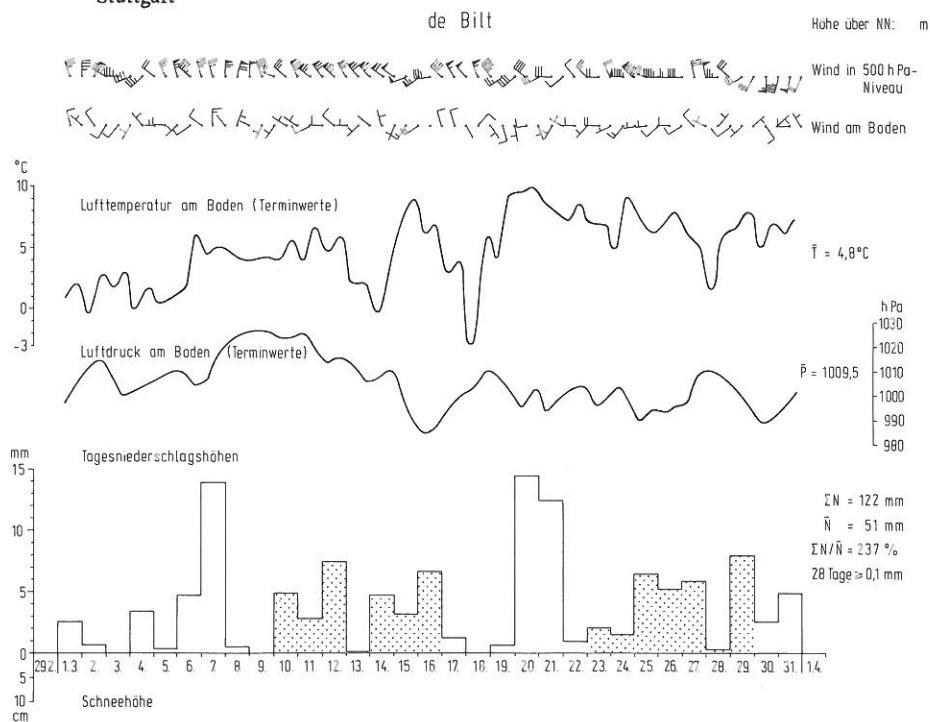


Abb. 2.2.5 Witterungsverlauf im Monat März 1988 an der niederländischen Klimahauptstation De Bilt

Fig. 2.2.5 Chronique météorologique du mois de mars 1988, à la station climatologique principale néerlandaise de De Bilt

Die Abbildungen 2.2.1 - 2.2.5 veranschaulichen den Witterungsverlauf im Monat März 1988 an den vier deutschen Klimahauptstationen Essen/Ruhr, Trier-Petrisberg, Nürnberg-Flughafen und Stuttgart sowie der niederländischen Station De Bilt. Für alle Stationen sind die Tageswerte folgender Parameter dargestellt: Vorhandene Schneehöhe, Niederschlagssumme, Lufttemperatur sowie Luftdruck am Boden. Für die Stationen Essen und De Bilt (Abb. 2.2.1 und 2.2.5) wurde auch der Wind am Boden und der Wind in 500 hPa Niveau hinzugenommen. Weiterhin sind in Abbildung 2.2.1 die Kurzbezeichnungen der Witterungsabfolge nach dem Typus der Großwetterlage aufgeführt.

Zu Monatsbeginn setzte sich die seit den letzten Februartagen vorherrschende winterliche Witterung (bis Ende der ersten Märzdekade) fort. Es kam verbreitet zu Schneefällen sowie Regen- und Schneeschauern. In den mittleren Höhenlagen Süddeutschlands und im Luv der Vogesen (bis NN + 500 m) schmolz die dünne noch aus dem Februar stammende Schneedecke bis auf Reste (siehe Abb. 2.2.3 und 2.2.4). An den höhergelegenen Stationen baute sich die Schneeschicht weiter auf.

Am 9. März stellte sich die Großwetterlage um auf eine »zyklonale Nordwestlage« [3]. Am zeitlichen Verlauf des Luftdrucks wird die Umstellung und die danach einsetzende Tiefdrucktätigkeit offensichtlich. An allen Stationen fiel der Luftdruck innerhalb von 7 Tagen (10.-16.3) von etwa 1030 Hpa bis zu einem Minimum im Bereich von 985-990 Hpa. Tiefausläufer aus nordwestlicher Richtung, die den Druckabfall verursachten, führten in diesem Zeitraum in kurzer Folge zunehmend kältere Meeresluft nach Mitteleuropa. An den näher untersuchten Stationen kam es, wie die Abbildungen 2.2.1 - 2.2.5 zeigen, täglich zu Niederschlägen. Am 15. März stellte sich die großräumige Wetterlage von einer »zyklonalen Nordwest-« auf eine »zyklonale Westlage« um. (siehe Abb. 2.2.1; Wind). Im Zuge eines Sturmtiefs, das am 15./16.3. von Südwest kommend Mitteleuropa überquerte, wurden erwärmte Luftmassen ins Rheingebiet geführt. Diese Luftmassen verursachten sprunghafte Temperaturanstiege und anhaltende Niederschläge. In dieser Warmluftphase fielen fast ohne Unterbrechung anhaltende Niederschläge bis in die Hochlagen der Mittelgebirge als Regen. Die Schneedecke, die dort am 14.3. ihre größte Mächtigkeit erreichte, schmolz im Laufe des 15.- 16.3. erheblich zusammen. Die Witterung vom 10.-16.3. löste somit durch ihre anhaltende intensive Niederschlagstätigkeit (gepunktetes Raster in den Abbildungen 2.2.1 - 2.2.5) und die einsetzende Schneeschmelze die erste Hochwasserwelle im Rheingebiet aus.

Nach einer kurzen Zeitspanne mit Zwischenhocheinfluß (17.-19.3.), die bei zurückgehenden Temperaturen überwiegend niederschlagsfrei blieb, folgten weitere atlantische Tiefausläufer. Die Temperaturen kletterten zu Beginn der am 21.3. sich umstellenden Großwetterlage (»südliche Westlage«) auf Werte von 10° bis 17° C. Zu diesem Zeitpunkt war in den niederen und mittleren Höhenlagen die Schneedecke bereits vollkommen abgetaut. In den Hochlagen des Schwarzwaldes erlitt die Schneedecke beginnend mit dem 19.3. bis zum Monatsende einen kräftigen Schwund. Im Zeitraum vom 21.-28.3. zogen in einer westlichen Strömung Randtiefs in schneller Folge über Mitteleuropa ostwärts mit verbreiteten Regen- und Schneeschauern. Diese Schlechtwetterperiode kann ebenfalls in einem weiteren 7-tägigen Zeitraum, der vom 23.-29.3. dauerte, zusammengefaßt werden, mit einem Höhepunkt am 25. und 26.3. Im Verlaufe eines Tages wurden z.B. an der Station Freudenstadt insgesamt 57 mm Regen gemessen. An einigen Stationen wurden am 25. März die höchsten bisher registrierten Tageswerte knapp überschritten [4].

Intensive Regenfälle und andauernde Schneeschmelze in den Hochlagen der Mittelgebirge lösten somit die zweite Hochwasserwelle des Monats zu einem Zeitpunkt aus, da die 1. Welle noch nicht vollends abgeklungen war.

Am 29.3. folgte eine erneute Umstellung der großräumigen Witterung auf eine Wetterlage, die als »Trog über Westeuropa« gekennzeichnet wird. Während in den nördlichen (Mosel, Lahn, Ruhr) und südlichen (Aare) Einzugsgebieten der Rhein Nebenflüsse die Hochwasserwellen schnell abfließen, kam es in den nordbayerischen und osthessischen Mittelgebirgen und in Baden-Württemberg örtlich am 31.3. wieder zu Starkniederschlägen (s. Abb. 2.2.3 und 2.2.4), die im Main

und Neckar ein weiteres Hochwasser auslösten [5]. Mit dem Monatsende des März war eine außergewöhnlich ergiebige und lang andauernde Niederschlagsperiode endgültig beendet.

2.5 Räumliche Verteilung der Niederschläge in den Zeiträumen vom 10.-16.3. und 23.-29.3.1988

Im vorangegangenen Abschnitt wurden die im März 1988 vorherrschenden Großwetterlagen beschrieben. Es stellte sich heraus, daß durch sie infolge der beiden 7-tägigen Witterungszeiträume vom 10.-16.3. und vom 23.-29.3. mit ihren enormen Regenintensitäten 2 Hochwasserwellen im Rheingebiet ausgelöst wurden. Neben den ergiebigen Regenfällen ging in der zeitweilig recht milden Witterung ein Schneeschmelzprozeß einher, ohne den das ablaufende Hochwasser sich nicht zu einem derart extremen Ereignis hätte entwickeln können. Die Bestimmung der äquivalenten Wassermenge aus dem Schmelzen der Schneedecke bereitet jedoch erhebliche Schwierigkeiten; hierauf wird in Abschnitt 2.6 gesondert eingegangen.

Zur Bestimmung der Niederschlagsverhältnisse in den beiden o.g. Zeiträumen wurden zunächst die entsprechenden 7-tägigen Niederschlagssummen für ca. 300 Stationen im Rheingebiet ermittelt. Die daraus resultierenden Summen wurden danach in Karten des Rheineinzugsgebiets eingetragen. Die räumliche Verteilung der Niederschlagssummen in den Zeiträumen vom 10.-16.3. und 23.-29.3., die in den Abbildungen 2.3.1 und 2.3.3 zu sehen ist, stellt das Ergebnis der Analyse der Niederschlagskarten dar. Die Abbildungen 2.3.2 und 2.3.4 zeigen die entsprechende Verteilung der prozentualen Anteile der Summen dieser Zeiträume bezogen auf den vieljährig gemittelten Niederschlag des Monats März.

In den Abbildungen 2.3.1 und 2.3.3 sind die Isohyeten, die die Gebiete unterschiedlicher Niederschlagsintensitäten abgrenzen, in Abständen von 25 mm eingezeichnet worden. Wie der Abbildung 2.3.1 zu entnehmen ist, waren die Niederschläge zwischen dem 10. und 16.3. in den einzelnen Regionen des Rheingebietes unterschiedlich ergiebig. Die Quellgebiete der Zuflüsse zum Oberrhein und des Neckars im Schwarzwald und den Vogesen verzeichneten großräumig Niederschlagsmengen von mehr als 100 mm. In den Hochlagen des Schwarzwaldes wurden in dieser 7-tägigen Zeitspanne sogar mehr als 200 mm Niederschlag registriert. Die regenreiche Zone erstreckte sich bis in das Aaregebiet. Herausragend war das Neckargebiet. Hier fielen selbst noch am Mittel- und Unterlauf des Flusses erhebliche Niederschlagsmengen. Das westliche Einzugsgebiet des Rheins, das durch die Mosel und ihre Nebenflüsse entwässert wird, war wesentlich niederschlagsärmer als das Neckar- und Oberrheingebiet. Relativ trocken waren auch die Talauen des Rheins und der großen Zuflüsse.

Die Abbildung 2.3.2 mit den Angaben der prozentualen Anteile zeigt, daß großräumig im süd- und südwestdeutschen Rheineinzugsgebiet während dieser 7-tägigen Witterungsperiode bereits mehr als 100% der normalerweise in einem Monat hier zu erwartenden Niederschläge fielen. Gebietsweise wurden mehr als 200% gemessen. Niederschlagsreich waren auch das Tauber- und Regnitzgebiet im Bereich des Mains. Das lothringische Stufenland im Einzugsgebiet der Obermosel und der Saar hatte in diesem Zeitraum prozentuale Anteile von weniger als 100% zu verzeichnen. Auch die Niederrheinregion unterhalb von Köln mit Ruhr-, Lippe- und Ijsselgebiet und das Alpenrhein-, Bodensee- und Aaregebiet waren ebenfalls erheblich trockener als die benachbarten Mittelgebirge.

Die in den Abbildungen 2.3.3 und 2.3.4 wiedergegebene räumliche Verteilung der Niederschlagsverhältnisse vom 23.-29.3. enthüllt ebenfalls regional sehr unterschiedliche Niederschlagsintensitäten. Im allgemeinen läßt sich feststellen, daß für diesen Zeitraum, verglichen mit der ersten Regenperiode, wesentlich geringere Niederschlagssummen gemessen wurden. Rheinhessen, die Vorderpfalz und die Regionen am Mittelrhein und am Unterlauf der Mosel trugen nur unwesentlich zum Entstehen der zweiten Hochwasserwelle bei. Auch im Einzugsgebiet von Main und Neckar waren im Vergleich zur ersten Periode die Niederschläge bei weitem nicht so ergiebig. Nahezu unverändert zeigten sich

die Niederschlagsverhältnisse im Mosel- und Saargebiet. Nur im Alpen- und Hochrheingebiet, sowie am Niederrhein (incl. Niederlande) fielen, verglichen mit dem ersten Zeitraum, größere Niederschlagsmengen.

In der Karte mit den Angaben der prozentualen Anteile (Abb. 2.3.4) finden sich diese Merkmale in entsprechender Form wieder. Abweichungen vom vieljährigen Mittel mit Werten von über 200% sind nicht mehr feststellbar.

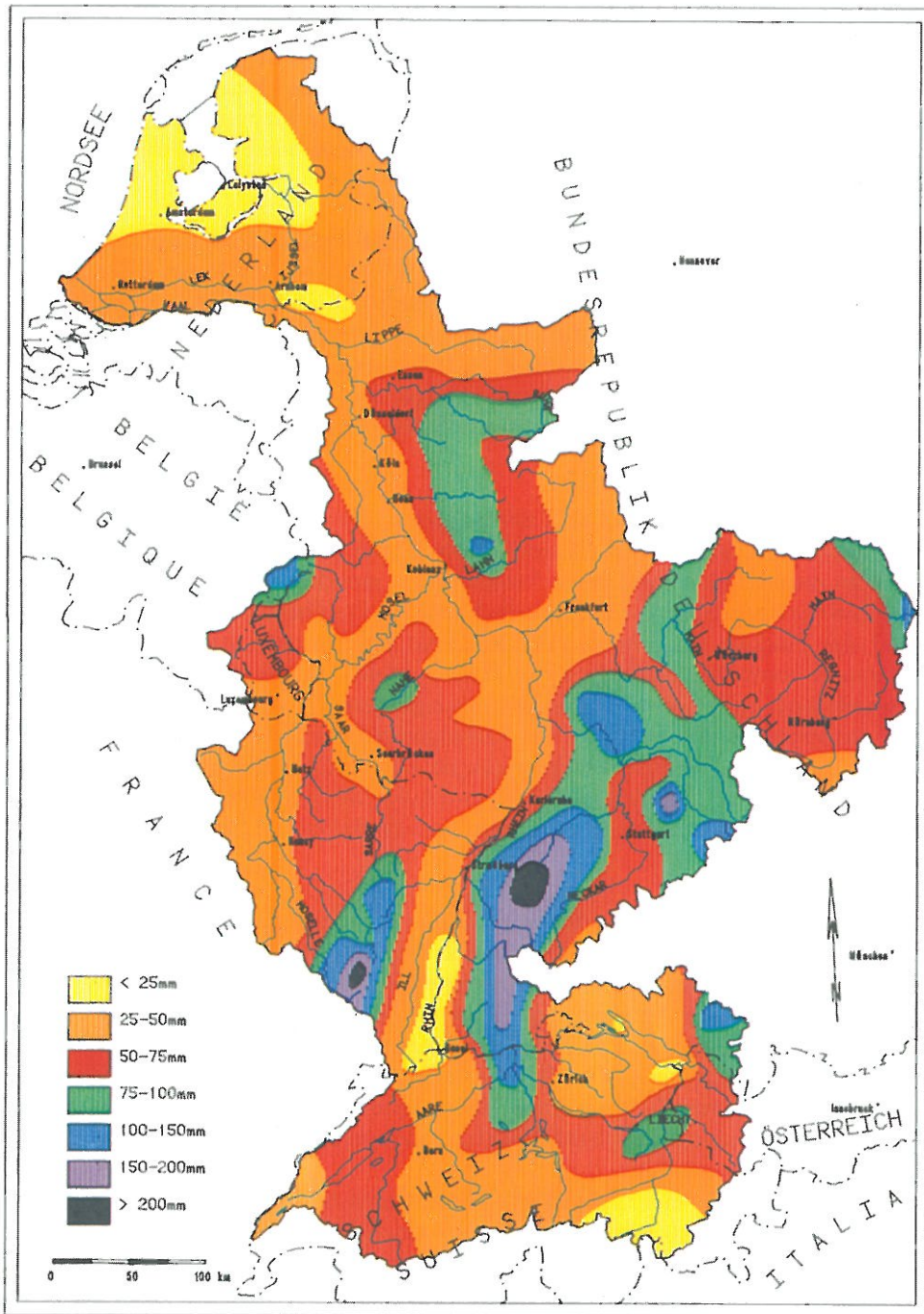


Abb. 2.3.1 Niederschlagssummen in mm vom 10.-16.3.1988

Fig. 2.3.1 Hauteurs totales des précipitations tombées du 10 au 16 mars 1988, exprimées en mm

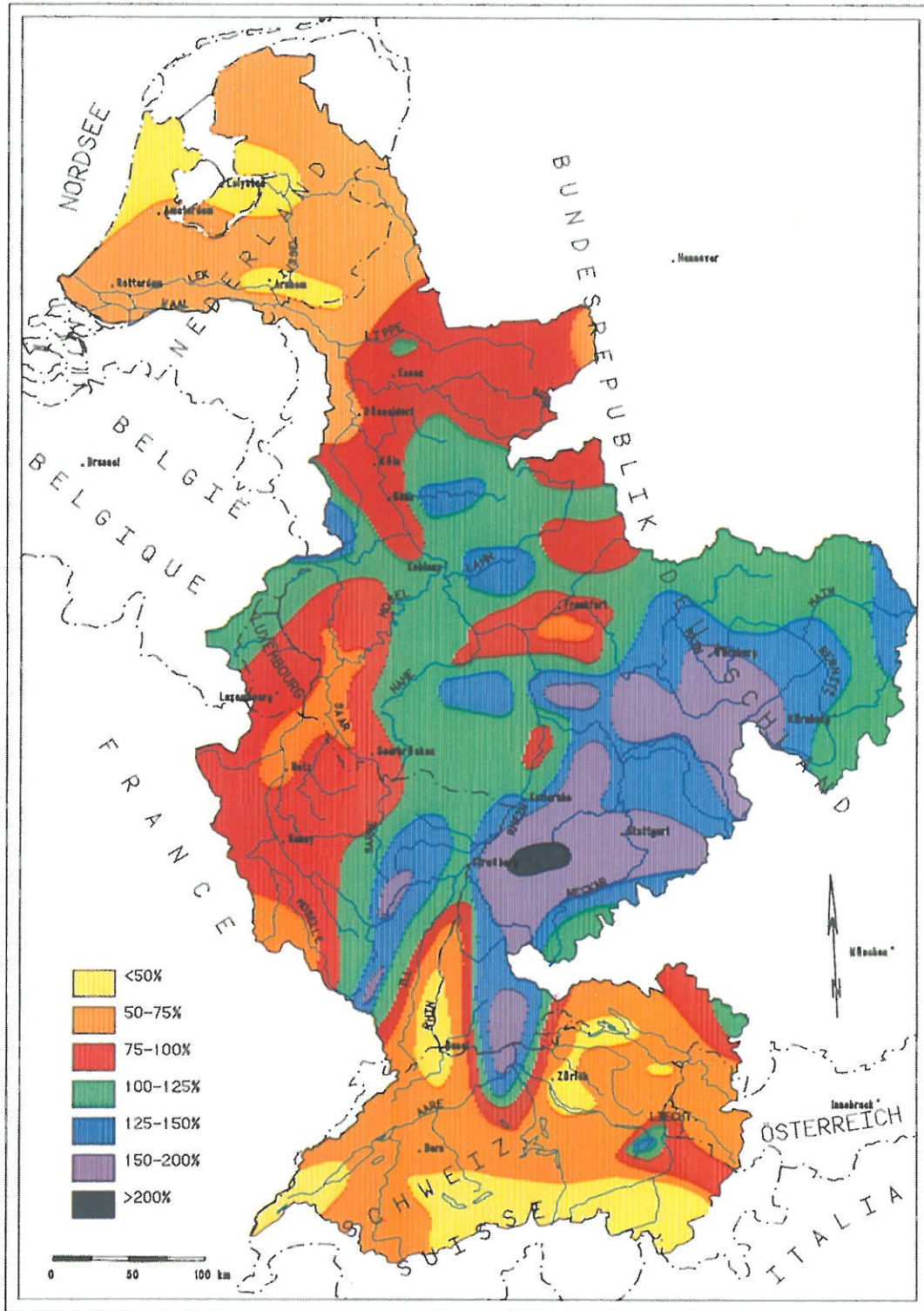


Abb. 2.3.2 Prozentuale Anteile der Niederschlagssummen vom 10.-16.3.1988 bezogen auf den vieljährigen Niederschlag des Monats März

Fig. 2.3.2 Hauteurs totales des précipitations tombées du 10 au 16 mars 1988, exprimées en pourcentage de la moyenne pluriannuelle du mois de mars

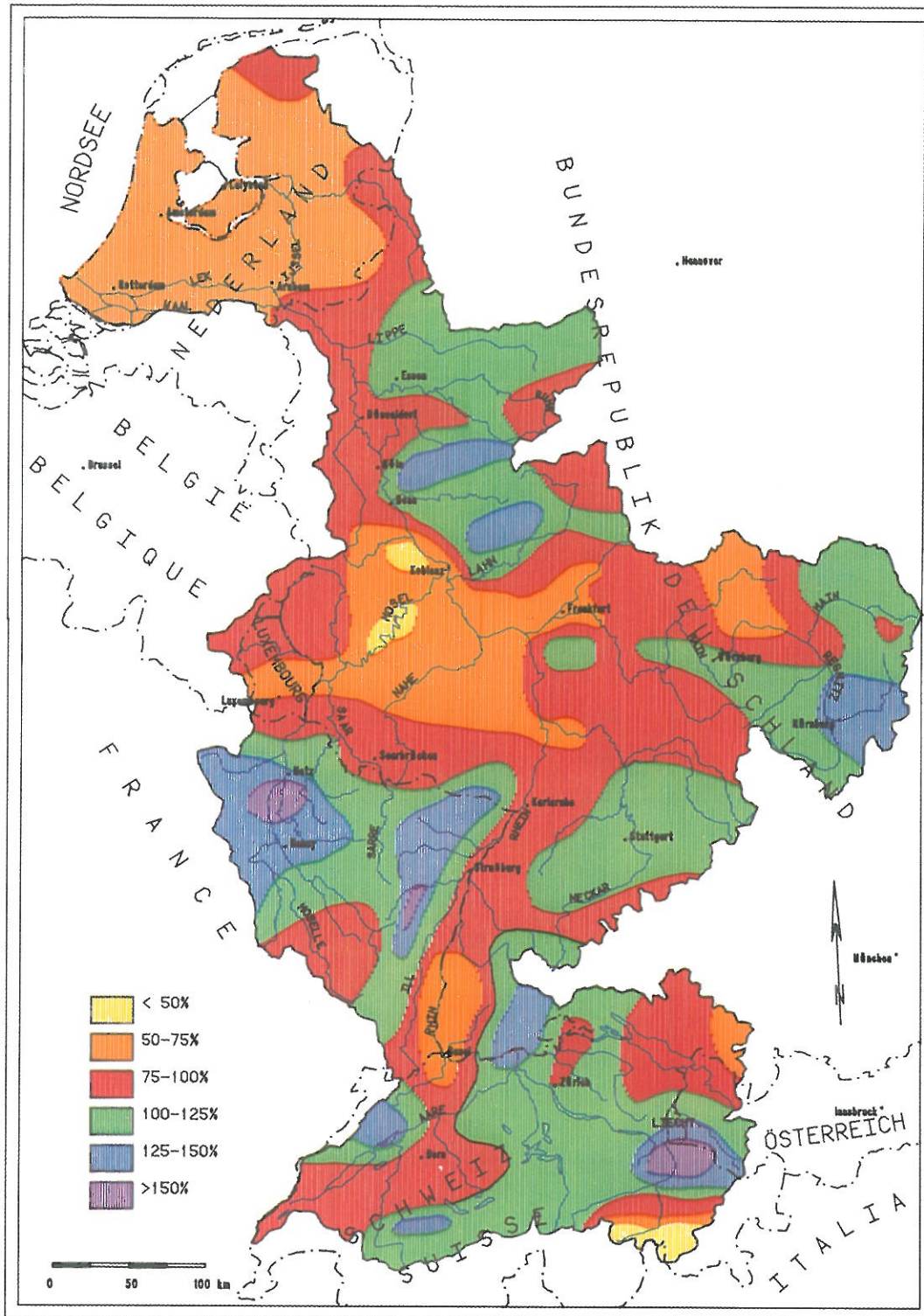


Abb. 2.3.4 Prozentuale Anteile der Niederschlagssummen vom 23.-29.3.1988 bezogen auf den vieljährigen Niederschlag des Monats März

Fig. 2.3.4 Hauteurs totales des précipitations tombées du 23 au 29 mars 1988, exprimées en pourcentage de la moyenne pluriannuelle du mois de mars

In der Tabelle 2.2 sind für 17 Einzugsgebiete die Gebietsniederschlagssummen der beiden Witterungszeiträume und ihre relativen Anteile, bezogen auf den vieljährigen gemittelten Gebietsniederschlag des Monats März, aufgeführt. Dabei spiegelt sich in diesen Angaben auch die räumliche Variabilität der Gebietsniederschläge wider. Die größten Gebietsniederschläge und somit auch die größten prozentualen Anteile wurden in der Regenperiode vom 10.- 16.3. ermittelt. In den Einzugsgebieten der dem Oberrhein zufließenden Gewässer wurden prozentuale Anteile von mehr als 150% gemessen. Im zweiten Zeitraum ist anhand der Angaben der Spalte 6 eine deutliche Vergleichmäßigung feststellbar. Gebiete mit Anteilen größer als 100% treten nur noch vereinzelt auf.

GEBIET/ RÉGION	Gebietsniederschlagssummen/ Hauteurs totales des précipitations régionales				
	N-lang* (mm)	10.-16.3. (mm)	(%)	23.-29.3. (mm)	(%)
1	2	3	4=3/2	5	6=5/2
Alpenrhein	84	28,8	34	61,0	73
Bodensee und östl. Hochrhein	68	45,3	67	62,7	94
Aare	99	52,9	53	84,5	85
west. Hochrhein - süd. Oberrhein	83	81,7	98	74,4	90
Ill	65	109,0	168	91,6	141
mittl. Oberrhein	59	88,2	150	61,6	104
Neckar	57	91,6	161	58,6	103
nördl. Oberrhein - Mittelrhein	63	37,0	59	26,6	42
Main	50	59,1	118	42,6	85
Nahe	50	49,5	99	29,9	60
Lahn	50	56,0	112	51,0	102
Mosel	67	65,4	98	59,6	89
Saar	61	57,7	95	60,2	99
Mittelrhein - Niederrhein	63	64,0	102	61,8	98
Ruhr	74	68,0	92	70,5	95
Lippe	61	61,9	101	63,6	104
Niederrhein - Nordsee	48	28,3	59	43,7	91

* N-lang: mittlerer monatlicher Gebietsniederschlag des Zeitraumes 1951-1980
Moyenne mensuelle de la précipitation régionale, de la période 1951-1980

Tab. 2.2 Gebietsniederschlagssummen der beiden Witterungsperioden vom 10.-16.3.1988 und 23.-29.3.1988 im Vergleich zur Zeitreihe 1961-1980

Précipitations régionales des deux périodes d'intempéries, du 10-16.3.1988 et du 23-29.3.1988, comparées à celles de la série 1961-1980

2.6 Schneehöhen, Schneeschmelze und äquivalente Wassermengen im März 1988

Das Rheinhochwasser vom März/April 1988 ist hydrologisch nicht nur wegen der an den Pegeln registrierten höchsten Wasserstände bzw. Abflüsse nennenswert, sondern auch aufgrund der außerordentlich großen Zeitspanne hoher Wasserstände zwischen dem 12.3. und 12.4.1988 und den daraus resultierenden Abflußsummen [6]. Regen und Schneeschmelze waren am Abflußbildungsprozeß dieses Hochwassers maßgeblich beteiligt. Während die Niederschlagsverhältnisse zeitlich und örtlich mittels der verfügbaren Informationen mit großer Genauigkeit analysiert werden konnten, war die Bestimmung der Schmelzwassermenge, die in den zu untersuchenden Zeiträumen zum Abfluß kam, wegen der Komplexität der Zusammenhänge nicht mit derselben Zuverlässigkeit möglich. Prinzipiell läßt sich bei Kenntnis der Schneehöhe und der aktuellen Schneedichte die äquivalente Wassermenge der Schneedecke ermitteln: Während des Schmelzvorganges kann Wasser im Porenraum des Schnees bis zu einer Dichte von ca. $0,4 \text{ g/cm}^3$ gespeichert werden. In dieser Phase wird somit Regen- und Schmelzwasser an Ort und Stelle zurückgehalten. Abflußwirksame Schneeschmelze beginnt erst im Dichtebereich von $0,4-0,5 \text{ g/cm}^3$. Da Informationen zur räumlichen Verteilung der Schneedecke nicht in ausreichendem Maße vorhanden waren und die entsprechende zeitliche Entwicklung der Schneedichte an den Meßstationen unbekannt ist, wurde im Rahmen der meteorologischen Beschreibung des Märzhochwasser 1988 die abflußwirksame Schmelzwassermenge nicht quantitativ bestimmt, sondern nur grob abgeschätzt.

Aus dem zeitlichen Verlauf der täglichen Schneedeckenhöhen können jedoch einige hydrologische Wirkungen qualitativ gefolgert werden. Anfang März lag außer in den Talauen überall im Rheingebiet eine aus dem Monat Februar stammende mehrere Dezimeter mächtige Schneedecke. Während in den Niederungen und in den mittleren Höhenlagen bis ca. 300 m über NN diese Schneedecke bis zum 10.3. nahezu restlos wegschmolz, baute sie sich in den Hochlagen weiter auf. D.h. durch die Schneeschmelze wurden im unteren Bereich der Mittelgebirge die Bodenwasservorräte weiter aufgefüllt. Mit großer Wahrscheinlichkeit kann deshalb davon ausgegangen werden, daß die ergiebigen Regenfälle am 12./13.3. dort überall auf wassergesättigte Böden trafen, die somit das Regenwasser unmittelbar oberflächlich abführten. Die steil ansteigenden Wasserstandsaufzeichnungen an den Pegeln im Oberrhein-, Neckar- und Moselgebiet am 12./13.3. sind eindeutige Indizien für diese Tatsache.

Am 14./15.3. wurde milde Meeresluft in das Rheingebiet geführt. Auch in Höhenlagen über 1000 m setzte nunmehr der Schmelzprozeß ein. Nach einer kurzen Periode mit niedrigeren Temperaturen, begann am 21.3. unter Warmluftzufuhr erneut eine Tauwetterperiode. Es kann gefolgert werden, daß die Porenräume der Schneedecken in den Hochlagen der Mittelgebirge zu diesem Zeitpunkt vollständig wassergefüllt waren und das Schmelzwasser sofort abfließen konnte.

In Höhenlagen bis 600 m über NN ist die am Monatsanfang existierende mehrere Dezimeter dicke Schneeschicht bis zum Ende der Witterungsperiode (16.3.), die den ersten Hochwasserscheitel auslöste, vollkommen weggeschmolzen. Bei einem überschläglichen Ansatz, daß 1 cm Schnee 1 mm Regen entspricht [7], ergibt sich, daß in den mittleren Hochlagen der Mittelgebirge im Mittel eine äquivalente Wassermenge von ca. 20 mm den dort gefallen Niederschlagshöhen hinzuzurechnen ist. Im Höhenbereich zwischen 600 und 1000 m ü. NN sind in der Zeitspanne vom 14.-29.3. im Mittel ca. 50 cm geschmolzen, d.h. es ist hier eine äquivalente Wassermenge von 50 mm anzunehmen. Im gleichen Zeitraum sind in den Hochlagen über 1000 m die dort vorhandenen Schneedecken um 100-150 cm dezimiert worden; dies entspräche einer äquivalenten Wassermenge von mehr als 100 mm.

3. DER ABLAUF DES HOCHWASSERS VOM MÄRZ/APRIL 1988

3.1 Das Abflußgeschehen

Die von unterhalb der vieljährigen mittleren Abflüsse (MQ) aufsteigende Hochwasserwelle begann einheitlich nach dem 10. März. Sie gestaltete sich stromab des Bodensees allgemein als Ereignis mit mindestens zwei ausgeprägten Scheiteln, die im Abstand von rund 10 Tagen auftraten. Abbildung 3.1 zeigt den Verlauf der Wasserstände an den ausgewählten Rhein- und Nebenflußpegeln.

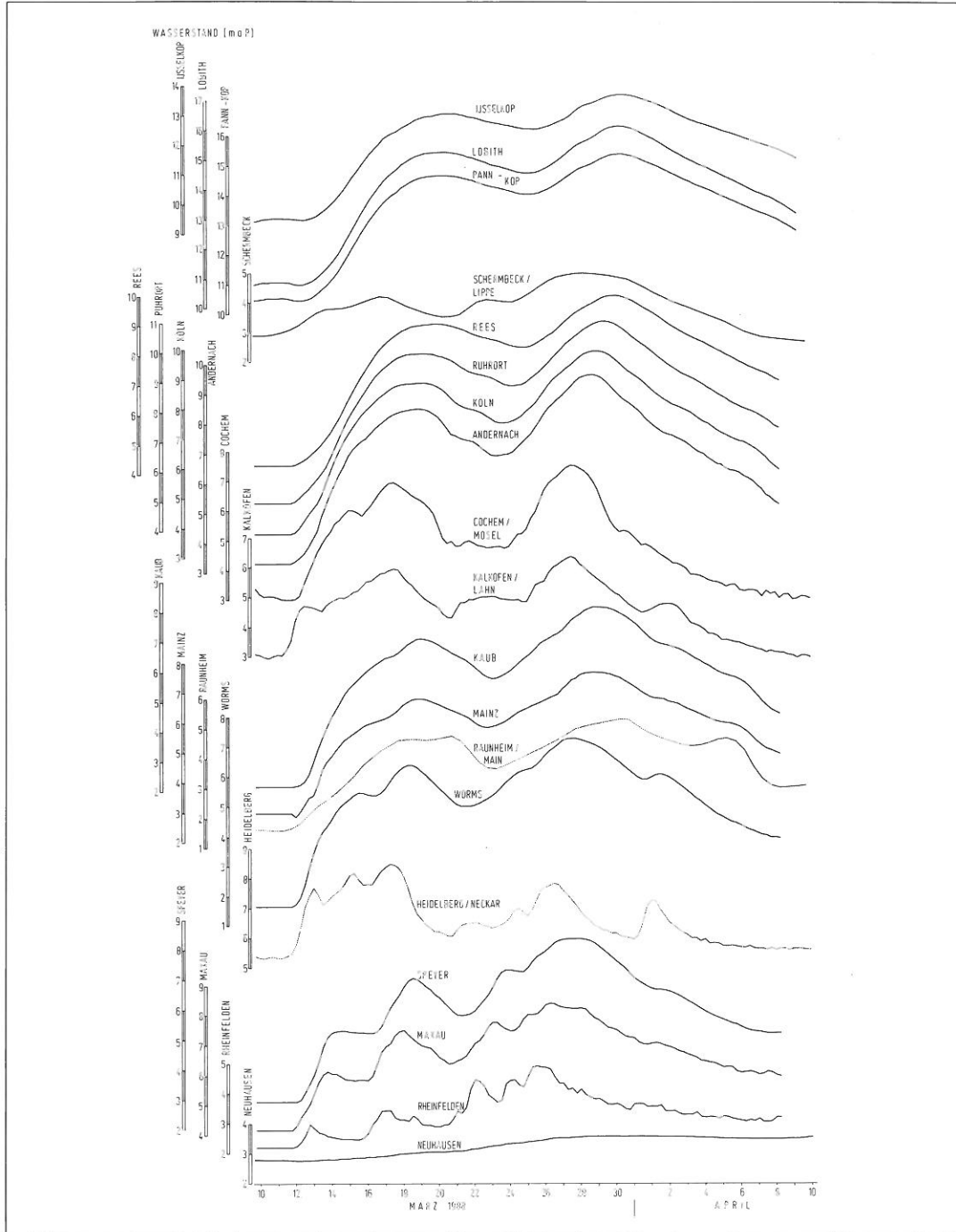


Abb. 3.1 Verlauf der Wasserstände an ausgewählten Rhein- und Nebenflußpegeln

Fig. 3.1 Chronique des niveaux d'eau pour une sélection de stations hydrométriques, sur le Rhin et ses affluents

Die Darstellung auf Abbildung 3.2 gibt ein räumliches Bild des Wellenablaufs (Abflüsse) im Rhein unterhalb des Bodensees bis Lobith.

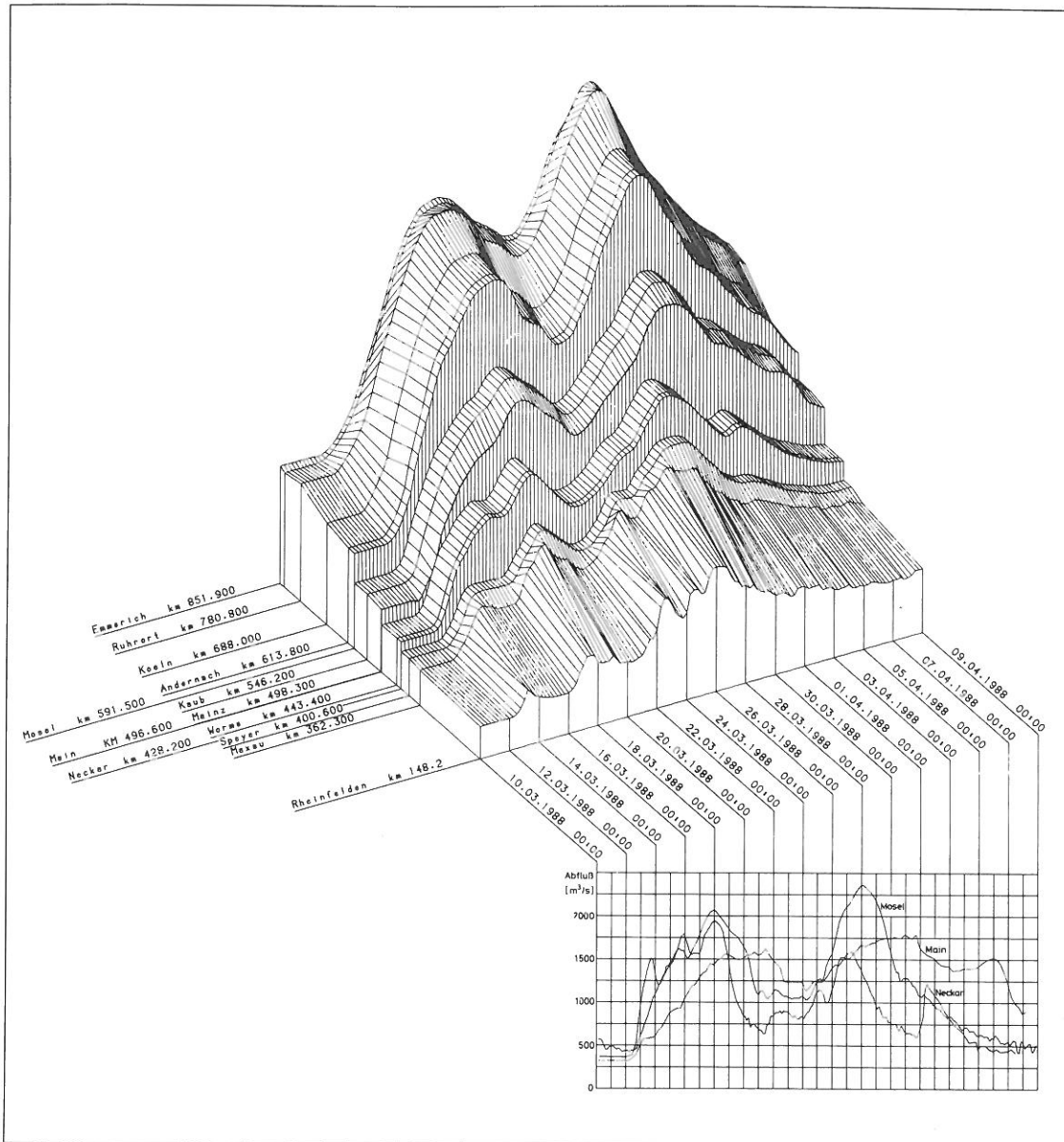


Abb. 3.2 Stereographische Darstellung des Rheinhochwassers März 1988 vom Bodensee bis zur deutsch-niederländischen Grenze

Fig. 3.2 Représentation stéréographique de la crue du Rhin de mars 1988, du lac de Constance à la frontière germano-néerlandaise

Die Zuflüsse zum Bodensee führten in Konstanz ab dem 14.3. zu einem Ansteigen des Seespiegels, der am 29.3. sein vorläufiges Maximum erreichte. Ihm entsprachen Abflüsse aus dem Bodensee zwischen 250 und 500 m³/s. Aufgehört durch die Beiträge aus dem westlichen Teil des alpinen Rheineinzugsgebietes, vor allem der Aare, wurde in Rheinfelden am 17.3. mit 1 750 m³/s ein erster Scheitel erreicht. Schließlich ergab sich am 25./26.3. ein Maximalabfluß von 3 140 m³/s, mit einer Eintretenswahrscheinlichkeit von rund 5 Jahren.

Die Zuflüsse aus Schwarzwald und Vogesen ebenso wie die großen Nebenflüsse Neckar und Main überlagerten ihre jeweiligen Scheitel nahezu zeitgleich dem Scheitel des Rheins. Das Ergebnis ist eine von Pegel zu Pegel sukzessive Zunahme der Jährlichkeit des Maximalabflusses im Rhein von 10 Jahren in Maxau auf schließlich 50 Jahre in Kaub, betrachtet man das Kollektiv der auf den heutigen Bettzustand des Rheins homogenisierten Abfluß-Scheitelwerte. Bei Verwendung der historischen Meßdaten ergibt sich für Kaub eine Eintretenswahrscheinlichkeit von 95 Jahren (Tab. 3.1 und Abb. 3.4.1). Mit 7 200 m³/s ist im übrigen der höchste am Pegel Kaub historisch belegte Abfluß eingetreten. Der nächsthöhere Scheitelwert ist aus dem Jahr 1882 mit 7 000 m³/s überliefert.

Während an Neckar und Main Scheitelabflüsse höherer Jährlichkeiten auftraten, ergaben sich im Mosel- und Lahnggebiet sowie an allen nach Norden folgenden Nebenflüssen nur geringe Abflußbeiträge. Sie bewirkten eine deutliche Abnahme der Jährlichkeit des Rhein-Scheitelabflusses unterhalb der Moselmündung.

Da die Meereswasserstände an der niederländischen Küste infolge geringen Windstaus nicht besonders hoch lagen, führte der Abfluß von Lek und Waal dort zu keinen Problemen. Am IJsselmeer zeigten dagegen die Pegel mit NAP + 0,15 m einen Wasserstand etwa 0,35 m über dem Sollwert für diese Jahreszeit. Dadurch wurde der Abfluß der IJssel, des dritten niederländischen Rheinzipfels, gestaut und es kam am Unterlauf dieses Flusses zu verhältnismäßig höheren Wasserständen als in den übrigen niederländischen Rheinzipfeln. In Kampen erreichte der Wasserstand am 1.4. einen Höchststand von NAP + 1,88 m und blieb damit nur wenige cm unter dem Kainiveau.

Aus Abbildung 3.2 wird deutlich, daß die Wellenform dem gesamten Rhein entlang immer vergleichbar war. Insbesondere wurden die Wellenscheitel durch Zuflußwellen nicht neu festgelegt. D.h., der durch Wellenablauf von oberstrom sich ergebende Höchstabfluß blieb in der Gesamtstrecke scheitelbestimmend.

3.2 Das Hochwasserereignis 1988 im vieljährigen Vergleich

Die Erinnerung an große Hochwasser und deren Auswirkungen ist im allgemeinen durch örtlich fixierte Wasserstandsmarken lebendig gehalten. Trotzdem wird immer wieder deutlich, daß Betroffene (und häufiger noch Außenstehende) neue Ereignisse unreflektiert als ungewöhnliche Katastrophen bezeichnen und dabei die Daten der Überlieferung verdrängen.

Demgegenüber werden für die hydrologische Statistik Extremwerte möglichst langer Jahresreihen gesammelt und daraus Häufigkeiten bzw. Wiederkehrintervalle für bestimmte Scheitelabflüsse ermittelt.

Eine Schwierigkeit besteht jedoch darin, daß Gewässer natürlichen Veränderungen (Erosionen, Auflandungen) unterliegen und daß insbesondere in Mitteleuropa künstliche Veränderungen an den Gerinnen und in den Einzugsgebieten die Regel sind. Dadurch ergeben sich Unvergleichbarkeiten (Inhomogenitäten) bei Daten, die aus verschiedenen Zeitabschnitten stammen und nur scheinbar gleichwertig sind. In einigen Fällen liegen aufwendige Untersuchungen vor, die zur Homogenisierung von Datenkollektiven geführt haben. Dies ist beispielsweise der Fall für die Pegel am Rhein von Basel bis Kaub. Hier sind unterschiedliche Ausbauzustände des Flußbettes berücksichtigt; Einflüsse

aus Veränderungen in den Einzugsgebieten (z.B. Landnutzung, Urbanisierungseffekte) dagegen nicht. Leider ist es nicht möglich, für alle Pegel homogenisierte Datenkollektive zu schaffen, deshalb werden bei den nachfolgenden Untersuchungen die historisch eingetretenen Werte benutzt. Für einige Pegel sind lediglich zum Vergleich Daten umgerechnet auf den derzeitigen Zustand zusätzlich aufgeführt.

3.2.1 Das Hochwasser am Rhein

Um die Entwicklung, eventuell eine systematische Veränderung, der Abflussscheitel längs der Zeitachse sichtbar zu machen, wurden die jeweils höchsten Abflüsse jeden Jahres für Rheinfelden und Kaub seit 1871 bis 1988 und für Lobith seit 1901 bis 1988 aufgetragen (Abb. 3.3.1 - 3.3.3). In die Darstellung der Scheitelabflüsse sind Kurven aus 9-wertigen gleitenden Mitteln für Hochwassermaxima und jährliche Mittelwerte (MQ) eingezeichnet sowie Regressionsgeraden hierfür. Es ergibt sich in Rheinfelden, daß die Scheitelwerte eine fallende Tendenz zeigen, während die MQ-Regression leicht steigt. In Lobith ist das Bild ähnlich. In Kaub dagegen ist auch die Tendenz der HQ ansteigend.

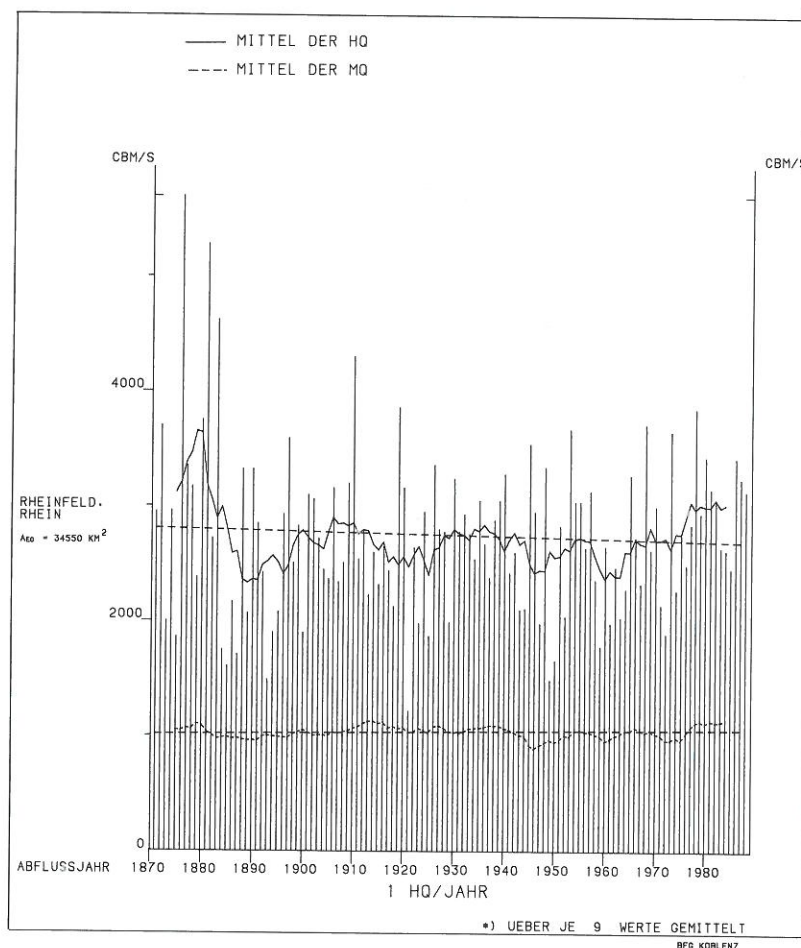


Abb. 3.3.1 Hochwasserscheitelabflüsse 1871/1988 (1 HQ/Jahr) am Pegel Rheinfelden mit gleitenden Mitteln und Trendgerade und gleitenden Mitteln der Jahres-MQ mit Trendgerade

Fig. 3.3.1 Débits de pointes annuels, de 1871 à 1988, à l'échelle de Rheinfelden, avec moyennes mobiles et tendance, avec aussi moyennes mobiles et tendance des débits annuels moyens

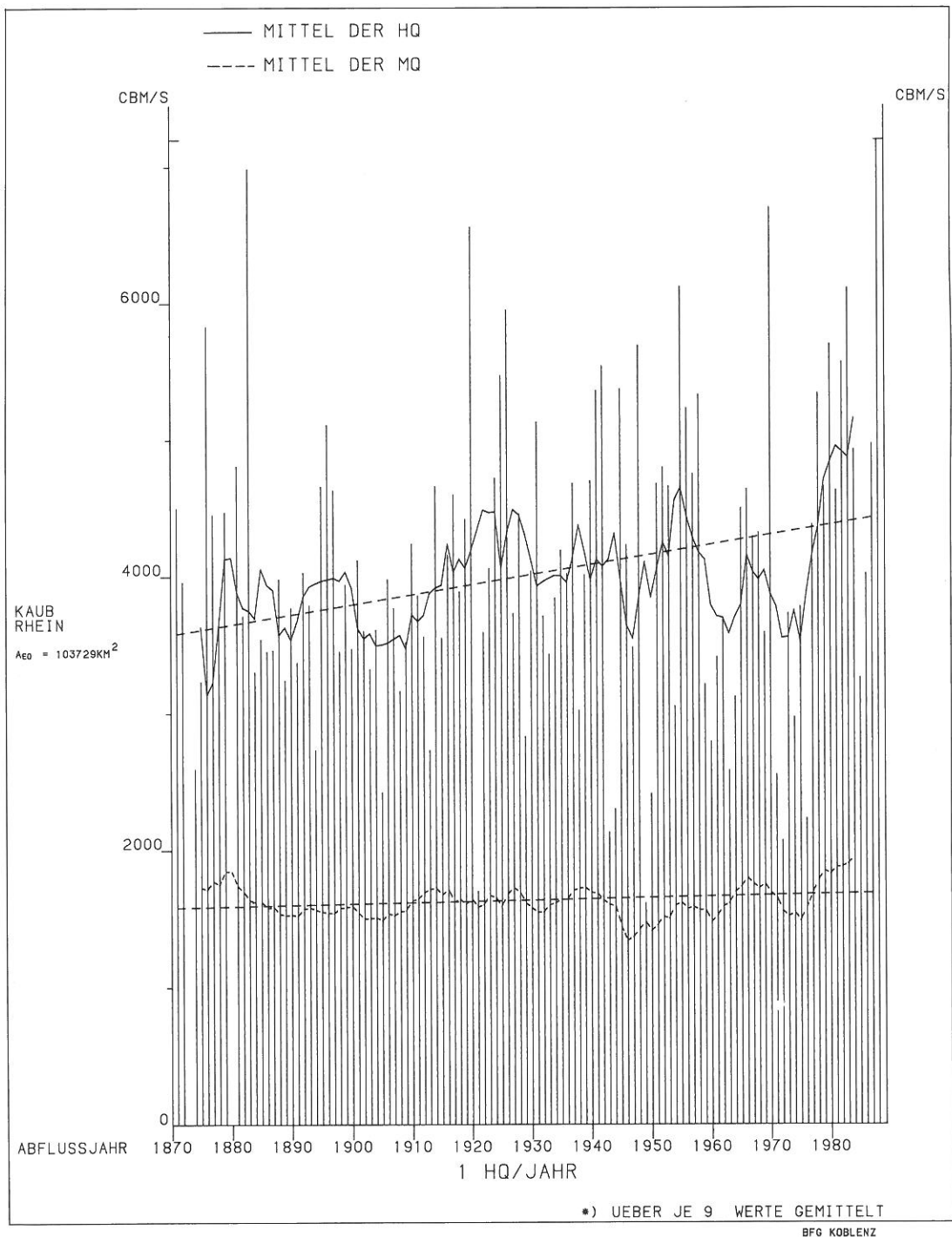


Abb. 3.3.2 Hochwasserscheitelabflüsse 1871/1988 (1 HQ/Jahr) am Pegel Kaub mit gleitenden Mitteln und Trendgerade und gleitenden Mitteln der Jahres-MQ mit Trendgerade

Fig. 3.3.2 Débits de pointes annuels, de 1871 à 1988, à l'échelle de Caub, avec moyennes mobiles et tendance, avec aussi moyennes mobiles et tendance des débits annuels moyens

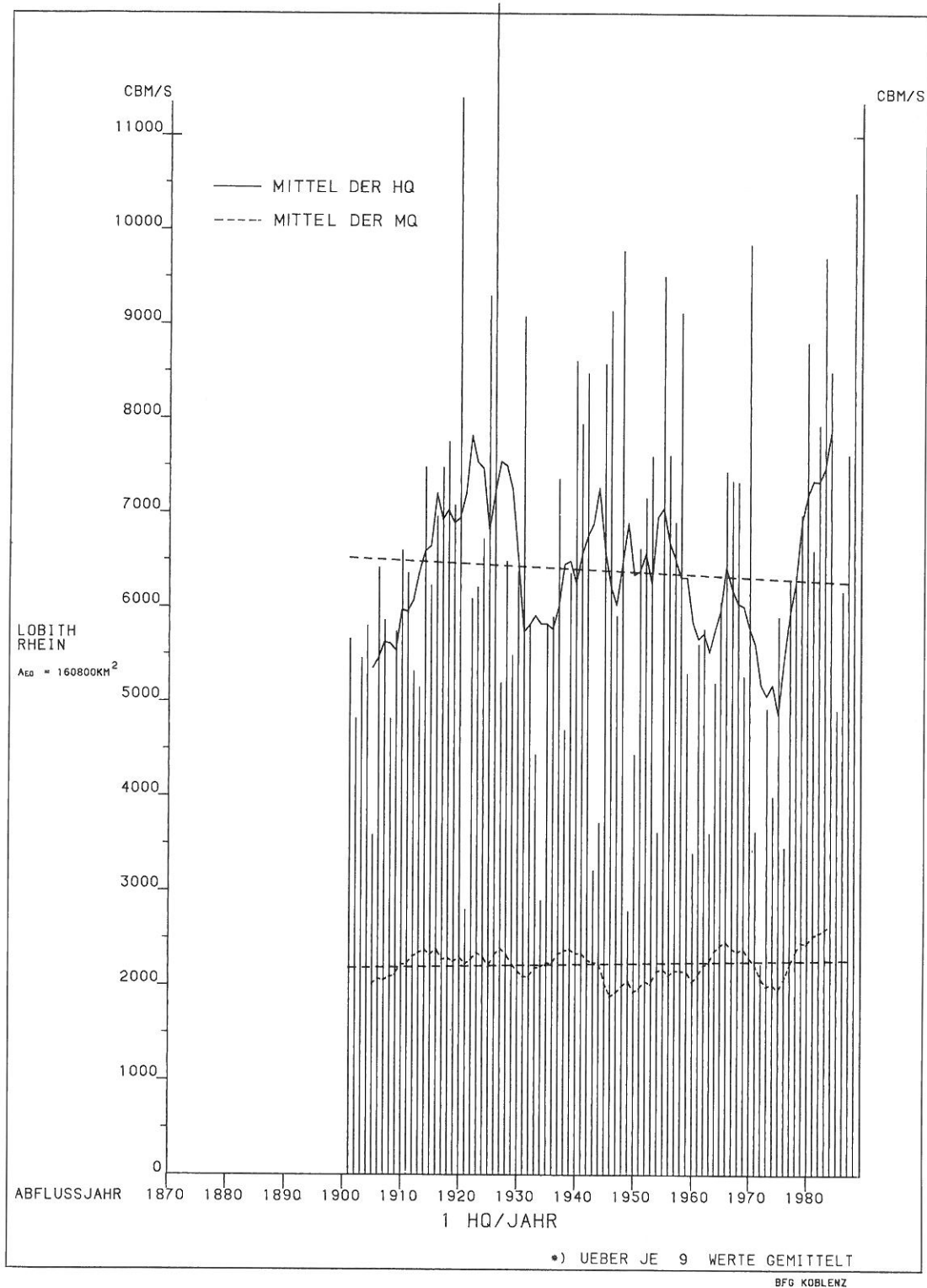


Abb. 3.3.3 Hochwasserscheitelabflüsse 1901/1988 (1 HQ/Jahr) am Pegel Lobith mit gleitenden Mitteln und Trendgerade und gleitenden Mitteln der Jahres-MQ mit Trendgerade

Fig. 3.3.3 Débits de pointes annuels, de 1901 à 1988, à l'échelle de Lobith, avec moyennes mobiles et tendance, avec aussi moyennes mobiles et tendance des débits annuels moyens

Am Pegel Rheinfelden ist der Scheitelabfluß 1988 kein herausragendes Ereignis. In Kaub dagegen ist er der größte der gesamten dargestellten Periode. In Lobith ist das Hochwasser 1988 das dominierende Ereignis der Zeitspanne 1930 bis 1988. Die drei Grafiken machen deutlich, daß ein einheitlicher Hochwassertrend für alle Pegel am Rhein nicht vorhanden ist. Insbesondere läßt sich nicht pauschal feststellen, daß die Hochwassergefahr in den letzten 100 Jahren zugenommen hat. Dies hängt vor allem mit dem signifikanten Einfluß der großen Nebenflüsse Neckar, Main und Mosel zusammen. An ihren Einmündungen wird der Rheinscheitel unterhalb in der Regel jeweils neu bestimmt. Da die Nebenflüsse jedoch kein dem Rhein synchrones Verhalten zeigen, sind die Entwicklungstendenzen, zum Beispiel der Hochwasserscheitel auf den einzelnen Teilstrecken des Rheins (Hochrhein, Ober-, Mittel- und Niederrhein), unterschiedlich.

Für die statistische Analyse ist es wichtig, die Genese der Hochwasser zu berücksichtigen. Große Hochwasser aus den Mittelgebirgen entstehen in der Regel im Winter, in vegetationsarmer Zeit sowie bei gefrorenem Boden und abtauender Schneedecke. Im Gegensatz dazu treten extreme Abflüsse aus dem Hochgebirge vor allem im Sommer auf, aus Regen und Schmelzwasser. Am Rhein sind die Einflüsse aus Hoch- und Mittelgebirge vermischt. Wegen der räumlich unterschiedlichen Entstehung der Winter- und Sommerhochwasser sowie ihren unterschiedlichen Auswirkungen in Abhängigkeit von den Jahreszeiten hat es sich eingebürgert, neben der Häufigkeit für Jahre auch solche für die Winter- und Sommerhalbjahre zu ermitteln.

Schließlich ist es wichtig, bei der statistischen Auswertung von Hochwassern einerseits alle relevanten Ereignisse zu berücksichtigen und andererseits Ereignisse zu eliminieren, die zwar die höchsten ihrer Periode (z.B. Jahr) sind, aber im eigentlichen Sinn keine Hochwasser darstellen. Hierzu wurden in der vorliegenden Untersuchung jeweils die höchsten und zweithöchsten Abflussscheitelwerte jeder Periode (z.B. Halbjahr) ermittelt und anschließend wieder die n höchsten Werte aus den n Jahren der Zeitreihe (partielle Serie) ausgewählt.

Die Beobachtungen an den Rheinpegeln werden größtenteils seit weit über hundert Jahren aufgezeichnet. Insbesondere im Alpenraum sind jedoch im 19. Jahrhundert wesentliche Einflüsse auf das Abflußregime ausgeübt worden, deren Quantifizierung nicht mehr möglich ist. Deshalb ist das Datenkollektiv für alle Pegel auf die Jahre seit 1871 (bzw. Rheinfelden seit 1882 bzw. Lobith seit 1901) beschränkt worden. Als Beispiel für die Berechnung der Extremwertverteilungen enthalten die Abbildungen 3.4.1 - 3.4.3 die graphischen Darstellungen der Jahres-, Sommer- und Winterverteilungen für den Pegel Kaub unter Verwendung des Kollektivs der historischen Scheitel. Die Plotting-Positionen sind die Meßwerte gemäß empirischer Verteilung. Der Scheitel 1988 ist gekennzeichnet.

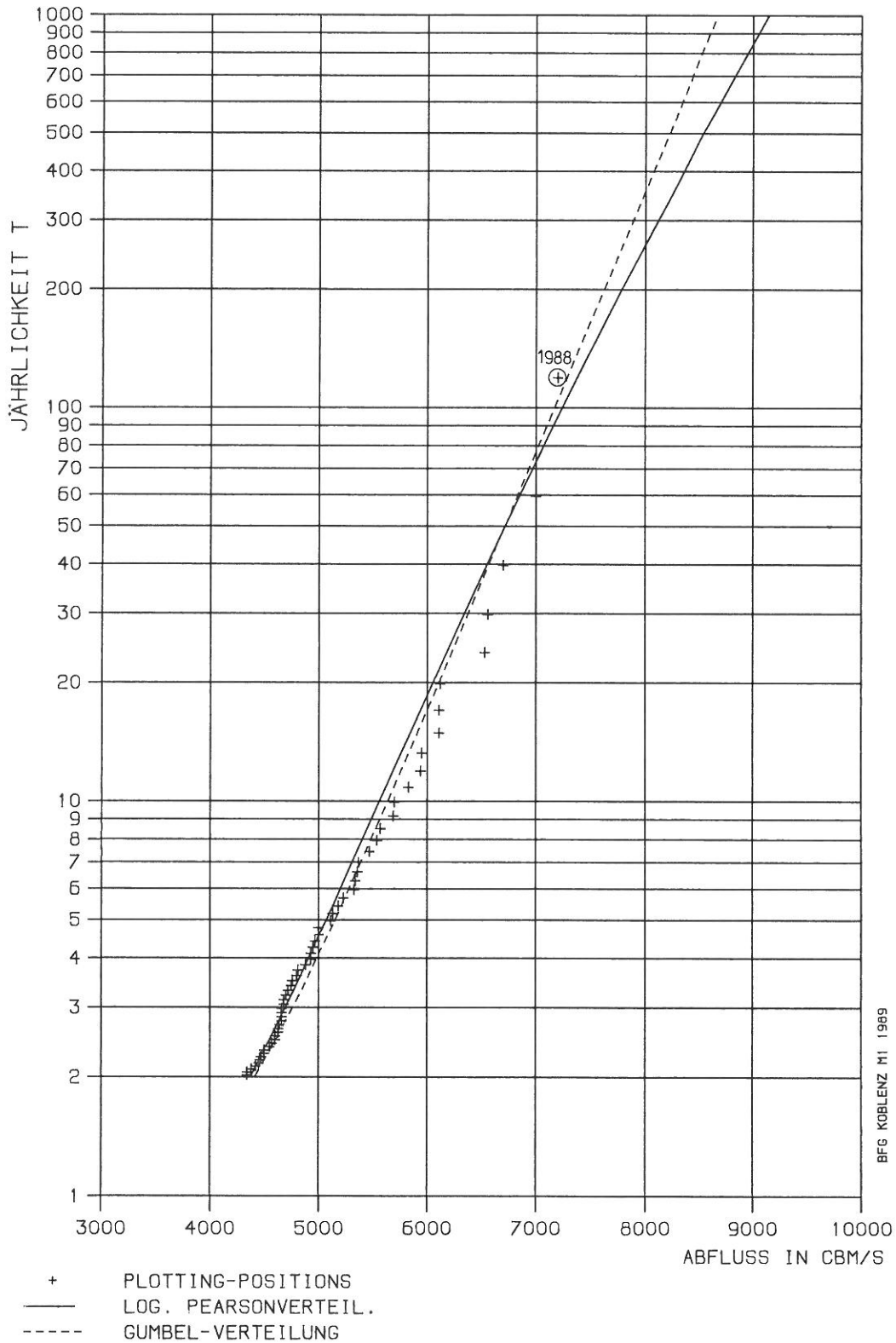


Abb. 3.4.1 Extremwertverteilung Pegel Kaub/Rhein - Jahresreihe 1871/1988 (Jahr)

Fig. 3.4.1 Distribution des valeurs extrêmes de la série 1871-1988, pour l'échelle de Caub/Rhin (année)

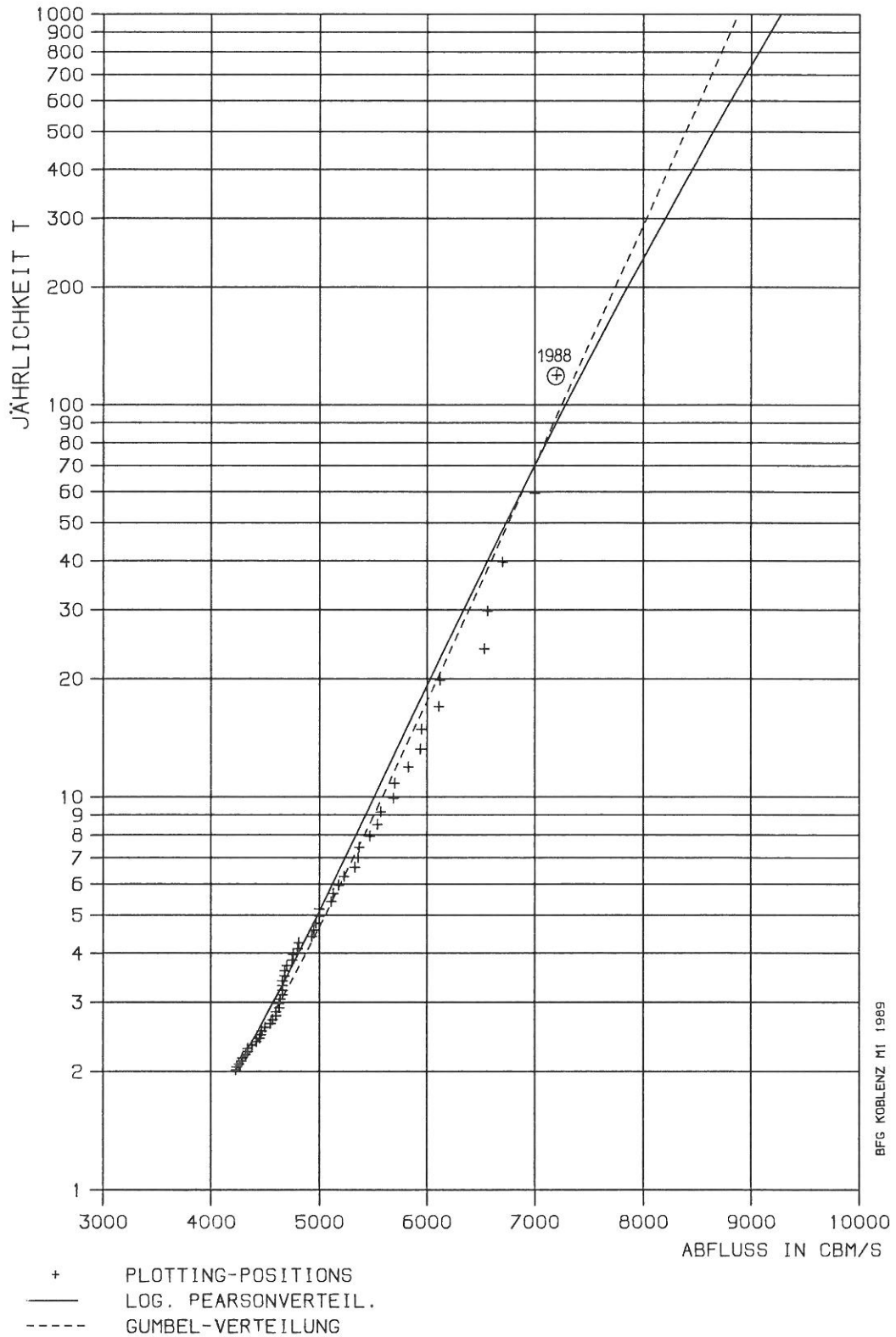
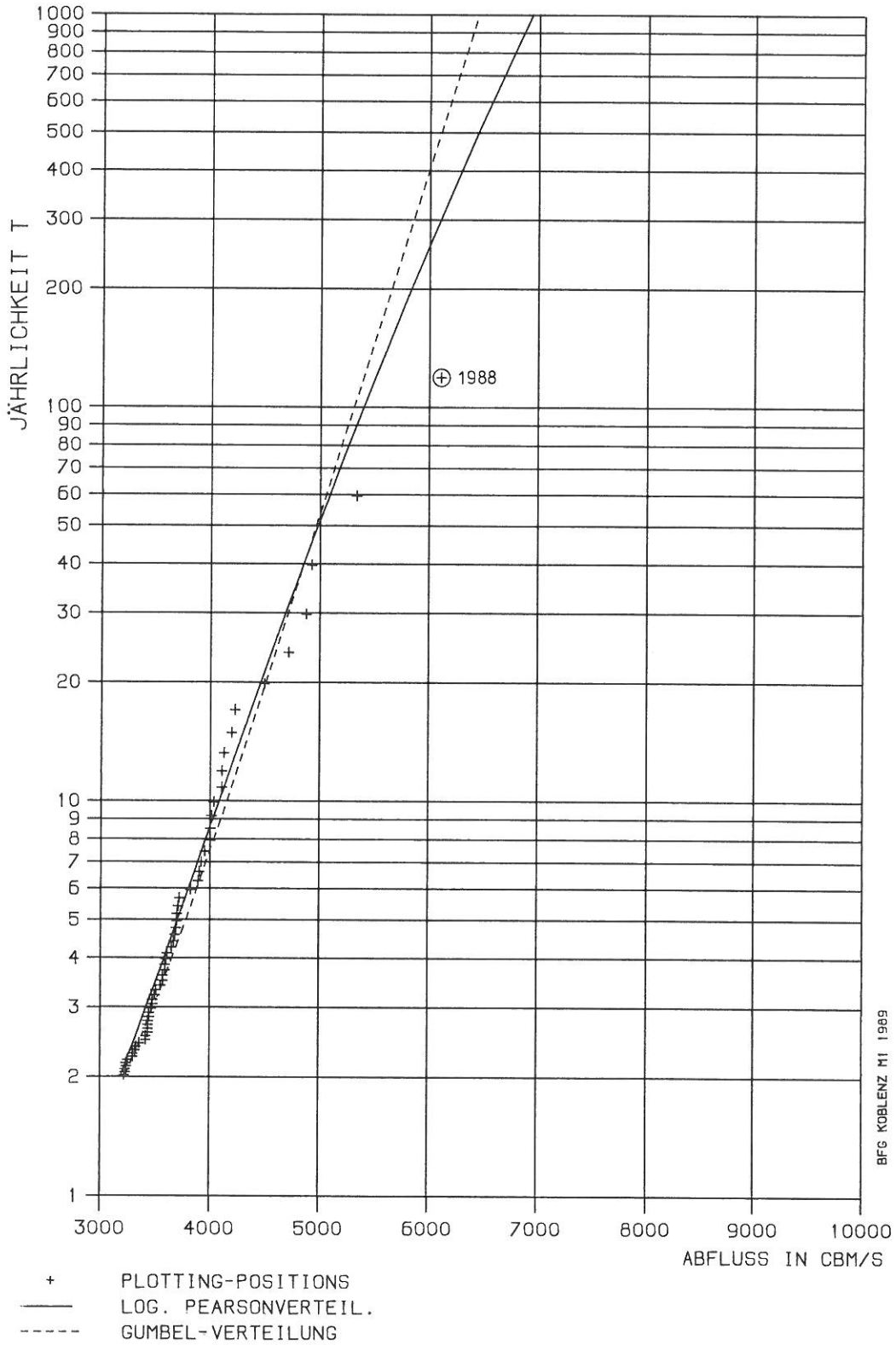


Abb. 3.4.2 Extremwertverteilung Pegel Kaub/Rhein - Jahresreihe 1871/1988 (Winter)

Fig. 3.4.2 Distribution des valeurs extrêmes de la série 1871-1988, pour l'échelle de Caub/Rhin (hiver)



BFG KOBLENZ M1 1969

Abb. 3.4.3 Extremwertverteilung Pegel Kaub/Rhein - Jahresreihe 1871/1988 (Sommer)

Fig. 3.4.3 Distribution des valeurs extrêmes de la série 1871-1988, pour l'échelle de Caub/Rhin (été)

In Tabelle 3.1 sind die Abflußmaxima des Hochwassers 1988 für 11 Pegel des Rheins zusammengestellt. In den jeweils nachfolgenden Spalten ist ihr Rang in der Beobachtungsreihe angegeben und zum Vergleich - soweit bekannt - die Rangziffer des zugehörigen Wasserstandes aufgeführt.

Pegel/ Station	QS m ³ /s	Rang des Scheitelwertes ¹ Rang de la pointe de crue ¹		Wiederkehrzeit in Jahren/ Durée de récurrence en années			
		Abfluß/ débit	Wasserstand/ niveau d'eau	aus historischen Daten/ sur base de données histori- ques		aus homogenisierten Daten/ sur base de données homo- généisées	
				Abflußjahr/ année hydro- logique	Winter/ hiver	Abflußjahr/ année hydro- logique	Winter/ hiver
Diepoldsau (oberhalb des Bodensees)	390	> 10	-	1	2	-	-
Neuhausen (unterhalb des Bodensees)	499	> 10	-	1,5	3	-	-
Rheinfelden	3 160	> 10	> 10	4	11	-	-
Maxau	4 090	> 10	4	16	24	10	14
Worms	5 270	3	4	50	60	25	25
Mainz	6 950	2	3	95	85	45	40
Kaub	7 200	1	3	95	90	50	50
Andernach	9 530	7	8	29	30	-	-
Köln	9 580	8	6	21	22	-	-
Rees	10 200	4	8	30	31	-	-
Lobith	10 300	3	8	19	-	-	-

Tab. 3.1 Einordnung der Hochwasserscheitel (QS) 1988 des Rheins in die Daten des Kollektivs der Zeitreihe 1871/1988 und Jährlichkeiten²

Débîts de pointes du Rhin (QS), en 1988, avec leur rang et leur durée de récurrence² dans la série 1871-1988

¹Verschiedentlich sind 1988 gemessene Scheitelwerte mit denen früherer Ereignisse identisch. In diesen Fällen wurde dem Scheitel 1988 der höheren Rang zugeordnet.

¹Dans quelques cas des pointes de crue mesurées en 1988 sont identiques à celles d'événements antérieurs. Dans ces cas là, on a attribué un rang plus élevé à la pointe de crue de 1988.

²Die Berechnungen erfolgten nach Log Pearson III

²Les calculs sont effectués après Log Pearson III

Man sieht, daß der Abfluß in Diepoldsau (oberhalb des Bodensees) noch kaum die Bezeichnung Hochwasser rechtfertigt. Unterhalb des Bodensees ergibt sich zwar ein langgezogener Abflußscheiden (hier angegeben für den Pegel Neuhausen), aus dem aber erst durch den Zustrom der Aare ein Hochwasser wird. Es ist allerdings am Pegel Rheinfeldern sowohl im Wasserstand wie im Abfluß nicht unter den 10 mit den größten Scheitelwerten seit 1871 zu finden (Tabelle 3.2).

Die Nebenflüsse aus den Mittelgebirgen bauen den Scheitel stromab bis Kaub kontinuierlich auf, so daß in Maxau Rang 12, in Worms Rang 3, in Mainz Rang 2 und schließlich in Kaub das Hochwasser mit dem größten bekannten Abfluß erreicht wird.

Eine in Maxau seit langem vorhandene Aufhöhungstendenz bewirkt, daß das Wasserstandsmaximum mit Rang 4 deutlich höher liegt als der zugehörige Abflußscheiden. Eine gegenläufige Tendenz in Worms, Rees und Lobith ergibt dort für die Wasserstände geringere Ränge als für die Abflüsse. Der auch in Kaub geringere Rang des Wasserstandes gegenüber den zugehörigen Abflüssen ergibt sich daraus, daß hier einige extreme Wasserstände durch Eisstau erzeugt wurden.

Die Angaben über die Jährlichkeiten der an den verschiedenen Rheinpegeln eingetretenen Abflußscheiden ergeben sich aus der Anwendung einer theoretischen Verteilungsfunktion, hier nach Log Pearson III. Zunächst sind nur Kollektive der historisch gemessenen Daten berücksichtigt. Dabei werden einige alte Hochwasser vergleichsweise zu gering angesetzt, da neben den fehlenden (abflußerhöhenden) Auswirkungen am Oberrhein auch verschiedentlich Dammbüche die Scheitel erniedrigt haben.

Zusätzlich zur Jährlichkeit, bezogen auf das Abflußjahr (November-Oktober), ist jeweils noch das Wiederkehrintervall für das hydrologische Winterhalbjahr angegeben.

Ergänzend sind für die Pegel Maxau, Worms, Mainz und Kaub die Wiederkehrzeiten für das Kollektiv der Scheitelabflüsse, umgerechnet auf den heutigen Zustand des Rheinlaufes, eingetragen. Für die übrigen Pegel liegen die Daten nicht umgerechnet vor. Betrachtet man die Entwicklung der Jährlichkeiten für historische und umgerechnete Werte, so zeigt sich eine Annäherung der Ergebnisse nach unterstrom.

In Tabelle 3.2 sind für sechs Pegel von Basel bis Lobith die jeweils 10 größten Abflußscheidenwerte seit 1871 zusammengestellt. Zusätzlich wurde markiert, ob die jeweiligen Ereignisse im Sommer- oder Winterhalbjahr eingetreten sind. Die Tabelle verdeutlicht ein Charakteristikum des Rheinregimes, das darin besteht, daß

- an den vom Alpeneinfluß geprägten Pegeln Hochwasser vor allem im Sommer und unterhalb des Neckars vor allem im Winter auftreten und
- am Oberrhein völlig andere HW-Kollektive bestehen als stromab. So ist keines der 10 größten Ereignisse am Pegel Basel gleichzeitig auch in Lobith unter den größten 10.

Darüber hinaus lassen sich aus Tabelle 3.2 Antworten ableiten zur Frage der Verteilung der großen Abflußscheiden innerhalb der 120 Jahre seit 1870. So ergibt sich, daß der jeweils größte Wert in Basel und Maxau Ende des letzten Jahrhunderts, die größten Scheitel am Niederrhein 1926, der Maximalwert in Worms im Jahre 1955 und in Kaub 1988 aufgetreten sind. Im übrigen sind Zeitspannen erkennbar, in denen Hochwasser jeweils gehäuft auftraten. Für Rheinfeldern sind das die Jahre zwischen 1875 und 1885 sowie 1953 bis 1980, für Maxau 1875 bis 1885 und 1955 bis 1983. Ab Worms verlieren die Jahre vor 1900 an Bedeutung. Stattdessen ergibt sich neben dem Schwerpunkt 1970 - 1988 eine Häufung von Hochwassern in den Jahren 1944 bis 1955. Am Niederrhein erscheint schließlich als bedeutende Hochwasserperiode die Zeit von 1920 bis 1926.

Rang der HW seit 1871/ Rang des crues depuis 1871	Pegel Basel/Station Bâle (*)			Pegel/Station Maxau			Pegel/Station Worms			Pegel Kaub/Station Caub			Pegel/Station Andernach			Pegel/Station Lobith (seit/depuis 1901)		
	Datum/ Date	W/S	QS m ³ /s	Datum/ Date	W/S	QS m ³ /s	Datum/ Date	W/S	QS m ³ /s	Datum/ Date	W/S	QS m ³ /s	Datum/ Date	W/S	QS m ³ /s	Datum/ Date	W/S	QS m ³ /s
1	6/1876	S	5 700	1882/83	W	4 610	1/1955	W	5 540	3/1988	W	7 200	1925/26	W	11 100	1/1926	W	13 000
2	9/1881	S	5 280	11/1944	W	4 420	1882/83	W	5 540	1882/83	W	7 200	11/1882	W	10 700	1/1920	W	11 365
3	1882/83	W	4 620	2/1970	W	4 400	3/1988	W	5 270	2/1970	W	6 700	1/1920	W	10 500	3/1988	W	10 300
4	6/1910	S	4 200	1/1955	W	4 340	5/1978	S	5 270	1/1920	W	6 560	5/1983	S	9 660	2/1970	W	9 850
5	8/1978	S	3 850	6/1876	S	4 300	5/1983	S	5 250	11/1882	W	6 530	1/1955	W	9 640	1/1948	W	9 785
6	9/1968	S	3 710	5/1983	S	4 260	4/1983	W	4 990	1/1955	W	6 210	1947/48	W	9 590	5/1983	S	9 707
7	6/1953	S	3 670	9/1881	S	4 230	11/1944	W	4 830	5/1983	S	6 110	3/1988	W	9 530	1/1955	W	9 510
8	11/1972	W	3 650	10/1880	S	4 210	2/1970	W	4 810	4/1983	W	6 110	4/1983	W	9 490	4/1983	W	9 320
9	2/1980	W	3 430	5/1987	S	4 180	1947/48	W	4 810	1925/26	W	5 950	11/1924	W	9 470	11/1924	W	9 310
10	11/1944	W	3 400	2/1980	W	4 160	12/1919	W	4 770	12/1919	W	5 940	2/1970	W	9 340	2/1946	W	9 140
S/W		6/4			5/5			2/8			1/9			1/9			1/9	

*) HQ nach 1970 gelten für den Pegel Rheinfeiden
 HQ après 1970 concernent la station hydrométrique de Rheinfeiden

W/S = Winter- / Sommerhalbjahr
 semestre d'hiver / semestre d'été

Tab. 3.2 Zusammenstellung der 10 größten Hochwasser an ausgewählten Pegeln von Basel bis Lobith

Les dix plus grandes crues, pour des échelles sélectionnées, de Bâle à Lobith

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die verschiedenen Rheinabschnitte (Hoch-, Mittel- und Niederrhein) durchaus zu unterschiedlichen Zeitperioden von gehäuft auftretenden Hochwassern betroffen waren, wobei die Verteilung dieser Perioden in der Zeit seit 1870 (außer vielleicht der zur Zeit laufenden) einigermaßen zufällig erscheint.

3.2.2 Das Hochwasser an den Nebenflüssen des Rheins

Die Zuflüsse mit bestimmendem Einfluß auf die Hochwasserentwicklung im Rhein unterhalb des Bodensees sind Aare, Neckar, Main und Mosel. Die außergewöhnlich ausgleichende Wirkung des Bodensees hat einen zwar lang andauernden Scheitel zur Folge, jedoch Abflüsse, die unter 1000 m³/s bleiben. Bis zur Aaremündung kann der Rheinabfluß auf gut das Doppelte des Bodenseeausflusses ansteigen. Die Aare vermag bis zu 2000 m³/s, also 100% und mehr des von oberstrom im Rhein zufließenden Wassers, allein beizusteuern. Der Neckar kann mit 3000 m³/s Spitzenabfluß bis zu gut der Hälfte des im Rhein von oberstrom ankommenden Wassers liefern. Der Main ist mit ebenfalls maximal 3000 m³/s in der Lage, den Rheinabfluß noch um bis zu 50% aufzuheben und die Mosel kann mit einem Scheitelwert von 4100 m³/s wiederum mehr als 50% des Mittelrheinabflusses beisteuern.

Fluß/ Fleuve	Pegel/ Station	QS (m ³ /s)	Jährlichkeit in Jahren/ Durée de récurrence en années	q (l/s·km ²)
Thur	Andelfingen	520	< 2	307
Aare	Untersiggenthal	1600	3	91
Neckar	Heidelberg	1940	16	141
Main	Raunheim	1760	16	66
Nahe	Grolsheim	475	4	118
Lahn	Kalkofen	402	2	76
Saar	Fremersdorf	486	< 2	70
Mosel	Perl	1390	2	121
	Cochem	2360	2	87
Sieg	Menden	465	< 2	165
Ruhr	Hattingen	644	< 2	156

Tab. 3.3 Hochwasserscheitel (QS) 1988 ausgewählter Rhein Nebenflüsse mit Angabe ihrer Jährlichkeiten und Abflußspenden

Pointes de crues (QS) en 1988, pour un choix d'affluents du Rhin, avec périodes de récurrence et débits spécifiques correspondants

Wie in Tabelle 3.3 abzulesen ist, lief in keinem der dort genannten Nebengewässer ein außergewöhnlich großes Hochwasser ab. Trotzdem wurde im Mittelrheingebiet der höchste Scheitelabfluß seit Beginn der regelmäßigen Beobachtungen verzeichnet. Diese Tatsache ist darauf zurückzuführen, daß die Scheitelbereiche der Nebenflüsse jeweils auf die Rheinscheitel getroffen sind. Insbesondere

gilt dies für den Main, dessen Scheitel allerdings üblicherweise sehr langgezogen sind und damit in der Regel voll auf den Rheinscheitel durchschlagen.

3.3 Einsatz von Retentionsmaßnahmen am Oberrhein.

Durch Ausbaumaßnahmen an Fließgewässern werden immer die natürlichen Abflüsse zeitlich und örtlich umverteilt. Es ergeben sich Auswirkungen auf das Abflußregime des Flusses und die hydraulischen Vorgänge im Gerinne und dies im Ausbaubereich selbst und stromauf und stromab. Ein besonders eindrucksvolles Beispiel anthropogener Beeinflussung eines Fließgewässers bildet der Rheinstrom, insbesondere in seinem Oberlauf. Die bedeutsamen Eingriffe der Wasserbauer begannen hier vor rund 180 Jahren und betrafen den Rhein und seine Nebenflüsse bis tief in die Alpenregion. Als bis heute letzte große Maßnahme erfolgte hauptsächlich in den Jahren zwischen 1950 und 1977 der Ausbau des Oberrheins mit Staustufen. Die Auswirkungen vor allem dieser Maßnahmen waren Gegenstand der Untersuchungen der internationalen Hochwasser-Studienkommission für den Rhein (HSK). Die HSK hat die Ausbauwirkungen (Wellenbeschleunigung und dadurch bedingtes, zumeist ungünstiges Aufeinandertreffen der Wellenscheitel von Rhein und Nebenflüssen) quantifiziert und Maßnahmen zur Rücknahme der eingetretenen Verschärfungen vorgeschlagen. Von diesen Maßnahmen mit einem Gesamtretentionsvolumen von 210 Mio m³ stehen zur Zeit ca. 70 Mio m³ zur Verfügung. Durch Füllung des Polders Altenheim und Aufstau hinter dem Kulturwehr Kehl/ Straßburg kamen davon 25 Mio m³ erstmals beim Hochwasser 1988 zum Einsatz.

Die Retentionsmaßnahmen zielten dabei auf eine Scheitelminderung in Maxau. Wie Modellrechnungen gezeigt haben [13], sind sie an diesem Pegel auch mit 23 cm Scheitelreduktion wirksam geworden, was eine Ermäßigung der Eintretenswahrscheinlichkeit des Spitzenabflusses von ca. 20 auf 10 Jahre bedeutet. Die schon erwähnte Besonderheit, daß beim Hochwasser-Ereignis 1988 der Scheitelbereich durch die Nebenflüsse nicht neu festgelegt, sondern regelmäßig aufgehöhht wurde, hat zu Scheitelminderungen an allen Pegeln unterhalb von Maxau geführt. Dies konnte mit Hilfe eines mathematischen Abflußmodells durch Berechnungen mit und ohne Einsatz von Retentionsmaßnahmen nachgewiesen werden (Abb. 3.5).

Was die Abminderungen im konkreten Fall bedeuten können, läßt sich am Fall Köln verdeutlichen. Dort waren 1988 im Bereich der Altstadt erstmals mobile Schutzwände an der Rheinfront aufgebaut worden (Abb. 6.5). Sie gewährleisteten die Sicherheit gegen Überflutung bis zu einem Pegelstand von 1000 cm a.P. - 995 cm am Pegel wurden im Scheitel dieses Hochwassers erreicht. Dies zeigt, wie außerordentlich gering der Spielraum war, der für den Schutz der kölnener Altstadt gegeben war. Mindestens 3 der 5 cm Freibord verdankte die Stadt dem hilfreichen Einsatz von Maßnahmen, die 450 km entfernt eingeleitet worden waren.

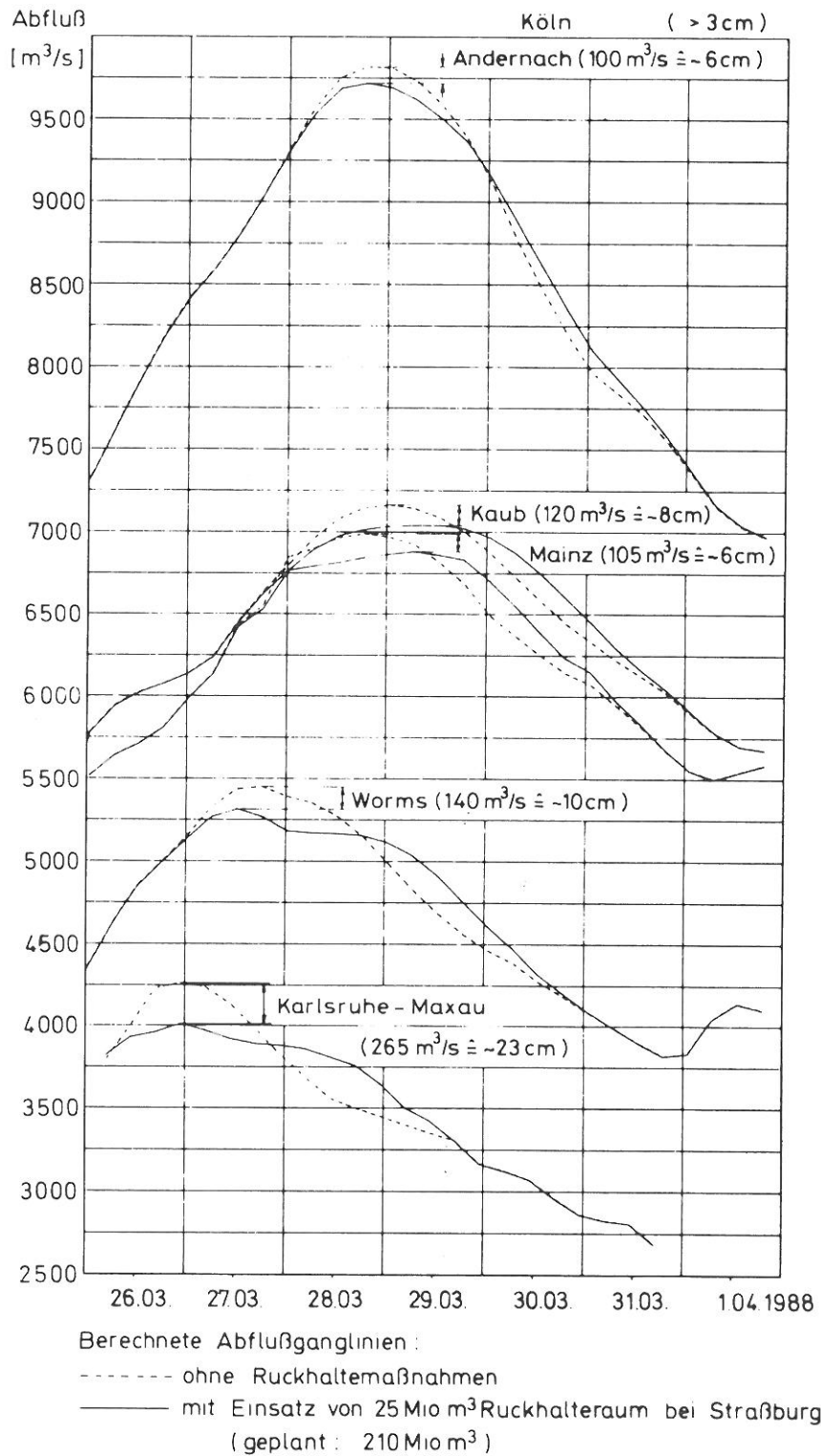


Abb. 3.5 Auswirkungen des erstmaligen gezielten Einsatzes während des Hochwassers 1988 von Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein auf die Scheitelabflüsse unterhalb der Ausbaustrecke

Fig. 3.5 Effets des mesures de rétention sur le Rhin supérieur, appliquées pour la première fois à l'occasion de la crue de mars 1988. On observe l'atténuation des débits maximaux en aval du bief d'étalement

3.4 Austauschvorgänge zwischen Fluß und Grundwasser

Nur ein Teil des Niederschlags gelangt als Oberflächenabfluß unmittelbar in oberirdische Gewässer. Ein anderer Teil verdunstet auf dem Weg dorthin. Der restliche Teil dringt in den Boden ein. Dieser Teil des Niederschlags verbleibt entweder als Spannungswasser im Boden und kommt nach gewisser Zeit ebenfalls zur Verdunstung, oder gelangt nach Speicherung im Boden nach kurzer Zeit als Zwischenabfluß, oder nach längerer Zeit als Basisabfluß zur Abströmung. Der gesamte Abfluß setzt sich somit aus Basis- und Direktabfluß (Oberflächenabfluß + Zwischenabfluß) zusammen. Basisabfluß und Zwischenabfluß tragen gemeinsam zum Aufbau des Grundwasservorrats bei.

Bei mittleren Abflüssen strömen dem Vorfluter vergleichsweise große Mengen aus dem Grundwasser zu. Beim Ablaufen einer Hochwasserwelle kehrt sich der Wasseraustausch um. Große Mengen Flußwasser werden über die Ufer des Gewässers und die Gewässersohle in den Porenraum des Grundwasserleiters hineingedrückt. Ein Teil dieses Wassers fließt unmittelbar nach Durchgang der Hochwasserwelle in den Fluß zurück; der größte Teil der Restmenge spätestens bei der nächsten Niedrigwasserperiode. Dieses Wasser kann dementsprechend je nach Verlauf der Wasserstände im Wasserlauf mehrere Wochen bis Jahre im Untergrund zwischengespeichert werden.

3.4.1 Langzeitspeicherung; der Basisabfluß

Für Lobith wird der Basisabfluß nach der in [14] beschriebenen Methode berechnet. Für diese Methode werden die Parameter Abminderungsdauer T und Trennungsfaktor α benötigt. Die Abminderungsdauer T ist diejenige Zeitspanne, die das Einzugsgebiet benötigen würde, um nach einem bestimmten Stichtag seine gesamte Grundwasserspeicherung zu verlieren, wenn der am Stichtag gegebene Basisabfluß von da ab unvermindert andauern würde. Der Trennungsfaktor gibt das Verhältnis zwischen der täglichen Ergänzung des Basisabflusses und dem gleichzeitigen oberirdischen Abfluß an. Mit Hilfe gemessener Wasserstände findet eine tägliche Ermittlung des Basisabflusses statt.

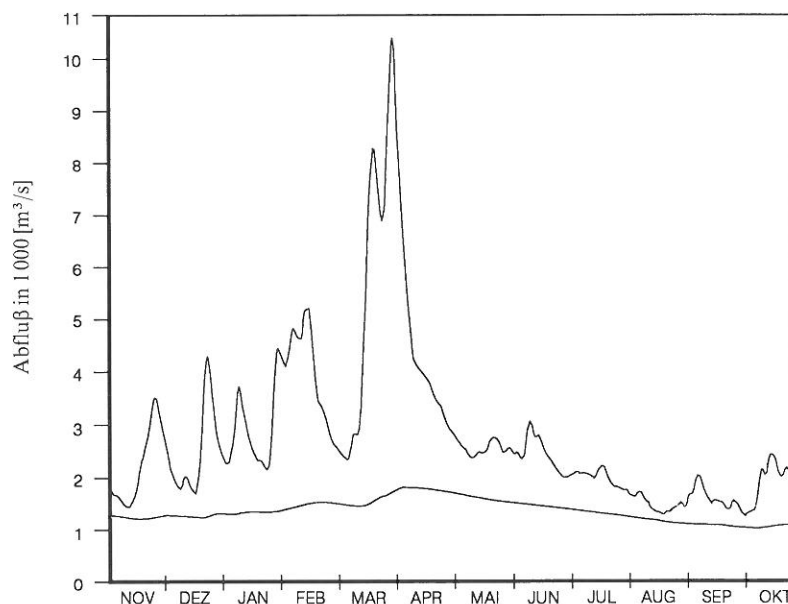


Abb. 3.6 Berechnete Basisabflüsse und aufgetretene Abflüsse für den Pegel Lobith zwischen November 1987 und Mai 1988

Fig. 3.6 Débits de base calculés et débits mesurés, à l'échelle de Lobith, de novembre 1987 à mai 1988

In Abbildung 3.6 sind die berechneten Basisabflüsse für den Pegel Lobith zwischen November 1987 und Mai 1988 dargestellt. Über das ganze Jahr betrachtet ist der Basisabfluß in etwa konstant, aber während des Hochwassers steigt er innerhalb von einigen Wochen in zwei Wellen von 1400 bis auf 1800 m³/s an. Danach nimmt er über eine Zeit von einigen Monaten wieder allmählich ab. Bei hoher Wasserführung, wie bei diesem Hochwasser, beträgt der Anteil des Basisabflusses am gesamten Abfluß nur 20-25%, während dieser Prozentsatz bei normaler Wasserführung bis auf über 90% ansteigen kann.

3.4.2 Uferspeicherung bei einzelnen Hochwasserwellen

In einer Untersuchung an drei Meßprofilen in der Bundesrepublik Deutschland wurde die ufernahe Grundwasservorratsänderung nach der Volumenmethode ermittelt [15]. Dabei wird die Veränderung der gespeicherten Grundwassermenge im Uferbereich aus Grundwasserstandsbeobachtungen bestimmt. Diese Untersuchung ist in den Meßprofilen »südliches Breisgau«, »Neuwieder Becken« und »nördliches Bonn« durchgeführt worden. Entlang einer senkrecht zum Fließgewässer erstellten Reihe von Grundwassermeßstellen wird die zeitliche Veränderung des Grundwasserstandes ermittelt und bezogen auf einen Kilometer Profildbreite in Wasservolumen umgerechnet. Grundlegende Untersuchungen liegen für das Profil »Urmitz« im Neuwieder Becken vor, die Ergebnisse sind in [16] dargestellt.

3.4.2.1 Ergebnisse im Meßprofil »Urmitz«

Die Auswertung des Hochwasserereignisses im Rhein vom Frühjahr 1988 ergab besonders große Austauschvolumina zwischen Fluß und Grundwasser im Uferbereich (Abb. 3.7). Der Grund hierfür ist nicht nur in der Höhe des Rheinwasserstandes während des Scheiteldurchlaufes Ende März 1988 zu sehen, sondern ist maßgeblich hervorgerufen durch dem Hauptereignis im Rhein vorauslaufende mehrere kleine Wellen.

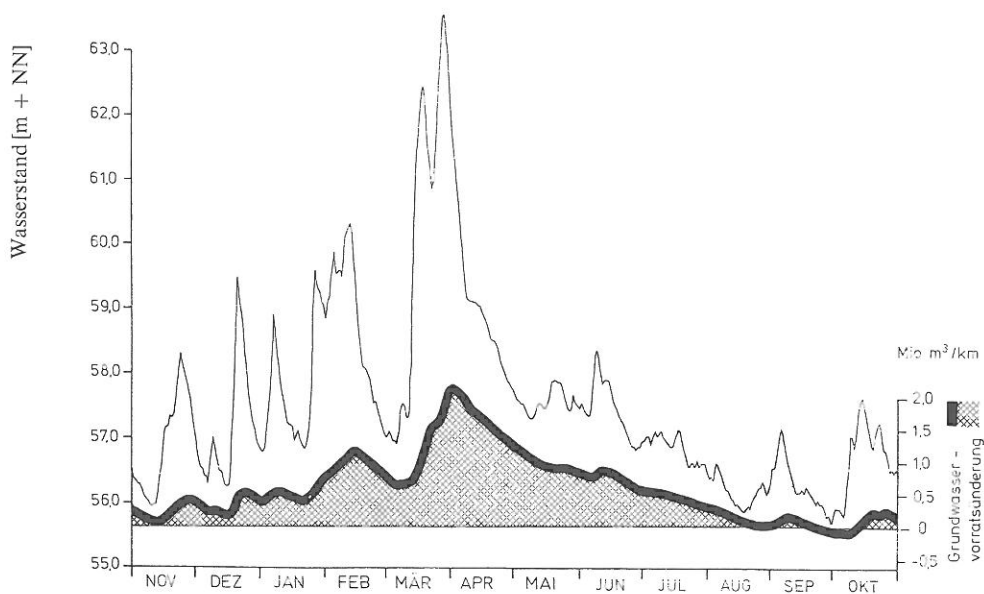


Abb. 3.7 Ganglinien des Rheinwasserstandes und der Uferspeicherung im Meßprofil »Urmitz« zwischen November 1987 und Mai 1988

Fig. 3.7 Hydrogramme des niveaux du Rhin et de l'emmagasinement dans la nappe phréatique riveraine, pour le profil de mesure »Urmitz«, de novembre 1987 à mai 1988

Der Aufbau der Uferspeicherung im Meßprofil »Urmitz« begann mit dem »winterlichen Minimum« am 10. November 1987. Dieser Vorrat stieg mit einigen kleinen Wellenbewegungen an bis auf 390 000 m³/km Uferlänge am 22. Januar 1988. Anschließend begann der erneute Anstieg des Rheinwassers zur ersten Hochwasserwelle in diesem Winter. Sie erreichte am 13. Februar ihren höchsten Wert. Diese noch relativ niedrige Hochwasserwelle wies aber eine große Fülle auf. Vom 24. Januar bis zum 15. Februar erhöhte sich deshalb die Uferspeicherung um rd. 840 000 m³/km Uferlänge. Nach dem 15. Februar wurde diese Uferspeicherung wieder abgebaut. Die mittlere Abbaurate betrug rd. 25 000 m³ pro Tag und km Uferlänge. Die zweite Hochwasserwelle des Frühjahres 1988 begann am 6. März und erreichte am 29. März ihren höchsten Stand. Als Folge dieser Hochwasserwelle begann am 12. März wieder eine Erhöhung der Uferspeicherung, die bis zum 31. März anhielt. In diesem Zeitraum wurde die Uferspeicherung um insgesamt 1,6 Mio m³/km Uferlänge erhöht. Da am 13. März aus den Vorwellen noch ein Restvorrat von rd. 0,7 Mio m³/km Uferlänge vorhanden war, stellte sich für beide Ereignisse zusammen eine Gesamterhöhung im Meßprofil »Urmitz« von rd. 2,3 Mio m³/km Uferlänge ein.

Am 1. April begann der Abbau der Uferspeicherung, er betrug 35 000 m³ pro Tag und km Uferlänge. Bis zum 9. Mai befand sich der Rheinwasserstand in einer fallenden Tendenz; bis Ende Mai blieb er anschließend auf nahezu gleicher Höhe. Als Folge davon verringerte sich der Abbau der Uferspeicherung auf 13 500 m³ pro Tag und km Uferlänge. Die durch die Hochwasserwellen im Winter und Frühjahr 1988 aufgebaute Uferspeicherung im Meßprofil »Urmitz« war erst im August 1988 aufgebraucht. Nachdem die Uferspeicherung von Ende August bis Mitte Oktober negative Werte annahm, also ein Grundwasserdefizit vorlag, stellte sich zum Ende des Abflußjahres, am 31. Oktober 1988, wieder ein nahezu ausgeglichener Grundwasservorrat ein. Die für Lobith berechneten Basisabflüsse (Abb. 3.6) weisen einen ähnlichen Verlauf auf.

Sowohl im Meßprofil »Urmitz« als auch am Pegel Lobith zeigt sich die Bedeutung des Wasserstandes in den vorhergehenden Monaten für die Größe des Grundwasservorkommens und des Basisabflusses. Nicht das einzelne Ereignis mit extrem hohem Wasserstand führt zur größten Erhöhung von Uferspeicherung und Basisabfluß, sondern das sich langsam über einen längeren Zeitraum aufbauende Hochwasser. Andererseits verläuft der Basisabfluß ziemlich gleichmäßig, während die Uferspeicherung viel größere Schwankungen aufweist.

3.4.2.2 Ergebnisse im Meßprofil »Bonn«

Im Meßprofil »Bonn« baute sich die Uferspeicherung genauso sukzessive auf wie im Meßprofil »Urmitz«. Das Meßprofil »Bonn« wird bereits seit Mitte der 50er Jahre beobachtet, der 26-jährige Zeitraum 1963 bis 1988 wurde in bezug auf Grundwasservorratsänderungen ausgewertet (Abb. 3.8).

Von dieser Beobachtungsperiode belegt das Hochwasser 1988, sowohl was den Wasserstand als auch was die Größe der Uferspeicherung (die Uferspeicherung stieg auf bis zu 2,2 Mio m³/km Uferlänge) anbetrifft, den ersten Platz. Für die Erhöhung der Uferspeicherung wird der erste Platz mit 2 Mio m³/km Uferlänge jedoch nicht vom Hochwasser 1988 eingenommen. Im Jahre 1970 betrug diese Erhöhung 2,1 Mio m³/km Uferlänge. Da das winterliche Minimum des Grundwasservorrates 1988 schon weit über dem Niveau der vergangenen 25 Jahre lag, verursachte eine kleinere Erhöhung trotzdem den größten Scheitelwert. Auch die Erhöhungsgeschwindigkeit des Grundwasservorrates war mit 135 000 m³ pro Tag und km Uferlänge 1988 nicht extrem hoch. Infolge der nassen 80er Jahre belegt 1988 hier nur den vierten Platz. 1970 betrug die maximale Erhöhungsgeschwindigkeit 210 000 m³ pro Tag und km Uferlänge. Daraus ergibt sich der große Einfluß der langzeitigen Vorbelastung, also z.B. eines vorangegangenen Trocken- oder Naßjahres bzw. von vorangegangenen mehrjährigen Trocken- oder Naßphasen.

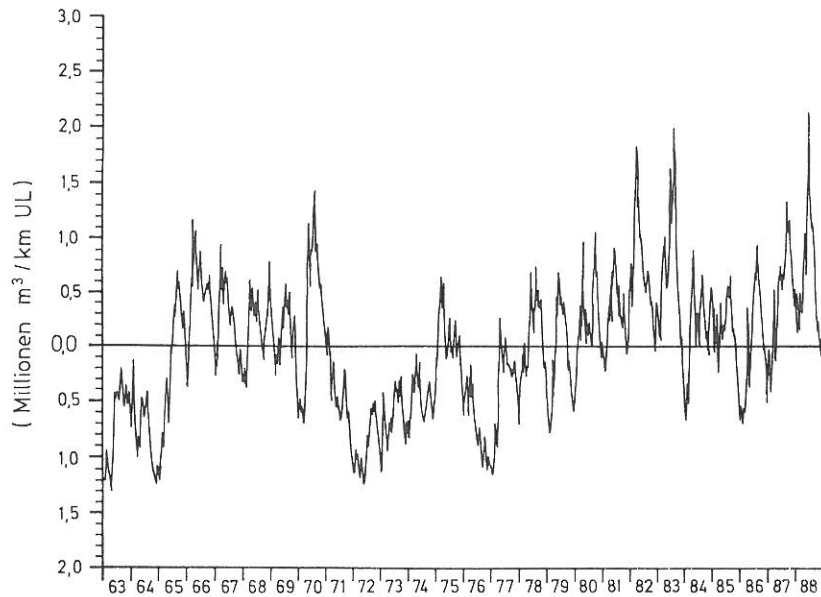


Abb. 3.8 Ganglinie der Grundwasservorratsänderung im Meßprofil »Bonn« im Zeitraum 1963 bis 1988

Fig. 3.8 Hydrogramme des variations des réserves d'eau souterraine, pour le profil de mesure »Bonn», de 1963 à 1988

In Abbildung 3.9 ist ein Vergleich der Ganglinie der Grundwasservorratsänderung im Meßprofil »Bonn« im Jahre 1988 mit mehreren Jahresganglinien aus dem Zeitraum 1963 bis 1988 dargestellt. Im Gegensatz zu den »Naßjahren« 1965 und 1970 führten die anhaltend niedrigen Wasserstände im Rhein zu einem vollständigen Abbau des durch das Hochwasserereignis 1988 im Untergrund aufgebauten Grundwasservorrates.

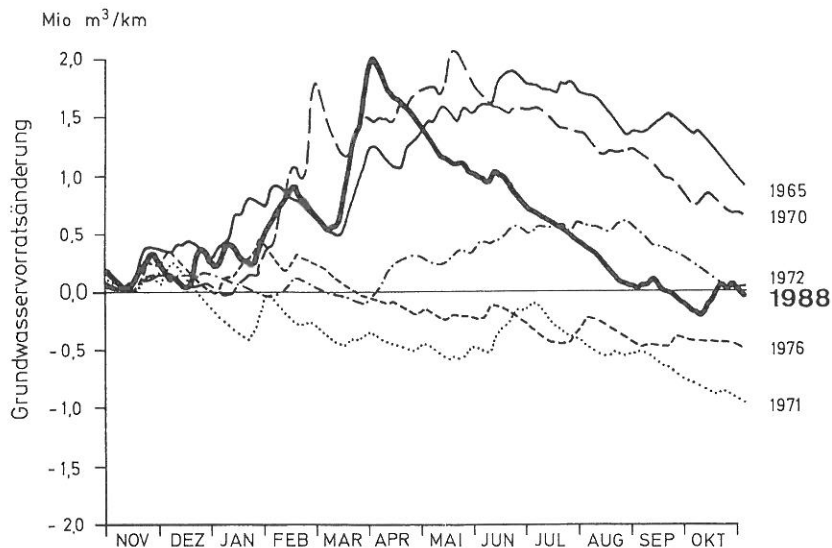


Abb. 3.9 Vergleich der Grundwasservorratsänderung im Meßprofil »Bonn« im Jahre 1988 mit mehreren Ganglinien aus dem Zeitraum 1963 bis 1988

Fig. 3.9 Variations annuelles des réserves d'eau souterraine, au profil de mesure »Bonn». L'hydrogramme de 1988, comparé à ceux d'autres années, choisies dans la période 1963-1988

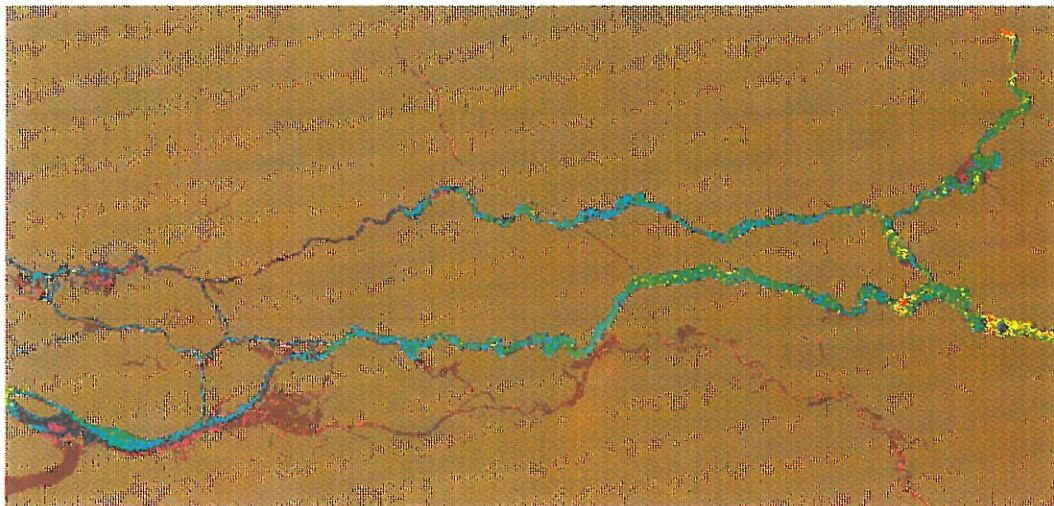
4. SCHWEBSTOFF- UND WASSERQUALITÄT

4.1 Schwebstoff

4.1.1 Allgemeines

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf den Schwebstofftransport als Hauptteil des Feststofftransports. Angaben zum Geschiebetransport als weiterem Teil des Feststofftransports sind nicht einbezogen, da entsprechende Messungen für das Hochwasser 1988 nicht vorhanden sind.

Schwebstoffmessungen erfolgen seit Jahren an mehreren Dauermeßstellen im Einzugsgebiet des Rheins [19,23]. Für das HW 1988 werden hier die Schwebstofffrachten von Meßstellen an Rhein, Main, Neckar, Lahn und Mosel dargestellt. Von den genannten Nebenflüssen wurden jeweils die Meßergebnisse der dem Rhein nächstliegenden Meßstelle herangezogen. Entsprechend den Untersuchungen über den Abfluß wurden auch die Schwebstofffrachten auf den Zeitraum vom 10.03.88 bis 10.04.88 bezogen.



Schwebstoffkonzentration [mg/l]
Concentration en matières en suspension [mg/l]









	Land / terre
	< 45
	45 – 60
	61 – 75
	75 – 90
	91 – 105
	106 – 120
	> 120

Abb. 4.1 Satellitenbild der Schwebstoffkonzentration am 2.4.1988

Fig. 4.1 Photo satellite montrant la concentration en matières en suspension du 2.4.1988

4.1.2 Meßmethodik

Die quantitative Schwebstoffmessung basiert auf der Bestimmung des Schwebstoffgehaltes in g/m^3 eines bestimmten Wasservolumens. In der Bundesrepublik Deutschland [20,21] werden an jeder Meßstelle werktäglich an einem bestimmten Meßpunkt 5 l-Schöpfproben entnommen, bei Hochwasser an den meisten Meßstellen jedoch mindestens zwei Einzelproben zeitlich versetzt und diese auch täglich, soweit Meßpersonal vorhanden ist. Die Probenahme erfolgt in den staugeregelten Gewässern jeweils im Turbinenauslauf der Kraftwerke bzw. bei Hochwasser im Unterwasser der Wehranlagen. In freifließenden Flußabschnitten wird die Probenahme meist in der Strommitte vom Boot aus durchgeführt, an wenigen Meßstellen vom Ufer bzw. Steg aus.

An der Meßstelle Lobith [23] werden täglich in einer Tiefe von 1,80 m Mischproben entnommen, mit einem Intervall von 12 Minuten. Die Probenahme erfolgt außerhalb der Buhnen. Die Anzahl der Messungen pro Jahr reicht aus, um den zeitlichen Verlauf der Schwebstoffkonzentrationen im Rhein relativ zuverlässig erfassen zu können. Aus der Meßmethode, die als »Einpunktmessung« [21] bezeichnet wird, ergibt sich, daß auf den gesamten Durchflußquerschnitt bezogen die berechneten Frachten mit Sicherheit an der unteren Grenze liegen, da vor allem bei Hochwasser der Anteil suspendierter Sande relativ groß sein kann. Da die Konzentration des suspendierten Sandes über die Wassertiefe zur Sohle hin erheblich zunimmt, kann die Einpunktmessung den Sand nicht vollständig erfassen. Untersuchungen über das Verhältnis der suspendierten Sandfracht zur gesamten Schwebstofffracht sind noch nicht abgeschlossen, aber für den Rhein weit fortgeschritten. Für 1988 werden auch Geschiebefrachtberechnungen aufgrund früherer Geschiebemessungen durchgeführt, aber deren Ergebnisse liegen z.Zt. noch nicht vor.

4.1.3 Schwebstofffrachten

Das Satellitenbild (Abb. 4.1) zeigt einen deutlichen Rückgang der Schwebstoffkonzentration unterhalb der deutsch-niederländischen Grenze, was durch die abnehmende Fließgeschwindigkeit verursacht wird. Dasselbe Phänomen zeigt sich in den überschwemmten Außendeichslanden, insbesondere in den Kurven. In der Maas ist die Schwebstoffkonzentration beträchtlich niedriger als im Rhein. Das Hochwasser in der Maas ist nämlich früher als jenes im Rhein aufgetreten und ist zur Zeit der Aufnahme eigentlich schon vorüber. Bei diesem Bild handelt es sich um eine Bearbeitung des Satellitenbildes in Abbildung 1.1.

Der Beitrag des Hochwassers vom März/April 1988 zum Schwebstoffregime des Rheins zeigt sich zunächst im Verlauf der monatlichen Schwebstofffrachten in Abbildung 4.2, am Beispiel der Meßstellen Maxau (km 362,3) und Weißenthurm (km 608,2). Der Vergleich beider Meßstellen spiegelt den Einfluß der Mittelgebirgszuflüsse deutlich wider. Tabelle 4.1 enthält die Frachtwerte sämtlicher Meßstellen für das HW 1988 und für das gesamte Abflußjahr 1988 sowie den Prozentanteil des Hochwassers an der Jahresfracht.

Die Schwebstofffracht im Rhein weist im allgemeinen flußabwärts einen zunehmenden Trend auf. In Abflußjahren mit großen Hochwässern - wie 1988 - sind allerdings innerhalb der Schwebstofffracht-Ganglinie im Längsschnitt wechselnde Tendenzen zu verzeichnen (Abb. 4.3 und 4.4). Diese werden einmal durch hohen Schwebstoffeintrag aus Nebengewässern hervorgerufen, zum anderen durch beträchtliche Ablagerungen von Schwebstoffen im Überschwemmungsgebiet. Das Maß dieser Ablagerungen ist nicht bekannt, so daß eine exakte Bilanzierung der Schwebstofffracht im Längsschnitt problematisch ist. Im betrachteten HW-Zeitraum nimmt die Schwebstofffracht im Hochrhein zwischen Rekingen und Albruck-Dogern, vermutlich nach Einmündung der Aare, deutlich zu, und zwar um rd. das 9-fache. Bis Plittersdorf steigt sie danach geringfügig an, um bis Maxau um ca. 8% abzunehmen, wohl durch Schwebstoffablagerungen im Überschwemmungsgebiet, vornehmlich in Stillwasserzonen wie Kiesgruben und ausgedehnten Altrheinarmen, verursacht.

Neckar und Main haben einen hohen Anteil am Anstieg der Schwebstofffracht bis Bacharach. Vermutlich spielen auch im Bereich zwischen Maxau und der Gebirgsstrecke Ablagerungen in Überschwemmungsgebieten und in geringer durchströmten Flußbereichen - z.B. im Rheingau - eine erhebliche Rolle, da die Frachtsumme aus Maxau plus Neckar plus Main die bei Bacharach ermittelte Schwebstofffracht um rd. 18% überschreitet. Es muß auch berücksichtigt werden, daß die Meßstelle Rockenau/Neckar rd. 63 km oberhalb der Neckarmündung liegt.

Meßstelle/ Station de mesure	Strom-km/ P.K.	AE ₀ [km ²]	Messungen seit/ Mesures depuis	Schwebstofffracht (Sf)/ Charge de matières en sus- pension		Sf HW'88/ Sf'88 in %
				1988 10 ³ kg	HW 1988 10 ³ kg	
<u>Rhein</u>						
Rekingen	90,2	14 718	1973	(250 000)	(40 900)	16
Albbruck-Dogern	108,9	33 987	1973	(1 171 000)	(374 900)	32
Weil	170,2	36 472	1971	(1 772 000)	(471 300)	27
Plittersdorf	339,3	48 276	1978	1 328 100	504 100	38
Maxau	362,3	50 196	1965	1 479 700	462 600	31
Bacharach	543,1	103 729	1971	3 143 800	1 251 100	40
Weißenthurm	608,2	138 647	1972	3 994 500	1 537 400	39
Bockum	759,6	148 200	1979	4 272 100	1 341 400	31
Emmerich	851,9	159 784	1983	4 121 800	1 417 900	34
Lobith	862,2	160 800	1952	4 743 400	1 548 600	33
<u>Neckar</u>						
Rockenau	61,3	12 676	1972	967 100	704 100	73
<u>Main</u>						
Eddersheim	15,6	27 100	1987	665 000	361 800	54
<u>Lahn</u>						
Kalkofen	31,6	5 303	1971	90 600	39 500	44
<u>Mosel</u>						
Brodembach	27,2	27 872	1982	1 042 500	383 900	37

N.B.: Klammerwerte wurden mit vorläufigen Abflußdaten berechnet
Les dates entre parenthèses ont été calculés avec débits provisoires

Tab. 4.1 Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel im Abflußjahr 1988 und in der Hochwasserperiode vom 10.3.88 bis 10.4.88

Charge de matières en suspension dans le Rhin, le Neckar, le Main, le Lahn et la Moselle, pour l'année hydrologique 1988 entière et pendant la période de crue, du 10.3.88 au 10.4.88

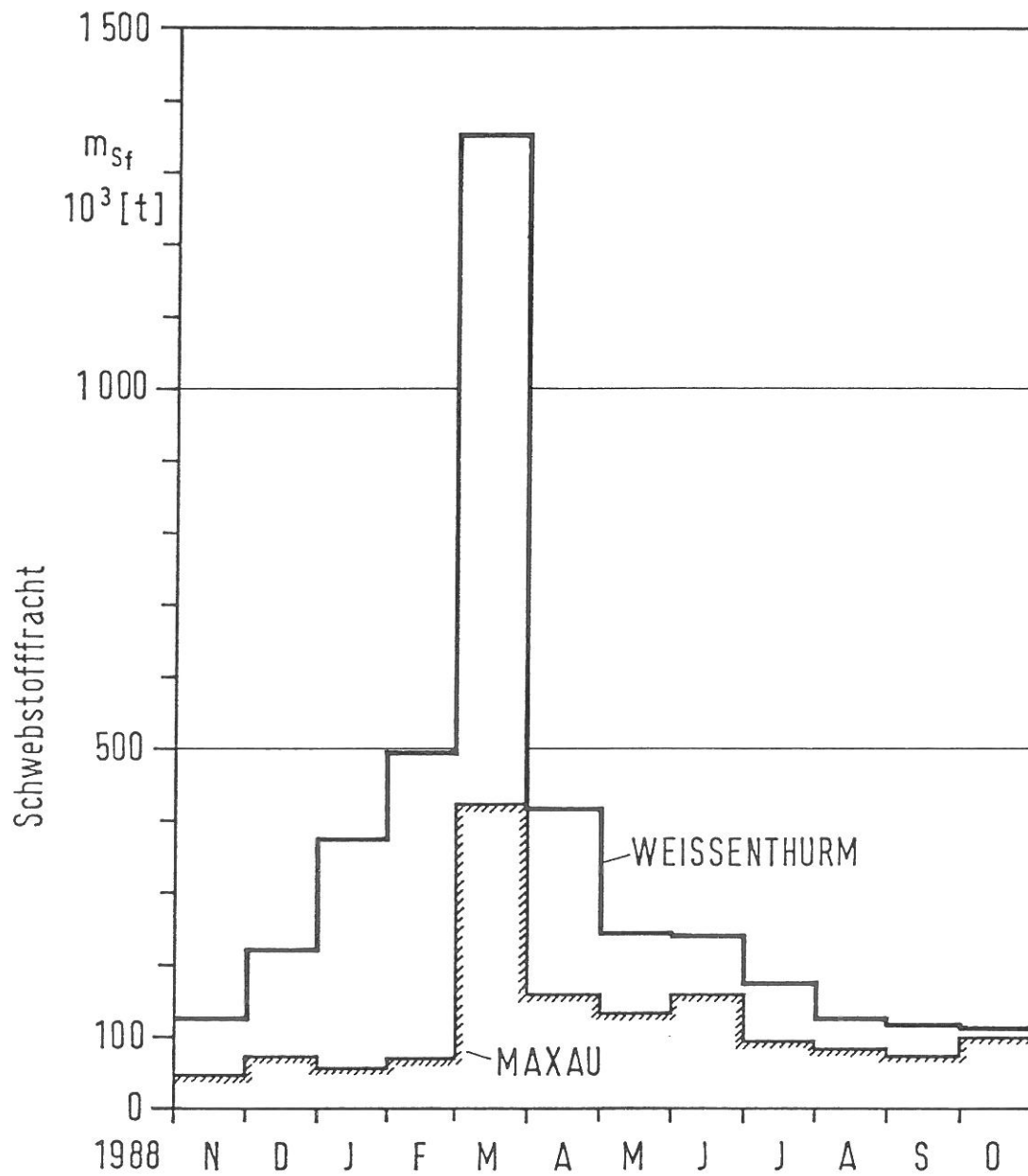


Abb. 4.2 Monatliche Schwebstofffracht im Abflußjahr 1988 an den Meßstellen Maxau (km 362,3) und Weisenthurm (km 608,2)

Fig. 4.2 Charges mensuelles de matières en suspension, au cours de l'année hydrologique 1988, aux stations hydrométriques de Maxau (km 362,3) et de Weisenthurm (km 608,2)

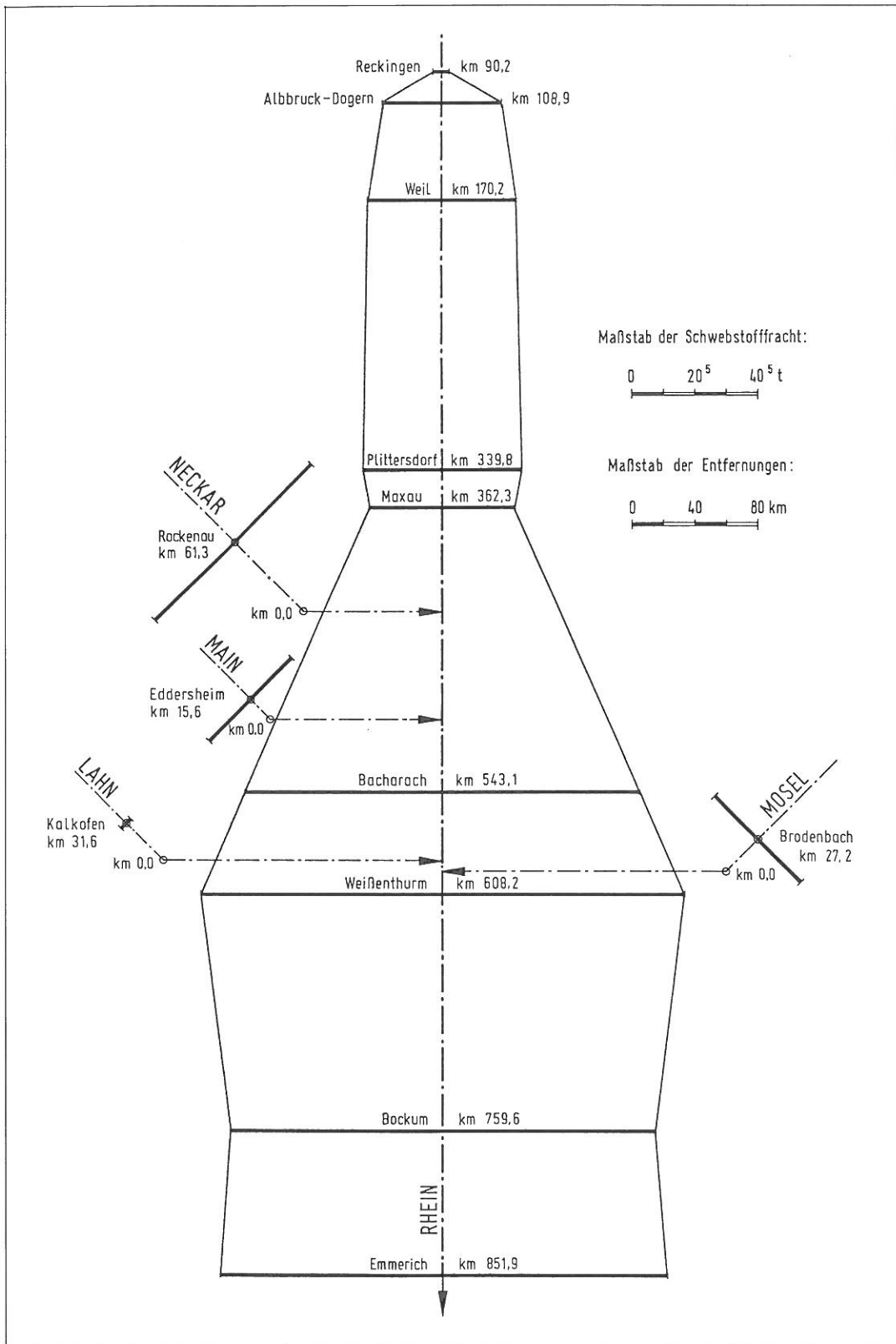


Abb. 4.3 Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel im Hochwasserzeitraum vom 10.3.88 bis 10.4.88

Fig. 4.3 Charges de matières en suspension transportées par le Rhin, le Neckar, le Main, le Lahn et la Moselle, pendant la période de crue, du 10.3.88 au 10.4.88

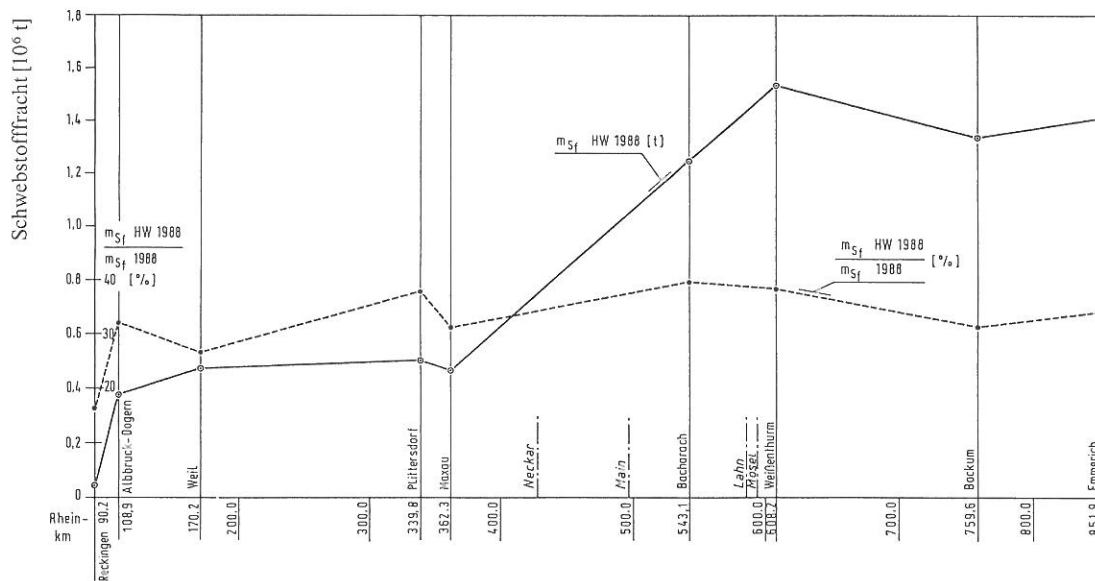


Abb. 4.4 Die Schwebstofffracht des Rheins in der Hochwasserperiode vom 10.3.88 bis 10.4.88 sowie ihr Verhältnis zur Jahresschwebstofffracht des Abflußjahres 1988

Fig. 4.4 Evolution de la charge de matières en suspension transportées par le Rhin, pendant la période de crue du 10.3.88 au 10.4.88. Charges exprimées en tonnes et par rapport à l'année hydrologique 1988

Die größte Schwebstofffracht wird für die Meßstelle Weißenthurm mit über $1,5 \cdot 10^9$ kg festgestellt. Diese Fracht enthält den Schwebstoffeintrag aus der Mosel. Danach nimmt die Fracht bis Bockum (km 759,6) um rd. 13% ab, um bis zur Meßstelle Emmerich (km 851,9) wieder auf über $1,4 \cdot 10^9$ kg anzusteigen.

Betrachtet man den prozentualen Anteil (Tab. 4.1) der Schwebstofffracht des Hochwassers 1988 an der Jahresschwebstofffracht des Abflußjahres 1988 (Abb. 4.4), so ist für den Hochrhein bei Rekingen ein Wert von 16% festzustellen. Für alle weiteren Rheinmeßstellen liegt er im Mittel bei 34% mit dem größten Wert von 40% für die Meßstelle Bacharach und dem kleinsten Wert von 27% für die Meßstelle Weil. Weit höhere Verhältniswerte errechnen sich für Rockenau/Neckar mit 73%, Eddersheim/Main mit 55% und Kalkofen/Lahn mit 44%, während der HW-Anteil für die Mosel in der Größenordnung der Rheinwerte liegt.

Die Abbildung 4.5 zeigt für die Meßstellen Maxau, Weißenthurm, Emmerich und Lobith die Ganglinien der täglichen Schwebstofffrachten sowie des täglichen mittleren Abflusses für die Monate März/April 1988. Die höchsten Tagesfrachten treten nicht immer zeitgleich mit den größten mittleren Tagesabflüssen auf. Die zweigipfelige Verteilung - wie beim Abfluß - ist für die Schwebstoffe am Niederrhein besonders deutlich ausgeprägt.

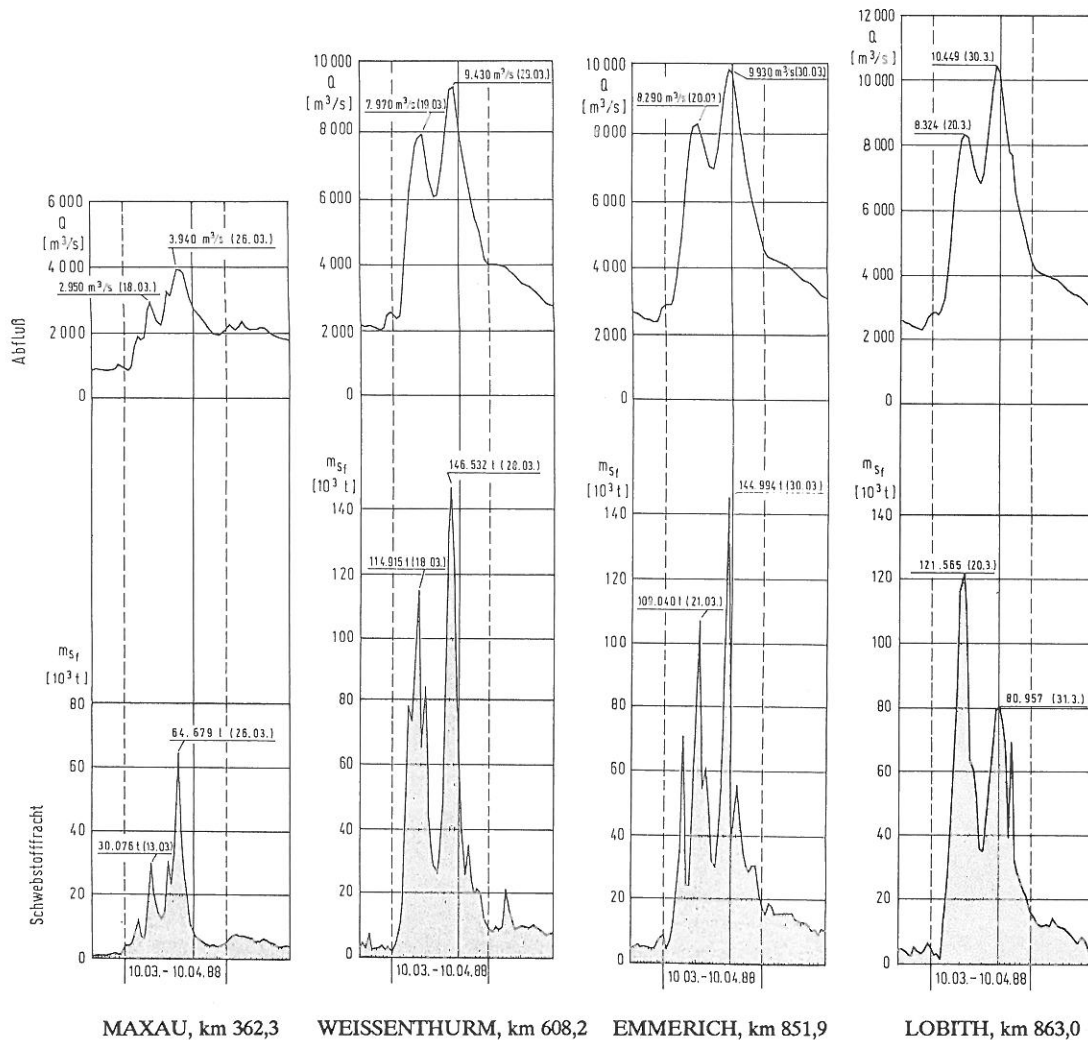


Abb. 4.5 Ganglinien des täglichen mittleren Abflusses und der täglichen Schwebstofffracht in den Monaten März/April 1988 an den Meßstellen Maxau, Weißenthurm, Emmerich und Lobith

Fig. 4.5 Hydrogrammes du débit journalier et des charges journalières de matières en suspension, en mars et avril 1988, aux stations de Maxau, Weißenthurm, Emmerich et Lobith

An der Meßstelle Lobith ergibt sich die größte Schwebstofffracht zum Zeitpunkt des ersten Wellenscheitels, während sie an den deutschen Meßstellen erst beim zweiten Scheitel ihren maximalen Wert erreicht. Dieser Unterschied resultiert vermutlich aus der Unzuverlässigkeit sowie der Unterschiedlichkeit der Meßverfahren.

Die vorstehenden Ausführungen zeigen den großen Einfluß eines Hochwassers auf die Schwebstofffrachten; innerhalb von kurzer Zeit findet ein großer Teil des Jahrestransports statt. Um Erkenntnisse über die Zusammensetzung der Schwebstofffracht zu erhalten, müßte die Kornverteilung des Schwebstoffes untersucht werden. Für den niederländischen Teil sind solche Untersuchungen nicht mit ausreichender Frequenz durchgeführt worden, um daraus für ein Hochwasser Schlußfolgerungen ziehen zu können. Für den deutschen Teil wurde die Verteilung zwischen Geschiebe und suspendiertem Sand für das Abflußjahr 1984 untersucht [22]. Für 1988 ist diese Untersuchung noch nicht abgeschlossen.

4.2 Wasserqualität

Bei einem Hochwasser kann sich der Gütezustand eines Gewässers erheblich verändern. Sowohl die Konzentration als auch die Fracht bestimmter Stoffe können durch die Abflußzunahme Veränderungen unterworfen sein. Um einen globalen Einblick in die Veränderung der Wasserqualität während eines Hochwassers zu geben, werden in diesem Kapitel einige Messungen erläutert.

4.2.1 Chlorid

Für Chlorid ist der Konzentrationsverlauf an der Meßstelle Lobith in Abbildung 4.6 dargestellt. Aus dieser Abbildung geht hervor, daß die Chloridkonzentration bei zunehmendem Abfluß bis zu einer Untergrenze von etwa 60 mg/l abnimmt und bei Abflußverringerung wieder ansteigt. Die Untergrenze wird durch die von Natur aus im Rheinwasser enthaltene Chloridmenge verursacht. Nur der (durch Einleitungen) hinzugefügte Teil der Salzbelastung wird bei hoher Wasserführung verdünnt.

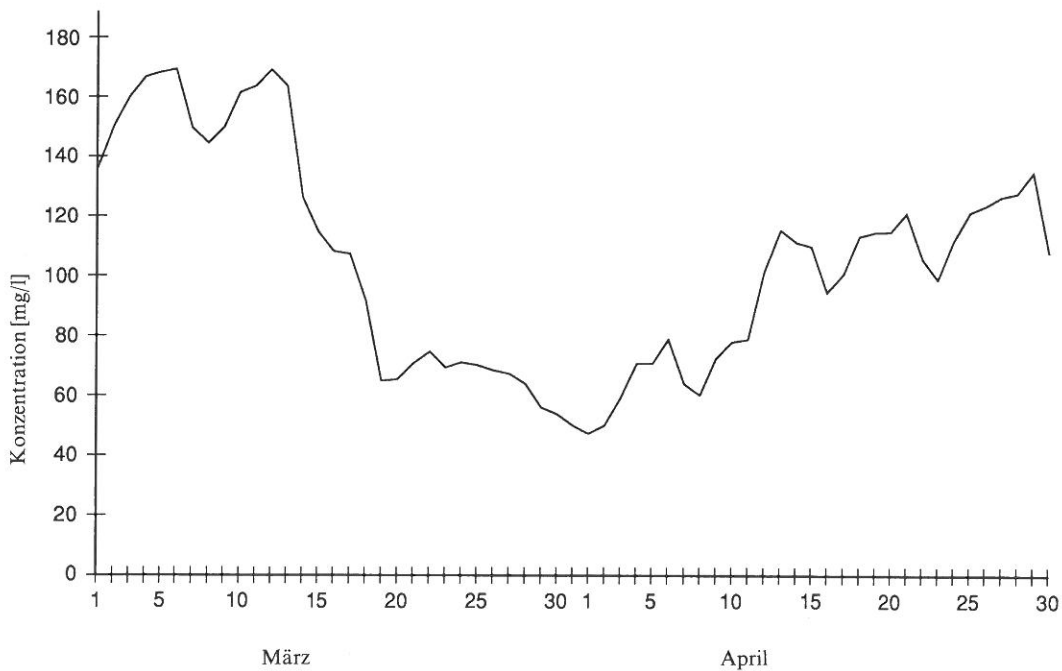


Abb. 4.6 Chloridkonzentration an der Meßstelle Lobith/Rhein, März-April 1988

Fig. 4.6 Concentration en chlorures à la station hydrométrique de Lobith/Rhin, en mars et avril 1988

Die in Abbildung 4.7 dargestellte Chloridfracht zeigt einen leichten Anstieg, weil die »normale« Fracht aus Einleitungen und natürlicher Belastung um den natürlichen Gehalt des zusätzlichen Abflusses vermehrt wird. Die Fracht steigt um etwa einen Faktor 1,5 während der Abfluß um einen Faktor 4 zunimmt.

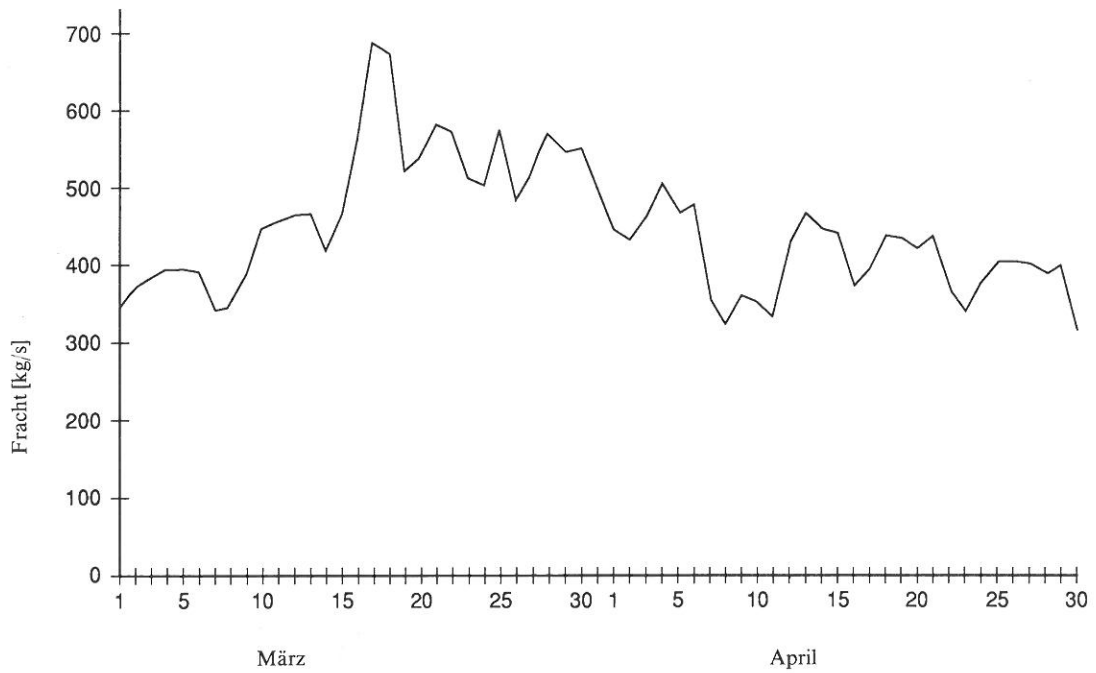


Abb. 4.7 Chloridfracht an der Meßstelle Lobith/Rhein, März-April 1988

Fig. 4.7 Charge de chlorures à la station hydrométrique de Lobith/Rhin, en mars et avril 1988

Die Abbildung 4.8 zeigt die Ganglinie des täglichen mittleren Abflusses bei Koblenz oberhalb der Moselmündung in der Zeit vom 1. März bis 30. April 1988.

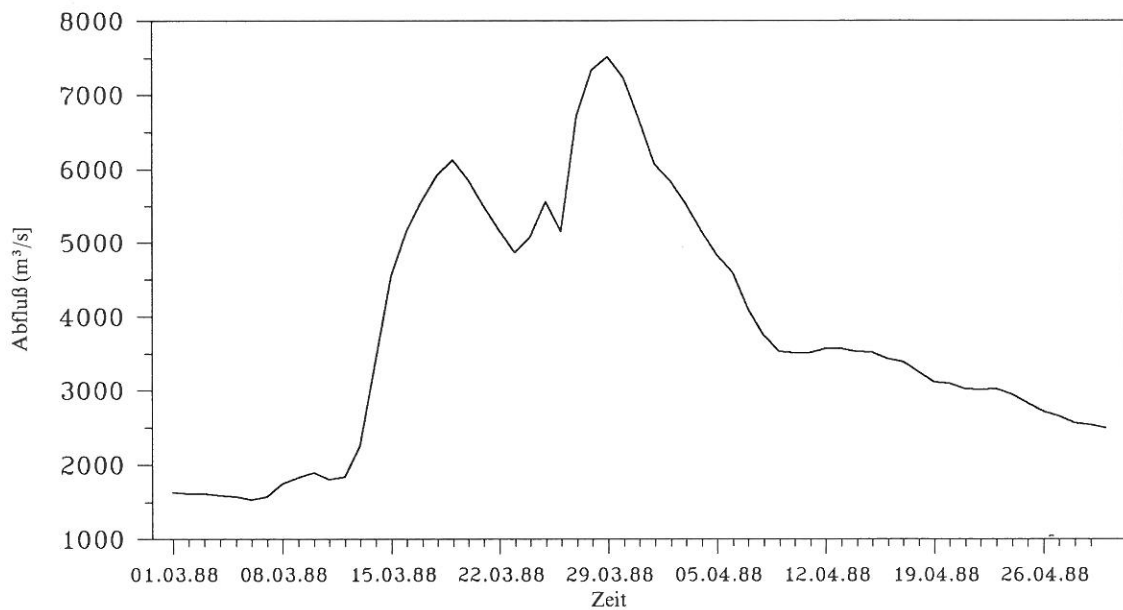


Abb. 4.8 Abflußganglinie des Hochwassers 1988 an der Meßstelle Koblenz/Rhein

Fig. 4.8 Hydrogramme de la crue de 1988, à la station hydrométrique de Coblenz/Rhin

Für die gleiche Meßstelle und den gleichen Zeitraum sind in Abbildung 4.9 der Konzentrationsverlauf und in Abbildung 4.10 die Frachtganglinie der Chlorid-Tagesmittelwerte dargestellt. Deutlicher noch als bei der Meßstelle Lobith machen sich hier die periodischen Schwankungen im Wochenrhythmus bemerkbar, die durch die Einleitung von Abraumsalzen aus den elsässischen Kalibergwerken verursacht sind.

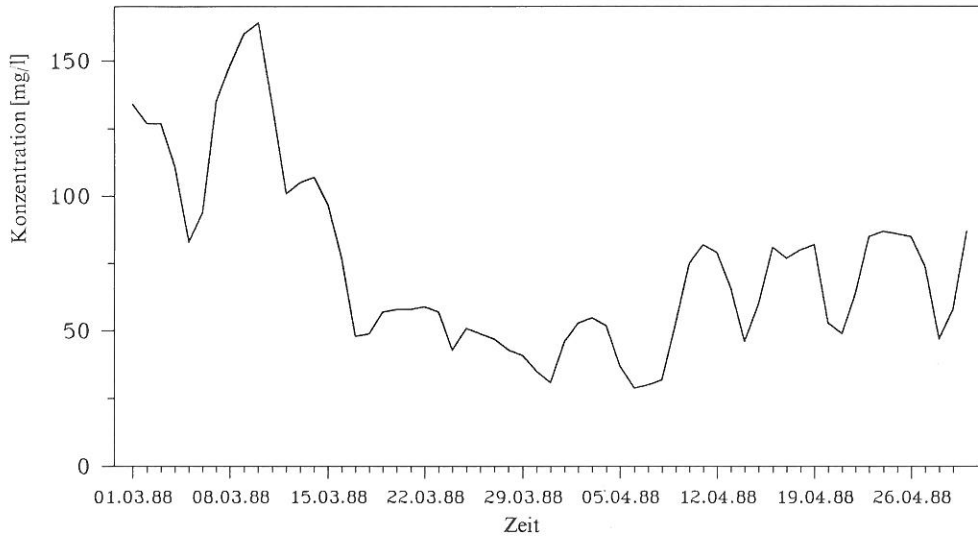


Abb. 4.9 Chloridkonzentration an der Meßstelle Koblenz/Rhein, März/April 1988

Fig. 4.9 Concentration en chlorures à la station hydrométrique de Coblenz/Rhin, en mars et avril 1988

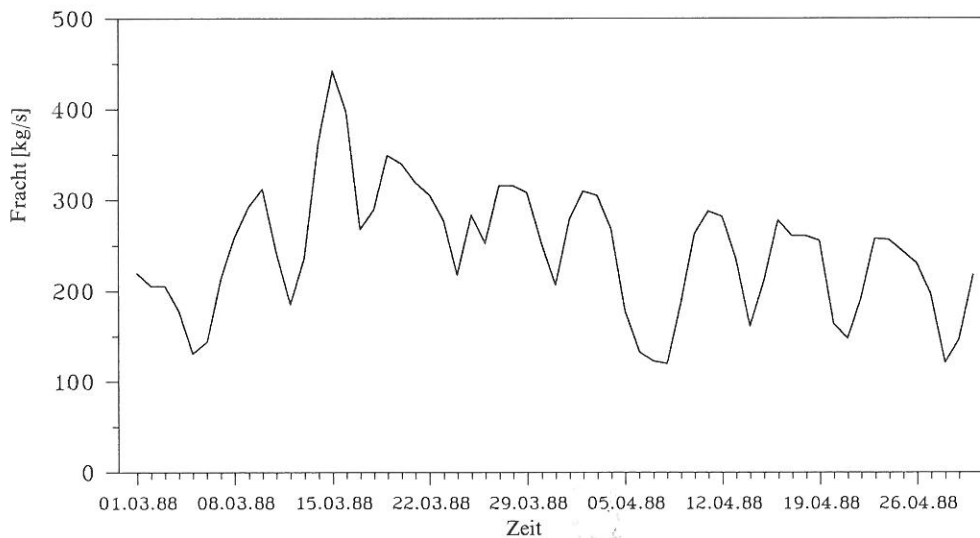


Abb. 4.10 Chloridfracht an der Meßstelle Koblenz/Rhein, März/April 1988

Fig. 4.10 Charge de chlorures à la station hydrométrique de Coblenz/Rhin, en mars et avril 1988

Bei den Konzentrationen bewirkt die Hochwasserwelle einen starken Verdünnungseffekt, der jedoch durch einen zusätzlichen Einleitungsstopp während dieses Zeitraumes verstärkt sein kann. Der Chloridfrachtverlauf entspricht dem in Lobith gemessenen; auch in Koblenz zeigt sich ein leichter Anstieg vor allem während der ersten Hochwasserspitze.

4.2.2 Mikroverunreinigungen

Viele Mikroverunreinigungen sind in starkem Maße an Schwebstoffe (Ton- und organische Stoffteilchen) gebunden. Die Konzentrationen dieser Stoffe in der Wasserphase werden hauptsächlich von der Schwebstoffführung in der Wasserprobe bestimmt. Heutzutage geht man deshalb immer mehr auf die Messung von Mikroverunreinigungsgehalten im Schwebstoff über. Dazu sind gute Erkenntnisse über den Verlauf des Schwebstoffgehaltes erforderlich.

Der Verlauf der Schwebstoffkonzentration während des Hochwassers 1988 für Lobith ist in Abbildung 4.11 dargestellt. Die Graphik wurde für einige fehlende Daten interpoliert.

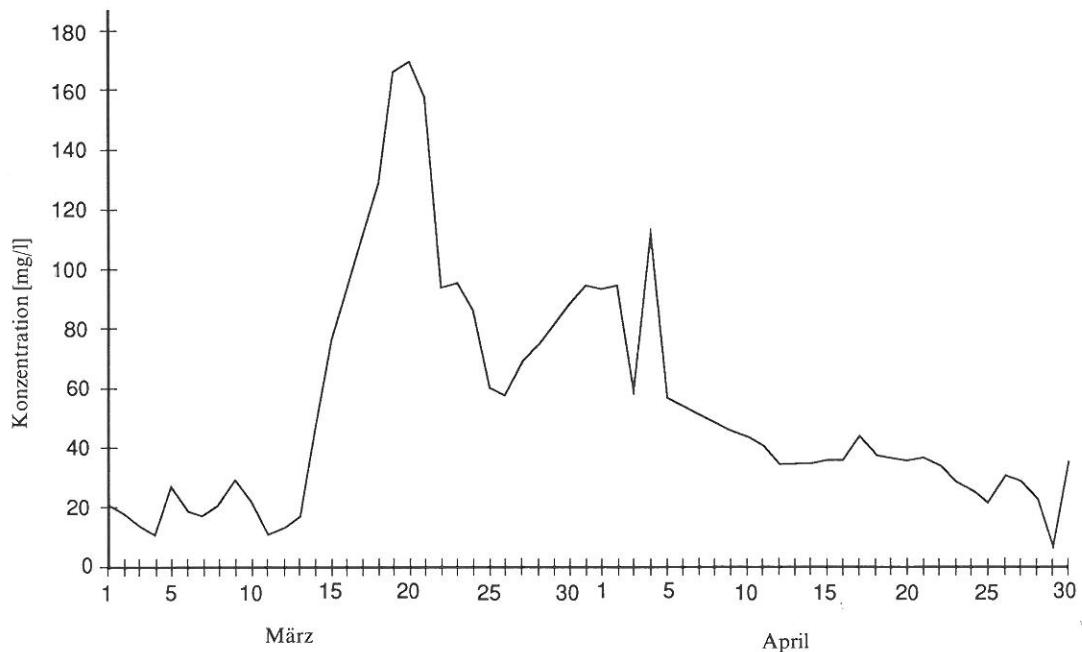


Abb. 4.11 Schwebstoffkonzentration an der Meßstelle Lobith/Rhein, März-April 1988

Fig. 4.11 Concentration de matières en suspension à la station hydrométrique de Lobith/Rhin, en mars et avril 1988

Aus dieser Graphik geht hervor, daß der Schwebstoffgehalt bei einer Hochwasserwelle rasch zunimmt und sogar dem Anstieg des Abflusses vorausseilt. Der in den Vorlandflächen vorübergehend gelagerte Schwebstoff wird durch den erhöhten Abfluß offenbar aufgewirbelt und mitgeführt. Darüber hinaus wird ein Teil des mitgeführten Schwebstoffes aus vom Regen verursachter Erosion stammen.

Im zweiten Abschnitt der Hochwasserperiode zeigt sich der gleiche Effekt, aber obwohl der Abfluß erst in diesem Abschnitt seinen maximalen Wert erreicht, ist der Scheitel der Schwebstoffführung weniger hoch als jener im ersten Abschnitt. Dies kann bedeuten, daß entweder das Flußbett durch die erste Welle bereits zum größten Teil ausgeputzt wurde oder die Zuverlässigkeit der Messungen nicht ausreichend ist.

In Abbildung 4.5 ist die Schwebstofffracht dargestellt. Diese Fracht nimmt besonders stark zu, sowohl infolge des erhöhten Abflusses als auch der höheren Konzentration. Am 10. März betrug die Fracht 62 kg/s, am 20. März 1407 kg/s und am 30. März 940 kg/s.

Die Schwebstofffracht nimmt um etwa einen Faktor 20 zu, während der Abfluß nur um einen Faktor 4 zunimmt. Der Grund dafür liegt in der kombinierten Auswirkung der erhöhten Wasserführung und der höheren Konzentrationen.

In Abbildung 4.12 sind die Bleikonzentrationen der monatlichen Stichproben an der Meßstelle Lobith dargestellt.

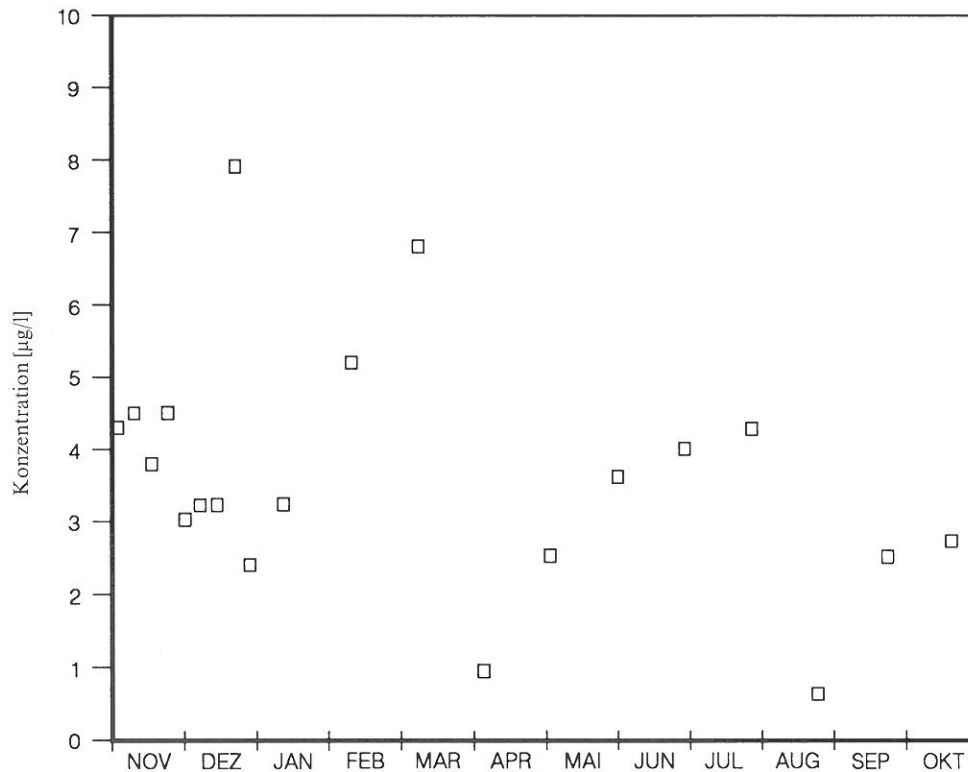


Abb. 4.12 Bleikonzentrationen der monatlichen Stichproben an der Meßstelle Lobith/Rhein im hydrologischen Jahr 1988

Fig. 4.12 Concentrations en plomb des échantillons prélevés mensuellement à la station hydrométrique de Lobith/Rhin, au cours de l'année hydrologique 1988

Aus dieser Abbildung ergibt sich eine niedrige Konzentration Anfang April. Aus (seit 1988 routinemäßig durchgeführten) Schwebstoffuntersuchungen hat sich ergeben, daß bei erhöhtem Abfluß (und größeren Schwebstoffmengen) die Konzentration der an Schwebstoff gebundenen Mikroverunreinigungen nur geringfügig abnimmt. Der von der Hochwasserwelle mitgeführte Schlamm ist in mehr oder weniger gleichem Maße verunreinigt wie der »normalerweise« mitgeführte Schwebstoff. Nur infolge des durch erhöhte Erosion zusätzlich ausgeschliffenen sauberen Sediments, tritt eine Verdünnung auf. Hierdurch sind die Konzentrationen der Mikroverunreinigungen im Schwebstoff während einer Hochwasserwelle relativ niedriger als die bei normaler Wasserführung. Dagegen ist die Fracht von Mikroverunreinigungsstoffen während eines Hochwassers beträchtlich höher als normal.

Als Summenparameter für die Belastung eines Gewässers mit halogenierten organischen Mikroverunreinigungen wird der AOX gemessen. Diese Messungen erfolgen an der Meßstelle Koblenz/Rhein in Form werktäglicher Stichproben. Die aufgrund dieser Probenahmetechnik entstehenden Datenlücken sind in den Abbildungen 4.13 und 4.14 durch lineare Interpolation überbrückt.

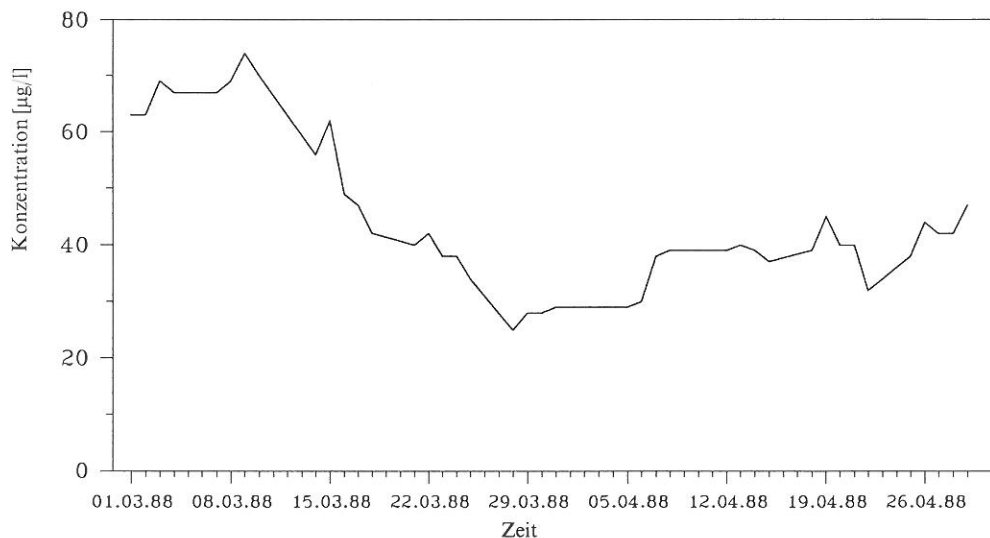


Abb. 4.13 AOX-Konzentration an der Meßstelle Koblenz/Rhein, März-April 1988

Fig. 4.13 Concentration en AOX à la station hydrométrique de Coblenz/Rhin, en mars et avril 1988

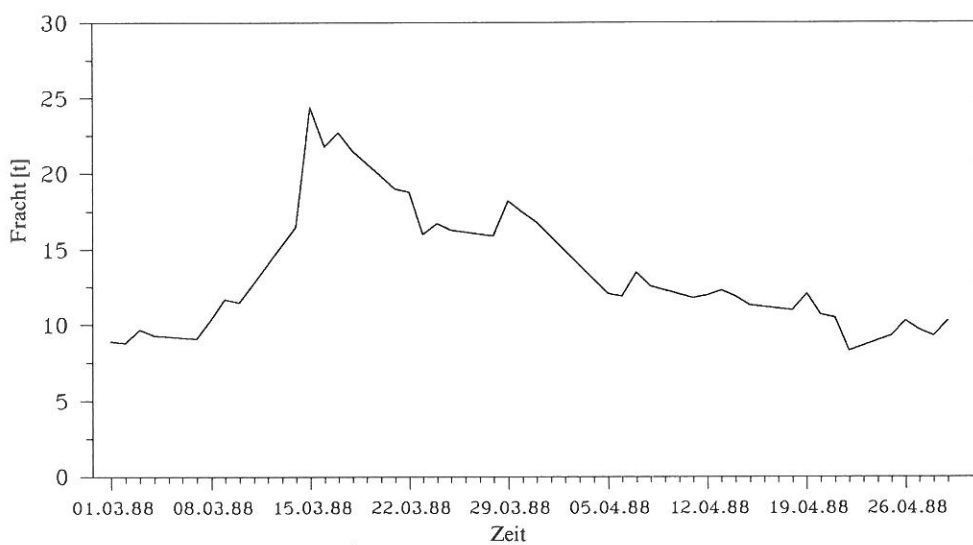


Abb. 4.14 AOX-Fracht an der Meßstelle Koblenz/Rhein, März-April 1988

Fig. 4.14 Charge d'AOX à la station hydrométrique de Coblenz/Rhin, en mars et avril 1988

Vergleichbar den Chlorid-Konzentrationen zeigen die AOX-Konzentrationen mit dem Anstieg der Hochwasserwelle ebenfalls eine verdünnungsbedingte Abnahme. Bei den AOX-Frachten sind dagegen beim ersten Anstieg deutlich erhöhte Werte festzustellen, da aus Abschwemmungen von Landflächen nach starken Regenfällen ein zusätzlicher Frachteintrag resultiert.

4.2.3 Schlußfolgerungen für die Wasserqualität

Während der Hochwasserperiode von März und April 1988 ist die Wasserbeschaffenheit vorübergehend in starkem Maße von der in normaler Situation abgewichen.

- Von den nicht von Natur aus vorkommenden, nicht an Schwebstoff gebundenen Stoffen hat die Konzentration abgenommen während die Fracht gleich geblieben ist.
- Von den von Natur aus vorkommenden, nicht an Schwebstoff gebundenen Stoffen ist die Konzentration weniger zurückgegangen während die Fracht leicht zugenommen hat.
- Die in starkem Maße an Schwebstoff gebundenen Stoffe zeigten einen starken Konzentrationsanstieg und eine besonders starke Frachtzunahme.

5. VORHERSAGE DES WELLENABLAUFS

5.1 Vorhersagen mit dem Modell Lobith

In den Abbildungen 5.1 - 5.4 sind die Wasserstandsvorhersagen für 1, 2, 3 und 4 Tage sowie die gemessenen Werte dargestellt. Diese Vorhersagen sind mit dem hydrologischen Vorhersagemodell Lobith erstellt worden. Das Modell basiert auf Mehrfach- und Linearregressionen. Eingangsvariablen für das Modell sind Pegelstände oberhalb von Lobith und Niederschläge. Bericht I-7 der KHR [25] enthält eine Beschreibung des Modells. Die Vorhersagen werden vom Hochwassermeldezentrum des DBW/RIZA in Lelystad erstellt.

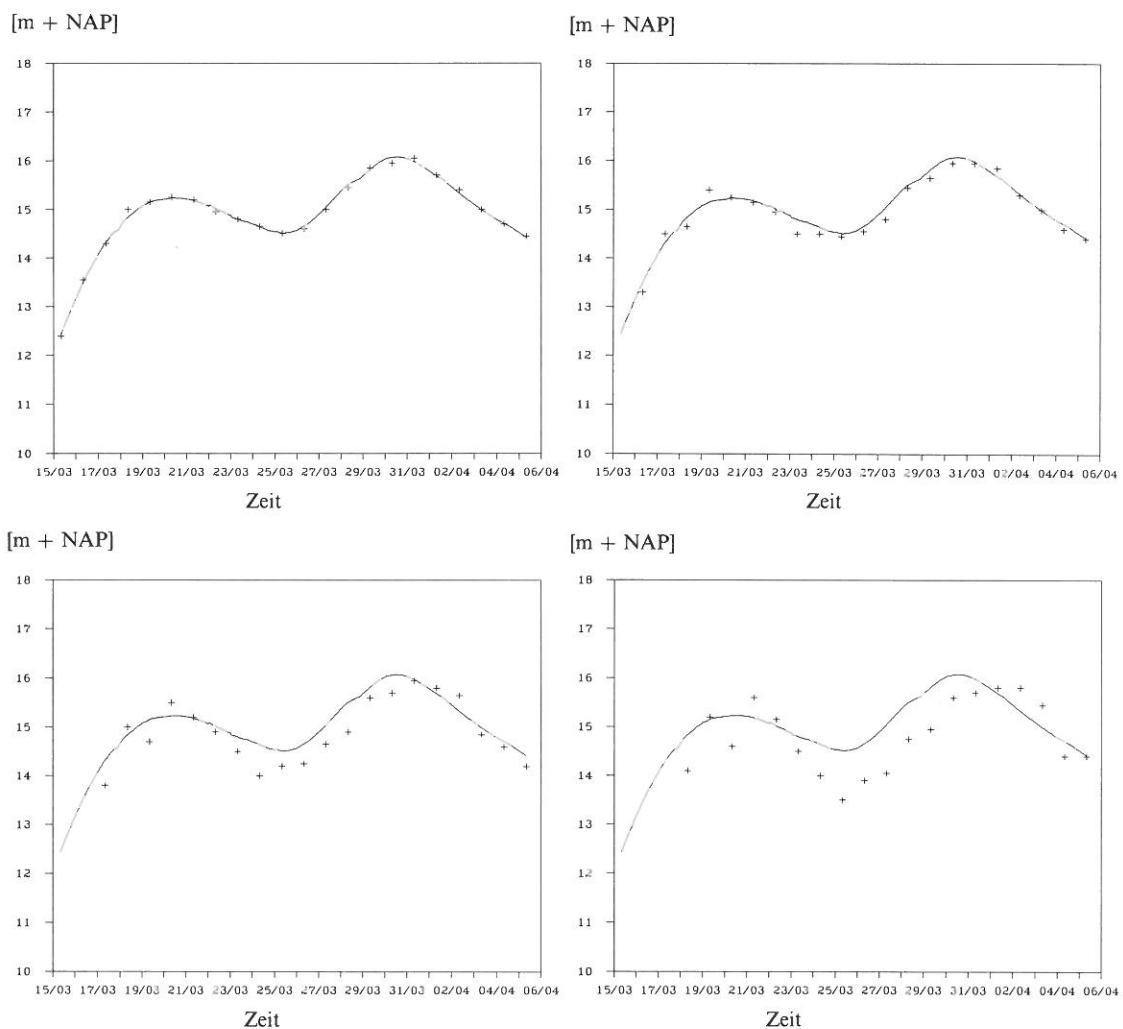


Abb. 5.1 - 5.4 Wasserstandsvorhersagen für 1, 2, 3 und 4 Tage sowie die gemessenen Werte am Pegel Lobith

Fig. 5.1 - 5.4 Prévisions des niveaux d'eau à 1, 2, 3 et 4 jours d'échéance, pour l'échelle de Lobith, avec les niveaux observés effectivement

Die Vorhersagen 1988 für einen Tag sind als sehr gut zu bezeichnen. Sie weisen eine Ungenauigkeit von einigen cm auf, mit einem Ausreißer von 15 cm am 18. März. Die 2-tägigen Vorhersagen sind ebenfalls gut. Die Vorhersagen für 3 Tage zeigen Abweichungen bis zu 50 cm. Bei den 4-tägigen Vorhersagen läßt sich ein deutlicher Hysterese-Effekt feststellen; anfangs der zweiten Welle wird zu niedrig vorhergesagt und am Ende der Welle zu hoch.

5.2 Vorhersagen mit dem MKF-Modell

In der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) werden Hochwasservorhersagen mit dem Mehrkanalfilter-Modell an 16 Rheinpegeln erstellt. Eine Modellbeschreibung findet sich in [25] und [26].

Die Vorhersagen werden an die Vorhersagezentralen am Rhein weitergeleitet: Wasser- und Schifffahrtsdirektion (WSD) Südwest und Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (Rheinpegel Speyer, Mannheim, Worms, Mainz, Bingen, Kaub, Koblenz, Andernach, Oberwinter) sowie WSD West (Rheinpegel Bonn, Köln, Düsseldorf, Ruhrort, Wesel, Rees, Emmerich).

Hochwasservorhersagen werden nach Absprache der WSD'en mit der BfG und den Landesdienststellen von den WSD'en auch an Rundfunk, Presse und andere interessierte Stellen weitergegeben.

Vorhersagedauer während des Hochwassers 1988

Beginn des Datenabrufs am Sonntagabend, dem 13. März,

Ende des Datenabrufs am Freitag, dem 8. April.

Insgesamt 26 Vorhersagetage, davon aktuelle Vorhersagen (Dienstbeginn ca. 4.30 Uhr) vom 15. März bis zum 3. April an 20 aufeinanderfolgenden Tagen. Am 14. März und vom 4. April bis zum 8. April wurden die ersten Vorhersagen bis ca. 7 Uhr früh erstellt.

Pegelausfälle

Rhein: Speyer (A), Mannheim (A+T), Mainz (T), Bingen (A+T), Koblenz (A), Andernach (T),
Düsseldorf (T), Emmerich (Ü)

Mosel: Cochem (A)

Lahn: Kalkofen (T), Leun (T)

Main: Würzburg (T), Kleinheubach (T), Raunheim (T)

Neckar: Plochingen (T), Rockenau (T)

wobei: A = Ausfall der Allgomatic

T = Ausfall des Anrufbeantworters

Ü = Pegelüberprüfung wegen offensichtlich falscher Datenanzeige

Ausfälle traten am gleichen Pegel z.T. wiederholt auf (z.B. Reparatur der Allgomatic und erneuter Ausfall).

Insgesamt traten Ausfälle an 16 von 36 abzurufenden Pegeln auf. Bei Ausfall von Pegeln an Nebenflüssen wurden Wasserstände z.T. zu exakt einzuhaltenden Zeiten von Pegelbeobachtern oder vom Schleusenpersonal abgelesen und mußten rechtzeitig abgefragt werden.

Am Rhein war der gleichzeitige Ausfall von Anrufbeantworter und Allgomatic an den Pegeln Mannheim und Bingen durch Abschalten des Stromnetzes bedingt. Hier waren z.T. 6stündliche Vorhersagen an Stelle der Meßwerte einzusetzen, um überhaupt Vorhersagen berechnen zu können.

Datenabruf

Täglicher Datenabruf um 5, 11, 17 und 23 Uhr.

Bei der morgendlichen Vorhersage auf der Basis der 5 Uhr-Werte besteht besonderer Zeitdruck, da zuvor noch die Vorhersage mit den 23 Uhr-Werten vom Vortag berechnet und ausgewertet werden muß. Jeder Pegelausfall bedeutet mehr Zeitaufwand beim Datenabruf (Termingebundenheit, mehr Anrufe bei Außenstellen, die nicht immer sofort erreichbar sind.)

Selbst der Allgomatic-Abwurf im Routinebetrieb kann zu Datenfehlern führen, da bei Sommerzeit nicht alle abrufbaren Pegel umgestellt werden (der 23 Uhr-Wert ist dann bei 22 Uhr abzulesen).

Vorhersagepegel/ Echelle pour laquelle la prévision est faite	Eingangspegel/stations d'entrée	
	Anzahl/ Nombre	Bezeichnung und Fluß/ Nom et cours d'eau
Worms	5	Rockenau/Neckar; Mannheim, Speyer, Maxau, Rheinfelden/Rhein;
Emmerich	15	Menden/Sieg; Kalkofen/Lahn Trier, Cochem/ Mosel Rees, Wesel, Ruhrort, Düsseldorf, Köln, Bonn, Andernach, Koblenz, Kaub, Bingen, Mainz/Rhein

Tab. 5.1 Zusammenstellung der Pegel, von denen Daten für eine Vorhersage in Worms und Emmerich benötigt werden

Stations hydrométriques dont les données sont utilisées pour les prévisions à Worms et à Emmerich

Vorhersagegenauigkeit und Aktualisierung der Vorhersagen

Die Vorhersagen werden für Zeitintervalle von 6 h ermittelt, wobei die Anzahl der Intervalle sich nach der Größe des Einzugsgebietes (AE_0) richtet. So liegt der am weitesten in die Zukunft reichende Vorhersagezeitpunkt für Worms bei 24 h und in Emmerich bei 36 h. Die Abweichungen des vorhergesagten zum eingetretenen Wert sind im allgemeinen geringer mit wachsendem AE_0 . Die Abbildungen 5.5 und 5.6 zeigen die gemessene Wasserstandsganglinie für das Hochwasserereignis vom März 1988 einschließlich der Vorhersagewerte. In den Abbildungen 5.7 und 5.8 finden sich die Abweichungen der vorhergesagten von den eingetretenen Werten in Abhängigkeit von den Vorhersagezeiten.

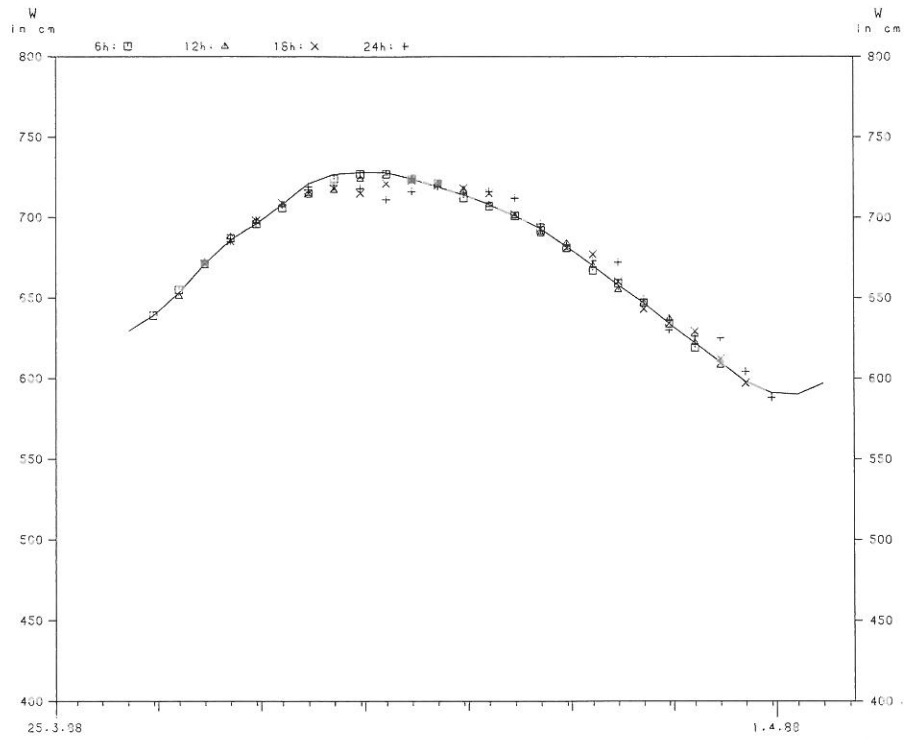


Abb. 5.5 Vergleich der gemessenen (durchgezogene Linie) mit den vorhergesagten Wasserständen für 6, 12, 18 und 24 Stunden am Pegel Worms

Fig. 5.5 Comparaison des niveaux observés à l'échelle de Worms (ligne ininterrompue) avec les valeurs prévues à 6, 12, 18 et 24 heures d'échéance

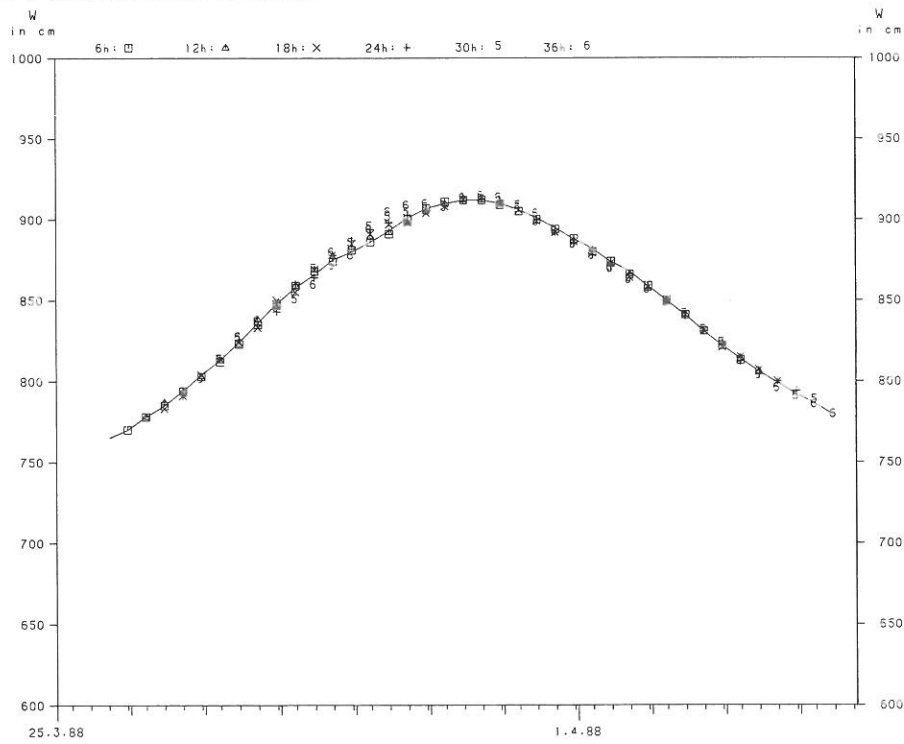


Abb. 5.6 Vergleich der gemessenen (durchgezogene Linie) mit den vorhergesagten Wasserständen für 6, 12, 18 und 24 Stunden am Pegel Emmerich

Fig. 5.6 Comparaison des niveaux observés à l'échelle d'Emmerich (ligne ininterrompue) avec les valeurs prévues à 6, 12, 18 et 24 heures d'échéance

à 6, 12, 18 et 24 heures d'échéance

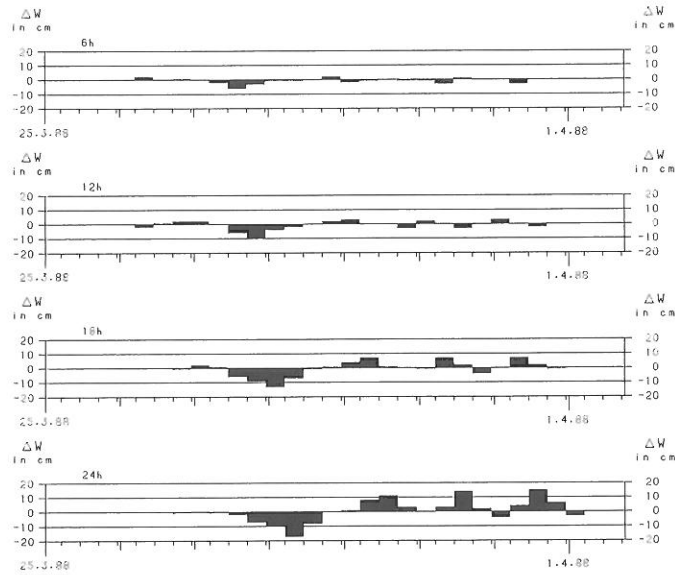


Abb. 5.7 Abweichungen der Wasserstandsvorhersagen von den Meßwerten am Pegel Worms im März 1988

Fig. 5.7 Ecart entre les niveaux d'eau prévus et les niveaux observés, à l'échelle de Worms, en mars 1988

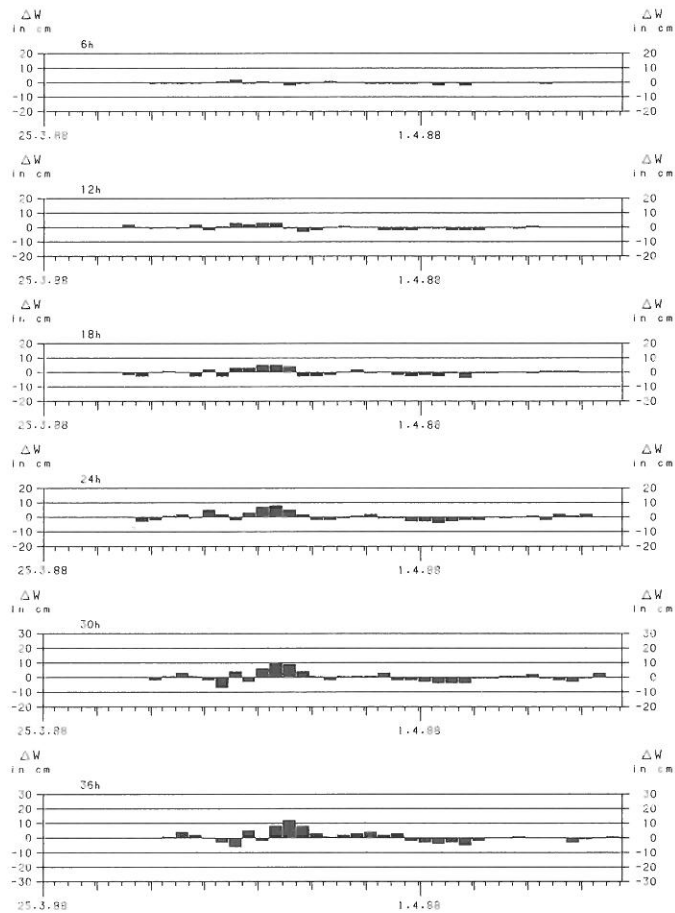


Abb. 5.8 Abweichungen der Wasserstandsvorhersagen von den Meßwerten am Pegel Emmerich im März 1988

Fig. 5.8 Ecart entre les niveaux d'eau prévus et les niveaux observés, à l'échelle d'Emmerich, en mars 1988

An die Vorhersagezentralen am Rhein werden Vorhersagen für 24 h und Werte mit einer Marge von ± 5 cm weitergegeben. Absprache mit der WSD Südwest um 6, 12 und 18 Uhr (Vorhersagen für 5, 11 und 17 Uhr des Folgetages). Absprache mit der WSD West um 6 Uhr und bei extremem Hochwasser um 14 Uhr (Vorhersagen für 5 und 13 Uhr des Folgetages).

5.3 Internationale Zusammenarbeit und Datenaustausch

Während des Hochwassers vom März/April 1988 hat es eine intensive Zusammenarbeit verschiedener hydrologischer Dienststellen aus der Schweiz, der Bundesrepublik Deutschland und den Niederlanden im Bereich der Datensammlung und der Wasserstands- bzw. Abfluvorhersage gegeben. Es waren die nachfolgenden Dienststellen beteiligt:

- | | |
|------------------------------|---|
| - Schweiz | Landeshydrologie und -geologie; |
| - Bundesrepublik Deutschland | Bundesanstalt für Gewässerkunde;
Wasser- und Schifffahrtsdirektionen West und Südwest; |
| - Niederlande | Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA;
Rijkswaterstaat, regionale Direktion Gelderland. |

Zwischen den Dienststellen sind weitläufig aktuelle Wasserstandsdaten ausgetauscht worden. Daneben hat der Dienst Binnenwateren/RIZA von den deutschen Wasserstandsfernmeldern Gebrauch gemacht. Für die Wasserstände der niederländischen Flußzweige wurde das »Monitoring Systeem Waterhoogten« des Rijkswaterstaat herangezogen [24]. Die benutzten Wettervorhersagen wurden von den nationalen meteorologischen Diensten erstellt.

Während eines Hochwassers werden in der Bundesrepublik Deutschland und in den Niederlanden sogenannte Hochwassertelegramme verschickt um alle Betroffenen über die aktuelle Lage des Flusses und die zu erwartenden Entwicklungen zu informieren. In der Bundesrepublik werden sie von den beiden Wasser- und Schifffahrtsdirektionen erarbeitet und versandt und in den Niederlanden wird diese Aufgabe vom Dienst Binnenwateren/RIZA wahrgenommen. Alle betroffenen Dienststellen stromab erhielten entweder über Telex oder über Telefax Kopien dieser Telegramme.

Die Modelle, mit denen die Entwicklung der Wasserstände vorhergesagt wird, unterscheiden sich stark; sie sind in [25] beschrieben. In der Schweiz werden von der Landeshydrologie und -geologie täglich Vorhersagen für den Pegel Rheinfelden erstellt. Dazu benutzt man ausschließlich eigene gesammelte Daten. In der Bundesrepublik sind für Hochwassermeldungen und -vorhersagen die Bundesländer zuständig. Bei der Durchführung dieser Aufgabe werden die Länder durch Bundesdienststellen unterstützt. Beim Rhein erfolgt diese Unterstützung durch die Wasser- und Schifffahrtsdirektionen (WSD) Südwest und West sowie durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). In der BfG werden bei einem Hochwasser aktuelle Hochwasservorhersagen für mehrere Rheinpegel zwischen Speyer und Emmerich erstellt. Neben deutschen, werden dazu auch schweizerische und französische Daten herangezogen. Die von der BfG erstellten Vorhersagen werden von den Wasser- und Schifffahrtsdirektionen Südwest und West nach Absprache mit den Landesdienststellen als Vorhersagebericht an Rundfunk und Presse sowie an andere interessierte Stellen weitergeleitet. Bei der Vorhersageerstellung im Hochwassermeldezentrum des DBW/RIZA für den Rheinpegel Lobith werden Wasserstands- und Niederschlagsdaten aus der Schweiz, der Bundesrepublik Deutschland und den Niederlanden herangezogen. Wo möglich sind für das Hochwasser 1988 die deutschen Hochwassertelegramme und die schweizerischen Abfluvorhersagen für den Pegel Rheinfelden benutzt worden. Ein erschwerender Faktor war das Ausfallen des meteorologischen Verbindungszentrums der europäischen Wetterdienste in Reading, wodurch während einiger Tage operationelle Wetterdaten mit großer Verzögerung zugeliefert wurden.

Um die Grenzen des überschwemmten Gebietes und somit den Umfang des Hochwassers genau festlegen zu können, wurde vom DBW/RIZA und der WSD West gemeinsam der Auftrag erteilt, Luftaufnahmen der Flußstrecke Wesel - Arnheim herzustellen. Ähnliche Aufnahmen wurden auch von der Oberrheinstrecke zwischen Maxau und der Mainmündung angefertigt.

Trotz dieser guten internationalen Zusammenarbeit wären einige Punkte verbesserungsfähig (Kap. 7).

Ein Hochwasser ermöglicht es, die Eigenschaften des Flusses unter extremen Gegebenheiten zu untersuchen. Sowohl in nationalem als auch in internationalem Rahmen können Daten gesammelt und hydrologische Untersuchungen durchgeführt werden. Es bietet z.B. eine ausgezeichnete Gelegenheit Tracerversuche zur Bestimmung der Fließzeit durchzuführen. Auch der Einfluß von Überschwemmungsgebieten auf den Sedimenttransport läßt sich dann untersuchen.

6. DURCH DAS HOCHWASSER 1988 VERURSACHTE SCHÄDEN

Hochwasserschäden ergeben sich vor allem aus Höhe und Dauer der Überflutung. Bedeutsam ist auch der Hochwasseranstieg, d.h. die Steigggeschwindigkeit des Wasserstandes. Darüberhinaus ist entscheidend, ob es sich um durch Deiche oder andere Maßnahmen geschützte Uferabschnitte handelt, oder ob das Wasser freien Zulauf hat. Im zweiten Fall leben die Anlieger mit dem Hochwasser und stellen sich darauf ein; insofern sind sie mit Gefahr für Leib und Leben nicht überraschbar. Sind für höhere Jährlichkeiten ausgelegte Schutzzeirrichtungen vorhanden, leben die Betroffenen in Sicherheitsvorstellungen, die bei Versagen dieser Einrichtungen nicht eingehalten werden.

Im Rheingebiet finden sich Hochwasserdämme über größere Strecken nur am Rhein selber und zwar am Oberrhein zwischen Basel und Bingen und etwa ab Köln bis zur Mündung. Aus Tabelle 3.1 ist ersichtlich, daß das Hochwasser 1988 in Teilstrecken des Rheins besonders extrem war. Dies betraf vor allem den Mittelrheinabschnitt zwischen der Mainmündung und Koblenz und etwas abgeschwächt die Oberrheinstrecke von der Neckar- bis zur Mainmündung. Hochwasserschutzdämme stehen am Oberrhein bis kurz oberhalb von Bingen. Die Dämme wurden an keiner Stelle überströmt und Brüche infolge Durchsickerung sind ebenfalls nicht aufgetreten. Gleiches gilt für den weniger betroffenen Niederrhein. Insbesondere in Köln hat eine mobile Schutzwand die Altstadt vor Überflutung bewahrt (Abb. 6.5 - s. auch Abschn. 3.3). Am ungeschützten Mittelrhein waren die Schäden wohl größer als bei früheren Ereignissen, doch ergeben sich infolge des engen Tales mit zumeist steil ansteigendem Gelände aus Wasserstandserhöhungen nur relativ kleine zusätzliche Überflutungsflächen. An den Nebenflüssen des Rheins war das Ereignis 1988 nicht so extrem, sodaß sich die Schäden in Grenzen hielten.



Abb. 6.1 St. Goar/Rhein am 4.4.1988

Fig. 6.1 St. Goar/Rhin, le 4.4.1988

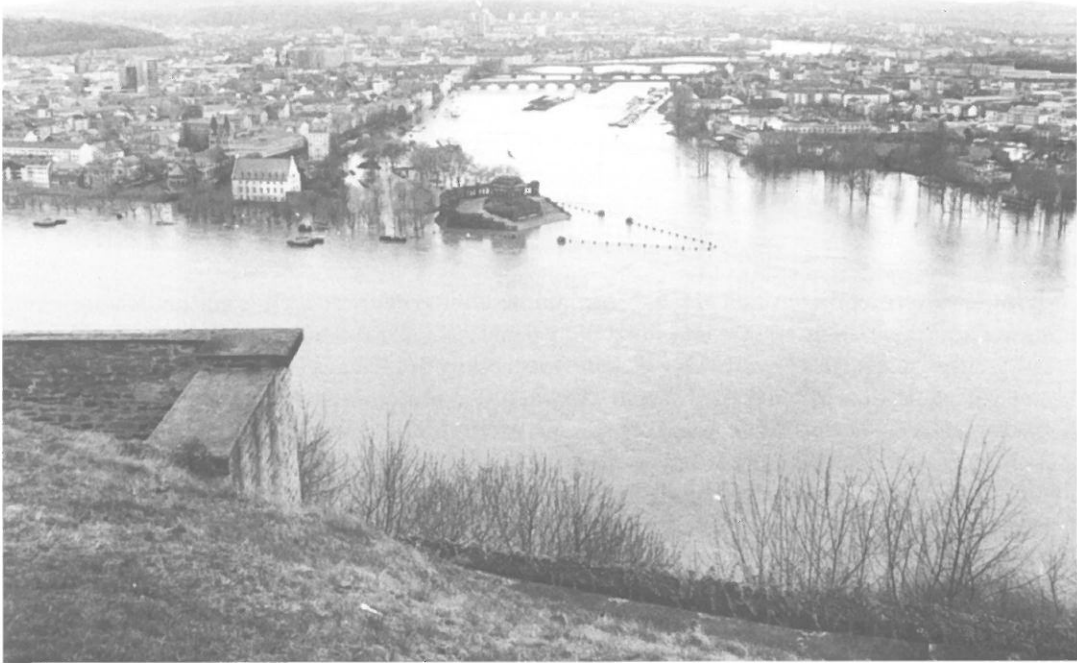


Abb. 6.2 Koblenz/Rhein - Deutsches Eck am 26.3.1988

Fig. 6.2 Coblenze/Rhin - Deutsches Eck, le 26.3.1988



Abb. 6.3 Ochsenturm Oberwesel/Rhein am 3.4.1988

Fig. 6.3 Ochsenturm Oberwesel/Rhin, le 3.4.1988



Abb. 6.4 Pegel Köln am 28./29.3.1988

Fig. 6.4 L'échelle de Cologne, le 28/29.3.1988



Abb. 6.5 Mobile Schutzwand in der kölnen Altstadt am 28./29.3.1988

Fig. 6.5 Ecran de protection mobile dans la vieille ville de Cologne, le 28/29.3.1988

7. EMPFEHLUNGEN

Aus dem Hochwasser 1988 sind Erkenntnisse erwachsen, die zu den folgenden Empfehlungen Anlaß geben können:

- Es wird empfohlen, während eines Hochwassers nicht nur den Verlauf der Sedimentführung aufmerksam zu verfolgen, sondern auch die Qualität dieses Sediments, so daß ein Vergleich dieser Qualität mit jener bei mittlerer und niedriger Wasserführung möglich wird.
- Über den Einfluß von Hochwassern auf das Flußökosystem liegen keine Daten vor. Auch in Zusammenhang mit Renaturierungsprojekten wird empfohlen, diesem Einfluß bei künftigen Hochwassern besonderer Aufmerksamkeit zu widmen.
- Die deutschen Wasserstandsvorhersagen sollten, wenn möglich, früher am Tag im niederländischen Hochwassermeldezentrum für die Binnengewässer in Lelystad verfügbar sein, so daß sie bei der Erstellung der niederländischen Vorhersage verwendet werden können. Eine direkte Verbindung zwischen dem Modellbetreiber in der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz und dem Hochwassermeldezentrum in Lelystad wäre zu empfehlen.
- Sowohl für die deutschen als auch für die niederländischen hydrologischen Dienststellen ist die Erreichbarkeit der deutschen Meßwertansager ein Problem. Besonders der Pegel Köln war während des Hochwassers durch interessierte Anrufer völlig blockiert. Es sollte geprüft werden, ob eine Kopplung der schweizerischen, deutschen und niederländischen Wasserstandsüberwachungssysteme möglich ist.
- Die Methoden zur Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten sollten für den ganzen Rhein standardisiert werden.
- Wahrscheinlich findet im Bereich des ufernahen Grundwassers eine beträchtliche Retention statt. Es werden deshalb weitergehende

7. RECOMMANDATIONS

La crue de 1988 a mis en évidence des faits qui ont permis de formuler les recommandations suivantes:

- Il est recommandé, en cas de crue, de ne pas se contenter de suivre attentivement le déroulement quantitatif du transport de sédiment, mais également de suivre l'évolution de la composition de ce sédiment, de façon à rendre possible une comparaison avec sa composition par débits moyens ou lors des étiages.
- On ne dispose pas de données relatives à l'influence des crues sur l'écosystème fluvial. Il est donc recommandé de prêter attention spéciale à cette question lors de crues futures, et ceci aussi en relation avec d'éventuels projets de restauration des conditions naturelles.
- Si c'est possible, les prévisions de niveau établies par les Services allemands devraient être à disposition plus tôt dans la journée, au Centre d'Information pour les eaux intérieures à Lelystad, de façon à être utilisables pour la prévision néerlandaise. Une communication directe entre l'utilisateur du modèle au Bundesanstalt für Gewässerkunde à Coblenz et le Centre d'Information à Lelystad est à recommander.
- Pour les services hydrologiques allemands comme néerlandais l'accessibilité des répondants automatiques allemands constitue un problème. Surtout la station de Cologne était complètement bloquée lors de la crue, par des intéressés qui téléphonaient. Il faudrait étudier la question d'une éventuelle liaison fonctionnelle entre les systèmes de surveillance des niveaux d'eau suisses, allemands et néerlandais.
- Les méthodes de détermination des probabilités de crues devraient être standardisées pour tout le bassin du Rhin.
- Il est probable qu'une rétention considérable intervient par alimentation des nappes aquifères riveraines. La poursuite de l'étude du

Untersuchungen der Austauschvorgänge zwischen Fluß und Grundwasser empfohlen.

- Das Zusammentragen sowie die Analyse der benötigten meteorologischen Daten erforderte einen großen Aufwand. Es wird empfohlen, die meteorologischen Dienste zu bitten, unmittelbar nach einem Hochwasser den mittleren Gebietsniederschlag zu berechnen und weitere Daten zu sammeln, so daß die in Kapitel 2 dargestellten meteorologischen Übersichten erstellt und die Analysen angefertigt werden können.

processus d'échange entre les eaux du fleuve et les eaux souterraines fait donc l'objet d'une autre recommandation.

- La collecte ainsi que l'analyse des données météorologiques nécessaires ont pris beaucoup de temps. On devrait donc prier les services météorologiques de calculer, immédiatement après une crue, la valeur moyenne des précipitations régionales et de collecter également les autres données nécessaires à établir les tableaux météorologiques du chapitre 2, et à effectuer les analyses.

7. AANBEVELINGEN

Uit de inzichten verkregen door het hoogwater van 1988 kunnen de volgende aanbevelingen worden afgeleid:

- Aangeraden wordt, tijdens een hoogwater niet alleen het verloop van het sedimenttransport nauwlettend te volgen, maar ook de kwaliteit van dit sediment zodat het mogelijk wordt deze te vergelijken met die bij gemiddelde en lage afvoeren.
- Er zijn geen gegevens over de invloed van hoogwaters op het rivierecosysteem. Mede in verband met natuurherstelprojecten als Plan Ooievaar wordt aanbevolen bij toekomstige hoogwaters speciale aandacht te schenken aan deze invloed.
- De Duitse waterstandsvoorspellingen zouden, indien mogelijk, vroeger op de dag in het Nederlandse Berichtencentrum voor de Binnenwateren beschikbaar moeten zijn, zodat ze bij het maken van de Nederlandse voorspelling gebruikt kunnen worden. Een directe verbinding tussen de voorspeller in de Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz en het Berichtencentrum in Lelystad is aan te bevelen.
- Zowel voor de Duitse als ook voor de Nederlandse hydrologische diensten is de bereikbaarheid van de Duitse peilsprekers een probleem. Met name het meetpunt Keulen was tijdens het hoogwater volkomen onbereikbaar als gevolg van telefoontjes van geïnteresseerden. Onderzocht moet worden, of een koppeling van de Zwitserse, Duitse en Nederlandse waterstandsmeetnetten mogelijk is.
- De bepalingmethoden voor hoogwaterwaarschijnlijkheden zouden voor de hele Rijn moeten worden gestandaardiseerd.
- Waarschijnlijk vindt in het grondwater dichtbij de oever een aanzienlijke retentie plaats. Verdergaand onderzoek naar de uitwisselingsprocessen tussen rivier en grondwater wordt daarom aanbevolen.

7. RECOMMENDATIONS

The 1988 flood has provided insights, which result in the following recommendations:

- It is recommended, that during a flood not only the development of sediment transport should be monitored carefully, but also the quality of this sediment. This would enable a comparison between the sediment quality during a flood and the quality at mean and low river discharges.
- There are no data available on the influence of floods on the river's ecosystem. Also in connection with renaturation projects, it is recommended that this influence is given special attention during future floods.
- If possible, the German water-level forecasts should earlier in the day be available at the Netherlands flood warning centre for inland waters in Lelystad, so that they can be used for the preparation of the Netherlands forecasts. A direct connection between the model operator at the Bundesanstalt für Gewässerkunde in Coblenz and the flood warning centre in Lelystad is advisable.
- The German as well as the Netherlands hydrological services had difficulty in reaching the German gauges with answering device. Especially the gauging station of Cologne was completely unreachable during the flood on account of telephone calls from the interested public. It should be examined, whether a linking of the Swiss, German and Netherlands water-level monitoring systems is possible.
- The methods for determining high discharge probabilities should be standardized for the whole Rhine basin.
- There is probably a considerable retention in the groundwater that is close to the bank. In-depth investigations into the exchange processes between river and groundwater are therefore recommended.

- Het verzamelen en analyseren van de benodigde meteorologische gegevens heeft een grote inspanning gevergd. Aanbevolen wordt, de meteorologische diensten te vragen onmiddellijk na een hoogwater de gemiddelde gebiedsneerslag te berekenen en andere gegevens te verzamelen, zodat de meteorologische overzichten uit hoofdstuk 2 samengesteld kunnen worden en analyses kunnen worden uitgevoerd.
- Collecting as well as analyzing the necessary meteorological data demanded a great effort. It is recommended, that the meteorological services are requested to calculate the average areal precipitation and collect other data immediately after a flood, so that the meteorological tables presented in chapter 2 can be drawn up and analyses can be carried out.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Das Hochwasser vom März/April 1988 im Rhein wurde durch einige sehr niederschlagsreiche Monate in Zusammenhang mit einer beträchtlichen Schneeschmelze ausgelöst.

In den Monaten Januar und Februar lagen die mittleren Monatsniederschläge über den Monatsmitteln der Periode 1951-1980, während der Monat März extrem naß war. Der Niederschlag dieses Monats nimmt innerhalb der Märzreihe der untersuchten Stationen in zwei Drittel der Fälle die Rangziffer 1 ein. Die größten Niederschlagsmengen fielen im Süden Deutschlands und in der Schweiz, wobei an manchen Stellen die gemessenen Niederschlagsmenge mehr als 400% des vieljährigen März-niederschlags betrug. Neben dieser großen Niederschlagsmenge, war auch der Beitrag der Schneeschmelze beträchtlich.

Auffallend bei diesem Hochwasser ist der zweigipfelige Abfluß. Die Hochwasserscheitel traten in einem Abstand von etwa 10 Tagen auf.

Das Hochwasser war nicht im ganzen Rheingebiet im gleichen Maße bedeutsam. Im schweizerischen Teil des Einzugsgebietes erreichte der Scheitel einen Wert, der im Durchschnitt alle 5 Jahre auftritt. Weiter nördlich wurde das Hochwasser immer extremer. Bei Maxau sind die aufgetretenen Wasserstände im Durchschnitt einmal in 10 Jahren zu erwarten, bei Kaub sogar einmal in 50 Jahren. Die Ursache dafür lag in den großen Beiträgen von Neckar und Main zum Hochwasser. Weiter stromab gelegene Zuflüsse lieferten einen deutlich geringeren Beitrag, so daß der Hochwasserscheitel stromab weniger extrem war.

Während des Hochwassers 1988 sind erstmalig gezielte Retentionsmaßnahmen getroffen worden, um den Abflußscheitel zu reduzieren. Die Maßnahmen, eine Rückhaltung in der Nähe von Straßburg von etwa 25 Mio m³ Wasser, waren ausgesprochen wirksam. Es wurde berechnet, daß eine Scheitelreduktion von 23 cm bei Maxau und von etwa 5 cm bei Köln herbeigeführt wurde. Die Reduktion bei Köln reichte gerade aus, um eine Überschwemmung der Kölner Altstadt zu verhindern.

8. RÉSUMÉ

La crue de mars et avril 1988 sur le Rhin a été provoquée par un temps très pluvieux, au cours des mois précédents, combiné à une fonte de neige considérable.

Aux mois de janvier et de février, les hauteurs mensuelles moyennes des précipitations se sont situées au-dessus des moyennes mensuelles de la période 1951-1980 et le mois de mars fut quant à lui d'une humidité extrême. Pour deux tiers des stations pluviométriques, cela a été le mois de mars le plus humide jamais enregistré. Les pluies les plus importantes se sont produites dans le sud de l'Allemagne ainsi qu'en Suisse, avec un volume mesuré dépassant parfois 400% de la moyenne pluriannuelle du mois de mars. A cette grande quantité de précipitations s'est ajoutée une fonte de neige considérable.

Un aspect remarquable de cette crue est son hydrogramme des débits présentant deux pointes successives. L'intervalle de temps entre ces deux maxima a été 10 jours.

Le caractère significatif de la crue a été plus ou moins accentué suivant la partie du bassin du Rhin concernée. Ainsi dans la partie suisse du bassin, le débit de pointe de cette crue n'est atteint ou dépassé en moyenne qu'une fois tous les cinq ans. En allant vers le nord, cet aspect significatif s'accroît encore; à Maxau, les niveaux observés ne sont atteints en moyenne qu'une fois en dix ans, puis à Caub, une fois en cinquante ans, ceci en raison des fortes contributions des crues du Neckar et du Main. Plus en aval, les affluents ont manifestement moins contribué à la crue, de sorte que la pointe a repris un caractère plus normal.

Lors de cette crue de 1988, on a pris pour la première fois des mesures de rétention, destinées à atténuer la pointe de débit. Ces mesures, qui ont entraîné la retenue de 25 millions de m³ d'eau près de Strasbourg, se sont avérées très efficaces. On a calculé que, grâce à elles, la pointe a été réduite de 23 cm à Maxau et de 5 cm environ à Cologne. A Cologne précisément, cette réduction a juste suffi à éviter l'inondation du centre ville historique.

Die Menge ufernahen Grundwassers, die durch die vorangehende nasse Periode schon ziemlich groß war, stieg während des Hochwassers nochmals erheblich an. Erst einige Monate nach dem Hochwasser hatte der Basisabfluß wieder seinen mittleren Stand erreicht.

Es ergab sich, daß die Wasserqualität beträchtlich vom Hochwasser beeinflusst wurde. In einer sehr kurzen Periode sind mehr als 30% der jährlichen Schwebstofffracht abgeführt worden. Hierdurch war die Fracht der an Schwebstoff gebundenen Verunreinigungen ebenfalls groß. Die Konzentration der nicht (an Schwebstoff) gebundenen und natürlich im Wasser nicht vorkommenden Verunreinigungen war niedrig, wodurch die Fracht in etwa gleich blieb. Die Konzentration jener Stoffe, die von Natur aus im Wasser enthalten sind, blieb beim Hochwasser fast unverändert, was die Fracht erheblich erhöhte.

Obwohl das Hochwasser 1988 in bestimmten Flußabschnitten des Rheins besonders extrem war, sind keine katastrophalen Überschwemmungen aufgetreten und ist der Schaden beschränkt geblieben.

Sowohl die deutschen als auch die niederländischen Vorhersagemodelle konnten die aufgetretenen Wasserstände ziemlich gut vorher sagen. Bei der Erstellung dieser Vorhersagen gab es eine intensive Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen hydrologischen Dienststellen in der Schweiz, der Bundesrepublik und den Niederlanden.

Les nappes phréatiques proches des rives, qui avaient été déjà bien remplies pendant la période humide précédente, paraissent s'être encore élevées davantage lors de la crue. Ce n'est que plusieurs mois après la crue, que le débit de base a retrouvé sa valeur moyenne.

Il est apparu que la qualité de l'eau a été considérablement affectée par la crue. Dans un bref laps de temps, plus de 30% de la charge annuelle de matières en suspension a été déchargé. Par conséquent, la charge de substances polluantes liées aux matières en suspension a également été très élevée. La concentration en substances polluantes, non liées aux matières en suspension et ne se trouvant pas naturellement dans l'eau, a été basse, de sorte que, en ce qui les concerne, la charge a peu varié. Par contre, la concentration des substances se trouvant naturellement dans l'eau n'ayant pratiquement pas changé lors de la crue, la charge de ces substances a alors considérablement augmenté.

En dépit du caractère tout à fait exceptionnel de la crue de 1988 sur certains tronçons du Rhin, des inondations catastrophiques ne sont pas produites et les dégâts sont restés dans des limites acceptables.

Les modèles de prévision allemands, tout comme les modèles néerlandais, ont permis en général de prévoir assez bien les niveaux d'eau. Les services hydrologiques suisse, allemand et néerlandais ont collaboré de façon intensive en établissant ces prévisions.

8. SAMENVATTING

Het hoogwater van maart/april 1988 op de Rijn werd veroorzaakt door een aantal zeer regenachtige maanden gecombineerd met aanzienlijke sneeuws melt.

In de maanden januari en februari lagen de gemiddelde maandneerslagen boven de maandgemiddelden van de periode 1951-1980, terwijl de maand maart extreem nat was. Op twee derde van de meetstations was het de natste maand maart ooit gemeten. De meeste neerslag viel in het zuiden van Duitsland en Zwitserland, waarbij op sommige plaatsen de gemeten neerslaghoeveelheid ruim 400% van het meerjarige gemiddelde voor de maand maart bedroeg. Naast deze grote hoeveelheid neerslag was ook de bijdrage van sneeuws melt aanzienlijk.

Opvallend bij dit hoogwater is de 2-toppige afvoer. De toppen passeerden met een tussentijd van ongeveer 10 dagen.

Het hoogwater was niet in het gehele Rijngebied van even grote uitzonderlijkheid. In het Zwitserse deel van het stroomgebied bereikte de top een stand die gemiddeld eens in de 5 jaar voorkomt. Meer naar het noorden werd het hoogwater steeds uitzonderlijker. Bij Maxau komen de opgetreden waterstanden gemiddeld eens in de 10 jaar voor, bij Kaub zelfs eens in de 50 jaar. Dit werd veroorzaakt door de grote bijdragen van de Neckar en de Main aan het hoogwater. Verder stroomafwaarts gelegen zijrivieren droegen duidelijk minder bij aan het hoogwater, zodat de top van het hoogwater stroomafwaarts minder extreem was.

Om de top van de afvoergolf te reduceren zijn tijdens het hoogwater 1988 voor het eerst retentiemaatregelen genomen. Deze maatregelen, een retentie van ongeveer 25 miljoen m³ water in de buurt van Straatsburg, bleken bijzonder effectief te zijn. Berekend is dat de top bij Maxau hierdoor 23 cm lager is geworden en bij Keulen ongeveer 5 cm. Deze verlaging bij Keulen was juist voldoende om een overstroming van het historische centrum te voorkomen.

8. SUMMARY

The flood of March/April 1988 on the Rhine was caused by a number of very rainy months combined with considerable snow melt.

In the months of January and February, the average monthly precipitation exceeded the monthly averages of the period 1951-1980, while the month of March was extremely wet. At two thirds of the measuring stations, it was the wettest month of March ever recorded. Most of the precipitation fell in the south of Germany and Switzerland, where in some parts the recorded rainfall amounted to more than 400% of the long-term average for the month of March. Besides this large amount of rainfall, the contribution of snow melt was considerable as well.

A remarkable characteristic of this flood is that its discharge had two peaks. The peaks passed with an interval of about 10 days.

The flood was not equally extreme in the whole Rhine basin. In the Swiss part of the area the peak reached a value which occurs once every 5 years. More to the north, the flood became more and more extreme. At Maxau, the recorded water-levels occur on average once every 10 years, at Kaub even once every 50 years. This was due to the large contribution of the Neckar and the Main to the flood. Tributaries which discharge themselves more downstream clearly contributed less to the flood, making its peak less extreme towards the mouth of the river.

In order to reduce the peak of the discharge wave, retention measures were taken for the first time during the 1988 flood. The measures, resulting in storage of 25 millions of m³ of water in the neighbourhood of Strasbourg, proved to be very effective. According to calculations, they reduced the peak at Maxau by 23 cm and at Cologne by some 5 cm. This reduction in Cologne was precisely enough to prevent the historical centre of this city from being flooded.

De hoeveelheid grondwater in de oeverzone, die door de voorafgaande natte periode al vrij groot was, bleek bij het hoogwater nog eens flink toe te nemen. Pas enkele maanden na het hoogwater was de basisafvoer weer op het gemiddelde niveau.

De waterkwaliteit bleek aanzienlijk te worden beïnvloed door het hoogwater. Binnen zeer korte tijd is meer dan 30% van de jaarlijkse vracht zwevend stof afgevoerd. Hierdoor was de vracht van aan zwevend stof gebonden verontreinigingen ook groot. De concentratie van niet (aanzwevend stof) gebonden verontreinigingen die niet van nature in het water voorkomen bleek laag te zijn, waardoor de vracht nagenoeg gelijk bleef. Wel van nature voorkomende stoffen bleken tijdens het hoogwater in ongeveer gelijke concentratie aanwezig te zijn, waardoor de vracht aanzienlijk toenam.

Ofschoon het hoogwater 1988 op bepaalde trajecten van de Rijn bijzonder extreem was, zijn geen catastrofale overstromingen opgetreden en is de schade beperkt gebleven.

Zowel de Duitse als de Nederlandse voorspellingsmodellen bleken over het algemeen de opgetreden waterstanden redelijk goed te voorspellen. Bij het opmaken van deze prognoses is er intensief samengewerkt tussen de verschillende hydrologische diensten in Zwitserland, de Bondsrepubliek Duitsland en Nederland.

The amount of groundwater in the bank area, which was already rather large because of the previous wet period, appeared to increase considerably during the flood. It even took the base flow some months after the flood to arrive at its average level again.

The water quality appeared to be influenced substantially by the flood. Within a very short period of time more than 30% of the yearly load of suspended matter was carried down. This also resulted in a high load of pollutants that are attached to suspended matter. The concentration of pollutants not attached (to suspended matter) which do not occur in the water by nature appeared to be low, resulting in a load which remained approximately equal. The concentration of substances which by nature do occur in the water stayed the same during the flood, which means a considerable increase in the load.

Although the 1988 flood was exceptionally extreme in certain reaches of the river Rhine, there were no catastrophic inundations and damage remained within acceptable limits.

In general, the German as well as the Dutch forecasting models proved to give reasonably accurate forecasts of the recorded water-levels. The prognoses were made in a close co-operation between the different hydrological services in Switzerland, the Federal Republic of Germany and the Netherlands.

- [1] Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes: Das Rheingebiet, hydrologische Monographie, 's-Gravenhage, 1978
- [2] Deutscher Wetterdienst (DWD): Wetterkarte des DWD, Amtsblatt der Wetterämter Frankfurt a.M., Freiburg i.B., München, Nürnberg, Stuttgart und Trier; Nr. 61-91 des Jahrgangs 1988 und Beilage zur Wetterkarte 8/1988
- [3] Hess, P., Brezowsky, H.: Katalog der Großwetterlagen Europas. Berichte des DWD 113, Offenbach a.M. 1969
- [4] DWD: Monatlicher Witterungsbericht, Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes, 35. Jahrgang Nr. 11/12 von 1987; 36. Jahrgang Nr. 1-3 von 1988
- [5] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: Informationsberichte: Das Märzhochwasser 1988 in Bayern, München 1989
- [6] Bundesanstalt für Gewässerkunde: Gewässerkundlicher Überblick, Monate 3/4 1988, Koblenz 1988
- [7] Müller, F.: Einführung in die Meteorologie, Band 2: Physik der Atmosphäre, BI Hochschulbücher, Band 288, 1973; Weitere Unterlagen und Literatur, die nicht im Text erwähnt wurden
- [8] Ministère des Transports, Direction de la Météorologie Nationale: Hauteur des précipitations, Mars 1988
- [9] Berliner Wetterkarte: Amtsblatt des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin, Ausgaben für 1.-31. März 1988, Berlin, 1988
- [10] Schweizerische Meteorologische Anstalt: Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den Meteorologischen und Regenmeß-Stationen der Schweiz, 1. Quartal 1988
- [11] DWD: Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes, Europäischer Wetterbericht, Nr. 61-91 des Jahrgangs 1988
- [12] Ministerie van Verkeer en Waterstaat; Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: Maandoverzicht van de neerslag in Nederland, de neerslag november 1987, ... maart 1988, de Bilt, 1988
- [13] Engel, H. (1989): Die Wirksamkeit der konzipierten Hochwasserschutzmaßnahmen am Oberrhein. Vortrag am 17.2.1989 in Ludwigshafen, DVWK, Landesgruppe Mitte.
- [14] Made, J.W. van der (1982): Quantitative Analyse der Abflüsse, KHR-Bericht II-1
- [15] Ubell, K. (1987): Austauschvorgänge zwischen Fluß- und Grundwasser - Teil 1, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen (DGM), Koblenz, 31. Jahrgang, Heft 4, Seite 119 - 125
- [16] Giebel, H. und A. Hommes (1988): Zum Austauschvorgang zwischen Fluß- und Grundwasser. Weitergehende Auswertung aus dem Neuwieder Becken, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen (DGM), Koblenz, 32. Jahrgang, Heft 1/2, Seite 18 - 27
- [17] Bundesanstalt für Gewässerkunde (1988): Wechselbeziehung zwischen Rheinwasser und Grundwasser nördlich von Bonn - 1. Bericht: Auswertung der Meßreihe 1963 bis 1979. Bearbeiter: H. Giebel, E. Gölz und A. Hommes, BfG-0467, 1-36; Koblenz (unveröffentlicht).
- [18] Bundesanstalt für Gewässerkunde (1989): Wechselbeziehung zwischen Rheinwasser und Grundwasser nördlich von Bonn - 2. Bericht: Auswertung der Meßreihe 1980 bis 1988. Bearbeiter: H. Giebel und A. Hommes, BfG-0477, 1-21; Koblenz (unveröffentlicht)
- [19] Tippner, M. und CH. Zieger: Schwebstofftransport in den Bundeswasserstraßen (Übersicht), Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht 0371, Koblenz, Januar 1987
- [20] Bundesanstalt für Gewässerkunde: Jahresbericht 1987, Teil II, S. 18-21, Koblenz 1988
- [21] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK); Schwebstoffmessungen, Regeln zur Wasserwirtschaft H. 125, 1986, Verlag P. Parey
- [22] Bundesministerium für Verkehr: Untersuchungen der Abfluß- und Geschiebeverhältnisse des Rheins, Schlußbericht. Bonn, Juli 1987
- [23] Kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren, programma 1988. DBW/Riza, DGW nota nr 87-053

- [24] Rauws, W.S.: Monitoring Systeem Waterhoogten, handleiding multifunctioneel presentatieprogramma, versie 2.0, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren
- [25] Mendel, H.G. (ed.) (1988): Beschreibung hydrologischer Vorhersagemodelle im Rheingebiet, KHR-Bericht I-7
- [26] Wilke, K. (1984): Kurzfristige Wasserstands- und Abflußvorhersage am Rhein unter Anwendung ausgewählter mathematischer Verfahren. Schriftenreihe des DVWK, Heft 65, Verlag P. Parey, Hamburg, 254 S.

CHR/KHR (1978): Das Rheingebiet, Hydrologische Monographie. Staatsuitgeverij, Den Haag/
Le bassin du Rhin. Monographie Hydrologique. Staatsuitgeverij, La Haye.
ISBN 90-1201-775-0

Berichte der KHR**Rapports de la CHR**

- I-1 GREBNER, D. (1982): Objektive quantitative Niederschlagsvorhersagen im Rheingebiet. Stand 1982 (nicht mehr lieferbar)/
Prévisions objectives et quantitatives des précipitations dans le bassin du Rhin. Etat de la question en 1982 (édition épuisée)
- I-2 GERHARD, H.; MADE, J.W. VAN DER; REIFF, J.; VREES, L.P.M. DE (1983): Die Trocken- und Niedrigwasserperiode 1976. (2. Auflage 1985)/
La sécheresse et les basses eaux de 1976 (2ème édition, 1985). ISBN 90-7098-001-0
- I-3 HOFIUS, K. (1985): Hydrologische Untersuchungsgebiete im Rheingebiet/
Bassins de recherches hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-7098-002-9
- I-4 BUCK, W.; KIPGEN, R.; MADE, J.W. VANDER; MONTMOLLIN, F. DE; ZETTL, H.; ZUMSTEIN, J.F. (1986): Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit im Rheingebiet/
Estimation des probabilités de crues et d'étiages dans le bassin du Rhin. ISBN 90-7098-003-7
- I-5 TEUBER, W.; VERAART, A.J. (1986): Abflußermittlung am Rhein im deutsch-niederländischen Grenzbereich/
La détermination des débits du Rhin dans la région frontalière germano-hollandaise. ISBN 90-7098-004-5
- I-6 TEUBER, W. (1987): Einfluß der Kalibrierung hydrometrischer Meßflügel auf die Unsicherheit der Abflußermittlung, Ergebnisse eines Ringversuchs/
Influence de l'étalonnage des moulinets hydrométriques sur l'incertitude des déterminations de débits. Résultats d'une étude comparative. ISBN 90-7098-005-3
- I-7 MENDEL, H.G. (1988): Beschreibung hydrologischer Vorhersagemodelle im Rheineinzugsgebiet/
Description de modèles de prévision hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-7098-006-1
- I-8 ENGEL, H.; SCHREIBER, H.; SPREAFICO, M.; TEUBER, W.; ZUMSTEIN, J.F. (1990): Abflußermittlung im Rheingebiet im Bereich der Landesgrenzen/
Détermination des débits dans les régions frontalières du bassin du Rhin. ISBN 90-7098-001-x
- I-9 CHR/KHR (1990): Das Hochwasser 1988 im Rheingebiet/
La crue de 1988 dans le bassin du Rhin. ISBN 90-7098-011-8
- Katalog/Catalogue 1 SPROKKEREEF, E. (1989): Verzeichnis der für internationale Organisationen wichtigen Meßstellen im Rheingebiet/
Tableau de stations de mesure importantes pour les organismes internationaux dans le bassin du Rhin. ISBN 90-7098-008-8

Berichte unter der Schirmherrschaft der KHR**Rapports sous l'égide de la CHR**

- II-1 MADE, J.W. VAN DER (1982): Quantitative Analyse der Abflüsse (nicht mehr lieferbar)/
Analyse quantitative des débits (édition épuisée)
- II-2 GRIFFIOEN, P.S. (1989): Alarmmodell für den Rhein/
Modèle d'alerte pour le Rhin. ISBN 90-7098-007-x
- II-3 SCHRÖDER, U. (1990): Die Hochwasser an Rhein und Mosel im April und Mai 1983/
Les crues sur les bassins du Rhin et de la Moselle en avril et mai 1983. ISBN 90-7098-009-6

Einige Informationen über die:

INTERNATIONALE KOMMISSION FÜR DIE HYDROLOGIE DES RHEINGEBIETES (KHR)

Gründung

1970 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 Hydrologie-Programms (OHP) der WMO.

1978 Unterstützung der Arbeiten der Kommission durch Austausch einer Verbal-Note zwischen den mitarbeitenden Ländern.

Aufgaben

- Förderung der Zusammenarbeit hydrologischer Institutionen und Dienste im Einzugsgebiet des Rheins.
- Durchführung von Untersuchungen über die Hydrologie des Rheingebietes und Austausch der Ergebnisse diesbezüglicher Studien.
- Förderung des Austausches von hydrologischen Daten und Informationen im Rheingebiet (z.B. aktuelle Daten, Vorhersagen).
- Entwicklung von standardisierten Verfahren für die Sammlung und Bearbeitung hydrologischer Daten in den Rhein-anliegerstaaten.

Mitarbeitende Länder

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

Arbeitssprachen

Deutsch und Französisch

Organisation

Ständige Vertreter (Sitzungen 2mal pro Jahr) unterstützt von einem ständigen Sekretariat. Die Bearbeitung von Projekten wird von Rapporteurs und internationalen Arbeitsgruppen durchgeführt.

Quelques informations sur la:

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

Institution

1970 Dans le cadre de la Décennie Hydrologique Internationale (DHI) de l'UNESCO.

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

1978 Appui des travaux de la Commission par l'échange d'une note verbale entre les pays concernés.

Tâches

- Encourager la coopération entre les instituts et les services actifs dans le bassin du Rhin.
- Réalisation d'études hydrologiques dans le bassin du Rhin et échange de résultats des études concernées.
- Encourager l'échange de données et d'informations hydrologiques dans le bassin du Rhin (p.ex. données actuelles, prévisions).
- Elaboration de méthodes standardisées pour la collecte et le traitement des données hydrologiques dans les Etats riverains du Rhin.

Pays participants

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

Langues de travail

allemand et français

Organisation

Les représentants permanents (réunions deux fois par an) sont soutenus par le secrétariat permanent. Les études sont réalisées par des rapporteurs et des groupes de travail internationaux.

Auswahl der laufenden Arbeiten

»Änderungen im Abflußregime«

- Beschreibung des Einflusses der menschlichen Aktivitäten auf die Rheinabflüsse.
- Bestimmung der Auswirkungen von Bodennutzungs- und Klimaänderungen auf das Abflußregime des Rheins.
- Untersuchungen über Auswirkungen des Waldes auf den Wasserhaushalt.

»Fließzeiten«

- Ermitteln von Fließzeiten und Stofftransport im Rhein zur Verbesserung des Rheinalarmmodells (in Zusammenarbeit mit der IKSR).

»Sediment«

- Verbesserung und Standardisierung der Verfahren zur Messung von Schwebstoffgehalten und Bodentransport des Sediments.
- Beschreibung des Sedimenthaushaltes im Fluß.

»Fortschreibung der Monographie«

- Übersicht hydrologischer Daten über die Perioden 1971-1980 und 1981-1990 als Fortsetzung der im Jahre 1978 veröffentlichten Monographie »Das Rheingebiet«.

Fertiggestellte Arbeiten

sie Publikationsliste, Seite 86

Principaux thèmes en cours

«Changements dans le régime des débits»

- Description de l'impact des activités humaines sur le débit du Rhin.
- Détermination des effets des changements du climat et de l'utilisation du sol sur le régime des débits du Rhin.
- Etude de l'influence du forêt sur l'hydrologie.

«Temps d'écoulement»

- Détermination des temps d'écoulement et de transport des substances dans le Rhin pour l'amélioration du modèle d'alerte du Rhin (en collaboration avec la CIPR).

«Sédiments»

- Amélioration et standardisation des méthodes pour la mesure des matières en suspension et du charriage de fond.
- Description de la situation de la sédimentation dans le fleuve.

«Actualisation de la Monographie»

- Données hydrologiques sur les périodes 1971-1980 et 1981-1990 complétant celles de la monographie hydrologique «le Bassin du Rhin» publiée en 1978.

Travaux effectués

voir la liste de publications, page 86

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.

1975 Voortzetting van de 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 van de Commissie door een nota-uitwisseling tussen de samenwerkende landen.

Taken

- Bevordering van samenwerking tussen hydrologische instituten en diensten in het stroomgebied van de Rijn.
- Uitvoeren van hydrologische studies in het Rijngebied en uitwisseling van de onderzoeksresultaten.
- Bevorderen van de uitwisseling van hydrologische gegevens en informatie in het Rijngebied (bijv. actuele gegevens, voorspellingen).
- Ontwikkeling van standaardmethoden voor het verzamelen en bewerken van hydrologische gegevens in de Rijnsoeverstaten.

Deelnemende landen

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

Voertalen

Duits en Frans

Organisatie

Vaste vertegenwoordigers (vergaderingen tweemaal per jaar) ondersteund door een permanent secretariaat. Onderzoeken worden door rapporteurs en internationale werkgroepen uitgevoerd.

Some information on the:

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

Foundation

1970 Within the framework of UNESCO's International Hydrological Decade (IHD).

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

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

Tasks

- Support of co-operation between hydrological institutes and services active in the catchment area of the Rhine.
- Executing hydrological studies in the Rhine basin and exchange of research results.
- Promoting the exchange of hydrological data and information in the Rhine basin (e.g. current data, forecasts).
- Development of standardized methods for collecting and processing hydrological data in the Rhine riparian states.

Participating countries

Switzerland, Austria, Federal Republic of Germany, France, Luxemburg, the Netherlands

Working languages

German and French

Organization

Permanent representatives (meetings twice a year) supported by a permanent secretariat. Studies are carried out by rapporteurs and international working groups.

Belangrijkste lopende onderzoeken

„Veranderingen in het afvoerregime”

- Beschrijving van de invloed van menselijke activiteiten op de Rijnafvoeren
- Bepaling van de invloed van veranderingen in bodemgebruik en klimaat op het afvoerregime van de Rijn.
- Onderzoek naar de invloed van bos op de waterhuishouding.

„Stroomtijden”

- Bepaling van de stroomtijden en stoftransport in de Rijn ter verbetering van het alarmmodel voor de Rijn (in samenwerking met de IRC).

„Sediment”

- Verbetering en standaardisering van meetmethoden voor gehalten aan zwevend materiaal en bodemtransport.
- Beschrijving van de sedimenthuishouding in de rivier.

„Voortzetting Monografie”

- Overzicht van hydrologische gegevens over de perioden 1971-1980 en 1981-1990 als voortzetting van de in 1978 uitgegeven hydrologische monografie „Het stroomgebied van de Rijn”.

Afgesloten onderwerpen

zie lijst van publikaties, blz. 86

Selection of current subjects

'Changes in the discharge regime'

- Description of the impact of human activities on the Rhine discharges.
- Determination of the effect of changes in land use and climate on the discharge regime of the Rhine.
- Research into the effects of forest on the hydrology of the basin.

'Travel times'

- Determination of the travel times and constituent transport in the Rhine for the improvement of the alarm model for the Rhine (in cooperation with CIPR/IKSR).

'Sediment'

- Improvement and standardization of methods to measure suspended load and bed-load transport.
- Description of sediment characteristics of the river.

'Continuation of the Monograph'

- Hydrological data for the periods 1971-1980 and 1981-1990 as a continuation of the hydrological monograph 'The Rhine basin' published in 1978.

Completed projects

see list of publications, p. 86

KOLOPHON/COLOPHON

Abbildungen/Figures: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Rijkswaterstaat - Dienst Binnenwateren/RIZA, Lelystad

Photos 1.1 - LANDSAT © Eurimage NLR 1988
4.1 - Rijkswaterstaat - Meetkundige Dienst Delft
6.1, 6.2, 6.5 - Günther Lamek, Koblenz
6.3, 6.4 - Wasser- und Schifffahrtsamt, Köln

Drucker/Imprimerie: Veenman B.V., Wageningen