

**Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes**

**Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin**

**Eine Hochwasserperiode im Rheingebiet**  
**Extremereignisse zwischen Dez. 1993 und Febr. 1995**

**Autor:**

**H. Engel**

**mit Beiträgen von:**

**N. Busch  
K. Daamen  
J. Helm  
M. Keller  
J. Ottens  
B. Parmet  
E. Sprokkereef**

# Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

## Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

### Eine Hochwasserperiode im Rheingebiet Extremereignisse zwischen Dez. 1993 und Febr. 1995

Autor: H. Engel

mit Beiträgen von: N. Busch  
K. Daamen  
J. Helm  
M. Keller  
J. Ottens  
B. Parmet  
E. Sprokkereef



*Bundesanstalt für  
Gewässerkunde*



*RIZA*

Bericht Nr. I-17 der KHR  
Originalsprachen: Niederländisch und Deutsch  
Rapport no. I-17 de la CHR  
Langues originales: allemand et néerlandais

©1999, CHR/KHR  
ISBN 90-70980-28-2

**Une période des crues dans le bassin du Rhin**  
**Événements exceptionnels entre déc. 1993 et févr. 1995**

Textes français:

Préface: p. 3

Introduction: p. 13

Résumé: p. 119

Informations sur la CHR: p. 125

**Een hoogwaterperiode in het Rijngebied**  
**Extreme gebeurtenissen tussen dec. 1993 en feb. 1995**

Nederlandstalige gedeelten:

Bijzonderheden CHR: blz. 127

**A period of floods in the Rhine basin**  
**Extreme events between Dec. 1993 and Feb. 1995**

English texts:

Particulars CHR: p. 127

## Vorwort

*Wenn der Strom schwillt, so geht er  
über die Ufer  
Sprichwort*

Die KHR beschreibt seit vielen Jahren die Geschehnisse, wenn der Rhein über die Ufer "gegangen" ist. Als Fortsetzung dieser Arbeiten finden sich in der vorliegenden Publikation Angaben über Entstehung und Ablauf der Hochwasser in den hydrologischen Jahren 1994 und 1995, welche durch eine grosse Zahl von seltenen Hochwasserereignissen im Mittel- resp. Unterlauf des Rheins gekennzeichnet waren. Da in dieser Periode nur diese Rheinabschnitte von seltenen Hochwassern betroffen waren, beschränken sich die Untersuchungen zur Hauptsache auf den Rhein unterhalb von Basel.

Die KHR dankt Herrn H. Engel von der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz für die Leitung der Arbeiten und den Herren N. Busch, K. Daamen, J. Helm, M. Keller, B. Parmet und E. Sprokkereef, sowie Frau J. Ottens, für die gelieferten Beiträge.

Zu erwähnen sind im Zusammenhang mit dieser Publikation noch 2 Berichte, die im Rahmen der IKSR-Projektgruppe "Aktionsplan Hochwasser" erarbeitet wurden. Der KHR-Bericht Nr. II-12 "Bestandesaufnahme der Meldesysteme und Vorschläge zur Verbesserung der Hochwasservorhersage im Rheingebiet" beschreibt den Istzustand bei den Vorhersagen, der Bericht der IKSR "Hochwasserschutz am Rhein, Bestandesaufnahme" einen solchen für die Hochwasserschutzmassnahmen in den Rheinabschnitten.

Der Präsident der KHR  
Prof. Dr. M. Spreafico

## Préface

*Lorsque la rivière enfle, elle déborde  
Dicton*

Les débordements du Rhin sont depuis plusieurs années l'objet de publications de la CHR. Comme suite de ces travaux, le présent rapport fournit de plus amples informations sur l'origine et le déroulement des crues des années hydrologiques 1994 et 1995, années marquées par un grand nombre d'événements exceptionnels sur les cours moyen et inférieur du Rhin. Les recherches se sont essentiellement cantonnées au tronçon du fleuve en aval de Bâle, étant donné que ces crues exceptionnelles n'ont pas été observées plus en amont.

La CHR remercie M. H. Engel (Bundesanstalt für Gewässerkunde à Coblenz) d'avoir dirigé les travaux, ainsi que MM. N. Busch, K. Daamen, J. Helm, M. Keller, B. Parmet et E. Sprokkereef, ainsi que Mme. J. Ottens, pour leurs contributions.

En relation avec cette publication, mentionnons les deux rapports du groupe de projet de la CIPR «Plan d'action contre les inondations». Le Rapport No II-12 de la CHR «Annonce et prévision des crues dans le bassin du Rhin. Etat actuel et propositions d'amélioration», qui décrit la situation actuelle en ce qui concerne la prévision des crues et le Rapport «Hochwasserschutz am Rhein, Bestandesaufnahme» consacré aux mesures de protection contre les crues sur les différents tronçons du Rhin.

Le président de la CHR  
Pr Dr M. Spreafico



# INHALTSVERZEICHNIS

	<i>Seite</i>
<i>Vorwort</i> .....	3
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>13</b>
<b>2. Entstehung und Ablauf der Hochwasser</b> .....	<b>15</b>
2.1 Übersicht über die meteorologische Entwicklung von August 1993 bis Februar 1995 .....	15
2.2 Die Hochwasserereignisse im Einzelnen .....	16
2.2.1 Das Hochwasser 1993/94 (Weihnachtshochwasser) .....	16
2.2.1.1 Das Wettergeschehen im Dezember 1993 .....	19
2.2.1.2 Der Ablauf des Hochwassers 1993/94 .....	24
2.2.2 Das Hochwasser im April 1994 .....	29
2.2.2.1 Das Wettergeschehen im April 1994 .....	29
2.2.2.2 Der Ablauf des Hochwassers im April 1994 .....	29
2.2.3 Das Hochwasser im Mai 1994 (Pfingsthochwasser) .....	29
2.2.3.1 Das Wettergeschehen im Mai 1994 .....	29
2.2.3.2 Der Ablauf des Hochwassers im Mai 1994 .....	38
2.2.4 Die Hochwasser im Juni 1994 .....	39
2.2.4.1 Das Wettergeschehen im Juni 1994 .....	39
2.2.4.2 Der Ablauf des Hochwasser im Juni 1994 .....	40
2.2.5 Die Hochwasser im Januar/Februar 1995 .....	40
2.2.5.1 Das Wettergeschehen im Januar 1995 .....	41
2.2.5.2 Der Ablauf des Hochwasser im Jan./Febr. 1995 .....	48
<b>3. Statistische Fakten zu den Ereignissen im Zeitabschnitt   Dez. 1993 bis Februar 1995</b> .....	<b>53</b>
<b>4. Weitergehende hydrologische Betrachtungen und Ergebnisse</b> .....	<b>67</b>
4.1 Austauschvorgänge zwischen Rhein- und Grundwasser, Untersuchungen zum Basisabfluß .....	67
4.2 Hochwasserrückhaltungen durch oberirdische Maßnahmen .....	70
<b>5. Wasserinhaltsstoffe</b> .....	<b>73</b>
5.1 Feststofftransport und Sedimente .....	73
5.2 Wasserinhaltsstoffe .....	77
<b>6. Vorhersagen</b> .....	<b>89</b>
6.1 Organisation und Verfahren der Vorhersagen .....	89
6.2 Ergebnisse der Vorhersagen und Verbreitung .....	93
<b>7. Schäden als Folgen der Hochwasser</b> .....	<b>101</b>
7.1 Allgemeine Hochwassersituation .....	101
7.2 Hochwasserschäden in Städten und Gemeinden .....	102
7.3 Hochwasserschäden an den Schiffsstraßen und Ausfallkosten für die Schifffahrt .....	107
<b>8. Maßnahmen während der Hochwasser und nach deren Abklingen</b> .....	<b>111</b>
<b>9. Nationale und internationale Aktivitäten als Folge der Hochwasser   1993/94 und 1995</b> .....	<b>115</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>117</b>
<b>10. Zusammenfassung</b> .....	<b>119</b>

<b>KHR-Veröffentlichungen</b> .....	<i>Seite</i> <b>123</b>
<b>Einige Informationen über die KHR (deutsch, französisch, englisch und niederländisch)</b> .....	<b>125</b>

## Abbildungen

2.1	Tägliche Gebietsniederschläge, langfristig gemittelte monatliche und aktuelle monatliche Gebietsniederschläge für 4 ausgewählte Teileinzugsgebiete des Rheins für den Zeitraum vom 01.08.1993 - 28.02.1995. Datenquelle: DWD .....	17
2.2	Tägliche Schneehöhen an 4 ausgewählten Stationen des Rheingebiets im Zeitraum 01.08.1993 bis 28.02.1995. Datenquelle: DWD .....	18
2.3a	Witterungsverlauf: Station Essen/Ruhr 01.12.1993 - 10.01.1994 (Quelle: DWD) .....	20
2.3b	Witterungsverlauf: Station Trier-Petrisberg 01.12.1993 - 10.01.1994 (Quelle: DWD) ..	20
2.3c	Witterungsverlauf: Station Stuttgart 01.12.1993 - 10.01.1994 (Quelle: DWD) .....	21
2.3d	Witterungsverlauf: Station Nürnberg 01.12.1993 - 10.01.1994 (Quelle: DWD) .....	21
2.4a	Verteilung der Niederschlagssummen (in mm) vom 07.-18.12. 1993 (Quelle: DWD) ...	23
2.4b	Verteilung der prozentualen Abweichungen der Niederschlagssummen vom 07.-18.12. 1993 vom vieljährig gemittelten Dezemberniederschlag (Quelle: DWD) ...	24
2.4c	Verteilung der Niederschlagssummen (in mm) vom 19.-20.12. 1993 (Quelle: DWD) ...	25
2.4d	Verteilung der prozentualen Abweichungen der Niederschlagssummen vom 19.-20.12. 1993 vom vieljährig gemittelten Dezemberniederschlag (Quelle: DWD) ...	26
2.5	Wiederkehrzeiten der zweitägigen Niederschlagsintensitäten vom 19.-20. 12. 1993 (Quelle: DWD) .....	27
2.6	Hochwasserwellenablauf im Rhein während des Hochwassers 1993/94 .....	28
2.7	Hochwasserwellenablauf in der Mosel während des Hochwassers 1993/94 .....	29
2.8	Wasserstände an einigen Rhein- und ausgewählten Nebenflußpegeln .....	30
2.9	Druckverteilungen (a) vom 17., (b) 18. und (c) 19. Mai 1994, jeweils linkes Bild 00 UTC. Bodenniveau (nach Deutscher Wetterdienst); rechtes Bild 500hPa Niveau (nach Met.Inst. der Freien Univ. Berlin) .....	32
2.10	Verlauf der stündlichen und aufsummierten Niederschlagsmengen von 8 als Süd-Nord-Profil ausgewählten ANETZ-Stationen. Station "Grh": Grimsel-Hospiz ...	33
2.11	Verlauf der stündlichen und aufsummierten Niederschlagsmengen von 8 als West-Ost-Profil ausgewählten ANETZ-Stationen .....	34
2.12	Räumliche Verteilung der Tagesniederschläge vom 18. Mai 1994 .....	36
2.13	Wellenablauf im Rhein während des Hochwassers Mai 1994 .....	38
2.14	Jahresgang des Gebietsniederschlages im Abflußjahr 1994 für Pegeleinzugsgebiete von Elsenz und Rench im Vergleich zum vieljährigen Mittel .....	39
2.15	Vergleich der Scheitelabflüsse und der Jährlichkeiten für das Hochwasser vom Juni 1994 mit den bis 1993 beobachteten Höchstabflüssen im Rench- und Schwarzbachgebiet ...	40
2.16a	Witterungsverlauf an der Station Essen/Ruhr vom 01.-31.01.1995 (Quelle: DWD) ...	42
2.16b	Witterungsverlauf an der Station Nürnberg vom 01.-31.01.1995 (Quelle: DWD) .....	42
2.17	Niederschlag und Schneehöhe vom 01.-31.01.1995 für 8 ausgewählte Stationen in verschiedenen Teileinzugsgebieten des Rheins .....	45
2.18	Verteilung der Niederschlagssummen vom 21.-29.01.1995 (Quelle: Wetterdienste der CH, D, F, L und NL) .....	48
2.19	Verteilung der prozentualen Abweichungen der Niederschlagssummen vom 21.-29.01.1995 vom vieljährig gemittelten Januarniederschlag (Quelle: Wetterdienste CH, D, L und NL) .....	49
2.20	Hochwasserwelle des Rheins Januar 1995 .....	50
2.21	Hochwasserwelle der Mosel Januar 1995 .....	51
2.22	Wasserstände einiger Rheinpegel und ausgewählter Nebenflußpegel .....	52
3.1a	Abflüsse MQ, MHQ und HHQ (Jahresreihe und HHQ seit ... hinter dem Pegelnamen genannt) sowie HQ der Zeitspanne 12/1993 bis 2/1995 .....	55
3.1b	Abflüsse MQ, MHQ und HHQ (für die Jahresreihen – siehe Tabelle 3.3) .....	56
3.1c	Abflüsse MQ, MHQ und HHQ (für die Jahresreihen – siehe Tabelle 3.3) .....	57
3.2	Vergleich der Abflußganglinien der Hochwasser 1925/26, 1993/94 und 1995 an den Pegeln Cochem/Mosel (3-2a) und Köln/Rhein (3-2b) .....	62

	<i>Seite</i>
3.3 Hochwasserabflüsse (HQ) der Jahre 1871 bis 1995 an den Pegeln Rheinfelden, Maxau und Köln	65
4.1 Neuwieder Becken mit Ergänzungsbereich Andernach und Lage des Meßprofils Urmitz	67
4.2 Zeiten der Uferspeicherung in den Jahren 1983 bis 1994	68
4.3 Grundwasservorratsänderung und Uferspeicherung als Folge des Hochwassers 1993/94	68
4.4 Rhein- und Grundwasserstandsganglinien im Meßprofil Urmitz während des Hochwassers 1995	69
4.5 Grundwasservorratsänderung und Uferspeicherung als Folge des Hochwassers 1995	69
4.6 Berechneter Basisabfluß und aufgetretener Abfluß am Pegel Lobith zwischen November 1993 und Oktober 1994	70
4.7 Berechneter Basisabfluß und aufgetretener Abfluß am Pegel Lobith zwischen November 1994 und Oktober 1995	71
5.1 Darstellung der Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel im Hochwasserzeitraum vom 12.12.1993 bis 12.01.1994	76
5.2 Darstellung der Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel im Hochwasserzeitraum vom 22.01. bis 12.02.1995 (3 Wochen)	77
5.3 Längsschnitt der Schwebstofffracht des Rheins im Hochwasserzeitraum vom 12.12.1993 bis 12.01.1994 sowie ihres Verhältnisses zur mittleren Jahresschwebstofffracht (vom jeweiligen Meßbeginn bis 1993)	78
5.4 Die Schwebstofffracht des Rheins im Hochwasserzeitraum vom 22.01. bis 12.02.1995 sowie ihr Verhältnis zur mittleren Jahresschwebstofffracht der Abflußjahre 1987/94	79
5.5 Ganglinien der täglichen Schwebstofffracht und des mittleren täglichen Abflusses an den Meßstellen Maxau/Rhein, Weißenthurm/Rhein und Brodenbach/Mosel in den Monaten Januar und Februar 1995	80
5.6 Abflußverlauf und Schwebstoffgehalt bei Kleve-Bimmen während der Hochwasserwelle von April 1994	84
5.7 Verlauf der Tonfraktion und der Kadmiumkonzentration während des Hochwassers von April 1994 sowie Kadmiumkonzentration bei Kleve-Bimmen im Jahresdurchschnitt	85
5.8 Verlauf des Abflusses und der verschiedenen Kornfraktionen im transportierten Schwebstoff bei Kleve-Bimmen 1994	85
5.9a Verlauf des Abflusses und HCB-Schwebstoffgehalt im Rhein bei Lobith, 1995	86
5.9b Verlauf des Anteils je Messung an der HCB Jahresfracht bei Lobith, 1995	86
5.10 Verlauf der durchschnittlichen Fluoranthen-(PAK) Monatsfrachten* und monatliche Abflußdurchschnittswerte 1995 bei Lobith	87
* auf der Grundlage von 8-Stunden-Sammelproben (durchschnittlich 2x im Monat genommen)	
5.11 Entwicklung der Jahresdurchschnittswerte bei Lobith: PCB-138 in Schwebstoff 1988-1995	88
6.1 Überregionale Melde- und Vorhersagezentralen und ausgewählte Pegel am Rhein	91
6.2 Bundesländer und Lage der Vorhersagezentralen im deutschen Rheingebiet	93
6.3 Operationelle Hochwasservorhersagen am Pegel Rheinfelden für die Hochwasser im Dezember 1993/Januar 1994 und Januar/Februar 1995	94
6.4 Gemessene Wasserstände und Vorhersagewerte für 6, 12, 18 und 24 h für die Zeit vom 01.01. bis 06.03.1995 am Pegel Köln	96
6.5 Abweichungen der Einzelvorhersagen für 6 bzw. 24 h von den Meßwerten für die Zeit vom 01.01. bis 06.03.1995 am Pegel Köln	97
6.6 Ausgegebene Vorhersagen für 1, 2, 3 und 4 Tage im voraus und gemessene Wasserstände während des Hochwassers 1993 für den Pegel Lobith	98
6.7 Ausgegebene Vorhersagen für 1, 2, 3 und 4 Tage im voraus und gemessene Wasserstände während des Hochwassers 1995 für den Pegel Lobith	98
7.1 Höchste Hochwasserabflüsse und Leistungsvermögen des Rheins zwischen den Dämmen bzw. Hochufern vom Bodensee bis zur Nordsee	103
7.2 Evakuierte Gebiete während des Hochwassers 1995	108
7.3 Deichringe und Jährlichkeiten	109

## Tabellen

	<i>Seite</i>	
2.2	Summe der Gebietsniederschläge für die Perioden vom 7. bis 18.12. und vom 19. bis 20.12.93 sowie für das Dezembermittel 1951/80 (Quelle: Daten der Wetterdienste der Schweiz, Frankreichs, der Niederlande und des DWD) . . . . .	22
2.3	Endzeitpunkte der 5 verschiedenen Niederschlagsdauern mit den während des Ereignisses jeweils größten Gebietsniederschlagssummen . . . . .	32
2.4	Intensitäten in den Niederschlagskerngebieten während der verschiedenen mehrstündigen Zeitintervalle . . . . .	33
2.5	Wiederkehrperioden (WP) für 1- und 2tägige Niederschlagsmengen in den Hauptniederschlagsgebieten von Thur, Aare, Reuss und Limmat. In Klammern gesetzte Werte sind durch Extrapolation der Diagramme geschätzt, ebenso die Angaben bei Unterbözberg . .	35
2.6	Gebietsniederschläge in den zentralen Bereichen des schweizerischen Hochrhein-Einzugsgebiets . . . . .	37
2.7	Tägliche Gebietsniederschläge in mm vom 01.01.1995 - 31.01.1995 in den Rhein-Teileinzugsgebieten . . . . .	43
2.8	Summe der täglichen Gebietsniederschläge in mm vom 21.01. - 29.01.1995 in den Rhein-Teileinzugsgebieten . . . . .	47
3.1a	Hauptwerte ausgewählter Pegel im Rheingebiet . . . . .	54
3.1b	Hauptwerte und Maxima der Periode 12/1993 bis 2/1995 von Pegeln in Untereinzugsgebieten des Rheins . . . . .	58
3.2	Hochwasserabfluß-Scheitelwerte an baden-württembergischen Pegeln, geordnet nach ihrer Größe . . . . .	59
3.3	Scheitelwerte und Jährlichkeiten der HW 1993 und 1995 für ausgewählte Pegel im deutschen Rheingebiet . . . . .	60
3.4	Rangfolge der Scheitel von Hochwassern zwischen 1880 und 1995 an ausgewählten Pegeln von Rhein und Mosel (Rang 1 = Höchstwert) nach Abfluß (Q) und Wasserstand (W) . . . . .	61
3.5	Die 12 größten Scheitelabflüsse am Pegel Köln und ihre Rangfolge an den Pegeln Köln/Rhein und Cochem/Mosel . . . . .	61
3.6	Die neun größten Scheitelabflüsse am Pegel Köln seit 1926 und die Abflußfüllen dieser Wellen oberhalb der jeweiligen Basisabflüsse . . . . .	63
3.7	Abflüsse verschiedener Jährlichkeiten, abgeleitet aus Jahresreihen (*) bis 1993 (1) bzw. bis 1995 (2) für ausgewählte Pegel im Rheingebiet . . . . .	64
5.1	Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel für den Zeitraum vom 12.12.1993 bis 12.01.1994 und als mittlere Jahreswerte . . . . .	74
5.2	Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel im Hochwasserzeitraum vom 22.01. bis 12.02.1995 als mittlere Jahreswerte und im Vergleich zum HW 1993 . . .	75
5.3	Vergleich von Gewässergütedaten bei Hochwasser (1995) mit Werten im Normaljahr (1992), Rhein (Mainz) . . . . .	82
5.4	Vergleich von Gewässergütedaten bei Hochwasser (1995) mit Werten im Normaljahr (1992), Rhein (Bad Honnef) . . . . .	83
5.5	Zusätzliche Schwermetallfrachten des Hochwassers 1995 im Vergleich zur Jahresfracht 1992 . . . . .	84
5.6	Fluoranthen- und Schwebstofffrachten während des Zeitraums 1993-1995 bei Lobith . .	87
6.1	Überblick über die Hochwasservorhersage- und -meldezentren im Rheineinzugsgebiet. (Quelle: Internationale Kommission zum Schutz des Rheins [IKSR] 1997) . . . . .	90
6.2	Vorhersagezentralen und Verwaltungszugehörigkeit des Personals sowie Gewässer, für die Vorhersagen erstellt werden . . . . .	92

## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
<i>Préface</i> .....	3
<b>1 Introduction</b> .....	<b>13</b>
<b>2 Naissance et écoulement de la crue</b> .....	<b>15</b>
2.1 Aperçu de l'évolution météorologique du mois d'août 1993 jusqu'au mois de février 1995 .....	15
2.2 Détails des crues .....	16
2.2.1 Crue 1993/94 (Crue de Noël) .....	16
2.2.1.1 Conditions climatologiques en décembre 1993 .....	19
2.2.1.2 Ecoulement de la crue 1993/94 .....	24
2.2.2 Crue d'avril 1994 .....	29
2.2.2.1 Conditions climatologiques en avril 1994 .....	29
2.2.2.2 Ecoulement de la crue en avril 1994 .....	29
2.2.3 Crue de mai 1994 (Crue de Pentecôte) .....	29
2.2.3.1 Conditions climatologiques en mai 1994 .....	29
2.2.3.2 Ecoulement de la crue en mai 1994 .....	38
2.2.4 Crue de juin 1994 .....	39
2.2.4.1 Conditions climatologiques en juin 1994 .....	39
2.2.4.2 Ecoulement de la crue en juin 1994 .....	40
2.2.5 Crue de janvier/février 1995 .....	40
2.2.5.1 Conditions climatologiques en janvier 1995 .....	41
2.2.5.2 Ecoulement de la crue en janvier/février 1995 .....	48
<b>3 Données statistiques relatives aux crues pour la période de décembre 1993 à février 1995</b> .....	<b>53</b>
<b>4 Observations hydrologiques régulières et résultats</b> .....	<b>67</b>
4.1 Echanges entre l'eau du Rhin et la nappe phréatique recherches relatives au débit de base .....	67
4.2 Rétention des crues par des ouvrages terrestres .....	70
<b>5 Charge</b> .....	<b>73</b>
5.1 Transport de la charge de substances solides et sédiments en suspension .....	73
5.2 Charge .....	77
<b>6 Prévisions</b> .....	<b>89</b>
6.1 Organisation et méthode de prévision .....	89
6.2 Résultats des prévisions et diffusion .....	93
<b>7 Dégâts dus aux crues</b> .....	<b>101</b>
7.1 Situation globale de la crue .....	101
7.2 Dégâts dus aux crues dans les villes et communes .....	102
7.3 Dégâts dus aux crues aux voies navigables et surestaries pour la navigation .....	107
<b>8 Mesures pendant la crue et après la décrue</b> .....	<b>111</b>
<b>9 Activités nationales et internationales à la suite des crues 1993/94 et 1995</b> .....	<b>115</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>117</b>
<b>10 Résumé</b> .....	<b>119</b>
<b>Publications de la CHR</b> .....	<b>123</b>
<b>Présentation de la CHR (allemand, français, anglais et néerlandais)</b> .....	<b>125</b>

## Illustrations

	<i>Page</i>
2.1 Précipitations journalières dans le bassin rhénan, précipitations moyennes mensuelles à long terme pour 4 bassins versants du Rhin sélectionnés pour la période du 01.08.1993 - 28.02.1995. Source de données: DWD . . . . .	17
2.2 Epaisseur de neige journalière pour 4 stations sélectionnées du bassin rhénan pour la période du 01.08.1993 jusqu'à 28.02.1995. Source de données: DWD . . . . .	18
2.3a Evolution météorologique: station Essen/Ruhr 01.12.1993 - 10.01.1994 (Source: DWD)	20
2.3b Evolution météorologique: station Trèves-Petrisberg 01.12.1993 - 10.01.1994 (Source: DWD) . . . . .	20
2.3c Evolution météorologique: station Stuttgart 01.12.1993 - 10.01.1994 (Source: DWD) . .	21
2.3d Evolution météorologique: station Nuremberg 01.12.1993 - 10.01.1994 (Source: DWD)	21
2.4a Répartition pluviométrique (en mm) pour la période 07.-18.12. 1993 (Source: DWD) . .	23
2.4b Répartition des variations des précipitations cumulées en pour cent pour la période 07.-18.12. 1993 basée sur les précipitations moyennes en décembre mesurées sur plusieurs années (Source: DWD) . . . . .	24
2.4c Répartition pluviométrique (en mm) du 19.-20.12. 1993 (Source: DWD) . . . . .	25
2.4d Répartition des variations des précipitations cumulées en pour cent pour la période 19.-20.12. 1993 basée sur les précipitations moyennes en décembre mesurées sur plusieurs années (Source: DWD) . . . . .	26
2.5 Récurrence des intensités de précipitation sur deux jours pour la période 19.-20. 12. 1993 (Source: DWD) . . . . .	27
2.6 Ecoulement des ondes de crue dans le Rhin lors de la crue 1993/94 . . . . .	28
2.7 Ecoulement des ondes de crue dans la Moselle lors de la crue 1993/94 . . . . .	29
2.8 Niveaux relevés par les limnimètres du Rhin et des affluents sélectionnés . . . . .	30
2.9 Répartitions de pression (a) du 17, (b) du 18 et (c) du 19. mai 1994 respectivement, présentées à la figure de gauche 00 UTC. Niveau du sol (selon le Service de Météorologie allemand); Figure de droite niveau 500hPa (selon l'Institut Météorologique de l'Université libre de Berlin) . . . . .	32
2.10 Evolution des précipitations horaires cumulées en 8 stations ANETZ sélectionnées comme étant représentatives du profil Sud-Nord. Station "Grh": Grimsel-Hospiz . . . . .	33
2.11 Evolution des précipitations horaires cumulées en 8 stations ANETZ sélectionnées comme étant représentatives du profil Ouest-Est . . . . .	34
2.12 Distribution spatiale des précipitations journalières du 18 mai 1994 . . . . .	36
2.13 Ecoulement des ondes de crue dans le Rhin lors de la crue du mois de mai 1994 . . . . .	38
2.14 Variation annuelle des précipitations dans l'année hydrographique 1994 pour les bassins versants de Elsenz et Rench comparée à des données sur plusieurs années . . . . .	39
2.15 Comparaison du débit de pointe et des périodes de retour de crue de juin 1994 avec les débits maximaux observés jusqu'à 1993 dans la région de Rench et Schwarzbach . . . . .	40
2.16a Evolution météorologique à la station Essen/Ruhr pour la période 01.-31.01.1995 (Source: DWD) . . . . .	42
2.16b Evolution météorologique à la station Nuremberg pour la période 01.-31.01.1995 (Source: DWD) . . . . .	42
2.17 Précipitations et épaisseurs de neige pour la période 01.-31.01.1995 pour 8 stations sélectionnées dans les différents bassins versants du Rhin. 2-2b: Evolution météorologique: station Trèves-Petrisberg 01.12.1993 - 10.01.1994 (Source: DWD) . . .	45
2.18 Répartition pluviométrique pour la période 21.-29.01.1995 (Source: Services météorologiques de la Suisse, de l'Allemagne, de la France, du Luxembourg et des Pays-Bas) . . . . .	48
2.19 Répartition des variations des précipitations cumulées en pour cent pour la période 21.-29.01.1995 basée sur la précipitation moyenne en janvier sur plusieurs années (Source: Services Météorologiques de la Suisse, de l'Allemagne du Luxembourg et des Pays-Bas) . . . . .	49
2.20 Onde de crue du Rhin en janvier 1995 . . . . .	50
2.21 Onde de crue de la Moselle en janvier 1995 . . . . .	51
2.22 Niveaux relevés par les échelles limnimétriques du Rhin et certaines échelles limnimétriques sélectionnées des affluents . . . . .	52
3.1a Débits MQ, MHQ et HHQ (années et HHQ depuis ... mentionnés après le nom du limnimètre) ainsi que le débit maximal (HQ) de la période de 12/1993 à 2/1995 . . . . .	55
3.1b Débits MQ, MHQ et HHQ (pour les années – voir tableau 3.3) . . . . .	56

	<i>Page</i>
3.1c Débits MQ, MHQ et HHQ (pour les années – voir tableau 3.3) . . . . .	57
3.2 Comparaison de l'hydrogramme des crues 1925/26, 1993/94 et 1995 relevées par les limnimètres de Cochem/Moselle (3-2a) et de Cologne/Rhin (3-2b . 3-1: Comparaison de l'hydrogramme des crues 1925/26, 1993/94 et 1995 . . . . .	62
3.3 Débits des crues (HQ) des années 1871 à 1995 relevés par les limnimètres de Rheinfelden, Maxau et Cologne. 3-2: Débits des crues (HQ) des années 1871 à 1995 . . .	65
4.1 Bassin de Neuwied y compris la région Andernach et la topographie du profil de mesure Urmitz . . . . .	67
4.2 Dates du gisement des berges dans les années 1983-1994 . . . . .	68
4.3 Changement de la réserve de la nappe phréatique et gisement des berges dus à la crue 1993/94 . . . . .	68
4.4 Hydrogramme du Rhin et du niveau phréatique pour le profil de mesure Urmitz lors de la crue 1995 . . . . .	69
4.5 Changement de la réserve de la nappe phréatique et gisement des berges dus à la crue 1995 . . . . .	69
4.6 Débit de base calculé et débit relevé par le limnimètre de Lobith entre novembre 1993 et octobre 1994 . . . . .	70
4.7 Débit de base calculé et débit relevé par le limnimètre de Lobith entre novembre 1994 et octobre 1995 . . . . .	71
5.1 Représentation du transport de la charge en suspension dans le Rhin, Neckar, Main, Lahn et la Moselle pour la période de crue du 12.12.1993 au 12.01.1994 . . . . .	76
5.2 Représentation du transport de la charge en suspension dans le Rhin, Neckar, Main, Lahn et la Moselle pour la période de crue du 22.01. au 12.02.1995 (3 semaines) . . . . .	77
5.3 Coupe longitudinale du transport de la charge en suspension du Rhin pour la période de crue du 12.12.1993 au 12.01.1994 ainsi que son rapport au transport moyen annuel de la charge en suspension (du début des mesures jusqu'à 1993) . . . . .	78
5.4 Le transport des sédiments en suspension du Rhin pour la période de crue du 22.01. au 12.02.1995 ainsi que son rapport au transport annuel des sédiments en suspension des années hydrologiques 1987/94 . . . . .	79
5.5 Hydrogramme du transport journalier des sédiments en suspension et hydrogramme du débit moyen journalier mesuré par les stations hydrométriques Maxau/Rhin, Weißenthurm/Rhin et Brodenbach/Moselle pour les mois de janvier et février 1995 . . . . .	80
5.6 Evolution du débit et du taux de sédiments en suspension à Clèves-Bimmen lors de l'onde de crue d'avril 1994 . . . . .	84
5.7 Evolution de la fraction d'argile et de la concentration de cadmium lors de la crue d'avril 1994 ainsi que la concentration de cadmium à Clèves en moyenne annuelle . . . . .	85
5.8 Evolution du débit et de plusieurs fractions granulométriques dans les sédiments en suspension transportés à Clèves-Bimmen 1994 . . . . .	85
5.9a Evolution du débit et du taux HCB des sédiments en suspension dans le Rhin à Lobith, 1995 . . . . .	86
5.9b Evolution de la portion de HCB dans le transports annuel à Lobith, 1995 pour chaque mesure . . . . .	86
5.10 Evolution des transports moyens mensuels* de fluoranthènes (PAK) et valeurs moyennes mensuelles de débit 1995 à Lobith . . . . .	87
* basée sur 8 heures d'échantillons composites (relevés en moyenne 2 fois par mois)	
5.11 Evolution de la valeur moyenne annuelle à Lobith: PCB-138 dans le sédiment en suspension 1988-1995 . . . . .	88
6.1 Centres d'alerte et services des prévisions et limnimètres sélectionnés sur le Rhin . . . . .	91
6.2 Etats fédérés et emplacement des centres de prévision dans le bassin rhénan allemand . .	93
6.3 Prévisions de crue opérationnelles du limnimètre de Rheinfelden pour la crue de décembre 1993/janvier 1994 et janvier/février 1995 . . . . .	94
6.4 Niveaux d'eau relevés et valeurs de prévision pour 6, 12, 18 et 24 heures pour la période du 01.01. au 06.03.1995 par le limnimètre de Cologne . . . . .	96
6.5 Biais des prévisions détaillées pour 6 respectivement 24 heures des valeurs de mesure pour la période du 01.01. au 06.03.1995 relevées par le limnimètre de Cologne . . . . .	97
6.6 Prévisions communiquées 1, 2, 3 et 4 jours à l'avance et niveaux d'eau relevés par le limnimètre de Lobith lors de la crue 1993 . . . . .	98
6.7 Prévisions communiquées 1, 2, 3 et 4 jours à l'avance et niveaux d'eau relevés par le limnimètre de Lobith lors de la crue 1995 . . . . .	98

	<i>Page</i>
7.1 Débits de crue maximaux et capacité de rendement du Rhin entre les barrages respectivement digues de ceinture du lac de Constance jusqu'à la mer du Nord . . . . .	103
7.2 Régions évacuées pendant la crue 1995 . . . . .	108
7.3 Réseau de digues et périodes de retour de la crue . . . . .	109

## Tableaux

2.2 Précipitations cumulées dans le bassin rhénan pour les périodes du 7 au 18.12. et du 19 au 20.12.93 ainsi que pour décembre 1951/80 (Source: Données du Service Météorologique de la Suisse, de la France, des Pays-Bas et du DWD) . . . . .	22
2.3 Dates finales des 5 différentes périodes de précipitation y compris les précipitations les plus fortes cumulées lors des crues dans la région . . . . .	32
2.4 Intensités des précipitations dans les régions clefs pendant différents intervalles de temps de plusieurs heures . . . . .	33
2.5 Périodes de récurrence (PR) pour des précipitations de 1 et 2 jours dans les zones principales de précipitations de Thur, Aare, Reuss et Limmat. Les valeurs entre parenthèses ont été estimées par extrapolation, ainsi que les données d'Unterbözberg . .	35
2.6 Précipitations dans les zones centrales du bassin versant suisse haut Rhin . . . . .	37
2.7 Précipitations journalières en mm pour la période 01.01.1995 - 31.01.1995 dans les bassins versants du Rhin . . . . .	43
2.8 Total des précipitations journalières en mm pour la période 21.01.-29.01.1995 dans les bassins versants du Rhin . . . . .	47
3.1a Valeurs principales des limnimètres sélectionnés dans le bassin rhénan . . . . .	54
3.1b Valeurs principales et maximales pour la période du 12/1993 au 2/1995 relevées par les limnimètres des bassins versants inférieurs du Rhin . . . . .	58
3.2 Valeurs de pointe du débit de crue mesurées par les limnimètres de Baden-Württemberg, classées en fonction de l'intensité . . . . .	59
3.3 Valeurs maximales et périodes de retour de crue 1993 et 1995 relevées par des limnimètres sélectionnés dans le bassin rhénan allemand . . . . .	60
3.4 Classification des valeurs maximales de crue entre 1880 et 1995 relevées par des limnimètres sélectionnés du Rhin et de la Moselle par ordre de débit (Q) et de niveau d'eau (W) (ordre 1 = valeur maximale) . . . . .	61
3.5 Les 12 plus forts débits de pointe relevés par le limnimètre de Cologne et leur ordre de classification pour les limnimètres de Cologne/Rhin et de Cochem/Moselle . . . . .	61
3.6 Les 9 débits de pointe les plus grands relevés par le limnimètre de Cologne depuis 1926 et les débits de ces ondes au-dessus des débits de base respectives . . . . .	63
3.7 Débits de différentes périodes de retour de crue dérivés des années (*) jusqu'à 1993 (1) respectivement jusqu'à 1995 (2) des limnimètres sélectionnés dans le bassin rhénan .	64
5.1 Le transport de sédiments en suspension dans les Rhin, Neckar, Main, Lahn et Moselle pour la période du 12.12.1993 au 12.01.1994 présenté comme valeurs moyennes annuelles . . . . .	74
5.2 Le transport de sédiments en suspension dans les Rhin, Neckar, Main, Lahn et Moselle pour la période de crue du 22.01. au 12.02.1995 présenté comme valeurs moyennes annuelles en comparaison avec la crue de 1993 . . . . .	75
5.3 Comparaison des données de la qualité de l'eau pendant la crue (1995) avec les valeurs de l'année normale (1992), Rhin (Mayance) . . . . .	82
5.4 Comparaison des données de la qualité de l'eau pendant la crue (1995) avec les valeurs de l'année normale (1992), Rhin (Bad Honnef) . . . . .	83
5.5 Transports additionnels de métaux lourds de la crue 1995 comparés au transport annuel de 1992 . . . . .	84
5.6 Transport de fluoranthènes et de sédiments en suspension pendant la période 1993-1995 à Lobith . . . . .	87
6.1 Aperçu des centres d'alerte et services des prévisions dans le bassin versant du Rhin. (Source: Commission internationale pour la protection du Rhin [CIPR] 1997) . . . . .	90
6.2 Services des prévisions et autorités dont relèvent le personnel aussi bien que les eaux pour lesquels les prévisions ont été établies . . . . .	92

## 1 EINLEITUNG

„Vor uns die Sintflut“, „mehr Jahrhunderthochwasser in den letzten 12 Jahren als in 120 Jahren davor“. – Auch ernstzunehmende Berichterstatter verfielen angesichts der jüngsten Rheinhochwasser auf solche Schlagzeilen. Unabhängig von den boulevard-journalistischen Übertreibungen ist es eine Tatsache, daß Perioden trockener Jahre mit Perioden nasser Jahre abwechseln. Die Aufzeichnungen aus Jahrhunderten bestätigen dies, und die letzten 25 Jahre passen da genau ins Bild. Nach Hochwassern im Februar und im Mai 1970 vergingen 12 Jahre, bis sich der Rhein 1983 mit abermals zwei Extrem-Hochwassern (in nur 7 Wochen Abstand) als Verursacher elementarer Gewalten zurückmeldete. Es begann eine Serie von Flutereignissen, die 1993/94 und 1995 mit den bereichsweise seit 60 bis 200 Jahren bedeutendsten Hochwasserscheiteln einen Höhepunkt erreichte.

Infolge der unterschiedlichen Reaktionen der Teileinzugsgebiete des Rheins und seiner sehr heterogenen meteorologischen Bedingungen treten Rheinhochwasser immer regional auf. Diese Tatsache wird in der Öffentlichkeit kaum zur Kenntnis genommen, was bei Ursachendiskussionen und Überlegungen zu eventuellen Situationsverbesserungen vielfach zu gravierenden Fehlschlüssen führt.

Der vorliegende Bericht behandelt im Gegensatz zu früheren Hochwasserbeschreibungen der KHR (HW 1983, HW 1988) nicht ein einzelnes Ereignis sondern den Zeitabschnitt von Dezember 1993 bis Februar 1995. In diesen 15 Monaten sind Hochwasser abgelaufen, deren Regionalität besonders eindrucksvoll deutlich wird. Eingerahmt von den weltweit beachteten Ereignissen im nördlichen Rheineinzugsgebiet im Dezember 1993/Januar 1994 und im Januar/Februar 1995 war das südliche Rheingebiet von drei weiteren Hochwassern betroffen (im April, Mai und Juni 1994). Herausragend war dabei das Mai-Ereignis am Hochrhein, wo am Pegel Basel der höchste Abfluß seit 110 Jahren beobachtet wurde.

## 1 INTRODUCTION

“Avant nous le déluge”, “d’avantage de crues dans ce siècle durant les 12 dernières années que dans les 120 précédentes”. – Même les journalistes les plus sérieux ont eu recours à de tels titres racoleurs lorsque confrontés à la dernière crue du Rhin. Indépendamment de ces exagérations journalistiques de journaux à sensations, il est de fait que les séquences d’années sèches font place à des séquences d’années à fortes précipitations. Les données de plusieurs siècles le confirment, et les dernières 25 années correspondent exactement à cette image. Après les crues de février et mai 1970, 12 années se sont écoulées avant qu’avec deux autres crues extrêmes (à 7 semaines d’intervalle seulement), le Rhin ne fasse à nouveau parler de lui en 1983 comme vecteur de forces naturelles. Une série de crues s’est alors amorcée atteignant son paroxysme en 1993/94 et 1995 avec des pointes de crue maximales les plus importantes en amplitude depuis 60 à 200 ans.

En conséquence des réactions différentes des bassins versants du Rhin et leurs conditions climatologiques très hétérogènes, la crue du Rhin est fortement marquée par un caractère régional. Ce fait n’est presque jamais rapporté au public, ce qui a maintes fois entraîné des conclusions dangereusement erronées lors des discussions sur les causes et lors des délibérations sur les moyens d’améliorer la situation.

Contrairement aux publications antérieures sur les crues du CHR (HW 1983, HW 1988), le présent rapport ne traite pas d’un seul événement mais de la période de décembre 1993 à février 1995. Des crues se sont écoulées dans ces 15 mois dont le caractère régional devient particulièrement évident. Encadrées par les crues dans le bassin versant nord du Rhin de décembre 1993/janvier 1994 et de janvier/février 1995, qui ont retenues l’attention mondiale, trois autres crues (en avril, mai et juin 1994) ont frappées le bassin rhénan. La plus importante crue est celle de mai dans le haut Rhin, où le limnimètre de Bâle indiquait le plus haut débit depuis 110 ans.



## 2 ENTSTEHUNG UND ABLAUF DER HOCHWASSER

Für die Entstehung von Hochwasser sind die aktuellen, kurzfristigen Witterungsmerkmale der Zeitspanne während eines Hochwassers bzw. unmittelbar davor von Bedeutung. Hochwasserauslösende Witterungsperioden haben im Rheingebiet eine charakteristische Dauer von mindestens einer Woche, häufig umfassen sie aber auch mehrwöchige Zeitspannen. Die hierbei vorherrschenden Wetterlagen können dem Katalog der Großwetterlagen zugeordnet werden.

Verantwortlich dafür, daß das durch eine aktuelle Großwetterlage ausgelöste Hochwasser ein außerordentliches Ereignis wird, ist das mittelfristige Wettergeschehen in dem vorangegangenen mehrmonatigen Zeitraum. Die Temperatur am Boden, die Regen- und Schneeverhältnisse sowie die Verdunstung sind maßgebende Faktoren, die zu analysieren sind. Vergleichsweise träge reagierende Boden- bzw. Bodenwasserverhältnisse und auch die Tatsache, daß etwa Schnee und Eis monatelang zwischengespeichert werden können und erst im Verlaufe des Hochwassers zum Abfluß beitragen, sind Gründe dafür, den Untersuchungszeitraum auf einen längeren vorausgegangenen Zeitbereich auszudehnen.

Die größte im Rahmen dieser Untersuchung betrachtete Dauer berührt bereits die Klimatologie. Die Einordnung des Wettergeschehens in den langfristigen klimatologischen Zeitrahmen ist für die umfassende Wertung von Hochwassern unerlässlich.

### 2.1 Übersicht über die meteorologische Entwicklung von August 1993 bis Februar 1995 [1]

Das flächendeckende Niederschlagsmeßnetz wurde in Deutschland in den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts eingerichtet. Trotz der bewegten Geschichte Mitteleuropas in der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts können heute von mindestens 300 Stationen im gesamten Einzugsgebiet des Rheins homogene, 100-jährige Reihen der monatlichen Niederschlagssummen gebildet werden. Als Stichprobe für die nachfolgenden klimatologischempirischen Untersuchungen wurden aus dieser Datensammlung insgesamt 51 Stationen/Reihen aus Deutschland, der Schweiz, Frankreich und den Niederlanden ausgewählt.

Eine genaue Analyse der natürlichen Ursachen von Hochwassern muß die Größen

- Niederschlagsintensität
- Art des Niederschlags
- zeitliche Verteilung der Niederschläge
- örtliche Verteilung der Niederschläge
- Jahreszeit
- Witterungsverlauf des vorangegangenen Zeitraumes im einzelnen berücksichtigen. Im folgenden soll in einer Zusammenschau auf einige Merkmale dieser Größen eingegangen werden, soweit sie zur Entstehung der Rheinhochwasser in den Jahren 1993, 1994 und 1995 beigetragen haben.

Aufgrund der erheblichen räumlichen Ausdehnung des Rheineinzugsgebietes und der unterschiedlichen geografischen Ausrichtung und Höhe der Teileinzugsgebiete ist nicht zu erwarten, daß alle genannten Witterungsgrößen für Hochwasserereignisse in gleicher Weise von Bedeutung sind. Denkbar sind unterschiedliche Kombinationen in der Priorität dieser Größen mit der Folge, daß jedes Rheinhochwasser hinsichtlich seiner Genese nahezu einzigartig ist. Die verschiedenen Ereignisse, die in dem untersuchten Zeitraum im Rhein eintraten, sind hierfür Beispiele. Sie sind nicht als Ausnahmen zu betrachten.

Die in den 19 Monaten von August 1993 bis Februar 1995 eingetretenen drei außerordentlichen Rheinhochwasser (Dez. 1993, Mai 1994 und Jan./Feb. 1995) weisen hinsichtlich ihrer witterungsbedingten Ursachen sowohl Parallelitäten als auch Unterschiede auf. In **Abb. 2.1** sind für den untersuchten Zeitraum für 4 Teileinzugsgebiete die täglichen, langfristig gemittelten monatlichen und die aktuellen monatlichen Gebietsniederschläge im Überblick graphisch dargestellt. In Anlehnung an die Vorgehensweise der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes wurden 19 Teileinzugsgebiete gewählt. Für jedes dieser Gebiete sind auf der Grundlage der Stationswerte arithmetisch die täglichen und monatlichen Gebietsmittel berechnet. Stellvertretend für die südlichen Regionen steht das Teileinzugsgebiet "westlicher Hochrhein und südlicher Oberrhein", das sowohl die Einzugsgebiete der schweizerischen Zuflüsse zwischen der Aaremündung und Basel ein-

bezieht als auch die des südlichen Schwarzwaldes. Das Einzugsgebiet des Mains repräsentiert den östlichen Teil, die Saar steht für den westlichen und der Mittel- und Niederrhein bilden den nördlichen Teil des Rheineinzugsgebietes.

Im zeitlichen Verlauf der täglichen Gebietsniederschläge ragen die Regenfälle, die das Hochwasser im Dez. 1993, Mai 1994 und Jan. 1995 auslösten, heraus. Besonders deutlich ist dies an den Spitzen in den Niederschlagskurven der **Abb. 2.1** zu erkennen. Das Hochwasser im Dez. 1993 entstand hauptsächlich in dem breiten, mittleren Teil des Rheineinzugsgebietes, deren Gewässer zu Saar, Mosel, Nahe und Main hin entwässern. Während im Einzugsgebiet von Saar und Main binnen 24 Stunden bis zu 50 mm Niederschlag im Gebietsmittel fielen und diese Niederschläge somit ihre Zeitreihen dominieren, wurden nördlich und südlich davon wesentlich kleinere tägliche Werte gemessen, die dort nicht die Spitzenstellungen in ihren Reihen einnehmen.

Das Rheinhochwasser im Mai 1994 hatte ausgesprochen lokale Bedeutung. Ergiebige Niederschläge im nordwestlichen Teil der Schweiz am 28.05.1994 erklären die Spitze in der Kurve der täglichen Niederschläge zu diesem Zeitpunkt im Gebiet "westlicher Hochrhein und südlicher Oberrhein". In den übrigen, nördlich gelegenen Teileinzugsgebieten wurden keine größeren Niederschläge gemessen. Bemerkenswert ist im Fall dieses Hochwassers, daß in dem betroffenen Teileinzugsgebiet am Oberrhein der aktuelle Gebietsniederschlag des Monats Mai 1995 nur im Bereich des langfristig mittleren Gebietsniederschlags lag.

Wie beim Hochwasser im Dez. 1993 hatte auch das Hochwasser im Jan./Febr. 1995 seine Ursprünge hauptsächlich in den Mittelgebirgsregionen von unterer Mosel, Saar, Nahe, Main und Sieg. Die täglichen Spitzenniederschläge in der Entstehungsphase dieses Hochwassers erreichten hier fast gleich hohe Werte wie im Dez. 1993 (**Abb. 2.1**). In allen Regionen wurden im Jan. 1995 aktuelle monatliche Gebietsniederschläge gemessen, die das Doppelte bis Dreifache der Menge betragen, die sich langfristig als Mittel des Zeitraumes 1961-90 für den Monat Januar ergeben. Somit bestehen Parallelitäten in den monatlichen Niederschlägen der Monate Dez. 1993 und Jan. 1995.

Beim ersten Blick kann das monatliche Niederschlagsverhalten des untersuchten Zeitraumes im klimatologischen Sinne als normal bezeichnet werden. Nahezu gleich oft haben die aktuellen monatlichen Gebietsniederschläge dieses Zeitraumes die mittleren monatlichen Niederschläge der vorangegangenen Klimaperiode überschritten bzw. unterschritten. Bei näherer Analyse ist jedoch festzustellen, daß die monatlichen Niederschläge in den Wintermonaten fast immer zu naß waren (und somit hohe Bodenwasservorräte schufen) und die Sommer vergleichsweise zu trocken ausfielen.

Die zeitliche Entwicklung der Schneedeckenhöhe im Zeitraum von August 1993 bis Februar 1995 für 4 ausgewählte Stationen geht aus **Abb. 2.2** hervor. Lediglich in den höher gelegenen Regionen der Mittelgebirge ( $h \geq \text{NN} + 500 \text{ m}$ ) bauten sich im Dez. 1993 bzw. Jan. 1995 beträchtliche Schneedecken auf. Diese schmolzen während der hochwasserauslösenden zyklonalen Wetterlagen. Schmelzwasser lieferte somit ebenfalls einen Beitrag zur Entstehung dieser beiden außerordentlichen Rheinhochwasser.

## **2.2 Die Hochwasserereignisse im Einzelnen**

Eingebettet in die meteorologische Entwicklung über Mitteleuropa entstanden in den verschiedenen Teileinzugsgebieten des Rheins nach Charakter und Ausdehnung sehr unterschiedliche Hochwasserereignisse, wobei an vielen Pegeln neue Extreme auftraten sowohl hinsichtlich der Größe der Abflüsse wie auch in den Anstiegsgradienten der Wellen.

### **2.2.1 Das Hochwasser 1993/94 (Weihnachtshochwasser) [2], [3], [4]**

Dieses Ereignis betraf vor allem das nördliche Rheingebiet und war begleitet von Hochwasserereignissen in Nordfrankreich und den Benelux-Staaten. So wurden unter anderem auch im Maasgebiet erhebliche Überschwemmungsschäden registriert.

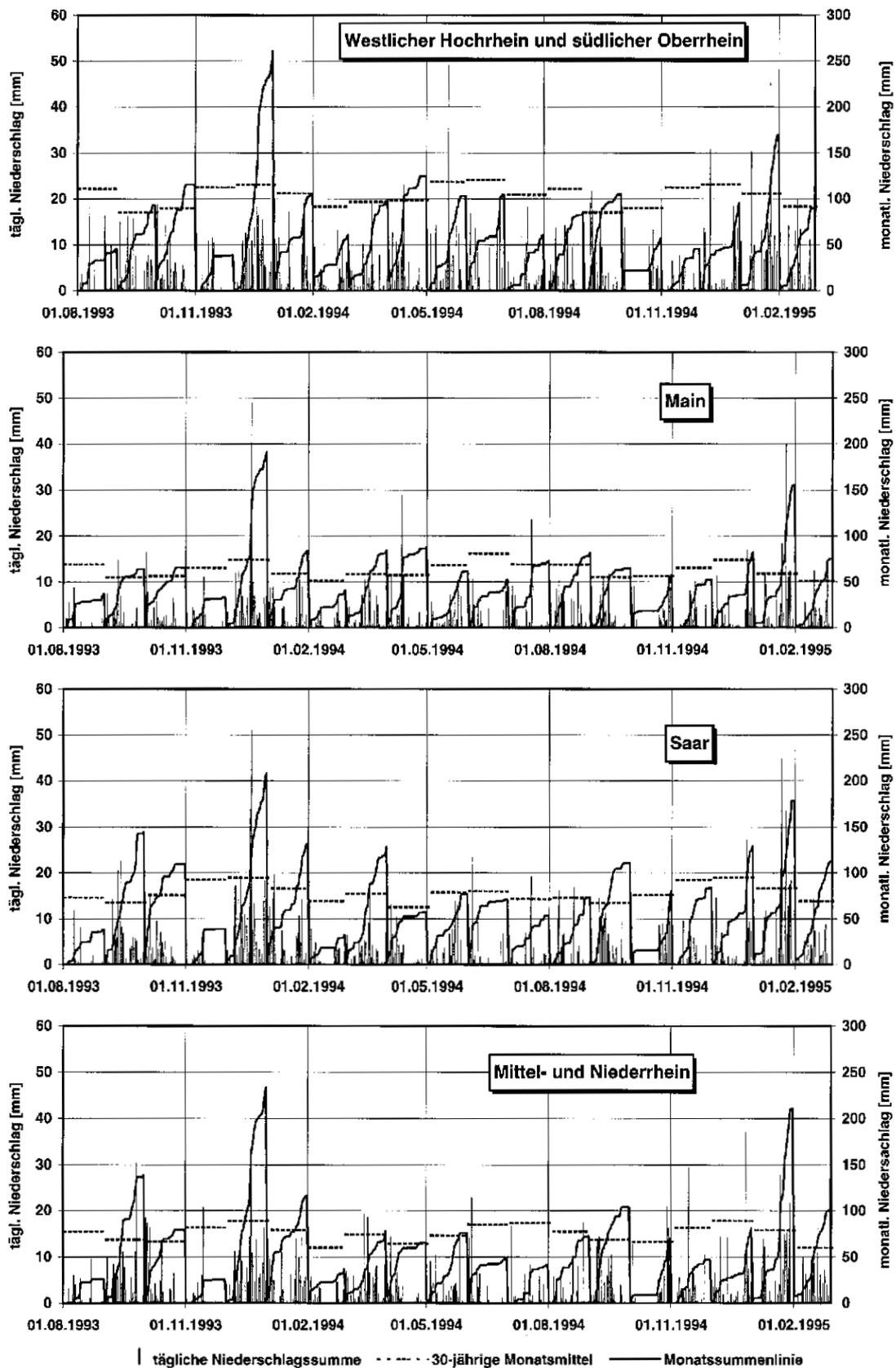


Abb. 2.1 Tägliche Gebietsniederschläge, langfristig gemittelte monatliche und aktuelle monatliche Gebietsniederschläge für 4 ausgewählte Teileinzugsgebiete des Rheins für den Zeitraum vom 01.08.1993 - 28.02.1995. Datenquelle: DWD

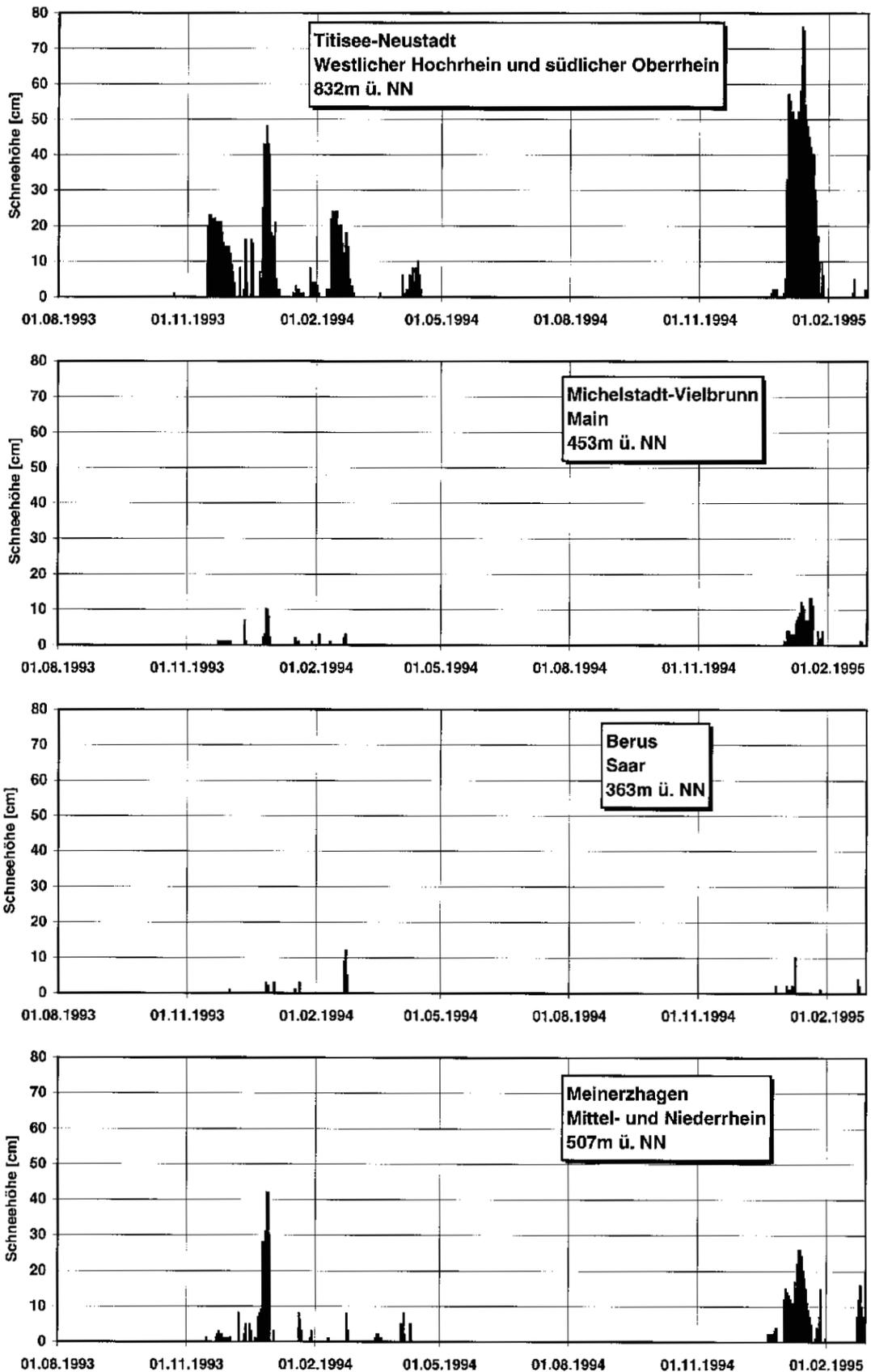


Abb. 2.2 Tägliche Schneehöhen an 4 ausgewählten Stationen des Rheingebiets im Zeitraum 01.08.1993 bis 28.02.1995. Datenquelle: DWD

### 2.2.1.1 Das Wettergeschehen im Dezember 1993

Die **Abbildungen 2.3** veranschaulichen den Witterungsverlauf vom 01.12.1993 - 10.01.1994 an den vier deutschen Klimahauptstationen Essen/Ruhr, Trier-Petrisberg, Nürnberg und Stuttgart. Für alle Stationen sind folgende Parameter dargestellt:

- Vorhandene Schneehöhe,
- täglicher Niederschlag,
- Lufttemperatur und Luftdruck am Boden.

Für die Stationen Essen und Stuttgart wurde noch der Wind am Boden und der Wind im 500 hPa Niveau hinzugenommen. Weiterhin sind in den 4 Abbildungen die Kurzbezeichnungen der Witterungsabfolge nach dem Typus der Großwetterlage aufgeführt.

Zu Beginn des Monats Dezember 1993 setzte sich im Rheingebiet die seit Mitte November vorherrschende winterliche Hochdruckwetterlage fest, die bis zum 07.12.1993 anhielt. Im Witterungszeitraum dieser "antizyklonalen Westlage" kam es vereinzelt zu unergiebigem Schnee- und Regenfällen. Während am 1./2.12. noch russische Festlandsluft dominierte und an allen hier dargestellten Stationen noch Frost herrschte, wurde am 3./4.12. bereits erwärmte grönländische Polarluft nach Mitteleuropa geführt, die ihrerseits am 5./6.12. von atlantischer Tropikluft verdrängt wurde. Gegen Ende dieser antizyklonalen Witterungsperiode mit westlichen Winden schwankten die Lufttemperaturen im Rheingebiet zwischen 3° und 6°C.

Die erneute Umstellung der großräumigen Witterung von Hochdruck auf eine Tiefdruckwetterlage erfolgte am 07.12. Diese "zyklonale Westlage" dominierte das Wettergeschehen bis zum 24.12.1993. Sie ist ihrerseits in 2 unterschiedlich lange Witterungsabschnitte zu unterteilen, die vom 07. - 18.12. bzw. vom 19. - 24.12. andauerten. Zu Beginn des 1. Zeitraumes (7. - 18.12.) überquerten mit stürmischer westlicher Strömung (siehe Höhenwind im 500 hPa Niveau an den Stationen Essen und Stuttgart, **Abb. 2.3a und 2.3c**) mehrere Fronten atlantischer Tiefdruckgebiete, später Randtiefs eines umfangreichen Tiefdrucksystems über dem Nordmeer, Deutschland. Dadurch wurden in raschem Wechsel unterschiedlich warme maritime Luftmassen ins Rheingebiet geführt, wobei die grönländische Polarluft dominierte. Ausgenommen am 18.12. fielen an fast allen Stationen täglich Niederschläge, die teilweise aufgrund ihrer großen Intensität bereits als Starkniederschläge bezeichnet werden können. **Abbildung 2.4a** zeigt die räumliche Verteilung der Niederschlagssummen des Zeitraumes vom 07. - 18.12.1993 im Einzugsgebiet des Rheins, **Abb. 2.3b** die der prozentualen Abweichungen des Niederschlags dieses 12-tägigen Zeitraumes vom vieljährig gemittelten Dezemberniederschlag. Man erkennt, (**Abb. 2.4a**) daß in großen Teilen der Einzugsgebiete von Mosel, Saar, Schwarzwaldflüssen, Sieg und Ruhr bereits flächendeckend Niederschlagssummen über 100 mm registriert wurden. Hingegen waren die Niederschläge im Rheintal, in der Schweiz und im Maingebiet bei weitem nicht so ergiebig. In diesen Regionen betragen die 12-tägigen Niederschlagssummen maximal nur 50 mm.

Wichtigste Information der **Abb. 2.4b** ist, daß im gesamten Rheingebiet (mit Ausnahme der Mainquellgebiete in Franken) im Flächenband nördlich von Freiburg i. Br. (48°N) und südlich von Koblenz (50,4°N) während der regenreichen Periode zwischen dem 07. - 18.12.1993 bereits über 100% des mittleren Dezemberniederschlags gemessen wurden. In der Eifel, in den Quellgebieten der Saar, der Rhein Nebenflüsse aus den Vogesen und der Nebenflüsse des Neckars (Kocher und Jagst) sowie im Hochschwarzwald erreichten die Niederschlagssummen dieses Zeitraumes bereits zwischen 150 - 200% der mittleren Dezemberniederschläge. Schnee (bis 10 cm) wurde lediglich in den Gipfeln der Mittelgebirge gemessen. Durch die milde Witterung schmolz er größtenteils auch in diesem Zeitraum wieder ab.

Aufgrund der verbreiteten Starkniederschläge und z. T. auch durch die Schneeschmelze in den höheren Lagen der Mittelgebirgsregionen war schon am Ende der ersten Niederschlagsperiode (18.12.) die Wasseraufnahmekapazität der Böden weitgehend erschöpft. Der 18. Dezember war an zahlreichen Stationen der einzige Tag ohne Regen zwischen zwei regenreichen Niederschlagsperioden.

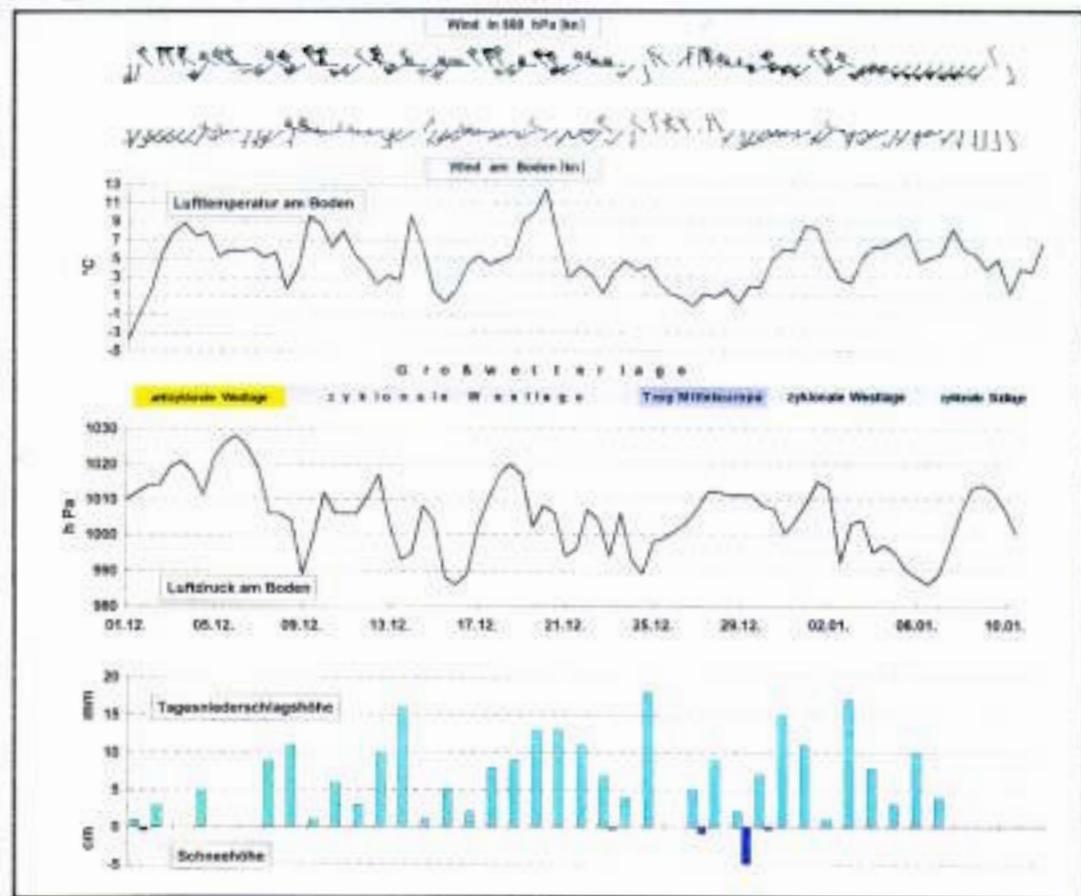


Abb. 2.3a Witterungsverlauf: Station Essen/Ruhr 01.12.1993 - 10.01.1994 (Quelle: DWD)

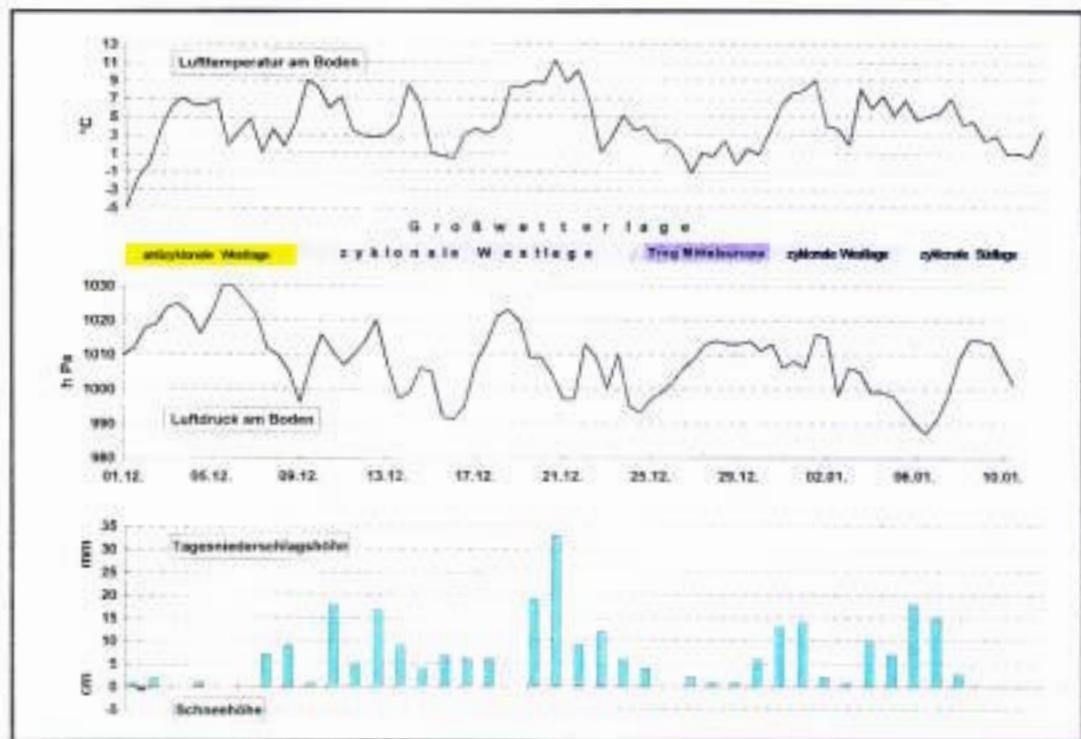


Abb. 2.3b Witterungsverlauf: Station Trier-Petrisberg 01.12.1993 - 10.01.1994 (Quelle: DWD)

Zwischen dem 18. - 21.12.1993 wurden die verschiedenen Teile des Rheingebietes nacheinander von feuchtwarmer atlantischer Tropikluft erfaßt. Die Lufttemperaturen stiegen während dieser

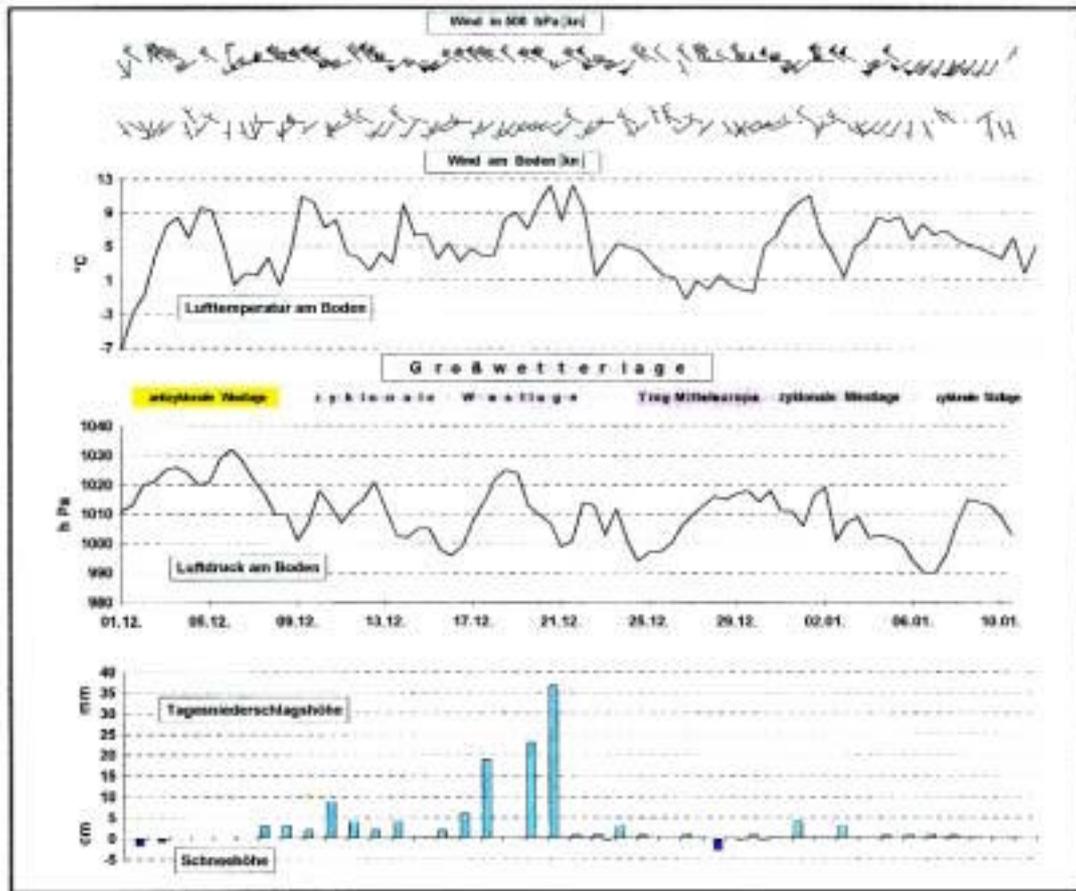


Abb. 2.3c Witterungsverlauf: Station Stuttgart 01.12.1993 - 10.01.1994 (Quelle: DWD)

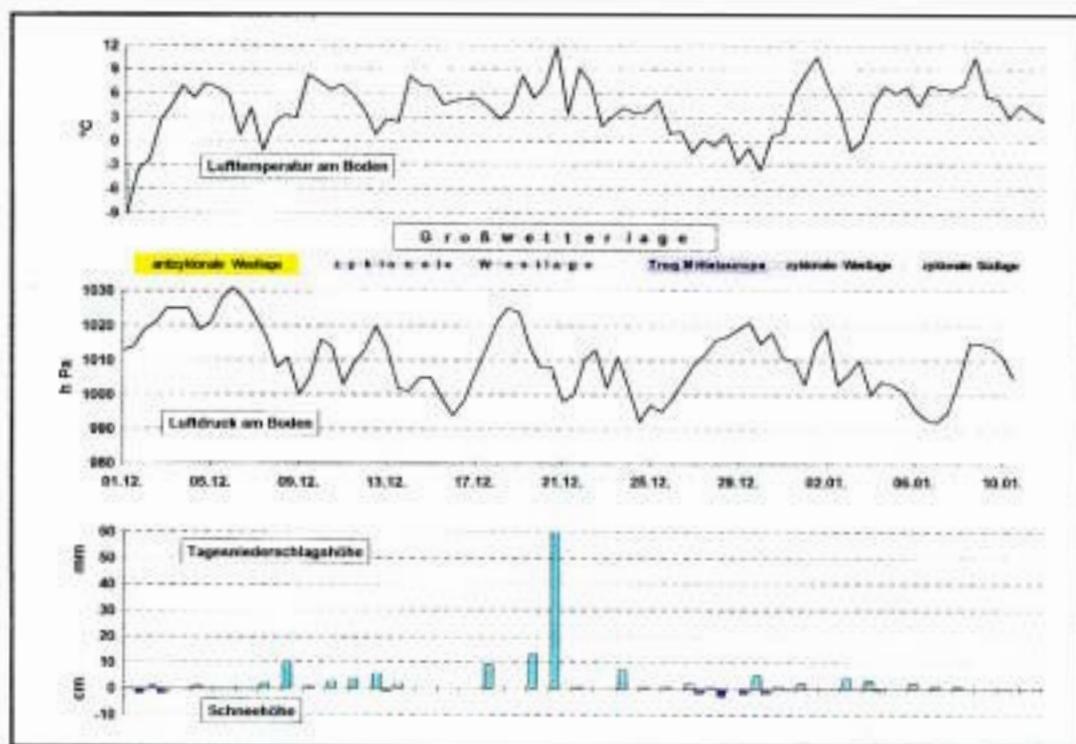


Abb. 2.3d Witterungsverlauf: Station Nürnberg 01.12.1993 - 10.01.1994 (Quelle: DWD)

Zeitspanne in den Stationen der niedrigen und mittleren Lagen maximal auf über 10°C an. An den Stationen Essen/Ruhr und Stuttgart (Abb. 2.3a und 2.3c) wurden am Boden sogar Maximalwerte

bis 13°C gemessen. In dieser für die Jahreszeit ungewöhnlich milden Witterungsphase fielen erneut außerordentlich starke Niederschläge, die in ihrer Summe am 19. und 20.12.1993 wiederum flächenhaft die 100 mm Grenze überschritten (Freudenstadt: 188 mm)!

Die **Abbildungen 2.4c und 2.4d** zeigen die räumlichen Verteilungen der 2-tägigen Niederschlagssummen vom 19. - 20.12. und ihre prozentuale Abweichung von den vieljährigen mittleren Dezemberniederschlägen des Zeitraumes 1951 - 80. Anhand der Niederschlagsverteilung in **Abb. 2.4c** erkennt man, daß die Zentren der Starkniederschläge in den Einzugsgebieten von Saar, Nahe und Neckar sowie im Hochschwarzwald lagen. Abgesehen vom Schwarzwald ist somit festzustellen, daß sich die Zone der größten 48-stündigen Niederschlagsintensitäten auf den engen (ca. 110 km breiten) Streifen zwischen 49° - 50° nördlicher Breite erstreckte. Diese enormen 48-stündigen Starkniederschläge an Mosel, Saar, Nahe und unterem Neckar sind die eigentlichen Auslöser der Scheitelwasserstände während des Rheinhochwassers vom Dez. 1993. Hier fielen in diesen 2 Tagen annähernd noch einmal die Niederschlagssummen, die bereits in der vorangegangenen regenreichen Phase vom 07. -18.12. zum Niederschlag gekommen waren. Anhand der prozentualen Verteilung in **Abb. 2.3d** erkennt man, daß allein die Niederschlagsintensitäten vom 19. - 20.12. in den oben genannten Regionen bereits über 100% der vieljährig gemittelten Dezemberniederschläge erbrachten. In **Tab. 2.2** sind für die Teileinzugsgebiete des Rheins die ermittelten Gebietsniederschlagssummen für die beiden Zeiträume vom 07. -18.12. bzw. 19. - 20.12.1993 aufgeführt.

Für einige Stationen im deutschen Einzugsgebiet des Rheins, für die mindestens eine 30jährige Meßreihe existiert, wurden die 48-stündigen Niederschlagsintensitäten vom 19. - 20.12 einer statistischen Analyse unterzogen. [10]. **Abbildung 2.5** zeigt, welche mittleren Wiederkehrzeiten diese Niederschläge aufweisen. An zahlreichen Stationen in den Quellgebieten von Saar, Nahe und Main sowie am unteren Neckar erreichten die Intensitäten vom 19. - 20.12. mittlere Wiederkehrzeiten, die 200 Jahre überschreiten. Diese "Jahrhundertniederschläge" sind, wie schon oben festgehalten, auf den Sektor des Rheineinzugsgebietes zwischen dem 49° - 50° nördlicher Breite konzentriert. Nördlich und südlich dieses Bandes können die 48-stündigen Niederschlagsintensitäten nicht mehr als extrem bezeichnet werden. Mit zunehmendem Abstand von dieser regenreichsten Zone nehmen auch die Jährlichkeiten der Niederschläge ab.

*Tab. 2.2 Summe der Gebietsniederschläge für die Perioden vom 7. bis 18.12. und vom 19. bis 20.12.93 sowie für das Dezembermittel 1951/80 (Quelle: Daten der Wetterdienste der Schweiz, Frankreichs, der Niederlande und des DWD)*

Gebiet	Fläche km <sup>2</sup>	$\bar{N}$ 1951-1980 [mm]	N 07.-18.12.-1993 [mm]	$N/\bar{N}$ %	N 19.-20.12.-1993 [mm]	$N/\bar{N}$ %
1	2	3	4	5 = 4/3	6	7 = 6/3
Alpenrhein	6.406	74	54	73	10	14
Bodensee und östl. Hochrhein	9.990	77	65	84	24	31
Aare	17.883	84	63	75	23	27
westl. Hochrhein - südl. Oberrhein	7.388	84	75	89	33	39
Ill	4.719	49	71	145	34	69
mittl. Oberrhein	8.424	68	89	131	64	94
Neckar	13.958	68	88	130	68	100
nördl. Oberrhein - Mittel- rhein	4.317	51	57	112	51	100
Main	27.057	69	67	97	63	91
Nahe	4.077	66	87	132	64	97
franz. Obermosel	11.628	64	86	134	49	77
Sauer	4.550	89	111	125	43	48
Saar	7.446	83	105	127	78	94
Mittel- und Untermosel	5.024	74	99	134	55	74
Lahn	6.158	76	81	107	48	63
Mittelrhein - Niederrhein	10.347	81	69	85	40	49
Ruhr	4.532	107	99	93	31	29
Lippe u. Emscher	6.940	73	67	92	20	27
Niederrhein - Nordsee	28.629	78	68	87	11	14
	$\Sigma = 18.9473$	$\bar{\emptyset} = 74$	$\bar{\emptyset} = 77$	$\bar{\emptyset} = 105$	$\bar{\emptyset} = 42$	$\bar{\emptyset} = 59$

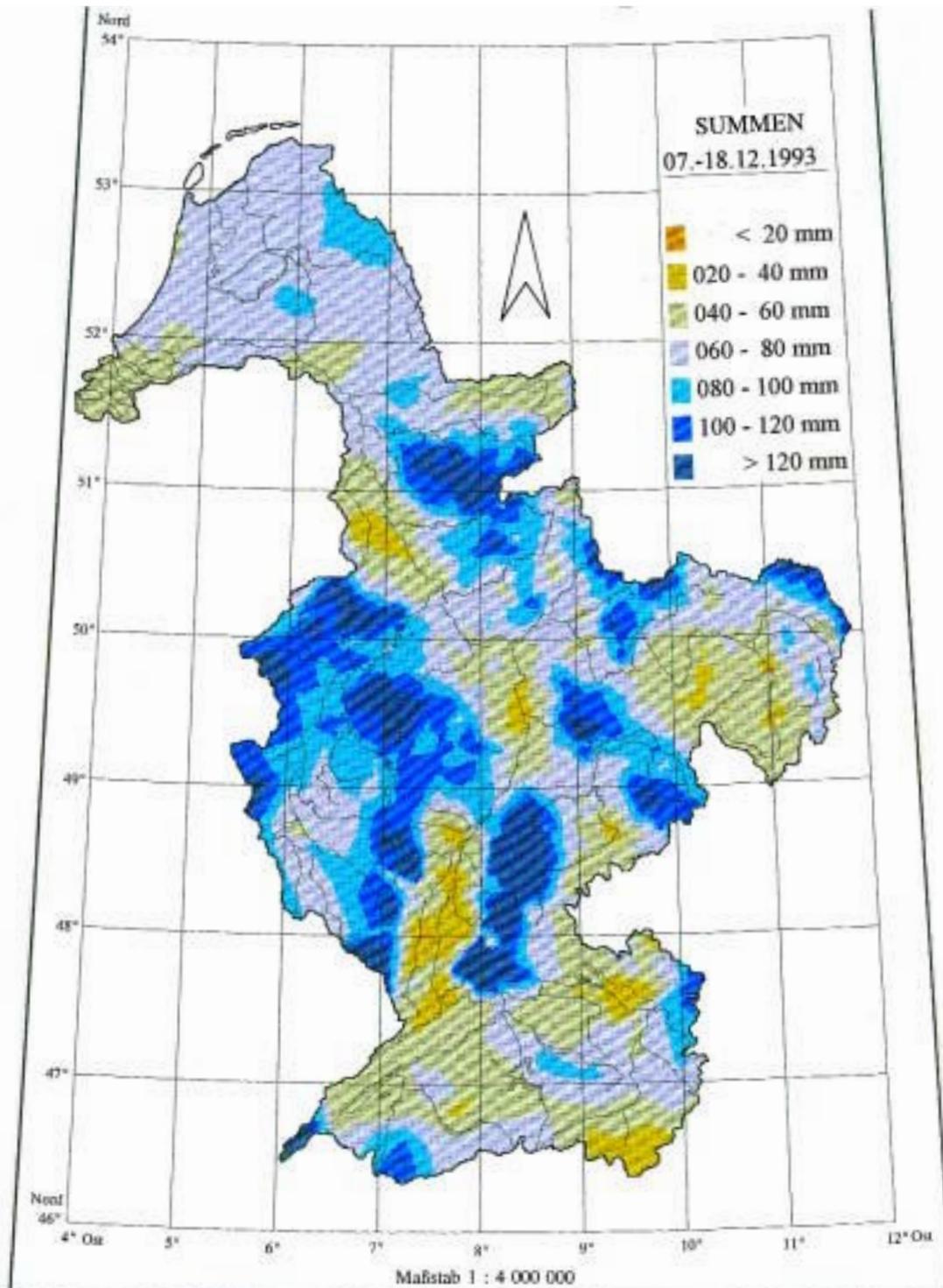


Abb. 2.4a Verteilung der Niederschlagssummen (in mm) vom 07.-18.12.1993 (Quelle: DWD)

Aufgrund weiterer Tiefdrucktätigkeit in Mitteleuropa, die bis in den Januar 1994 anhielt (Abb. 2.3), setzte sich die niederschlagsreiche Witterung bis zum 07.01.1994 fort. Insbesondere in den nordöstlichen Einzugsgebieten des Rheins (z. B. an der Sieg und an der Ruhr) wurden ergiebige Regen gemessen (siehe Station Essen, Abb. 2.3a). Anfang Januar wurde erneut eine Hochwasserwelle an zahlreichen Nebenflüssen ausgelöst. Da jedoch die Scheitelwasserstände an den Rheinpegeln im Verlaufe der 2. Welle wesentlich unter denen der Hochwasserstände im Dezember blieben, wird hier auf eine weitere Wetteranalyse verzichtet.

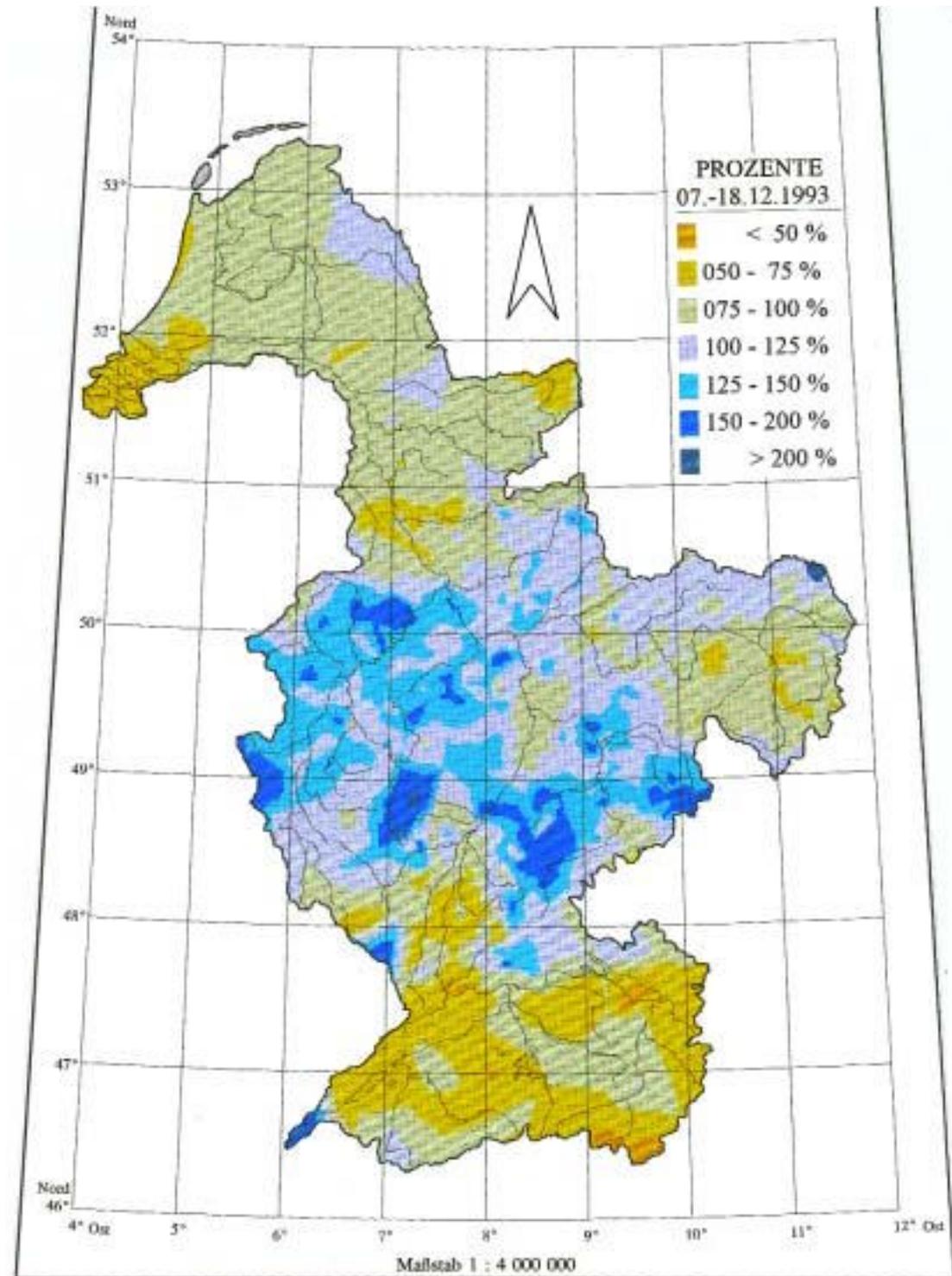


Abb. 2.4b Verteilung der prozentualen Abweichungen der Niederschlagssummen vom 07.-18.12.1993 vom vieljährig gemittelten Dezemberniederschlag (Quelle: DWD)

### 2.2.1.2 Der Ablauf des Hochwassers 1993/94

Entsprechend den geschilderten Witterungsbedingungen ergaben sich vor allem Abflußwellen in den Flüssen Neckar, Main, Nahe und Mosel sowie in den Moselzuflüssen Sauer und Saar. Der Rhein war demzufolge erst unterhalb der Neckarmündung von einem nennenswerten Hochwasser betroffen. Es wurde jedoch erst unterhalb der Nahemündung zu einem herausragenden Ereignis. Schließlich hat der Anteil der Mosel Rekordmarken im Rhein erzeugt, wobei die Mosel selbst ab der Einmündung der Saar vom größten Abfluß in diesem Bereich und diesem Jahrhundert betroffen war.

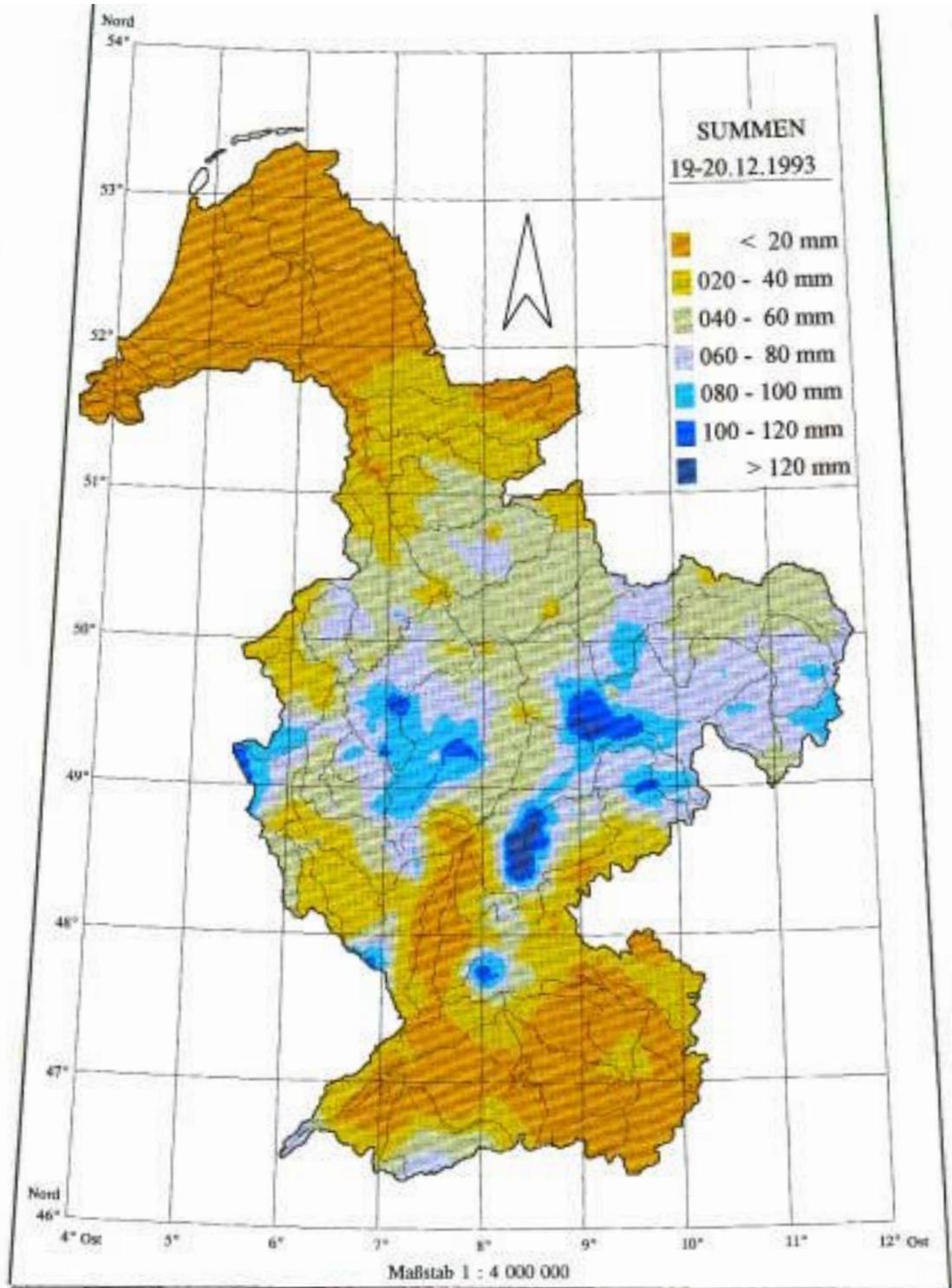


Abb. 2.4c Verteilung der Niederschlagssummen (in mm) vom 19.-20.12.1993 (Quelle: DWD)

Das Hochwasser 1993/94 ist in zwei Wellen abgelaufen, die hydrologisch abhängig sind. In der Regel stellen die Scheitelwerte der ersten Anschwellung (Weihnachtshochwasser) die größten Abflüsse. So kommt dem Scheitel der Erstwelle in Andernach eine Jährlichkeit von ca. 50-35 Jahren zu, dem Scheitel der Nachwelle lediglich eine solche von ca. 5 Jahren. Höhere Abflüsse als zur Weihnachtszeit sind nur im Ruhrgebiet entstanden. Dort ergab sich ein Scheitelabfluß am 01.01.1994, der mit  $910 \text{ m}^3/\text{s}$  nahezu 80% größer war als im Dezember 1993 und mit 20 - 30jähriger Wiederkehrzeit anzusetzen ist.

Nachdem im Vorfeld des Hochwassers – in der ersten Dezemberdekade – einerseits die Porenräume des Bodens aufgefüllt und andererseits in den Flüssen Wasserstände zum Teil weit über

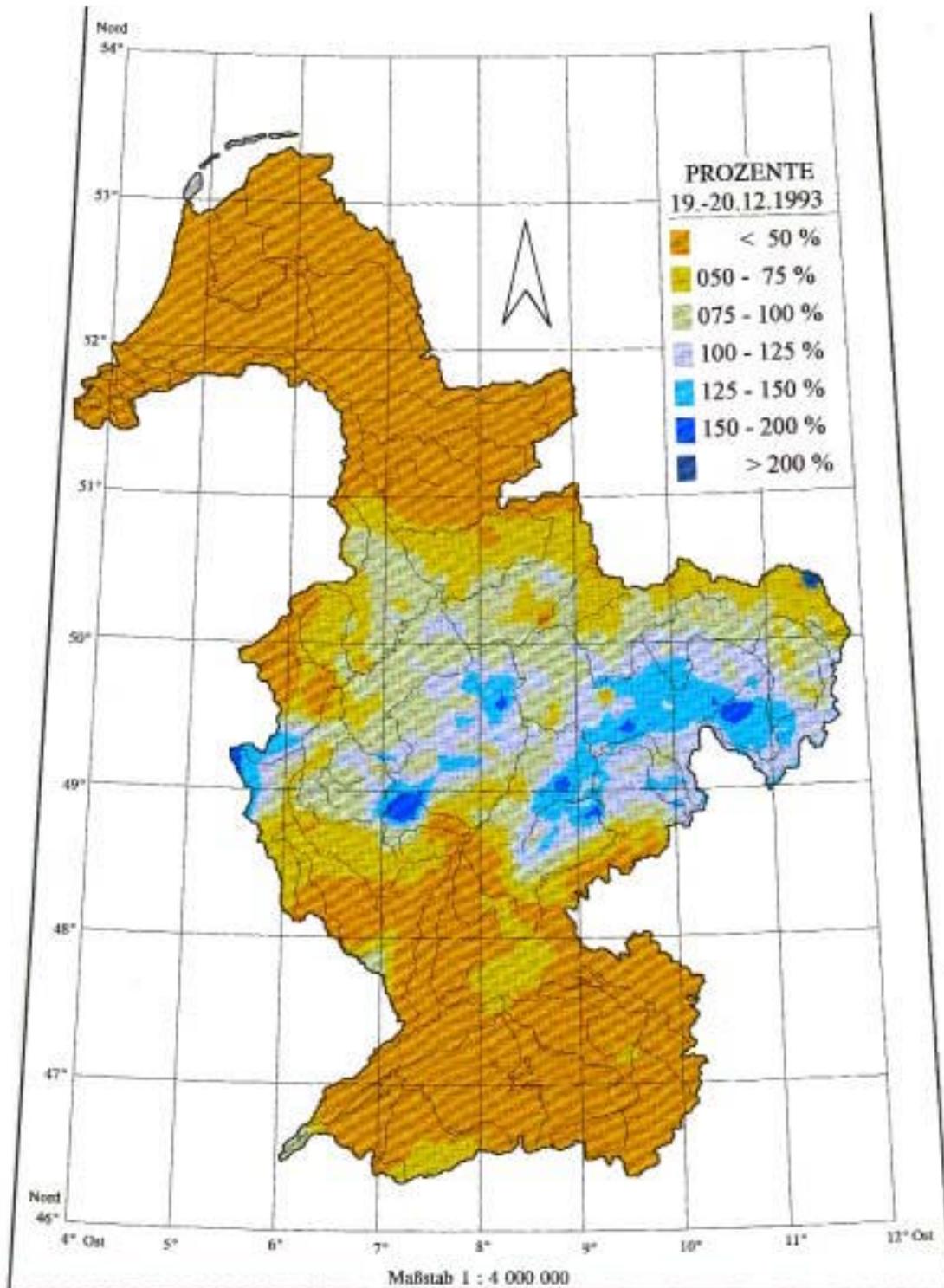


Abb. 2.4d Verteilung der prozentualen Abweichungen der Niederschlagssummen vom 19.-20.12.1993 vom vieljährig gemittelten Dezemberriederschlag (Quelle: DWD)

Mittelwasser erzeugt worden waren, begann ab dem 16.12. allgemein das eigentliche Hochwasser. Aus dem mittleren Abfluß in Rheinfeldern baute sich bis Maxau eine Welle mit einem Scheitelabfluß von  $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$  auf, mit dem etwa alle zwei Jahre zu rechnen ist. Im Neckar begann etwa zeitgleich mit dem Rhein eine Anschwellung, die mit einem Spitzenanstieg von mehr als  $350 \text{ cm}$  in 24 Stunden  $61 \text{ km}$  oberhalb der Mündung zu einem 50jährigen Scheitel mit  $2.400 \text{ m}^3/\text{s}$  aufstieg. An der Mündung erreichte der Maximalabfluß  $2.720 \text{ m}^3/\text{s}$ ; das ist der höchste Abfluß seit 1882/83. Die Addition von Neckar- und Oberrheinwelle führte dann unterhalb der Neckarmündung zu 20-10jährigen Scheitelwerten im Rhein. Rückhaltungen in den von Sommerdeichen umschlossenen Poldern zwischen Neckar- und Mainmündung brachten leichte Abminderungen der Höchstabflüsse, so daß auch

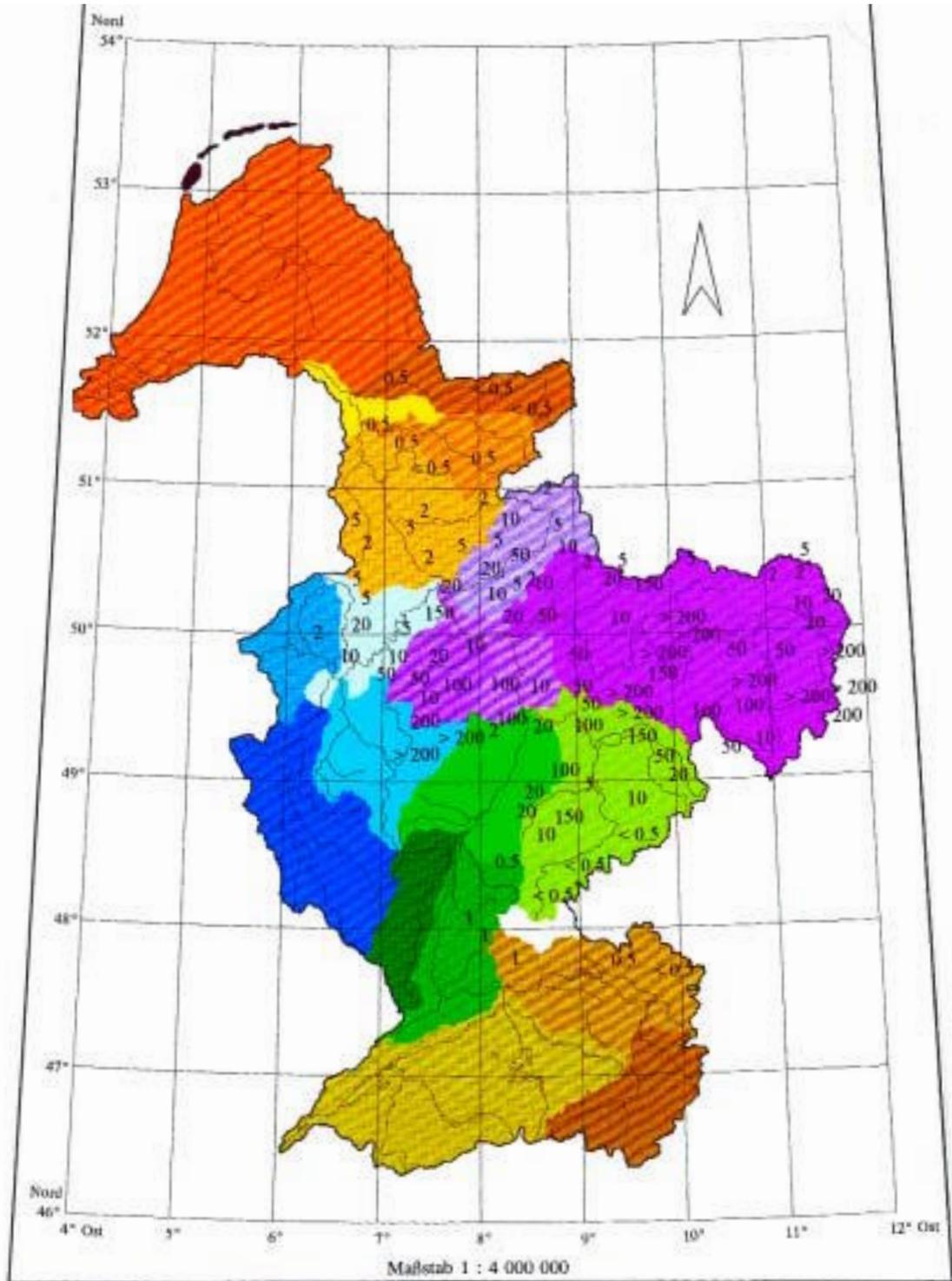


Abb. 2.5 Wiederkehrzeiten der zweitägigen Niederschlagsintensitäten vom 19.-20.12.1993 (Quelle: DWD)

nach dem Zustrom des Mains die Jährlichkeit des Rheinscheitels 10 Jahre nicht überstieg. Eine Aufhöhung der Rheinwelle durch die Nahe um rund  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$  setzte die Eintrittswahrscheinlichkeit des Scheitelabflusses in Kaub auf ca. 30 Jahre herauf. In Koblenz trafen die Scheitel von Rhein und Mosel mit nur geringer zeitlicher Versetzung aufeinander, d. h., die Moselwelle lief der Rheinwelle etwas voraus.

Der mit nahezu  $4.200 \text{ m}^3/\text{s}$  größte Abfluß der Mosel seit Beginn der regelmäßigen Beobachtungen im Jahre 1817 erzeugte auch im Rhein eine Welle, die in diesem Jahrhundert nur einmal (1926) übertroffen war. In Köln war sie schließlich so hoch und lang andauernd, daß die mobile Hochwasser-

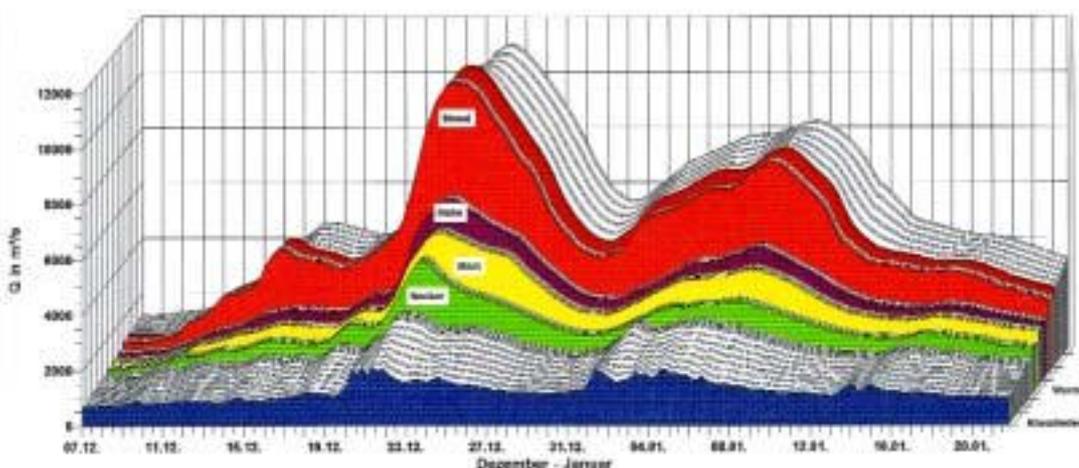
schutzwand vor der dortigen Altstadt rund 70 Stunden lang unter Wasser lag. Wenige Kilometer unterhalb von Köln beginnen großzöglich dimensionierte Schutzdeiche, die Überflutungen und daraus resultierende Schäden flußabwärts weitgehend verhindert haben. Insgesamt liegen hier rund 640 km<sup>2</sup> hinter den "Banndeichen" unter dem Niveau eines mehrhundertjährigen Bemessungshochwassers.

Die Mosel hat das Hochwasser hauptsächlich aus den nördlichen Einzugsgebieten sowie aus der Saar bezogen. Noch an der französischdeutschen Grenze (Pegel Perl) war der Abflussscheitel lediglich von 10jähriger Wiederkehrhäufigkeit. Die zeitgleich eintreffenden Zuflüsse aus der Sauer (höchster Abfluß seit Beobachtungsbeginn) und Saar (höchster Abfluß seit 25 Jahren) ließen die Jährlichkeit des Wellenscheitels ab Trier auf 80 Jahre ansteigen. Dabei war besonders bemerkenswert, mit welcher Schnelligkeit sich die Wasserstandsanstiege vollzogen. Trotz guter Vorhersagen der zu erwartenden Wasserstände und intensiver Verbreitung derselben wurden viele Flußanlieger von den rapiden Anstiegen überrascht.

Den Hochwasserwellenablauf zwischen dem 11. Dezember 1993 und dem 14. Januar 1994 zeigen die **Abb. 2.6** für den Rhein von Rheinfelden bis zur deutschniederländischen Grenze und die **Abb. 2.7** für die Mosel von der französischdeutschen Grenze bis zur Mündung in Koblenz. Die Grafiken sind für Abflüsse erstellt und lassen deutlich die Abflußsprünge im Rhein bei Koblenz durch die Mosel sowie oberhalb Trier in der Mosel durch Sauer und Saar und damit die Bereiche außergewöhnlichen Hochwassers erkennen.

Die unmittelbare Erfahrung von Hochwasser geschieht nicht über Abflüsse, sondern aus den Wasserständen. In **Abb. 2.8** sind für die wichtigsten Rhein- und einige Nebenflußpegel die Wasserstandsganglinien übereinandergezeichnet. Dabei entsteht ein geschlosseneres Bild als bei der Auftragung der Abflüsse, d. h., die Abflußschwankungen sind in vielen Fällen deutlicher als die Bewegungen der Wasserstände und sie entwickeln sich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Pegeln in der Regel sprunghaft. Sehr deutlich wird aber auch hier, wie das Hochwasser stromab gewachsen ist. Beeindruckend sind überdies die Höhenunterschiede zwischen Hochwasserbeginn und -scheitel. In den extremen Fällen betragen sie fast 8 m!

Am 25. Dezember 1993 erreichte die Hochwasserwelle am Pegel Lobith einen Höchstwasserstand von NAP+16.39 m. Der entsprechende Abfluß betrug 11.100 m<sup>3</sup>/s. – Auch an der Maas handelte es sich um ein extremes Hochwasser. Die Scheitel von Rhein und Maas trafen etwa gleichzeitig im Flußmündungsgebiet im Westen der Niederlande ein. Unter normalen Verhältnissen, in denen das Wasser gut durch die Haringvlietschleusen ins Meer gelangt, entstehen keine Probleme. Wenn der Meereswasserstand aber von starken Nordwestwinden gestaut wird, wird der Abfluß erschwert, was zur Folge haben kann, daß die Wasserstände stark ansteigen. Insbesondere für die Stadt Dordrecht entstehen in einer solchen Situation Probleme. Die Windgeschwindigkeit aber kam in der Hochwasserzeit nicht über Windstärke 2 (leichter Wind) hinaus, wodurch zu hohe Wasserstände nicht aufgetreten sind. Durch die günstige Windsituation gab es auch im IJsselmeer keine Stauung in Richtung der Mündung der IJssel. Obwohl der Wasserstand des IJsselmeeres höher als normal war, entstanden für die Stadt Kampen keine Probleme.



*Abb. 2.6 Hochwasserwellenablauf im Rhein während des Hochwassers 1993/94*

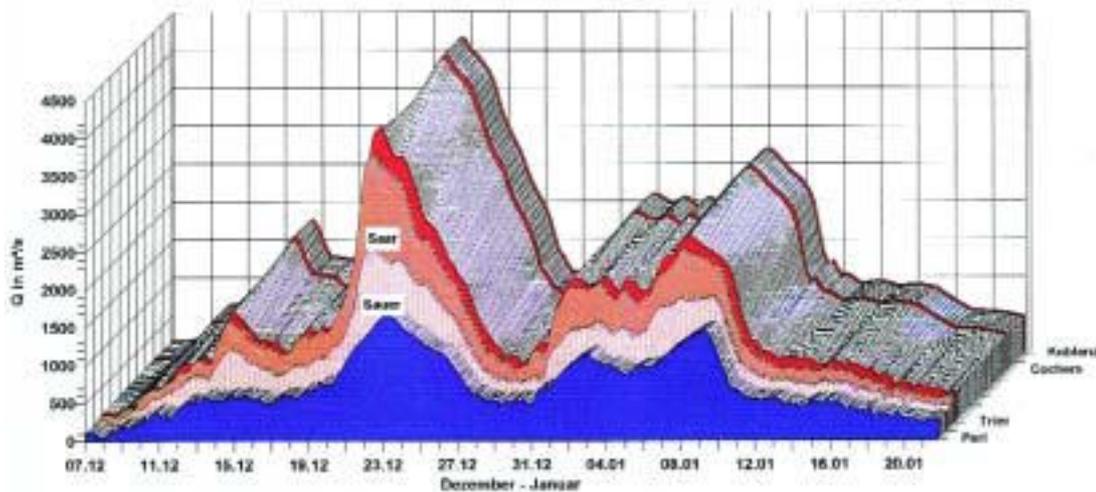


Abb. 2.7 Hochwasserwellenablauf in der Mosel während des Hochwassers 1993/94

## 2.2.2 Das Hochwasser im April 1994 [6]

Dieses Ereignis hatte eine nur geringe räumliche Ausdehnung.

### 2.2.2.1 Das Wettergeschehen im April 1994

Die Bodenwetterkarten für den 12. und 13. April 1994 zeigen ein Tiefdruckgebiet über Mittel- und Südeuropa, welches feuchtwarme Luft nach Mitteleuropa führte. Die Hebung der Luftmassen über kältere bodennahe Luft führte in Baden-Württemberg zu ergiebigen Niederschlägen, die in Höhenlagen oberhalb 700 Meter teilweise als Schnee fielen. An einigen Stationen im Nordschwarzwald und im östlichen Einzugsgebiet des Neckars wurden am 12. und 13.4. 2-Tagessummen von bis zu 150 mm Niederschlag erreicht.

### 2.2.2.2 Der Ablauf des Hochwassers im April 1994

Das Hochwasser im April 1994 zeichnete sich durch einen schnellen Anstieg und einen schnellen Rückgang aus. Besonders betroffen waren der Mittel- und der Unterlauf des Neckars sowie seine Zuflüsse Lauter, Rems, Murr, Jagst und Kocher, außerdem auch die Tauber. An Murr und Kocher ergaben sich neue Höchstabflüsse für die vorliegende Beobachtungsreihe.

Der Abfluß des Oberrheins am Pegel Maxau lag mit etwa 2.400 m<sup>3</sup>/s noch unter dem mittleren Hochwasser (MHQ) von 3.000 m<sup>3</sup>/s. Erst die hohen Zuflüsse aus dem Neckar ließen den Abfluß dann bei Worms auf etwa 3.940 m<sup>3</sup>/s und damit über das MHQ von 3.300 m<sup>3</sup>/s ansteigen.

Auf das Mittel- und Niederrheingebiet hatte das Aprilhochwasser 1994 keine Auswirkungen.

## 2.2.3 Das Hochwasser im Mai 1994 (Pfingsthochwasser) [6], [7]

Für die Nord-West-Schweiz gehört das Mai-Ereignis 1994 zu den extremsten Ereignissen der gesamten Beobachtungsreihen. Die Niederschläge am 18.05. erreichten an einigen Stationen Wiederkehrperioden von mehr als 500 Jahren.

### 2.2.3.1 Das Wettergeschehen im Mai 1994

Für die starken Niederschläge auf der nordalpinen Seite der Schweiz, vom 18. zum 19. Mai 1994, war ein Tiefdruckgebiet verantwortlich, das von Korsika nach Nordosten in Richtung Nürnberg/Warschau die Alpen überquerte. Solche Entwicklungen sind als besonders niederschlagreich bekannt. Sie verursachen nicht nur in den Einzugsgebieten der Donau und der oberen Elbe in Tschechien Hochwasser; bemerkenswerterweise führen sie auch noch im Einzugsgebiet der Oder zu

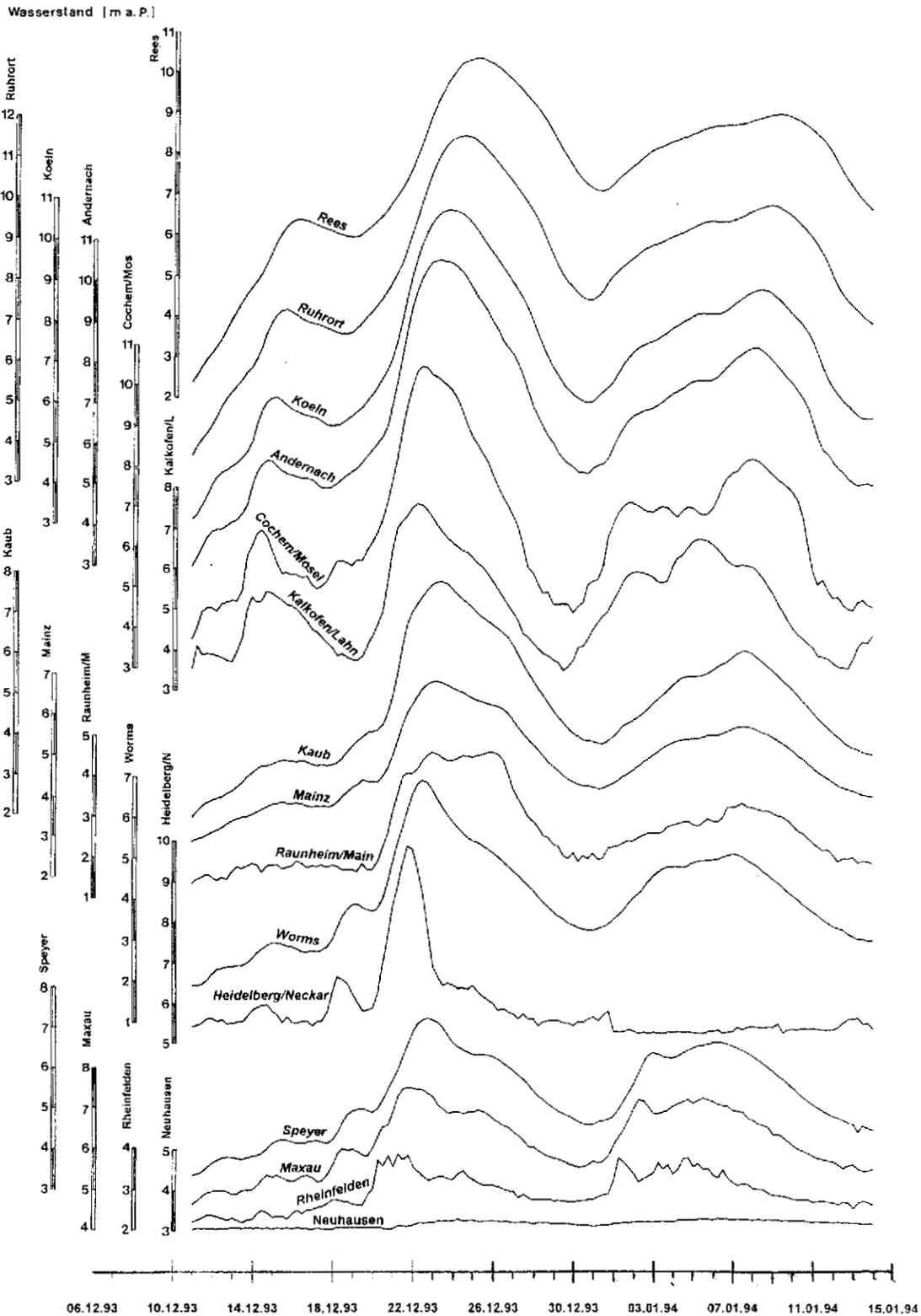


Abb. 2.8 Wasserstände an einigen Rhein- und ausgewählten Nebenflußpegeln

besonderen Hochwasserlagen. Bezüglich der Zugbahn wird das Tiefdruckgebiet und auch die Wetterlage als Vb- ("fünfb") Zyklone/Lage bezeichnet.

Die Entwicklung begann am 17. Mai 94, 00 UTC (02 MESZ), mit einem hochreichend ausgebildeten Tiefdrucktrog vor der europäischen Westküste. Er schwenkte mit seiner Achse vom 17., 12 UTC bis 18.5.94, 12 UTC (14 MESZ) von London - Kap Finisterre (NW-Spanien) zügig auf die Position London - Genua. Die in 24 Stunden zurückgelegte Distanz seines südlichen Zentrums bis

über Genua betrug etwa 1.500 km. Dabei verschärfte sich der Temperaturgegensatz über dem Raum Schweiz - Frankreich etwas, und es setzte an der Trogvorderseite im Bodendruckfeld zwischen Marseille und Korsika Zyklognese (Bildung eines Tiefdruckgebietes) ein (**Abb. 2.9b, Boden**).

Der entstehende Wirbel trat vertikal mit dem eintreffenden Trogzentrum in Verbindung. Dabei zeigte sich auf der Warmluftseite, d.h. der Ostseite des Wirbels über dem Mittelmeer eine rasche Feuchtezunahme. Das Bodenzentrum des Tiefdruckgebietes wanderte dann vom 18. bis 19. Mai 1994 rasch von Korsika bis Nürnberg (900 km in 18 Stunden) (**Abb. 2.9c**).

Die Entwicklung des Wirbels mit den entsprechenden regenintensiven Aufgleitprozessen erreichte sein Maximum nach dem Überqueren der Alpen auf der Nordseite, in der Nacht vom 18. zum 19. Mai 1994. Mit seiner Verlagerung nach Nordosten bewegte sich auch das Zentrum des Niederschlagsfeldes. Für diese Zeit zeigten die Messungen der vertikalen Profile von Temperatur und Feuchte über der Radiosondenstation Payerne in der unteren Schicht bis 4.500 m ü.M. einen sehr hohen Feuchtigkeitsgehalt von deutlich über 90%. Außerdem war die vertikale Temperaturschichtung bis in einen Höhenbereich von 4.500 oder 5.500 m ü.M. latent instabil, bzw. darüber indifferent. Das bedeutet, daß zunächst zyklonal angehobene Luft in der Folge bis etwa 4.000 m ü.M. in konvektive Hebungsumform übergehen konnte, welche die Niederschlagsintensitäten gelegentlich lokal schauerartig verstärkte.

#### • Zeitliche Entwicklung und Intensitäten der Niederschläge

Der zeitliche Niederschlagsverlauf über der Schweiz setzte sich einerseits aus einer räumlichen Verlagerungskomponente des Niederschlagsmaximums von Südwest nach Nordost und andererseits aus den lokalen oder kleinräumigen Niederschlägen zusammen.

Auf der Alpensüdseite und im Wallis trat der maximale Niederschlag am 18.05.94 bis 16 MESZ auf (**Abb. 2.10; z.B. Visp**). Am Alpenkamm waren zwei Maxima festzustellen (**Abb. 2.10, Grimsel-Hospiz, Gütsch**), die sich auch noch bei den nördlichen Alpenrandstationen sowie im Jura abzeichnen (**Abb. 2.10, Altdorf, Luzern; Abb. 2.11, Fahy**). Dort und besonders im übrigen Gebiet zwischen Jura und Bodensee hingegen fiel der Niederschlag im wesentlichen oder an verschiedenen Orten fast ausschließlich nach 20 MESZ am 18.05.94 bis 19.05.94, ca. 14 MESZ mit Intensitätsspitzen zwischen 20 MESZ am 18.05. und 8 MESZ am 19.05.94.

Mit der Süd-Nord-Verlagerung war gleichzeitig eine West-Ost-Bewegung zu beobachten, was letztlich die Südwest-Nordost-Bahn des beschriebenen Tiefdruckgebietes nachzeichnet. Diese zeitliche Verschiebung wird besonders in den Spitzenintensitäten der Zone Basel, Schaffhausen, Buchs-Suhr, Tänikon und Säntis deutlich (**Abb. 2.10 und 2.11**). Von Basel bis Tänikon betrug die Zeitdifferenz 6 Stunden.

Die Niederschlagsphase als Ganzes trat allerdings an allen Stationen dieser Zone praktisch gleichzeitig auf.

Die registrierten stündlichen Spitzenwerte lagen i.a. zwischen 8 und 10 mm/h. Schauerartige Verstärkungen ließen lokal kurzfristig auch höhere Intensitäten entstehen (**Abb. 2.11, Basel, Schaffhausen**). Entsprechend den auf 3stündige Summen reduzierten Halbtages- und Tageswerten sind weitere derartige Maxima entlang der Thur im Bereich Weinfelden und Frauenfeld anzunehmen. Je ein weiteres Intensitätszentrum zeichnet sich an der Station Unterbözberg, d.h. beim Zusammenfluß von Aare, Reuss und Limmat sowie über der Sihl ab.

Wie verschiedene Abflußmodellierungen für die Unwetter von 1987 und später gezeigt haben, wird die höchste Abflußwirkung von Spitzenintensitäten dann erreicht, wenn sie am Ende starker Dauerniederschläge auftreten. Nach den bisherigen Erfahrungen ist eine derartige Entwicklung auf der Alpennordseite aus atmosphärischen Gründen generell wenig wahrscheinlich. Dementsprechend zeigen sich auch die Maximalintensitäten im diskutierten Ereignis in der ersten Hälfte der Niederschlagsphase mit anschließendem Abklingen.

Die beiden Kerngebiete beim Zusammenfluß von Aare, Reuss und Limmat sowie etwas großflächiger über der unteren Thur erhielten bis zu den in **Tab. 2.3** erwähnten Zeitpunkten durchschnittlich die in **Tab. 2.4** angegebenen Intensitäten.

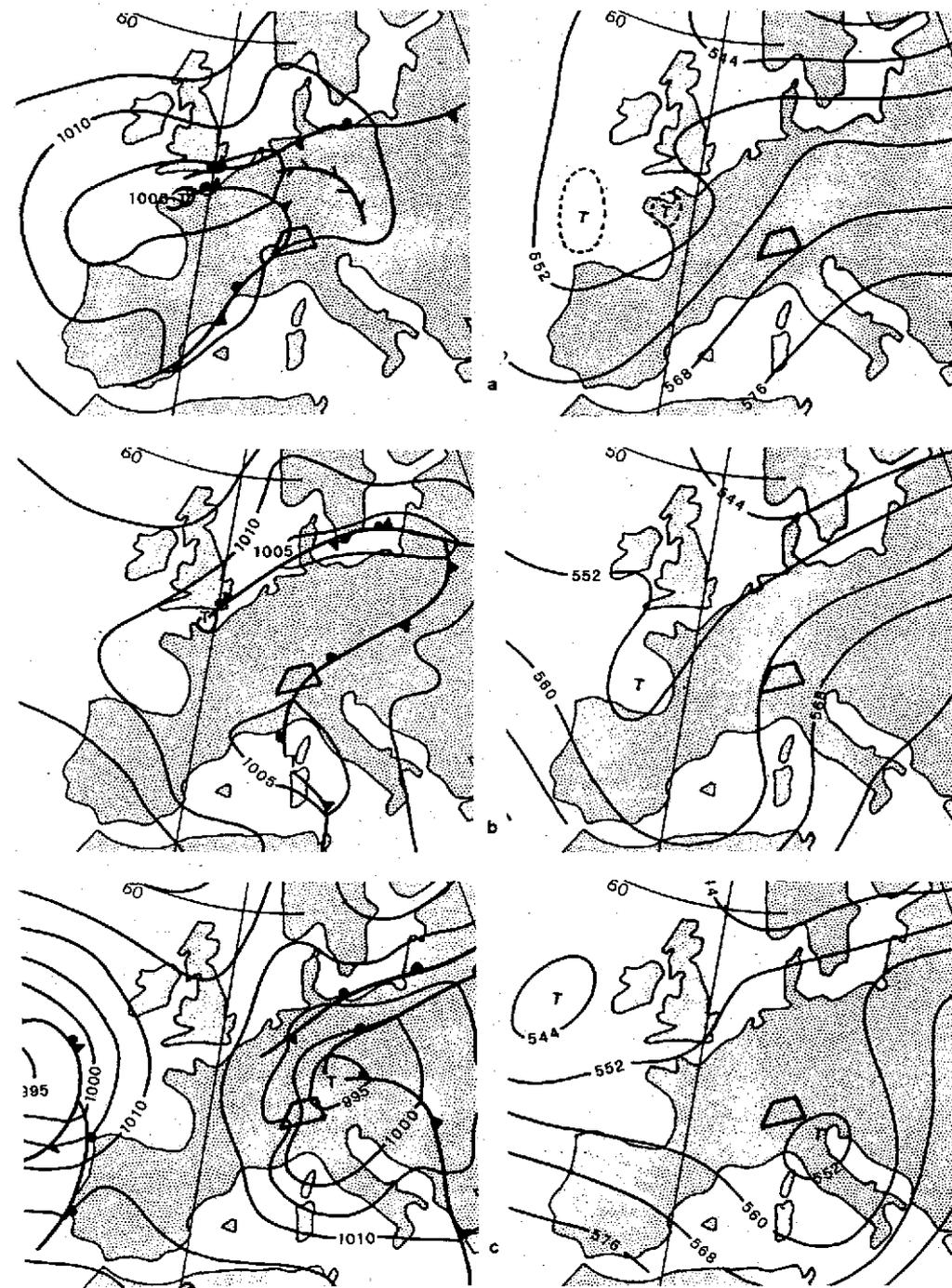


Abb. 2.9 Druckverteilungen (a) vom 17., (b) 18. und (c) 19. Mai 1994, jeweils linkes Bild 00 UTC. Bodenniveau (nach Deutscher Wetterdienst); rechtes Bild 500hPa Niveau (nach Met.Inst. der Freien Univ. Berlin)

Tab. 2.3 Endzeitpunkte der 5 verschiedenen Niederschlagsdauern mit den während des Ereignisses jeweils größten Gebietsniederschlagssummen.

N-Dauer	3	6	12	18	24	Stunden
UTC (MESZ)	3 (5)	5 (7)	7 (9)	10 (12)	15 (17)	19.Mai 1994

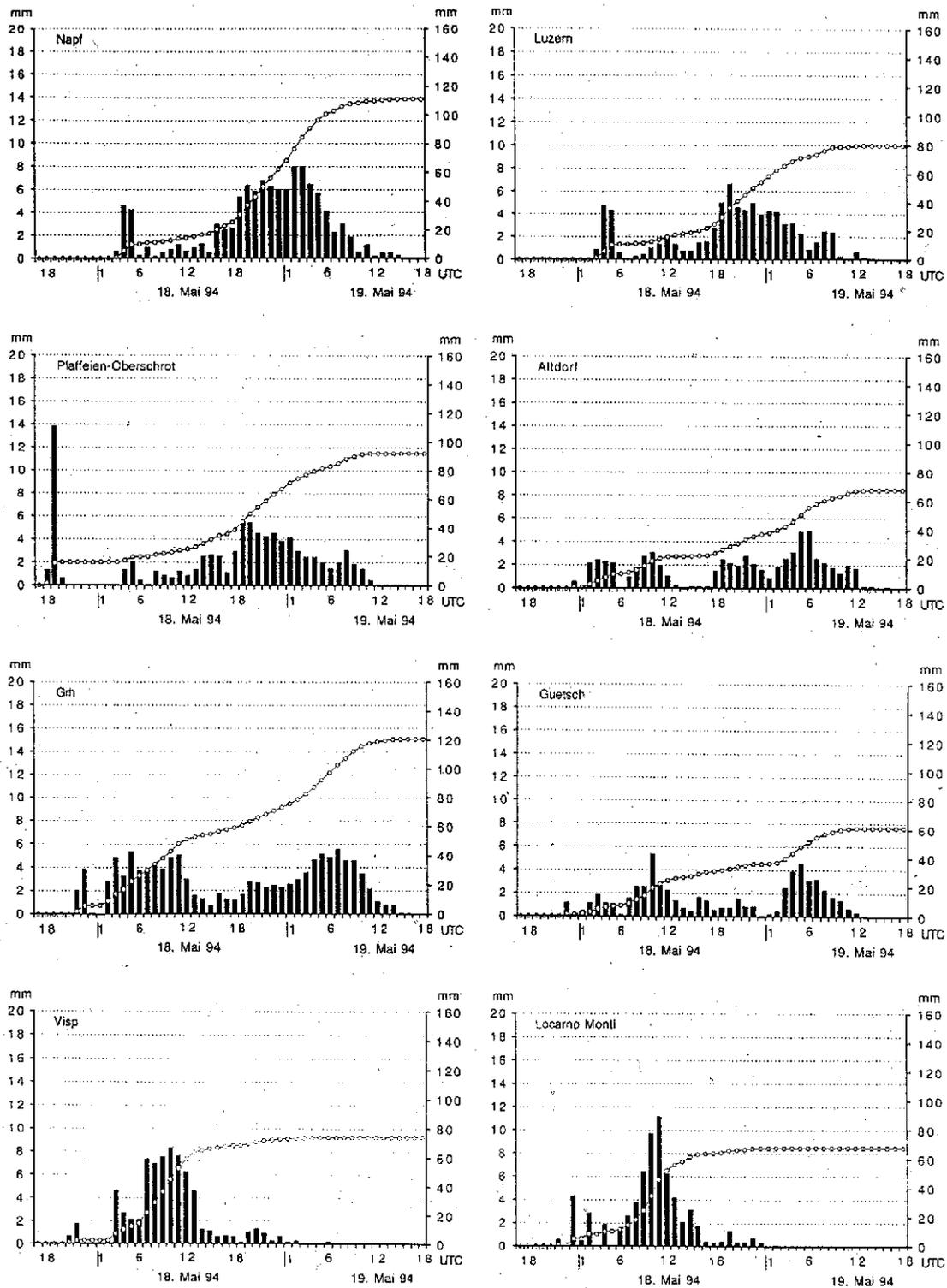


Abb. 2.10 Verlauf der stündlichen und aufsummierten Niederschlagsmengen von 8 als Süd-Nord-Profil ausgewählten ANETZ-Stationen. Station "Grh": Grimsel-Hospiz

Tab. 2.4 Intensitäten in den Niederschlagskerngebieten während der verschiedenen mehrstündigen Zeitintervalle.

N-Dauer	3	6	12	18	24	Stunden
Intensität	10-14	10	8-10	6-8	5-6	mm/h

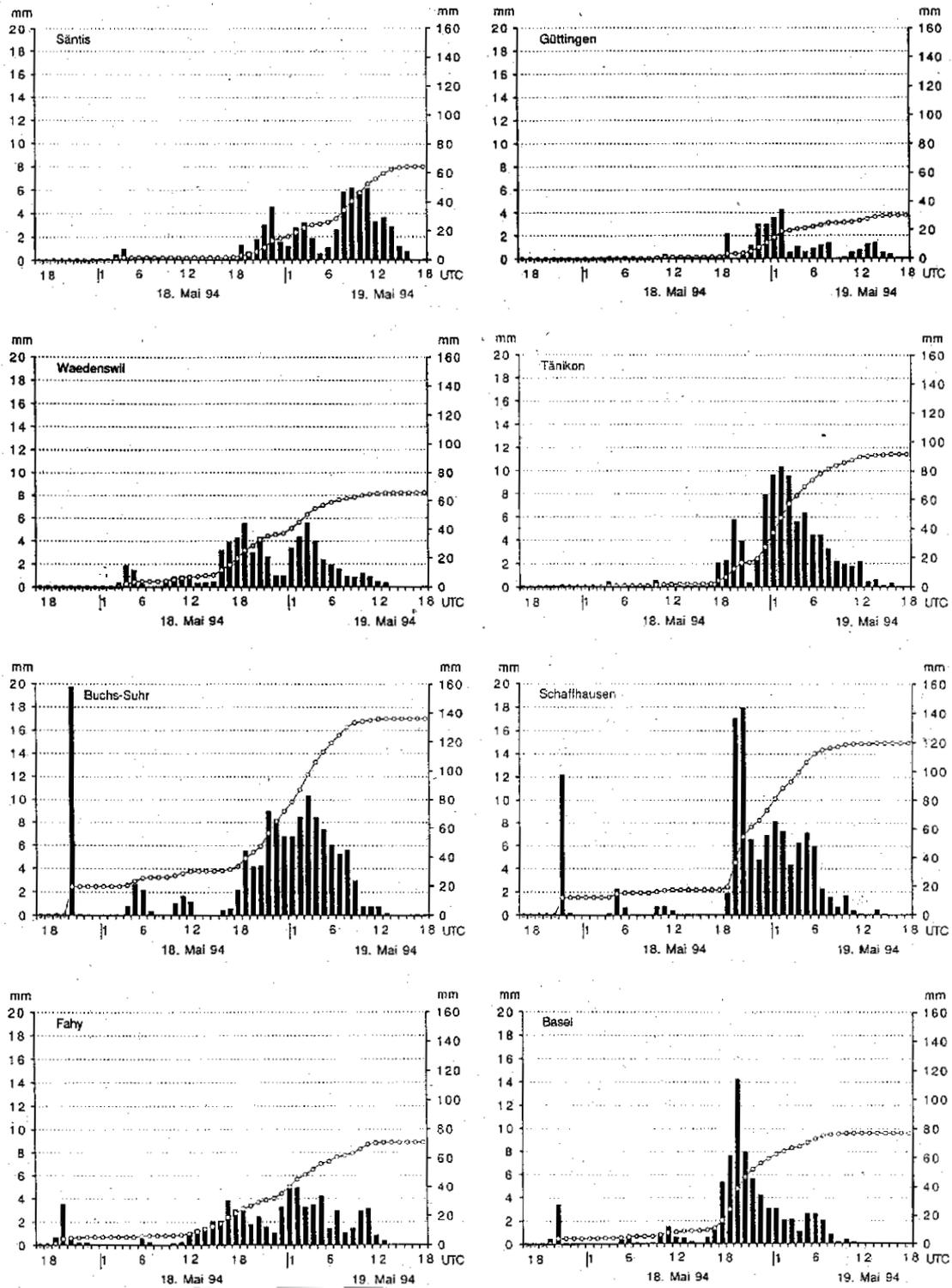


Abb. 2.11 Verlauf der stündlichen und aufsummierten Niederschlagsmengen von 8 als West-Ost-Profil ausgewählten ANETZ-Stationen.

Die auf 24 Stunden reduzierten Niederschlagsmengen liegen in den beiden Kerngebieten etwa 14% über den Tagesniederschlägen.

Ein interessanter Eindruck von der lokalen Stärke des Ereignisses, aber auch ein Einblick in die Niederschlagsklimatologie der Region ergibt sich aufgrund der Wiederkehrperioden der Stationswerte (Tab. 2.5; basierend auf Röthlisberger et al., 1992 und Zeller et al., 1977).

Tab. 2.5 Wiederkehrperioden (WP) für 1- und 2tägige Niederschlagsmengen in den Hauptniederschlagsgebieten von Thur, Aare, Reuss und Limmat. In Klammern gesetzte Werte sind durch Extrapolation der Diagramme geschätzt, ebenso die Angaben bei Unterbözberg.

Station	1 Tag		2 Tage		Station	1 Tag		2 Tage	
	[mm]	WP	[mm]	WP		[mm]	WP	[mm]	WP
Unterbözberg	136	≥ 800	150	≥800					
Baden	94	200	117	60					
Schaffhausen	97	170	105	50	Sulgen	96	110	106	35
Andelfingen	122	(600)	132	150	Winterthur	98	80	117	12
Dissenhofen	105	500	117	100	Effretikon	86	12	108	15
Haidenhaus	104	150	123	150					
Niederneunforn	113	500	126	400	Sihlbrugg	78	5	103	7
Frauenfeld	129	60	144	60	Langnau	112	–	140	–
Weinfelden	117	(600)	127	500	Uetliberg	82	20	107	13
Affeltrangen	60	5	80	8	Waldegg	90	(20)	122	(20)

**Tabelle 2.5** deckt am Beispiel des besprochenen Ereignisses bei gleichen Mengen auf relativ kurzen Distanzen erhebliche Unterschiede in den Wiederkehrperioden auf. Die 1tägige Niederschlagsmenge z.B. der Station Effretikon würde in Unterbözberg ein 300jähriges Ereignis darstellen; die Tagesmenge von Winterthur-Seen hätte in Unterbözberg eine 500jährliche Wiederkehrperiode.

#### • Räumliche Verteilung der Niederschläge

Generell zeichnet sich im Meßnetz der Meteorologischen Anstalt (SMA) beim Ereignis vom 18./19. Mai 1994 nordalpin ein Starkniederschlagsband vom östlichen Genfersee (Montreux) bis zum westlichen Bodensee ab. Es ist im Vergleich zu anderen räumlich meist "kompakteren" Extremereignissen stark in einzelne Zentren gegliedert. Dies mag in ersten Beschreibungen den Eindruck einer besonderen Großräumigkeit erweckt haben. So treten Zentren mit über 80 mm pro Tag auf bei Montreux, an der Ostseite des Lac de Gruyère, im Gebiet Emmental/Entlebuch südlich des Napf und schließlich das Hauptzentrum von Aarau über Bötzenberg und der Thur entlang bis Weinfelden. Lokal wurden dort Niederschlagsspitzen bis über 130 mm pro Tag (Unterbözberg, Andelfingen, Weinfelden) gemessen (**Abb. 2.12**). Die Reduktionen auf 24 Stunden ergeben vereinzelt Maximalwerte bis 150 mm (Unterbözberg). Höhere Mengen sind nicht zu vermuten, da sich aus der Reduktion gerade oder wenigstens annähernd der Gesamtniederschlag des Ereignisses ergibt. An dieser Stelle sei noch einmal an die zeitliche Verschiebung des Niederschlagsfeldes vom Genfersee bis zum Bodensee, d.h. in Fließrichtung von Aare und Reuss erinnert. Die Verschiebungsdauer liegt bei ca. 8 Stunden. Als Gesamteindruck ergibt sich dadurch aufgrund des 1tägigen (zeitfixierten) Datensatzes scheinbar eine Schauerverteilung.

In der Hauptniederschlagszone über der Nordschweiz kamen zu den aus dem zeitlichen Verlauf resultierenden sehr abflußwirksamen Aspekten drei weitere Eigenschaften seitens der räumlichen Verteilung:

- Die Zentren waren annähernd ortsfest
- Es ist festzustellen, daß in jedem der 5 betrachteten Intervalle der stärkste Gebietsniederschlag die Thur ab Bischofszell, den Rhein, die Reuss und die Limmat unterhalb der Seen sowie die untere Aare jeweils gleichzeitig traf. Eine Retention durch die Alpenrandseen war nicht gegeben.
- Die Zentren des Niederschlagsfeldes lagen für den Abfluß an empfindlichen Stellen. Die Thur war präzise entlang ihres unteren Flußlaufes betroffen, das gleiche galt auch für die Sihl. Im Raum Unterbözberg wurde gerade der Zusammenfluß von Aare, Reuss und Limmat erfaßt.

In der erwähnten zeitlichen Verschiebung der Spitzenintensitäten von West nach Ost kann eine gewisse Abflußdämpfung vermutet werden. Demgegenüber ist aber gleichzeitig ein verstärkender Faktor in der schätzungsweise zum Zeitpunkt dieser Niederschlagsmaxima von oben eintreffenden

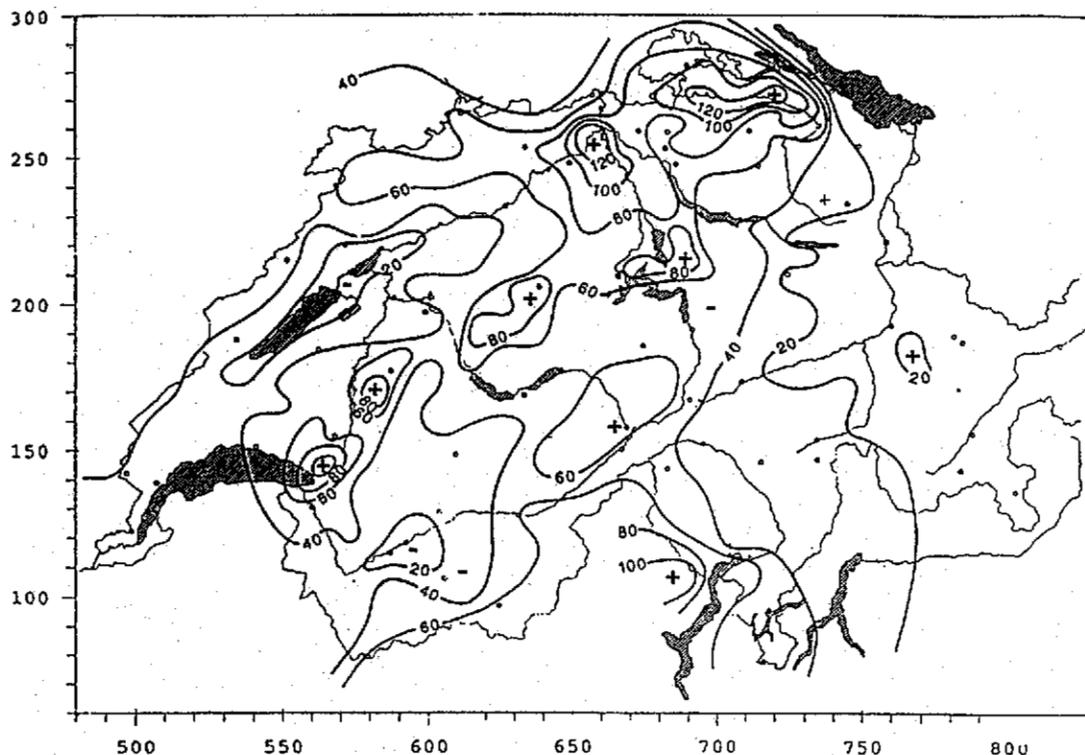


Abb. 2.12 Räumliche Verteilung der Tagesniederschläge vom 18. Mai 1994

Hochwasserwellen von Aare und Reuss zu sehen. Aus dieser Zusammenschau ist zu schließen, daß den Überschwemmungen offenbar eine optimale Abflußkonzentration zugrunde liegt. Eine gesicherte Aussage wäre jedoch erst anhand von Modellierungen möglich.

#### • Diskussion der Niederschläge und Vergleichsfälle

Zur Bewertung des Ereignisses vom 18./19. Mai 1994 müssen drei Aspekte auseinandergehalten werden: hydrologische und hydraulische Bedingungen, die zu den Überschwemmungen geführt haben, Wiederkehrperioden für bestimmte Stationsniederschläge; atmosphärische Niederschlagsfähigkeit in einer klimatisch einheitlichen Region.

Bei der punktuellen Betrachtung der Wiederkehrperioden handelt es sich für einige betroffene Stationen, bzw. für ein eng begrenztes Gebiet um ein Spitzenereignis. Diese Aussage bedeutet aber nicht, daß im nordalpinen Bereich der Schweiz bisher nicht bekannte hohe Mengen auftraten, sondern beschränkt sich auf die Tatsache, daß die beschriebenen Niederschläge ein Niederschlagsschatten-Gebiet erreichten. Die historisch bedeutendsten nordalpin zentrierten Ereignisse sind etwas östlich bis südöstlich davon anzutreffen oder, wie z.B. im September 1987, über dem Jura. Die räumliche Verteilung der Jahresmittel erreicht in der Schadensregion mit 800-900 mm ihr nordalpines Minimum (Grebner und Göldi, 1983) und die 100jährigen Punkt-Tagesmengen liegen um 60-100 mm. Wie groß aber bereits auf kurzen Distanzen die Unterschiede sein können, zeigt ein Vergleich der Stationen Frauenfeld und Andelfingen (Tab. 2.5). Lokal bedeutet natürlich eine sehr selten auftretende hohe Niederschlagsbelastung, daß die hydrologische "Bewältigung" nicht darauf eingerichtet ist. Eine entscheidender Grund für das gesamte Ausmaß der Überschwemmung ist jedoch im primär übergeordneten räumlichzeitlichen Niederschlagsgeschehen des Ereignisses zu vermuten.

Zur Frage der atmosphärisches Niederschlagsfähigkeit muß grundsätzlich die Betrachtung über den lokalen Maßstab auf eine klimatisch vergleichbare Umgebung ausgedehnt werden.

Aus dieser Sicht übersteigt das Ereignis vom 18./19. Mai 1994 keinesfalls den Rahmen der bisher analysierten nordalpinen Starkniederschläge; dies ohne südalpin zentrierte alpenübergreifende Niederschlagsfelder – wie z.B. im Juli und August 1987 – mitzuzählen. Der größte Gebietsniederschlag im Mai 1994 wird im Thurgebiet unterhalb von Weinfelden erreicht. Wie Tab. 2.6 zu

Tab. 2.6 Gebietsniederschläge in den zentralen Bereichen des schweizerischen Hochrhein-Einzugsgebiets

Dauer	Menge [mm]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Menge [mm]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Gebiet
Feld 3 h (reduz.)	≥ 30 mm		≥ 40 mm		
	37	700	42	160	Thur
	35	140	–	–	Unterbözing
Feld 6 h (reduz.)	≥ 40 mm		≥ 60 mm		
	52	3.000	65	350	Thur
			63	110	Unterbözing
Feld 12 h (reduz.)	≥ 80 mm		≥ 100 mm		
	95	1.960	108	440	Thur
			115	200	Unterbözing
Feld 18 h (reduz.)	≥ 100 mm		≥ 120 mm		
	115	1.770	126	230	Thur
			134	150	Unterbözing
Feld 24 h (reduz.)	≥ 100 mm		≥ 120 mm		
	116	2.250	133	340	Thur
			136	150	Unterbözing
Feld Tag	≥ 100 mm		≥ 120 mm		
	115	600	125	170	Thur
	115	330	130	105	Unterbözing

entnehmen ist, fielen entlang der Thur in 24 Stunden 133 mm auf 340 km<sup>2</sup>; bzw. zum Vergleich mit den nachfolgenden Angaben: 125 mm pro Tag auf 170 km<sup>2</sup>. Die ausreichend analysierbaren historischen Fälle erreichen im gesamten Thurgebiet bis Halden (1.085 km<sup>2</sup>)/Andelfingen (1.696 km<sup>2</sup>) in den Jahren 1881 105 mm/d und 100 mm/d, 1910 110 mm/d und 90 mm/d; allen voraus ist dieses Gebiet 1978 mit 120 mm/d und 110 mm/d (Courvoisier et al., 1979 und Grebner et al., 1980b). Die für die Gebietsniederschläge zugrunde liegende Untersuchung, insbesondere auch bezüglich der Flächenausdehnung, war auf das Einzugsgebiet der Thur beschränkt.

Aufgrund der offensichtlichen Transponierbarkeit der atmosphärischen Prozesse dürfen auch Fälle aus der näheren Umgebung zum Vergleich herangezogen werden. So seien z.B. die Ereignisse vom Juli 1977 (Schächental) mit 135 mm auf 600 km<sup>2</sup> pro Tag und einem gemessenen Spitzenwert von 152 mm/d sowie vom September 1987 (Jura) mit ebenfalls rund 135 mm auf 600 km<sup>2</sup> pro Tag, Spitzenwert 146 mm/d, erwähnt. Einen besonderen Hinweis verdient noch der hochwinterliche Starkniederschlag im Januar (!) 1914 mit lokal rund 145 mm/d.

Interpretiert man die Wiederkehrperiode eines Gebietsniederschlags, dessen Stichprobenerhebung nicht auf ein Einzugsgebiet beschränkt ist, sondern sich auf das Mittelland der Alpennordseite der Schweiz bezieht, näherungsweise auch als Wahrscheinlichkeit der verursachenden Wettersysteme, so besitzt das Ereignis im Mai 1994 nach den bisherigen Grundlagen eine Frequenz zwischen 25 und 50 Jahren.

Das vorbeschriebene Niederschlagsereignis erreichte auf seinem weiteren Weg auch das deutsche Hoch- und Oberrheingebiet. Es führte warme Luftmassen nach Süddeutschland ein, die eine Instabilisierung der Luftschichten bewirkten und ab den Abendstunden des 18. Mai ergiebige gewittrige Niederschläge auslösten.

Die Schwerpunkte des Niederschlages vom 18. und 19. Mai 1994 lagen über dem südlichen Schwarzwald bzw. seiner Vorbergzone sowie über dem südöstlichen Donaugebiet (Oberschwaben).

Die höchsten Tages- bzw. Zweitagesniederschlagssummen wurden in Oberschwaben/Bodenseegebiet beobachtet (Bad Waldsee 95,4 bzw. 114,5 mm, Südwest-Schwarzwald bei Hofgrund 110,8 bzw. 143,8 mm und Kandel mit 36,6 bzw. 132,1 mm).

Bereits vor dem Niederschlagsereignis waren geringere Niederschläge gefallen, die jedoch – anders als die Vorregen bei den beiden vorher beschriebenen Hochwasserereignissen – die Wasseraufnahme des Bodens nicht erschöpften.

### 2.2.3.2 Der Ablauf des Hochwassers im Mai 1994

Das Hauptschadensgebiet in der Schweiz lag an den Unterläufen von Thur, Limmat, Reuss und Aare. Durch optimales Zusammentreffen der Niederschlag-Abflußbedingungen ergaben sich zum Teil Scheitelwerte, die in 80-90-jährigen Reihen neue Höchstwerte darstellen. Für Basel bekannte höhere Werte sind in Jahren vor den Juragewässerkorrekturen aufgetreten. Sie erreichten den Rhein noch von Seerententionen unbeeinflusst und können deshalb nicht mit den derzeitigen Ereignissen verglichen werden.

Wie bei Hochwassern des Hochgebirges üblich, war auch das Mai-Hochwasser nur von relativ kurzer Dauer. Im wesentlichen ist es im Verlauf eines Tages aufgetreten, wobei der Abfluß in diesem Zeitraum z.B. in Rheinfelden von 2.200 m<sup>3</sup>/s (12h vor dem Scheitel) über 4.270 m<sup>3</sup>/s (Scheitel) 12 h später schon wieder auf 2.850 m<sup>3</sup>/s abgesunken war. In Basel erreichte der Scheitel 4.640 m<sup>3</sup>/s.

Das Hochwasser Mai 1994 war auch in Baden-Württemberg, ebenso wie das Hochwasser des Vormonates, nur von geringer Dauer. Vom Hochwasser betroffen waren nur wenige Einzugsgebiete. Niederschlagsschwerpunkte lagen vor allem in Teileinzugsgebieten des oberen Neckars (Eyach) und in den Einzugsgebieten von Möhlin und Neumagen (südwestlicher Schwarzwald).

An der Eyach übertraf das Maihochwasser alle bislang beobachteten Ereignisse. Im Einzugsgebiet der Möhlin und des Neumagens war es eines der größten der bisherigen Beobachtungsreihe.

Gleichzeitig zu den vorgenannten Extremereignissen kam es auch am Hoch- und südlichen Oberrhein zu einem außergewöhnlichen Hochwasser. Ursächlich waren die hohen Niederschläge in der Nordschweiz. Am Pegel Rheinfelden/Rhein lief mit 4.270 m<sup>3</sup>/s der höchste Scheitelabfluß seit Beginn der Pegelbeobachtungen im Jahr 1935 ab; am Pegel Basel wurde mit 4.640 m<sup>3</sup>/s der höchste Abfluß seit 110 Jahren beobachtet. Übertroffen wurde er seit 1880 nur durch das Hochwasser von 1882 mit 4.830 m<sup>3</sup>/s.

Da jedoch die Zuflüsse zum Oberrhein gering waren und die Neckarwelle mit einem vergleichbar kleinen Scheitelabfluß von ca. 825 m<sup>3</sup>/s nicht mit der Rheinwelle zusammentraf, verminderte sich der Hochwasserabfluß im Oberrhein auf 3.950 m<sup>3</sup>/s bei Maxau und 3.440 m<sup>3</sup>/s bei Worms. Im Mittel- und Niederrheingebiet flachte das Hochwasser ab und hatte keine weiteren Auswirkungen. In Mainz lag der Scheitel mit 3.500 m<sup>3</sup>/s bereits 500 m<sup>3</sup>/s unter dem vieljährigen MHQ und in Köln mit 3.880 m<sup>3</sup>/s sogar 2.500 m<sup>3</sup>/s unter dem mittleren Hochwasser (**Abb. 2.13**).

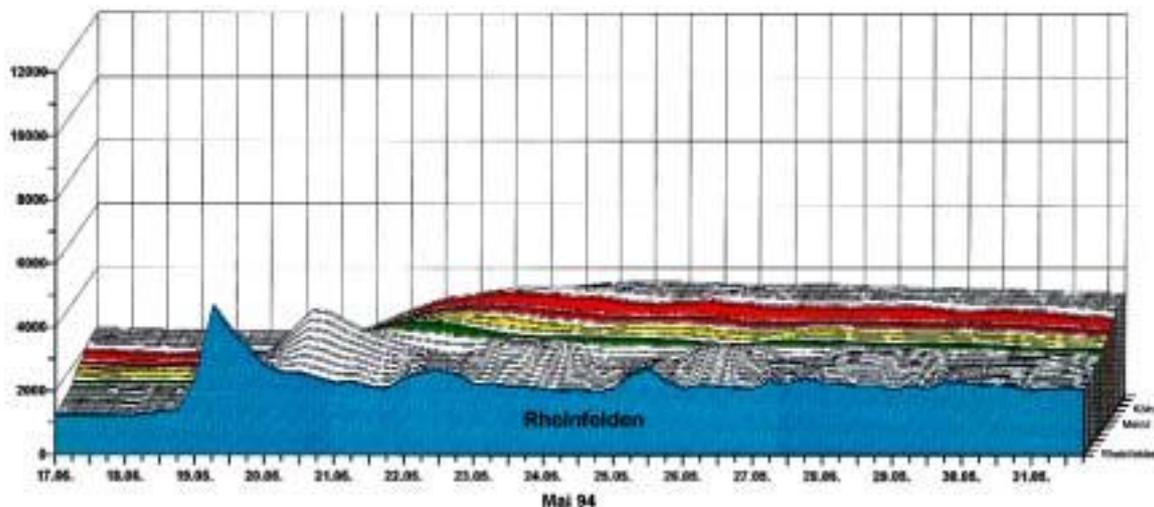


Abb. 2.13 Wellenablauf im Rhein während des Hochwassers Mai 1994

## 2.2.4 Die Hochwasser im Juni 1994 [6]

Wie im April des gleichen Jahres handelte es sich auch diesmal um eng begrenzt aufgetretene kleinräumige Ereignisse, wie sie die Folge sommerlicher Starkregen sind.

### 2.2.4.1 Das Wettergeschehen im Juni 1994

Im Landesdurchschnitt fielen im Juni 1994 in Baden-Württemberg nur 73% der für diesen Monat üblichen Niederschlagshöhe, wobei örtlich die Werte zwischen 284 mm im Rench-Einzugsgebiet (DWD-Station Oppenau) und 30 mm im nordöstlichen Tauber-Einzugsgebiet (DWD-Station Großrinderfeld-Ilmspan) schwankten.

Ausgelöst wurde ein Hochwasser am 27./28. Juni 1994 durch heftige lokale Gewitterregen, hervorgerufen durch feuchtwarme Mittelmeerluft, welche die Temperatur stark ansteigen ließ. Zwei Gewitterzellen entluden sich im Renchgebiet bzw. im Kraichgau (Elsenz- und Schwarzbachgebiet).

In der Acher-Renchzeitung vom 29.06.1994 wird das Unwetter eindrucksvoll beschrieben: "Um 17.00 Uhr war die Nacht in Oppenau bereits angebrochen. Dunkle Wolken dräuten über der Stadt, die Sichtweite betrug wenige Meter. Grelle Blitze zuckten vom Himmel herab, gaben sekundenlang gespenstische Anblicke frei. Seit Menschengedenken sind keine derartigen Wassermassen über die Stadt hereingebrochen. In Minutenschnelle erreichten die Schäden unerhörte Ausmaße."

In dem ca. 340 km<sup>2</sup> großen Rencheinzugsgebiet fielen in der Nacht vom 27./28. Juni innerhalb von 2 bis 3 Stunden rund 120 mm Niederschlag; an der DWD-Station Oppenau wurde innerhalb von 2 bis 3 Stunden eine Niederschlagshöhe von 177,2 mm gemessen. Die Niederschläge fielen auf einen bereits durch Vorregen feuchten Boden.

Noch höher waren die Niederschläge im Elsenz-Schwarzbachgebiet, wo am 27./28. Juni 1994 Niederschläge von über 180 mm innerhalb 2 1/2 Stunden gemessen wurden. Radarmessungen, die einen detaillierten flächenhaften Überblick der Niederschlagsverteilung liefern, zeigen den Niederschlagsschwerpunkt nordöstlich Helmstedt mit einer Niederschlagshöhe von 246 mm in 2 1/2 Stunden. Diese Niederschlagsintensität zählt nach Angaben des DWD zu den größten, die bisher in Deutschland beobachtet bzw. ausgewertet wurden.

Der mittlere Gebietsniederschlag für das 200 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet des Schwarzbaches betrug 112 mm und war damit fast doppelt so groß wie der 100-jährliche Gebietsniederschlag gleicher Dauer (62,4 mm), wie er bislang aufgrund statistischer Untersuchungen vom Deutschen Wetterdienst für das Schwarzbachgebiet (Zeitreihe 1931 bis 1990) ermittelt wurde.

Die Junihochwasserereignisse im Rench- und Elsenz-Einzugsgebiet waren geprägt durch sehr hohe Niederschlagsintensitäten (konvektive Ereignisse), die jeweils höhere Hochwasser auslösten als die in der Summe höheren advektiven Niederschläge im Dezember 1993 (Abb. 2.14).

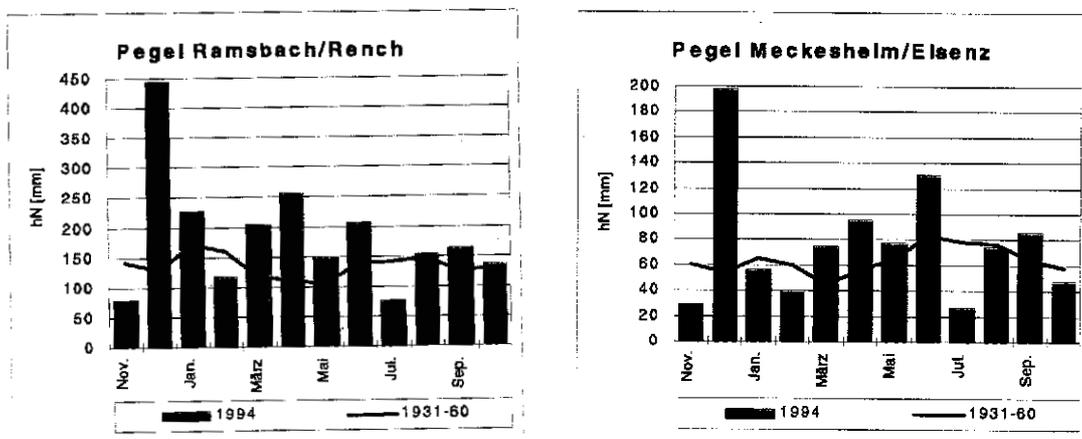


Abb. 2.14 Jahresgang des Gebietsniederschlages im Abflußjahr 1994 für Pegeleinzugsgebiete von Elsenz und Rench im Vergleich zum vieljährigen Mittel.

### 2.2.4.2 Der Ablauf der Hochwasser im Juni 1994

Ungewöhnlich wie die Niederschläge waren auch die Hochwasserabflüsse in den beiden Schwerpunktgebieten, dem Oberlauf der Rench und im Schwarzbachgebiet. Innerhalb von 1,5 Stunden stieg der Abfluß an der Rench am Pegel Ramsbach auf den bislang höchsten dort beobachteten Wert an, am Schwarzbach bei Eschelbronn dauerte der Anstieg 6 Stunden. Dem schnellen Anstieg folgte dann ein gleichfalls schneller Rückgang des Hochwassers.

Einen Vergleich der Scheitelabflüsse und der Jährlichkeiten für das Hochwasser Juni 1994 mit den bis 1993 beobachteten Höchstabflüssen für Pegel im Rench- und Schwarzbachgebiet ist in **Abb. 2.15** dargestellt.

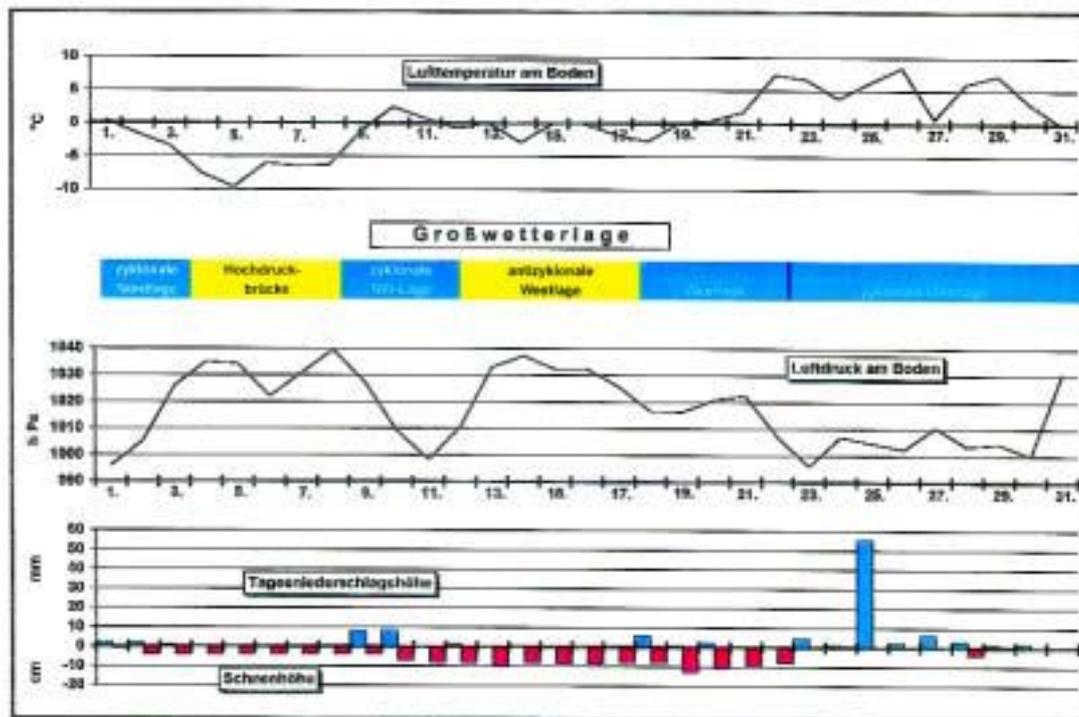


Abb. 2-15 Vergleich der Scheitelabflüsse und der Jährlichkeiten für das Hochwasser vom Juni 1994 mit den bis 1993 beobachteten Höchstabflüssen im Rench- und Schwarzbachgebiet

### 2.2.5 Das Hochwasser im Januar/Februar 1995 [3], [8], [9]

Das Hochwasser, das im Januar/Februar 1995 im Rhein abließ, wies hinsichtlich seiner Ursachen im Vergleich zu den beiden vorangegangenen großen Rheinhochwassern vom März 1988 und Dezember 1993 in einigen Wettermerkmalen markante Parallelen auf. Es sind aber auch einige wesentliche Unterschiede im Witterungsgeschehen, insbesondere im räumlichzeitlichen Niederschlagsverhalten nach Art (Regen und Schnee) und Intensität festzustellen. Damit bestätigt auch das Hochwasser vom Januar 1995, daß sich aufgrund der unterschiedlichen Entstehungsursachen verschiedene Hochwasserabläufe im Rhein niemals in allen Einzelheiten gleichen.

Wie schon im März 1988 und Dezember 1993 war auch zu Beginn des Monats Januar 1995 aufgrund der Witterungsverhältnisse der vorangegangenen Monate nicht zu erwarten, daß noch im Verlauf des gleichen Monats ein außerordentlich großes Rheinhochwasser entstehen und zum Ablauf kommen würde. Somit sind nahezu ausschließlich die Witterungsverhältnisse im Verlaufe des Januar 1995 für Entstehung und Ablauf des Hochwassers verantwortlich. Auch in dieser Hinsicht besteht eine bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen den Ereignissen von März 1988, Dezember 1993 und Januar 1995.

Nachfolgend sollen die wichtigsten Merkmale der das Hochwasser im Januar 1995 auslösenden kurzfristigen Witterungsperioden vom 21.-29.01.1995 beschrieben und weiterhin dargestellt werden, wie das mittelfristige Wettergeschehen in dem vorangegangenen Zeitraum von September bis

Dezember 1994 die Entstehung dieses Hochwassers beeinflußt hat. Da die wesentlichen auslösenden meteorologischen Faktoren nahezu vollständig auf den Januar 1995 konzentriert sind, scheint es zweckmäßig, die im Januar 1995 gemessenen monatlichen Niederschlagssummen einzelner Stationen bzw. deren räumliche Verteilung dem mittleren langfristigen klimatologischen Niederschlagsverhalten gegenüberzustellen.

### 2.2.5.1 Das Wettergeschehen im Januar 1995

Im Einzugsgebiet des Rheins bestand zu Beginn des Monats Januar 1995, vergleichbar den Verhältnissen vor dem Hochwasser im Dezember 1993, eine nur geringe Wahrscheinlichkeit, daß noch im gleichen Monat ein extremes Hochwasser im Rhein eintreten würde. Dies zeigt die Analyse der meteorologischen und hydrologischen Verhältnisse (z. B. Wasserstand, Bodenfeuchte und Schneedecke) der vorangegangenen Monate September bis Dezember.

Wie das Hochwasser des Jahres 1995 meteorologisch begründet ist, veranschaulichen die **Abb. 2.16a/b** anhand einiger meteorologischer Meßgrößen. Für die beiden deutschen Klimahauptstationen Essen/Ruhr und Nürnberg sind für den Zeitraum vom 01.-31.01.1995 folgende Parameter dargestellt:

- vorhandene Schneehöhe
- täglicher Niederschlag
- Luftdruck am Boden
- Lufttemperatur am Boden (2 m)

Für die Station Essen wurde in der **Abb. 2.16a** neben dem Wind am Boden noch der Wind im 500 h Pa Niveau hinzugenommen. Weiterhin sind in den beiden Abbildungen die Kurzbezeichnungen der allgemeinen Witterung nach dem Typus der Großwetterlagen angegeben.

Am Neujahrstag 1995 stellte sich über Mitteleuropa die Großwetterlage um. Im Verlaufe einer zyklonalen Nordlage, die vom 01.-03.01.1995 bestand, drang auf der Westseite des Tiefdruckwirbels MARTHA arktische Polarluft nach Deutschland ein. Verbreitet traten Niederschläge meist als Schnee- und Graupelschauer auf. Gemäß den Angaben der **Abb. 2.16 und 2-17** fielen tägliche Niederschläge bis 20 mm, und in den Mittelgebirgen baute sich eine Schneedecke auf, die in den höheren Lagen gegen Ende dieser Witterungsphase bereits 30 cm erreichte. Die mittleren Tagestemperaturen der Luft fielen von 0°C auf -5°C ab.

Vom 04.-08.01. entwickelte sich über Mitteleuropa eine Hochdruckbrücke, unter deren Einfluß russische Polarluft das Rheingebiet erreichte. In dieser sehr kalten (-5 bis -10°C), klaren Frostperiode fielen im Rheineinzugsgebiet keine nennenswerten Niederschläge, weder als Regen noch als Schnee.

Die erneute Umstellung der großräumigen Witterung von Hochdruck auf eine Tiefdruckwetterlage erfolgte am 09.01. Die "zyklonale Nordwestlage" dominierte das Wetter im Rheingebiet vom 09.-12.01. In dieser Schlechtwetterphase wurde auf der Rückseite des Sturmtiefs ORNELLA über Südschweden in einer stürmischen westlichen bis nordwestlichen Strömung überwiegend grönländische Polarluft, später arktische Polarluft ins Rheingebiet verfrachtet. Aufgrund der Zufuhr dieser maritimen Luftmassen stiegen die Temperaturen um 5-10 K an. In allen Teileinzugsgebieten des Rheins fielen an allen 4 Tagen bereits flächenhaft ergiebige Niederschläge, im Tiefland als Regen und in den höheren Regionen der Mittelgebirge als Schnee. Aus **Tab. 2.7** sind die täglichen Gebietsniederschläge der einzelnen Teileinzugsgebiete zu ersehen. Die vorhandene Schneedecke schmolz teilweise im Tiefland ab (siehe Abb. 1.3a: Station Essen), während sie in den höheren Lagen bei andauerndem Frost weiter akkumulierte. Das Anwachsen der Schneedecke wird in **Abb. 2.17** besonders deutlich am Verlauf der Werte für die Stationen Triberg/Schwarzwald und Bad Marienberg/Westerwald.

Als Folge der hohen Niederschläge entstanden in dieser Phase, insbesondere in den Einzugsgebieten der Mosel und am südlichen Oberrhein, kleine Hochwasser. Im Scheitel der Moselwelle wurden am Pegel Cochem bereits Abflüsse > 1.500 m<sup>3</sup>/s erreicht. An Neckar, Main und Lahn war dieses Ereignis ohne Bedeutung. Es ist davon auszugehen, daß die während dieser Phase gefallenen Niederschläge im Flachland für eine weitgehende Vorfällung der Bodenporenräume gesorgt haben.

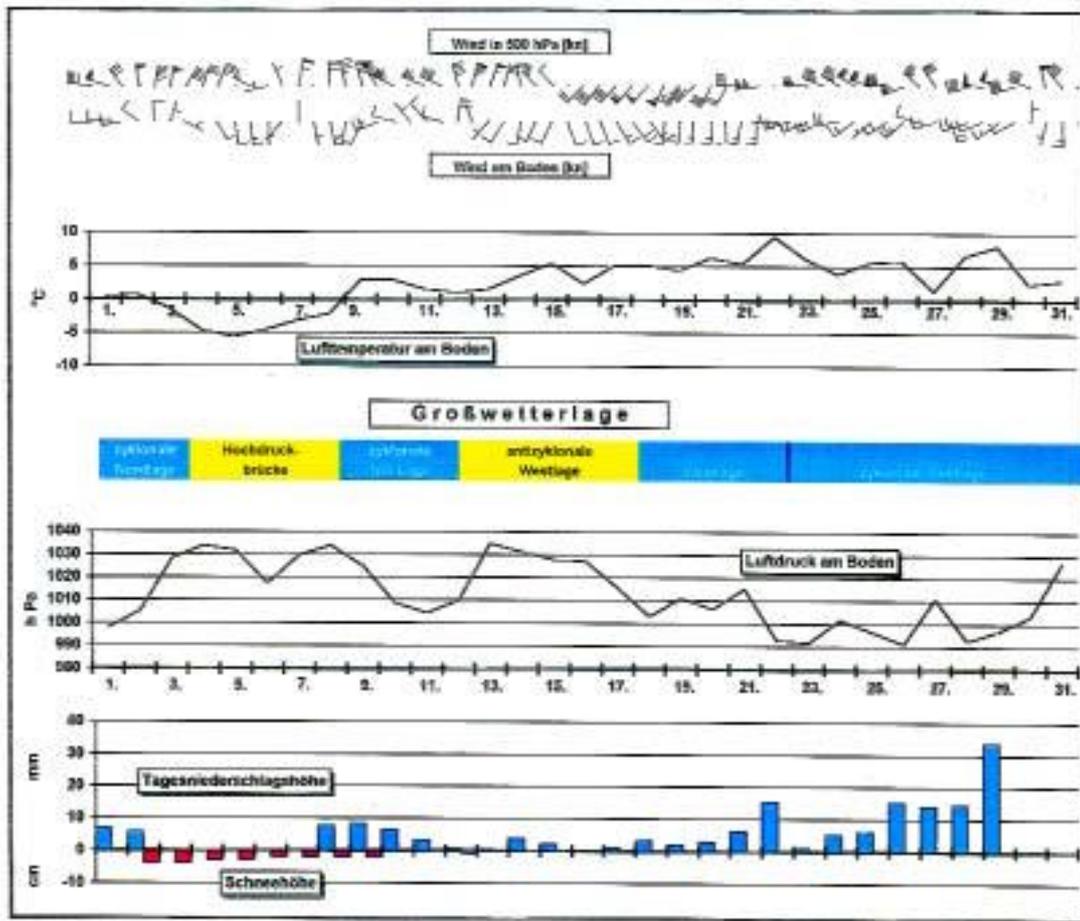


Abb. 2.16a Witterungsverlauf an der Station Essen/Ruhr vom 01.-31.01.1995 (Quelle: DWD)

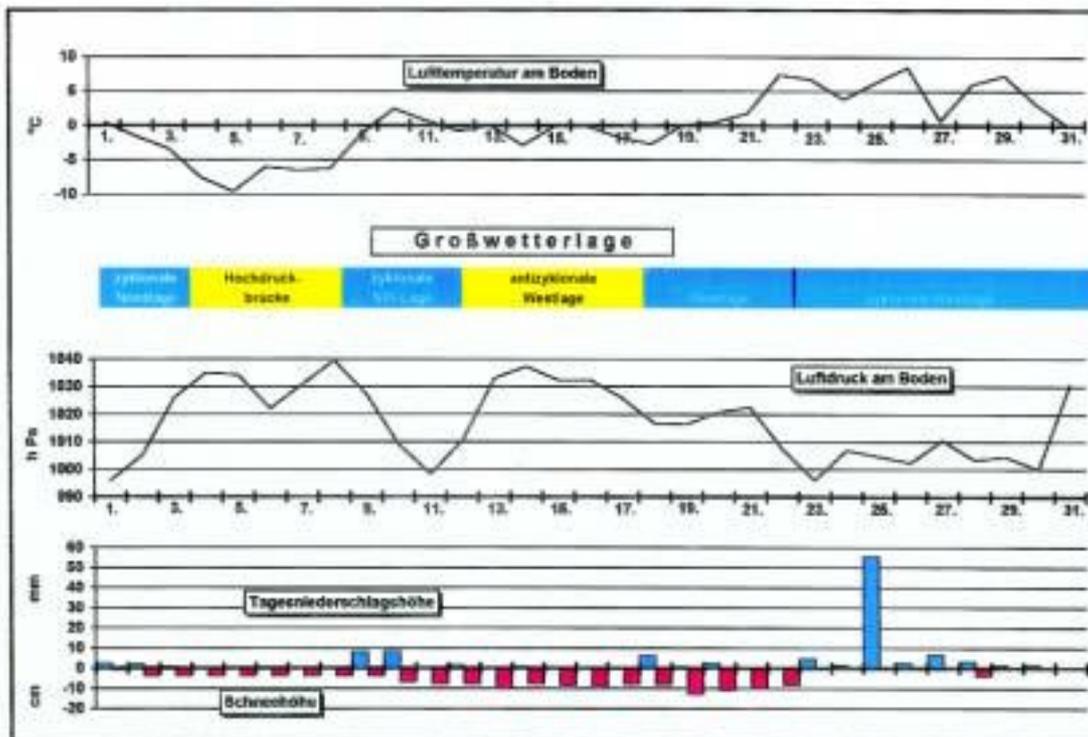


Abb. 2.16b Witterungsverlauf an der Station Nürnberg vom 01.-31.01.1995 (Quelle: DWD)

Tab. 2.7 *Tägliche Gebietsniederschläge in mm vom 01.01.1995 - 31.01.1995 in den Rhein-Teileinzugsgebieten*

Gebiet	Tag des Jan. 1995																															Mon- sum. im Jan. - 1995 [mm]	Vielj. Jan. - Mittel [mm]	Proz. Anteil des Jan. 1995 am vielj. Mittel [%]	
	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.				
Alpenrhein	2	10	1					2	43	14	9						4	1	2				5	2	6	8	1					121	62	196	
Bodensee und ostl. Hochrhein	5	6	1					5	15	4	6						3		5	6	4	14	9	21	5	3	6	5	9			131	68	192	
Aare	6	11			1			3	38	10	11						8		5	5	7	23	11	20	13	3	6	8	14			204	84	242	
westl. Hochrhein - südl. Oberrhein	11	11						2	8	31	8	10					12		7	9	9	17	13	24	7	6	12	5	9			214	102	210	
Ill	2	2						1	4	5	17	1	1		1		8		2	7	12	10	9	17	8	3	13	7	6			137	71	192	
mitt. Oberrhein	7	3						4	7	17	1	4		1			10		3	6	13	10	10	18	9	6	12	7	7			158	79	200	
Neckar	2	6						2	9	16	3	5					8		2	5	9	10	8	23	8	6	9	4	7			142	74	192	
nörtl. Oberrhein - Mittelrhein	1	2						5	6	7	1	2		1			9		1	7	17	1	6	27	5	3	9	4	1			119	43	275	
Main	2	2						2	11	9	1	2		1			7		2	6	20	3	4	38	7	12	13	9	2			154	59	260	
Nahe	1	2						7	6	7	2	3		1			10		2	16	36	3	9	35	6	7	16	11	1			184	56	330	
französische Obermosel	6	2	2					1	4	4	16			1			6		1	14	26	4	9	17	6	7	11	10	4			158	72	219	
Sauer	4	4	1	1				5	8	13	5	3	1	1			2	8	1	5	21	42	6	13	39	15	15	14	22			257	86	299	
Saar	1	1						8	10	12	1	1		1			1	11		3	19	38	2	11	28	6	11	16	17	2			204	81	252
Mittel- und Untermosel	2	3						8	7	8	4	2		1			1	10		3	14	46	3	10	32	11	14	12	19	1			212	67	318
Lahn	5	2						6	11	10	4	1		1			6		1	9	26	2	7	15	10	16	6	15				155	68	228	
Mittelrhein - Niederrhein	6	6						8	13	12	5	2		2			5		1	4	28	2	7	14	13	15	7	19				163	79	206	
Ruhr	8	5						8	16	12	5	2	1	2			6		2	3	9	31	4	7	14	21	14	13	33	1			216	98	221
Lippe und Emscher	8	2						7	11	8	3	1	1	2	1		1	3		2	5	20	3	6	15	10	13	29				154	66	233	
Niederrhein - Nordsee	3	8	2					5	8	7	4			1	1	1	2	1	3	16	14	3	1	6	15	11	4	8				129	67	193	

Eine "antizyklonale Westlage" beherrschte das Wettergeschehen in Mitteleuropa vom 13.-17.01.1995. In dieser südwestlichen bis westlichen Strömung gelangten anfangs Luftmassen ins Rheingebiet, die ihre Ursprünge in den arktischen Polargebieten hatten, später setzte sich atlantische Tropikluft durch. Lediglich noch einige Ausläufer des Nordmeertiefs QUENDULA beeinflussten in abgeschwächter Form die nördlichen Regionen des Rheineinzugsgebietes und brachten dort stellenweise leichte Niederschläge (**Tab. 2.7; Abb. 2.16a**). In den südlichen Regionen setzte sich zunehmender Hochdruckeinfluß mit milder Festlandsluft durch. Gebietsweise Aufheiterungen bewirkten in dieser trockenen Tauwetterphase, daß in den mittleren und höheren Lagen der Mittelgebirge die am 13.01. erreichte maximale Schneedecke kontinuierlich schrumpfte (**Abb. 2.16b, 2.17**). Dies ist besonders deutlich am Verlauf der Entwicklung der Schneehöhe an den höhergelegenen Stationen Triberg und Bad Marienberg erkennbar. Die fortgesetzte Schneeschmelze führte in den mittleren und höheren Lagen der Mittelgebirge teilweise zur Anreicherung der Bodenwasservorräte und erhöhte somit noch die Abflußbereitschaft der Böden in diesen Regionen.

Eine erneute Umstellung der großräumigen Witterung von Hochdruck auf eine Tiefdruckwetterlage erfolgte am 18.01.. Im Verlaufe dieser "winkelförmigen Westlage", die vom 18.-21.01. bestand, überquerten nacheinander Ausläufer der Tiefdruckwirbel ROSWITHA und SOPHIE das Rheineinzugsgebiet. Im Wechsel wurden kühle und milde Meeresluft bzw. milde Festlandsluft herbeigeführt. Die verschiedenen Luftmassenwechsel verursachten verbreitet Niederschläge, die jedoch nur am 18.01. bzw. am 21.01. ergiebige Werte erreichten. Bis in höhere Lagen, mit Temperaturen etwas über dem Gefrierpunkt, fielen die Niederschläge überwiegend als Regen. Deshalb hatte die Witterung im Verlaufe dieser Großwetterlage nahezu keinen Einfluß auf die Höhe der noch vorhandenen Schneedecke. Insbesondere die äußerst ergiebigen Regenfälle am 21.01. im westlichen zur Mosel entwässernden Teil des Rheineinzugsgebietes sorgten gegen Ende dieser Witterungsphase für die hochwasserbegünstigenden hohen Abflußbereitschaften der dortigen Böden (**Tab. 2.7, Abb. 2.17**, Station Remiremont: N = 50 mm).

Im letzten Teil des Monats Januar 1995 (vom 22.-31.01.) beherrschte eine "zyklonale Westlage" das Wetter im Einzugsgebiet des Rheins. Diese äußerst regenintensive Witterung verursachte letztlich in einigen Rheinabschnitten und zahlreichen Rhein Nebenflüssen das außerordentliche Hochwasser. In dieser 9-tägigen Witterungsphase fielen bis auf den 31.01. an allen Tagen und in allen Teileinzugsgebieten mehr oder weniger ergiebige Niederschläge. Hierüber geben im einzelnen die **Tab. 2.7 und 2.8** bzw. die **Abb. 2.16 bis 2.19** Auskunft.

Das Sturmtief THALIA, das von den Britischen Inseln über die Nordsee hinweg nach Norwegen zog, beherrschte zunächst das Wettergeschehen in Mitteleuropa. Die Fronten seines Randtiefs überquerten in rascher Folge mit einer stürmischen westlichen Strömung Deutschland und führten im Wechsel arktische, grönländische Polarluft, mäßig warme und warme Meeresluft heran. Da die verschiedenen Frontensysteme (=Ausläufer) der Randtiefs in dieser Periode das Rheineinzugsgebiet nie als Ganzes, sondern immer nur einige Teile davon streiften, stellten sich die Gebiete mit den höchsten Niederschlagsintensitäten in den verschiedenen Teileinzugsgebieten an unterschiedlichen Tagen ein (**Tab. 2.7**). Dieses heterogene räumlichzeitliche Verhalten einiger Wetterelemente im Rahmen dieser zyklonalen Großwetterlage ist das wesentliche (ursächliche) Merkmal der Hochwasserentstehung.

Was sich in den westlichen Regionen, insbesondere im Einzugsgebiet der Mosel am 21.01. bereits andeutete, setzte sich dort und in einigen benachbarten Teileinzugsgebieten am 22.01. vehement fort. An der Nahe, in den verschiedenen Regionen im Einzugsgebiet der Mosel, an der Lahn, an den Zuflüssen des Mittelrheins wurden am 22.01. die höchsten täglichen Gebietsniederschläge in dieser hochwasserauslösenden Periode gemessen (siehe fettgedruckte Werte in der **Tab. 2.7**). Besonders ergiebiger Regen fiel an diesem Tag im Bereich der Sauer und der mittleren und unteren Mosel. Im Flächenmittel betragen hier die 24-stündigen Intensitäten mehr als 40 mm. Im westlichen Hunsrück, d.h., in den Quellregionen der Nahe und einiger Saaruflüsse fielen bis zu 100 mm Niederschlag an einem Tag (Station Türkismühle: 96 mm). Südlich und teilweise auch nördlich dieser Zone waren am 22.01. die Niederschläge bei weitem nicht so ergiebig.

Die Ausläufer des Randtiefs URANIA bewirkten am 23.01. heftige Niederschläge in den südlichen Regionen des Rheingebiets. Im Einzugsgebiet der Aare wurden an diesem Tag die größten Niederschläge im Verlaufe dieser Großwetterlage gemessen. Ansonsten ergaben sich am 23. und 24.01. in allen anderen Teileinzugsgebieten, verglichen mit den Werten vom 22.01., wesentlich

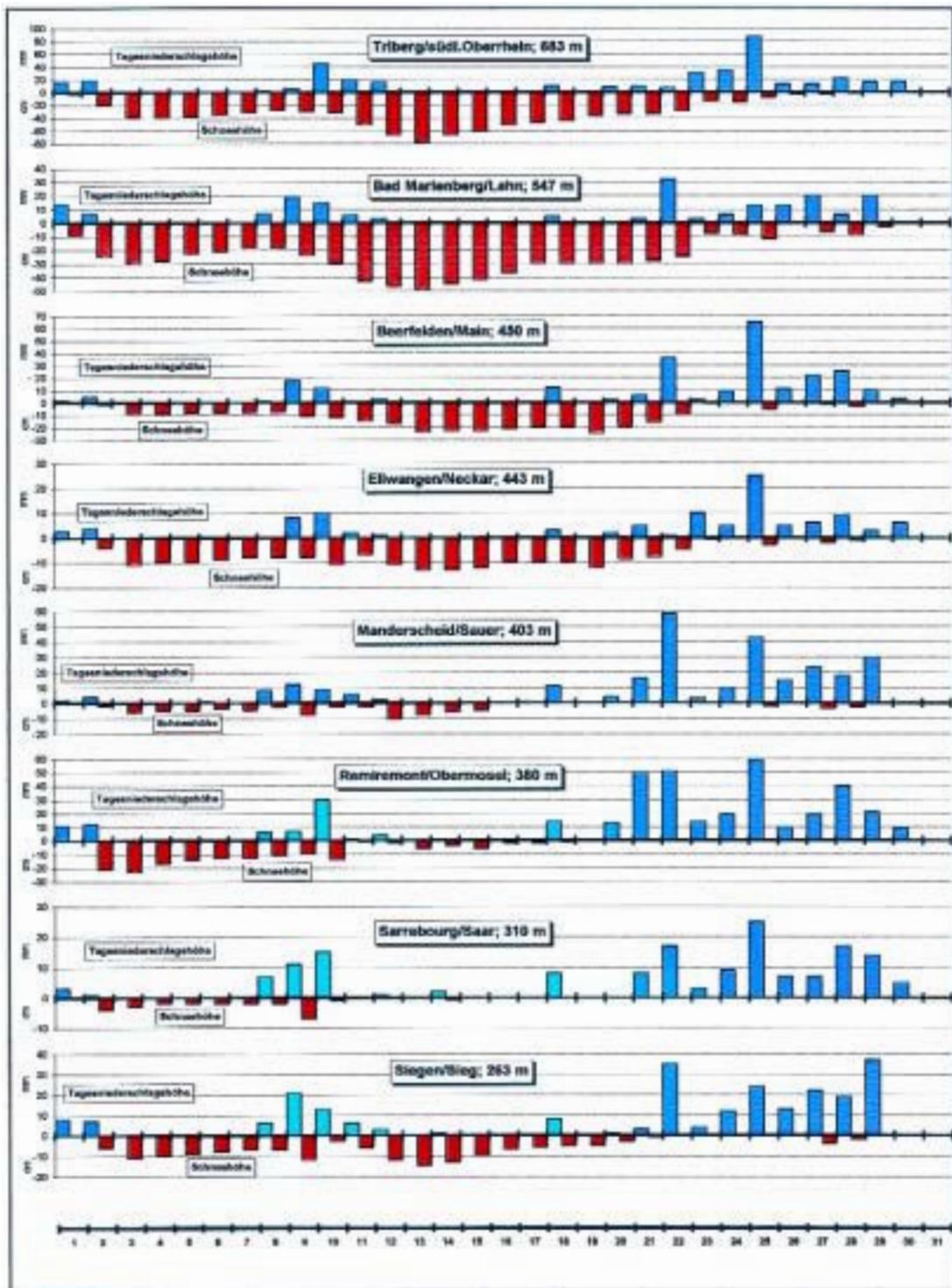


Abb. 2.17 Niederschlag und Schneehöhe vom 01.-31.01.1995 für 8 ausgewählte Stationen in verschiedenen Teileinzugsgebieten des Rheins

geringere Gebietsniederschläge. Aufgrund der starken Temperaturzunahme in der von Südwesten herbeigeführten subtropischen Meeresluft schmolz am 22./23.01. in allen Höhenlagen der Mittelgebirge die teilweise noch mächtige Schneedecke rapide dahin (Abb. 2.17; Stationen Triberg, Bad Marienberg). Am 24.01. waren in den mittleren Lagen der Schnee geschmolzen und in den höheren Lagen nur noch Reste einer Schneedecke verblieben. Die äquivalente Regenmenge, die gebietsweise aus dem Schmelzprozeß am 22./23.01. freigesetzt wurde, kann im einzelnen aufgrund der lokal unterschiedlichen Schneehöhen nicht exakt ermittelt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, daß in den höheren Lagen der Mittelgebirge (> 500 m) eine äquivalente Niederschlagsmenge von schätzungsweise 10-20 mm oberflächlich abgeflossen ist.

Im Verlaufe des 25.01. griff das Niederschlagsgebiet des kleinen Teiltiefs VALESKA mit seinem Zentrum über der Mittelrheinregion auf die südlichen und südwestlichen Teileinzugsgebiete über. Dabei entstand eine außerordentlich scharfe Luftmassengrenze zwischen der von VALESKA herangeführten subtropischen Meeresluft und der weiter nördlich noch vorhandenen subpolaren Meeresluft. Das ausgedehnte überregnete Gebiet erfaßte insgesamt 13 Teileinzugsgebiete, alle südlich des 50. Breitengrades gelegen, vom Bodensee bis zur Mittel- und Untermosel. Gemäß den Angaben der **Tab. 2.7** wurden während der bereits anlaufenden Hochwasserwellen am 25.01. die größten täglichen Gebietsniederschläge in den Einzugsgebieten des Oberrheins, des Neckars und des Mains gemessen. Im Einzugsgebiet des Mains waren die Niederschläge an diesem Tag im Flächenmittel mit 38 mm äußerst ergiebig. Bezüglich der Niederschläge im Maingebiet und auch der Niederschläge am 22.01. im Moselgebiet waren jedoch die maximalen täglichen Werte am Oberrhein und Neckar bei weitem nicht so groß.

Das zu Niederschlägen neigende Schauerwetter setzte sich am 26., 27. und 28.01. mit unterschiedlichen mittleren Intensitäten in allen Hochwassergebieten fort. Außerordentlich scharfe Gegensätze in Nord-Süd-Richtung ergaben sich für die täglichen Niederschläge am 29.01. in den verschiedenen Teileinzugsgebieten des Rheins (**Tab. 2.7**). Verursacht wurden diese unterschiedlich großen Niederschläge durch das neu entstandene Tief ZELLA, das von Irland kommend schnell ostwärts wanderte. Ein gut ausgeprägtes Regengebiet, verbunden mit einer vorlaufenden Warmfrontwelle, erfaßte von Belgien übergreifend insbesondere jene Teileinzugsgebiete, die größtenteils in Nordrhein-Westfalen liegen (Sieg, Wupper, Ruhr und Lippe). Demzufolge wurden am 29.01. und somit am letzten Tag der Witterungsperiode, die das Rheinhochwasser auslöste, die größten täglichen Gebietsniederschläge in den Einzugsgebieten von Ruhr und Lippe gemessen (**Tab. 2.7**). Maximale Stationsniederschläge bis 50 mm wurden registriert. Diese lokal auf das Einzugsgebiet des Niederrheins begrenzten außerordentlichen Niederschläge gaben letztlich den Ausschlag dafür, daß sich im Rhein unterhalb der Siegmündung (Pegel Köln, Düsseldorf, usw.) die höchsten Wasserstände in diesem Jahrhundert einstellten.

In der **Tab. 2.8** und in den **Abb. 2.18 und 2.19** sind die Summen der täglichen Gebietsniederschläge, die in den verschiedenen Teileinzugsgebieten des Rheins in dem hochwasserauslösenden Zeitraum vom 21.-29.01.1995 fielen, aufgeführt bzw. ihre räumlichen Verteilungen dargestellt. In diesem 9-tägigen Zeitraum fielen im Flächenmittel der Einzugsgebiete von Main, Nahe, Lahn, Mosel, Sieg, Ruhr und Lippe mehr als 100 mm Niederschlag. Die größten Mehrtagesummen des Gebietsniederschlags wurden mit 161 mm im Bereich der Mittel- und Untermosel erreicht. In einigen dieser genannten Regionen entsprechen, **Tab. 2.8** zufolge, diese 9-tägigen Niederschlagssummen einem Anteil von über 200% des vieljährig gemittelten gesamten Niederschlags im Monat Januar (Nahe, Sauer, Mittel- und Untermosel). An der Nahe fielen in diesem kurzen Zeitraum insgesamt schon ca. 250% des Niederschlags, der normalerweise im ganzen Monat Januar fällt.

In der **Abb. 2.18** ist die Verteilung der Niederschlagssummen vom 21. bis 29.01.1995 graphisch dargestellt. Als wichtigstes Ergebnis der Analyse dieser Karte kann festgestellt werden, daß in den Einzugsgebieten der Nebenflüsse, die im Rheineinzugsgebiet geographisch in dem Sektor zwischen 49°-51,5° nördl. Breite liegen, die größten Niederschläge im Verlaufe des hochwasserauslösenden Zeitraumes fielen (bis 200 mm). Vergleichbar große Mengen an Niederschlag wurden auch in den Hochlagen des Schwarzwaldes gemessen. Das Rheinhochwasser 1995 entstand aufgrund des hohen Niederschlags in einigen lokal begrenzten Regionen des Maingebiets, an der Nahe, an der französischen Mosel unterhalb von Metz, im Sauergebiet, in den nördlichen Einzugsgebieten der Saar, der mittleren und unteren Mosel und in den höhergelegenen Gebietsteilen von Sieg, Wupper und Ruhr. Einige Regionen, die ebenfalls in dem oben bezeichneten Breitengradsektor und in unmittelbarer Nachbarschaft zum Rhein liegen, haben kaum zu diesem Hochwasser beigetragen. Im einzelnen sind dies am Oberrhein die Region im Bereich der Neckarmündung, die Vorderpfalz, Rheinhessen und das hessische Ried bzw. im Bereich des Mittel- und Niederrheins das Gebiet der unteren Lahn und der Streifen beidseitig des Rheins, in dem das Maifeld, das Neuwieder Becken und die Köln-Bonner Tiefebene liegen. Auch die Niederschläge im Einzugsgebiet des Neckars und in großen Bereichen der Vogesen haben, da sie jeweils auf den Luvseiten der Regengebiete lagen, kaum nennenswerte Hochwasserwellen entstehen lassen.

Die Analyse der Karte mit den prozentualen Abweichungen bestätigt, daß nur einige Teileinzugsgebiete des Rheins in dominanter Weise für die Entstehung des Januar-Hochwassers Verantwortung tragen. Auslöser dieses Hochwassers waren die enormen Niederschläge an Main, Nahe und Mosel.

Tab. 2.8 Summe der täglichen Gebietsniederschläge in mm vom 21.01.-29.01.1995 in den Rhein-Teileinzugsgebieten

Teileinzugsgebiete	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Flüsse	Gebietsnieder- schlagssumme im Zeitraum vom 21.01. - 29.01. 1995				Vielj. gemittelter monatli. Gebietsnieder- schlag des Monats Jan.	Anteil der Niederschlags- summe im 9-tägigen Zeitraum am vielj. gemittelten Gebietsniederschlag
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6 = 5/4</b>			
Alpenrhein	6.406	Vorderrhein, Hinterrhein, Landquart, Ill	26	62	41			
Bodensee und östl. Hochrhein	9.990	Bregenzerach, Argen, Schussen, Thur, Töss, Glatt, Wutach	73	68	107			
Aare	17.883	Simme, Emme, Reuss, Limnat	96	84	114			
westl. Hochrhein - südl. Oberrhein	7.388	Alb, Ergolz, Birs, Wiese, Dreisam, Kinzig	102	102	100			
Ill	4.719	Thur, Fecht, Giessen, Breusch	86	71	121			
mittl. Oberrhein	8.424	Achter, Rench, Murg, Pfinz, Kraich, Moder, Sauer, Lauter, Queich	91	79	115			
Neckar	13.958	Rems, Enz, Kocher, Jagst	81	74	110			
nördl. Oberrhein - Mittelrhein	4.317	Weschnitz, Selz, Wisper	81	43	189			
Main	27.057	Regnitz, fränk, Saale, Tauber, Kinzig, Nidda	112	59	189			
Nahe	4.077	Glan, Alsenz, Simmerbach	139	56	250			
französische Obermosel	11.628	Madon, Meurthe, Rupt de Mad, Seille, Orne	103	72	143			
Sauer	4.550	Aizette, Our, Prüm	188	86	218			
Saar	7.446	Albe, Blies, Rossel, Prims, Nied	149	81	184			
Mittel- und Untermosel	5.024	Kyll, Salm, Lieser, Alf, Ruwer, Dhron	161	67	241			
Lahn	6.158	Ohm, Dill, Gelbach, Aar	105	68	155			
Mittelrhein - Niederrhein	10.347	Wied, Nette, Ahr, Sieg, Wupper, Erft	107	79	136			
Ruhr	4.532	Möhne, Lenne, Volme	146	98	149			
Lippe und Emscher	6.940		103	66	156			
Niederrhein - Nordsee	28.629	Issel, Fechte, Lek, Waal	72	67	107			

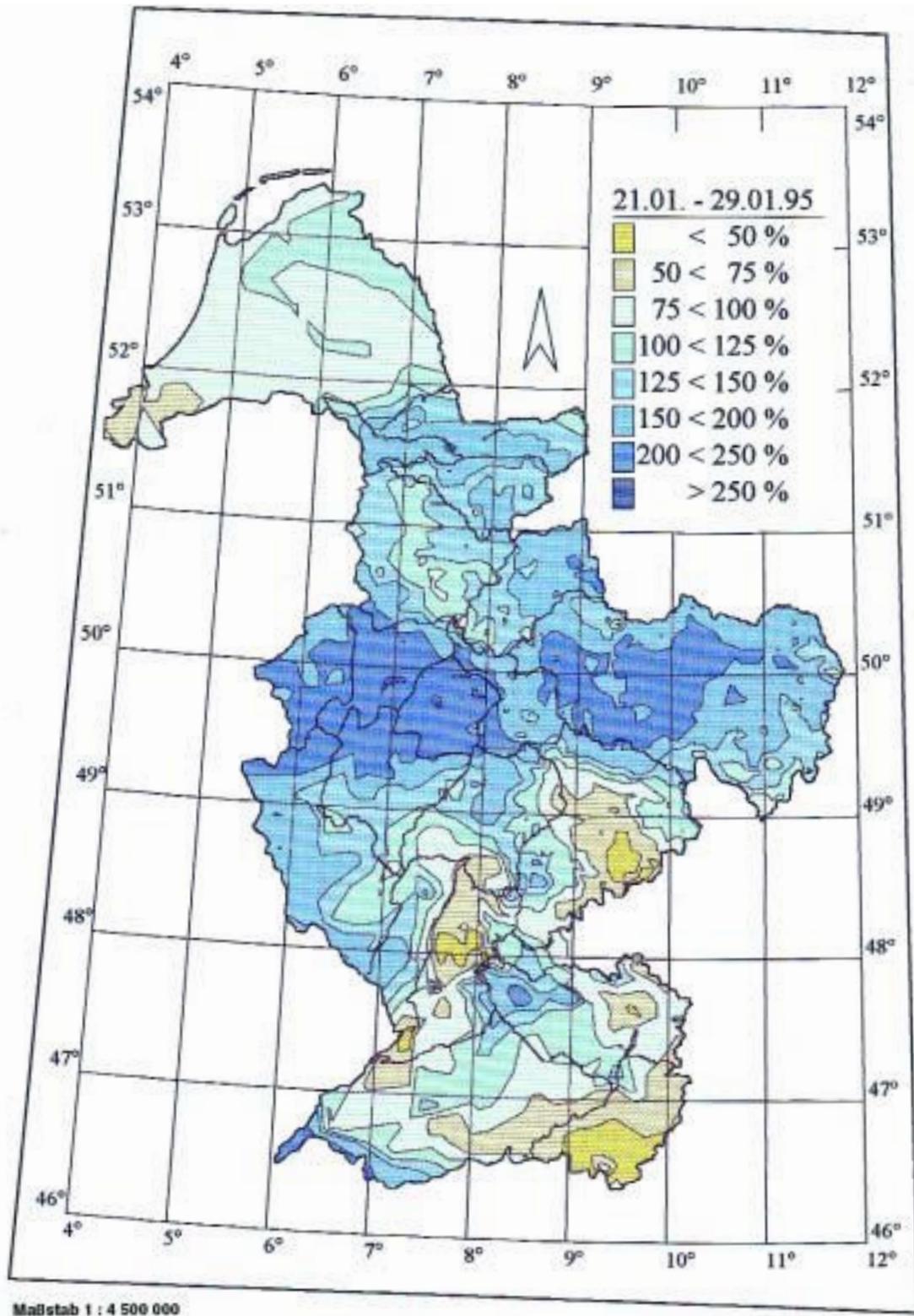


Abb. 2.18 Verteilung der Niederschlagssummen vom 21.-29.01.1995  
(Quelle: Wetterdienste der CH, D, F, L und NL)

### 2.2.5.2 Der Ablauf des Hochwassers im Jan./Febr. 1995

Südlich der Neckarmündung bestanden im Januar 1995 im Gegensatz zu 1993/94 Hochwasser- verhältnisse. Die Scheitelabflüsse erreichten Werte von mehr als 3.500 m<sup>3</sup>/s in Rheinfelden und in Maxau gerade über 4.000 m<sup>3</sup>/s. Ihnen sind Eintretenswahrscheinlichkeiten von ca. 20 Jahren in Rheinfelden bzw. 15 Jahren in Maxau zuzuordnen.

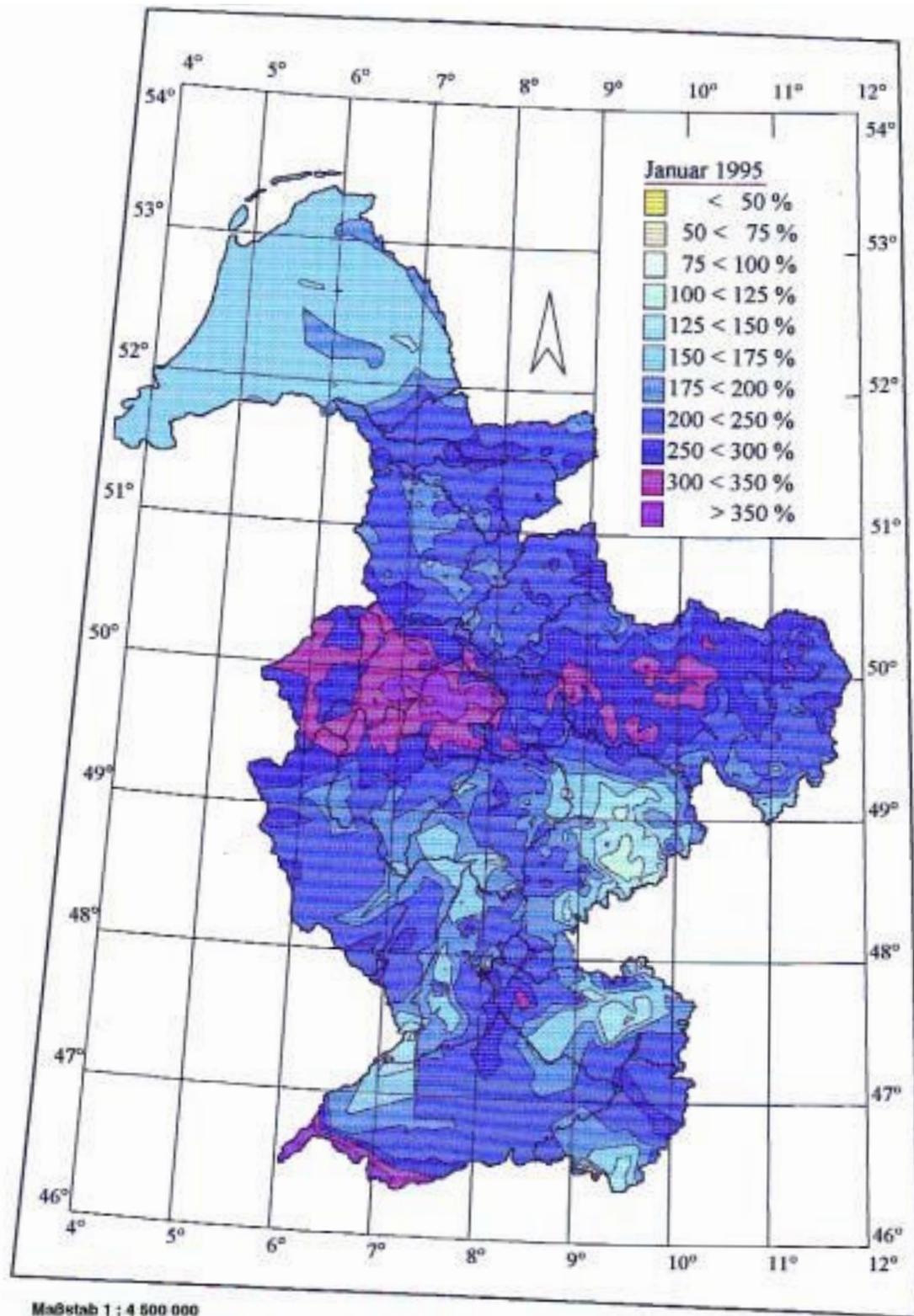


Abb. 2.19 Verteilung der prozentualen Abweichungen der Niederschlagssummen vom 21.-29.01.1995 vom vieljährig gemittelten Januarniederschlag (Quelle: Wetterdienste CH, D, L und NL)

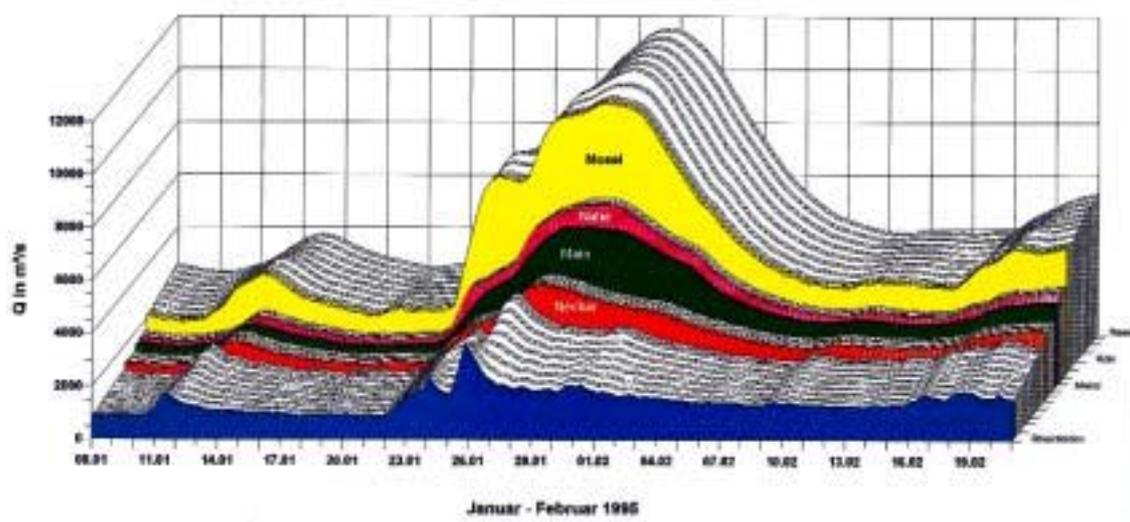
Die Voraussetzungen zum Einsatz der Retentionsmaßnahmen am Oberrhein waren gerade noch nicht erfüllt. Alle Vorbereitungen zum Einsatz wurden allerdings getroffen.

Die **Abb. 2.20 und 2.21** zeigen den Ablauf des Hochwassers in stereometrischer Darstellung der Abflußganglinien für die deutschen Teile von Rhein und Mosel.

Die Hochwassersituation am Hochrhein war nur von kurzer Dauer. Wie in **Abb. 2.20** erkennbar, fielen die Abflüsse im Verlauf eines Tages wieder auf Werte unter  $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , d. h. weit unter das vieljährige mittlere Hochwasser zurück. Da die Zuflüsse aus Schwarzwald und Vogesen einschließlich dem Neckar nur unwesentliche Beiträge lieferten, sank die Jährlichkeit des Rheinscheitels stromab bis zur Mainmündung schließlich auf deutlich unter 10 Jahre. Da der Main extremes Hochwasser führte mit einem langgezogenen Scheitel, ergab sich unterhalb seiner Mündung im Rhein ein Maximalabfluß von fast  $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dieser Abfluß vergrößerte sich vor allem durch die Nahe auf  $6.400 \text{ m}^3/\text{s}$  in Kaub. Die Jährlichkeit des Scheitels kletterte damit auf 20 bis 35 Jahre. Hier überstieg die Welle diejenige von Weihnachten 1993. Anders die Situation in Koblenz, wo die Mosel mit einem um über  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  geringeren Scheitel eintraf als 1993 und damit am Deutschen Eck einen um 31 cm geringeren Hochwasserstand als 1993 erzeugte. Wegen ausgedehnter Extremniederschläge in den Quellgebieten der Sieg stiegen die Fluten trotz dieser günstigen Voraussetzungen bis Köln so erheblich, daß dort der Pegelstand schließlich  $1.069 \text{ cm}$  erreichte. Er lag damit 6 cm höher als 1993 und auf gleicher Höhe mit dem in diesem Jahrhundert maximal gemessenen Wasserstand vom Januar 1926. Unterhalb von Köln bis zur deutschniederländischen Grenze stieg der Abfluß weiter an. Am letzten deutschen Pegel, in Emmerich, wurden schließlich rund  $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$  gemessen bei einem um 1 cm höheren Wasserstand als 1993. Der Wasserstand ist besonders bemerkenswert, da bei niedrigen bis zu mittleren hohen Abflüssen Erosion im Flußbett die Wasserstände heute gegenüber früher mindert. An diesem Ereignis zeigt sich jedoch, daß die Flußbett-Erosion für die Festlegung von Bemessungswasserständen zum Hochwasserschutz nicht ohne weiteres berücksichtigt werden darf.

Charakteristisch für das Januarhochwasser 1995 ist einerseits ein sehr steiler Anstieg bei Wellenanlauf gewesen, andererseits eine sehr große Abflußfülle zur Zeit des eigentlichen, d. h. schädlichen Hochwassers. In Sauer und Saar und damit in der Mosel unterhalb von Trier haben sich vier Scheitel nahezu gleicher Höhe ausgebildet. Im Rhein ergaben sich dagegen drei aufeinanderfolgende, sukzessive ansteigende Scheitel, zwischen denen zumeist keine Abflußabnahmen, sondern praktisch nur Beharrung zu verzeichnen war. Während die Obermosel fast den gleichen Scheitelwert wie 1993 erreichte, blieben die Maximalabflüsse an der Untermosel erheblich unter denen von 1993.

Die steilen Anstiege der Wellen 1995 werden besonders deutlich in **Abb. 2.22**, in der die Wasserstandsganglinien ausgewählter Rhein- und Nebenflußpegel dargestellt sind. Der steilste Anstieg ergab sich an der Untermosel am 23./24.01., wo mit einer Wasserstandszunahme von über 5 m in 24 h ein neuer Rekord aufgestellt wurde. Auffällig ist neben den besonders steilen Anstiegen die Tatsache, daß die Wellen im gesamten Rheingebiet nahezu zum gleichen Zeitpunkt beginnen. Die Zeitverschiebung beträgt zwischen Rheinfelden und Rees kaum 24 h. Was das Zusammentreffen der Scheitel von Rhein und Mosel in Koblenz betrifft, so lief zwar der erste Moselscheitel dem Rheinscheitel um mehrere Tage vorauf, doch ergab die langanhaltende Hochwassersituation an der Mosel schließlich doch eine direkte Überlagerung von Rhein- und Moselscheiteln.



*Abb. 2.20 Hochwasserwelle des Rheins Januar 1995*

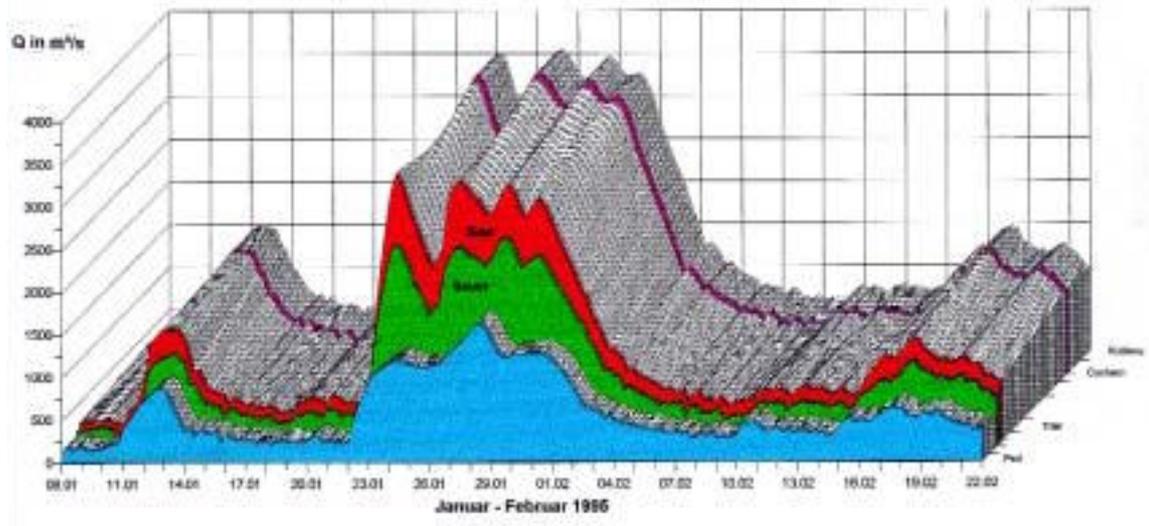


Abb. 2.21 Hochwasserwelle der Mosel Januar 1995

Das Hochwasser 1995 erreichte am Pegel Lobith, insbesondere durch die Zufuhr aus den nördlichen Nebenflüssen, höhere Wasserstände als im Jahre 1993. Am 31. Januar zeigte der Pegel Lobith einen Scheitel von NAP+16.68 m, entsprechend einem Abfluß von 12.000 m<sup>3</sup>/s.

Wie im Jahre 1993 gab es auch in der Maas ein extremes Hochwasser. Die Scheitel trafen wieder etwa gleichzeitig im Flußmündungsgebiet ein. Die erwartete Windsituation zu Beginn des Hochwassers war mit Windstärke 6 aus Nordwesten ungünstig. Damit war der Wind zwar von der Stärke her wohl mit 1993 vergleichbar, aber was die Richtung betrifft, nicht. Der Wind drehte schließlich nach Südwesten, wodurch die Abflußmöglichkeiten in die Nordsee nicht eingeschränkt wurden. Infolgedessen entstanden im Westen der Niederlande keine Probleme. Obwohl der Wasserstand des IJsselmeeres höher als der Zielwasserstand ausfiel, traten auch bei Kampen durch die günstige Windsituation keine Probleme auf. Der Höchstwasserstand erreichte dort NAP+2.12 m. Bei diesem Wasserstand steht der Stadtkai unter Wasser. Die Hochwasserschutzbauten schließen sich an den Kai an und außerdem war aufgrund der anfangs ungünstigen Windaussichten ein zusätzlicher Notdeich gebaut worden, wodurch das Flußwasser die Stadt nicht überfluten konnte.

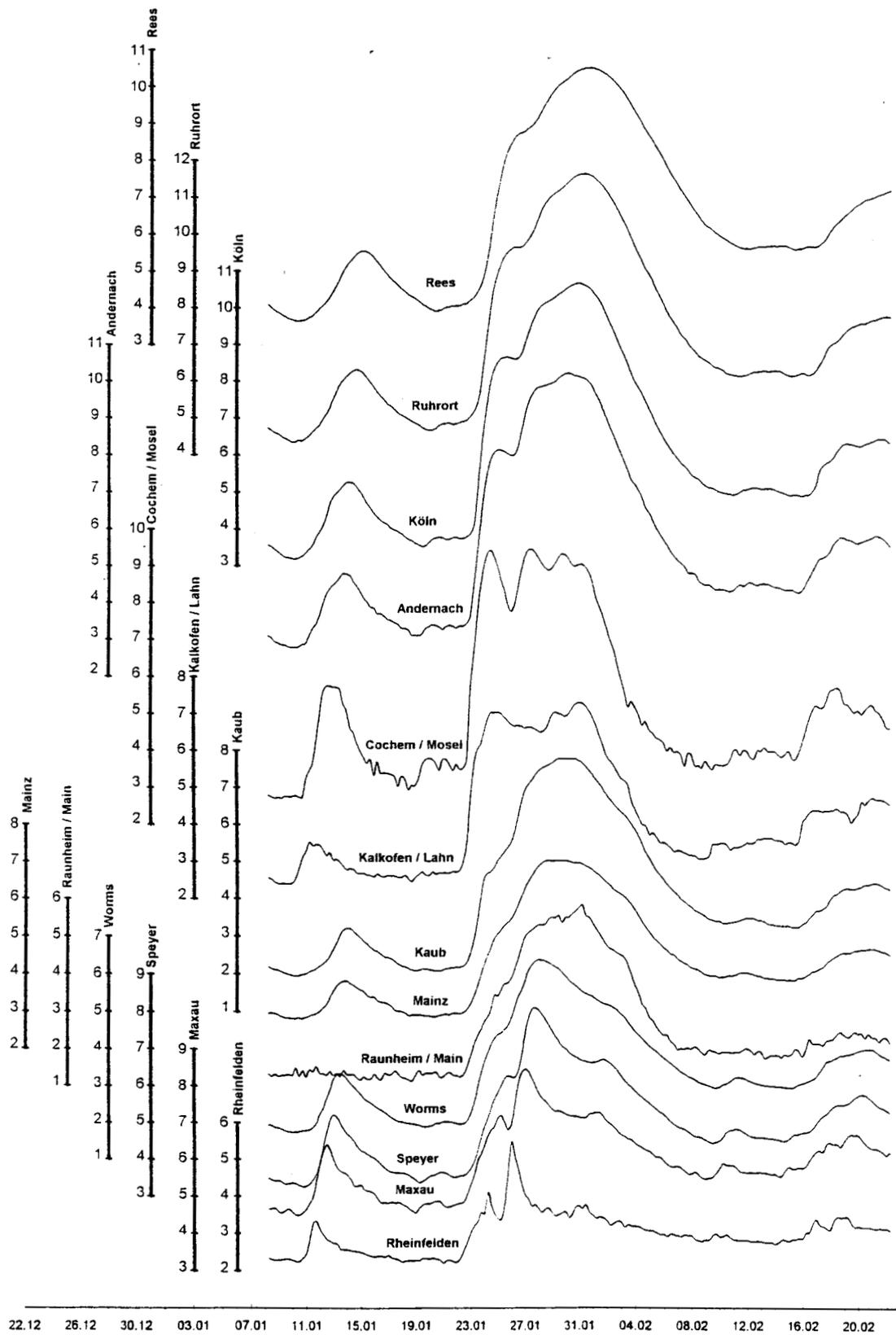


Abb. 2.22 Wasserstände einiger Rheinpegel und ausgewählter Nebenflußpegel

### 3 STATISTISCHE FAKTEN ZU DEN HOCHWASSEREREIGNISSEN IM ZEITABSCHNITT DEZ. 1993 BIS FEBRUAR 1995 [2], [6], [8], [11]

Die **Tab. 3.1** geben einen Überblick über die für ausgewählte Rhein- und Nebenflußpegel geltenden Hauptwerte: Mittlerer Abfluß (MQ), Mittlerer Hochwasserabfluß (MHQ) und Höchster bekannter Abfluß (HHQ). Die **Abb. 3.1a-c** zeigen die Daten der **Tab. 3.1a** graphisch und enthalten zur besseren Einordnung den am jeweiligen Pegel in der hier betrachteten Zeitspanne (12/1993 bis 2/1995) aufgetretenen Maximalabfluß. Ergänzend sind auch die Daten einiger Pegel tabellarisch zusammengestellt (**Tab. 3.1b**), die von nur in Untereinzugsgebieten des Rheins aufgetretenen Hochwasserereignissen (4/1994 und 6/1994) betroffen waren. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß nach einer strengen Frostperiode Ende Dezember 1992/Anfang Januar 1993 im Einzugsgebiet nördlich der Mosel ein außerordentliches Hochwasser stattgefunden hat, das an vielen Eifel-flüssen neue HHQ erbrachte. Sie wurden allerdings zu einem großen Teil schon kaum 1 Jahr später durch die Werte des Weihnachtshochwassers 1993 wieder überholt.

Die Hochwasser in Baden-Württemberg im April, Mai und Juni 1994 waren im Gegensatz zum Dezemberereignis durch Starkniederschläge einer kürzeren zeitlichen Dauer geprägt (wenige Stunden Dauer beim Junihochwasser bis wenige Tage bei den Hochwassern vom April und Mai 1994). Die hohen Niederschlagsintensitäten dieser Ereignisse konnten nicht rasch genug vom Boden aufgenommen werden und flossen daher zu einem großen Teil auf der Oberfläche ab.

Die Hochwasser des Abflußjahres 1994 wurden verbreitet als katastrophale Naturereignisse empfunden, weil in den vergangenen zwei Jahrzehnten keine vergleichbaren Hochwasser landesweit innerhalb nur eines Jahres beobachtet wurden und das Abflußjahr 1994 für Baden-Württemberg in der Tat eines der bislang schwersten Hochwasserjahre dieses Jahrhunderts war.

Betrachtet man jedoch das Hochwassergeschehen an Pegeln, deren Beobachtung bis ins letzte Jahrhundert zurückreicht, so ist zu erkennen, daß Ähnliches auch in früheren Zeiten aufgetreten ist. Entsprechend ergeben sich für diese lang beobachteten Pegel auch keine nennenswerten Veränderungen bei der Beurteilung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten bzw. der Jährlichkeiten für Abflüsse.

Als ergänzender Überblick zur Bewertung der Hochwasser des Jahres 1994 sind in **Tab. 3.2** die Rangfolgen der 5 größten Hochwasser für ausgewählte Pegel zusammengestellt.

Bei Pegeln mit einer über 100jährigen Beobachtungsdauer liegen nur am Pegel Stein/Kocher Hochwasser des Abflußjahres 1994 unter den 5 größten Hochwassern der Zeitreihe.

Tab. 3.1a Hauptwerte ausgewählter Pegel im Rheingebiet

Fluß/Pegel	MQ	MHQ	Zeitreihe	HHQ	Datum	Extremwerte seit *
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s		
<b>Rhein</b>						
Rekingen	439	873	1904-1993	2.250	6. 1910	1904
Rheinfelden	1.030	2.710	31/90	4.270	19.05.1994	1901
Basel	1.030		1808-1973	5.700	13.06.1876	1869
	2.670		1891-1973			
Maxau	1.250	3.050	31/90	4.550	31.12.1882	1880
Worms	1.410	3.340	31/90	5.600	17.01.1955	1880
Mainz	1.590	3.970	31/90	7.000	28.11.1882	1880
Kaub	1.640	4.120	31/90	7.200	29.03.1988	1880
Andernach	2.030	6.040	31/90	11.100	01.01.1926	1880
Köln	2.110	6.210	31/90	11.100	01.01.1926	1880
Düsseldorf	2.140	6.240	31/90	11.200	02.01.1926	1880
Rees	2.280	6.430	31/90	11.700	03.01.1926	1880
<b>Lobith</b>	2.200	–	1901-1975	12.600	04.01.1926	1900
<b>Aare</b>						
Brugg	313	822	1935-1993	1.170	19.05.1994	1916
Stilli	558	1.430	1935-1993	2.320	19.05.1994	1904
<b>Neckar</b>						
Plochingen	46,1	438	21/90	1.150	24.05.1978	1921
Lauffen	88,7	799	51/90	1.650	15.02.1990	1951
Rockenau	135	1.140	51/90	2.690	21.12.1993	1951
<b>Main</b>						
Trunstadt	108	675	76/89	1.310	07.01.1982	1976
Kleinheubach	160	783	59/89	1.800	26.02.1970	1959
Frankfurt	196	932	66/89	1.980	30.01.1995	1966
<b>Nahe</b>						
Oberstein	8,47	145	51/89	390	21.12.1993	1951
Grolsheim	30,3	418	46/89	1.150	21.12.1993	1946
<b>Lahn</b>						
Leun	31,5	278	36/90	746	07.02.1984	1880
Kalkofen	47,1	383	36/90	840	10.02.1946	1880
<b>Sauer</b>						
Bollendorf	41,5	359	59/89	883	21.12.1993	1959
<b>Saar</b>						
Saarbrücken	32	289	56/75	970	22.12.1993	1956
Fremersdorf	80,3	702	46/89	1.420	30.12.1947	1945
<b>Mosel</b>						
Perl	174	1.230	76/90	2.290	12.04.1983	1968
Trier	283	1.860	31/90	3.930	21.12.1993	1880
Cochem	314	2.000	31/90	4.170	21.12.1993	1880
<b>Sieg</b>						
Menden	54,1	552	65/89	1.053	07.02.1984	1965
<b>Wupper</b>						
Opladen	14,3	107	51/95	181	23.09.1957	1951
<b>Ruhr</b>						
Hattingen	69,7	528	68/89	907	01.01.1994	1968
<b>Lippe</b>						
Schermbeck	46,2	246	65/95	370	31.01.1995	1965

\* bis Jan 1995

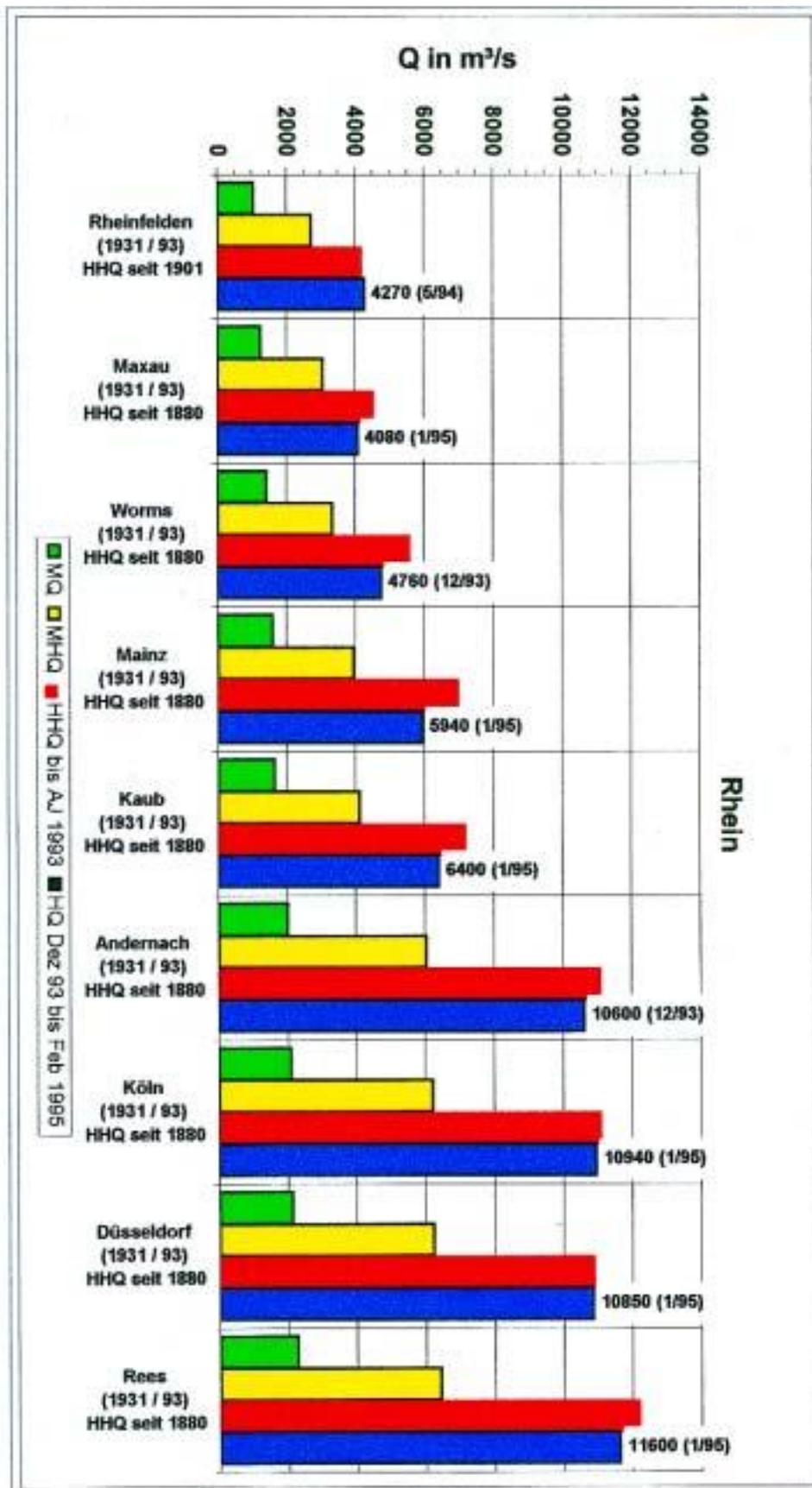


Abb. 3.1a Abflüsse MQ, MHQ und HHQ (Jahresreihe und HHQ seit ... hinter dem Pegelnamen genannt) sowie HQ der Zeitspanne 12/1993 bis 2/1995

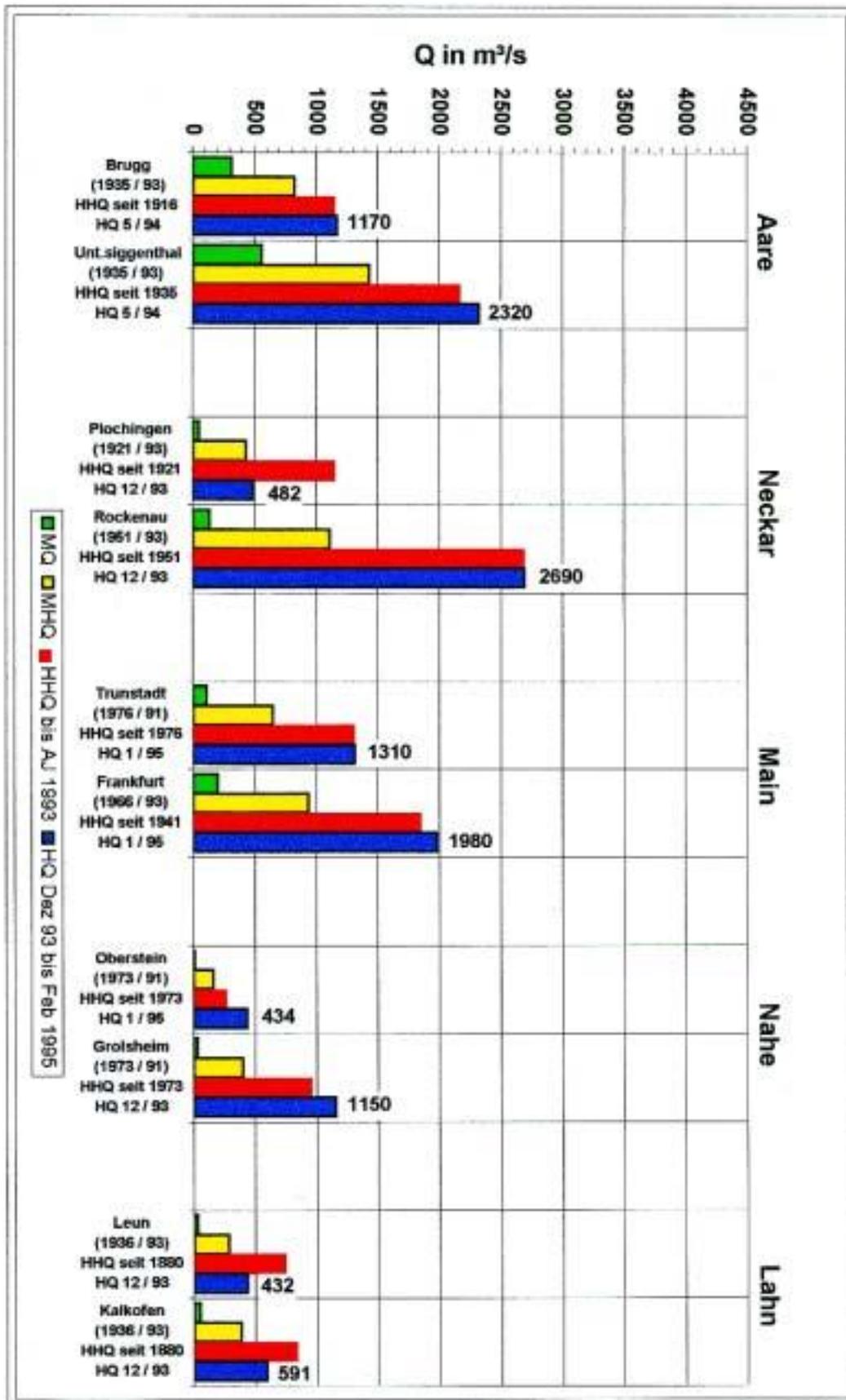


Abb. 3.1b Abflüsse MQ, MHQ und HHQ (für die Jahresreihen - siehe Tabelle 3.3)

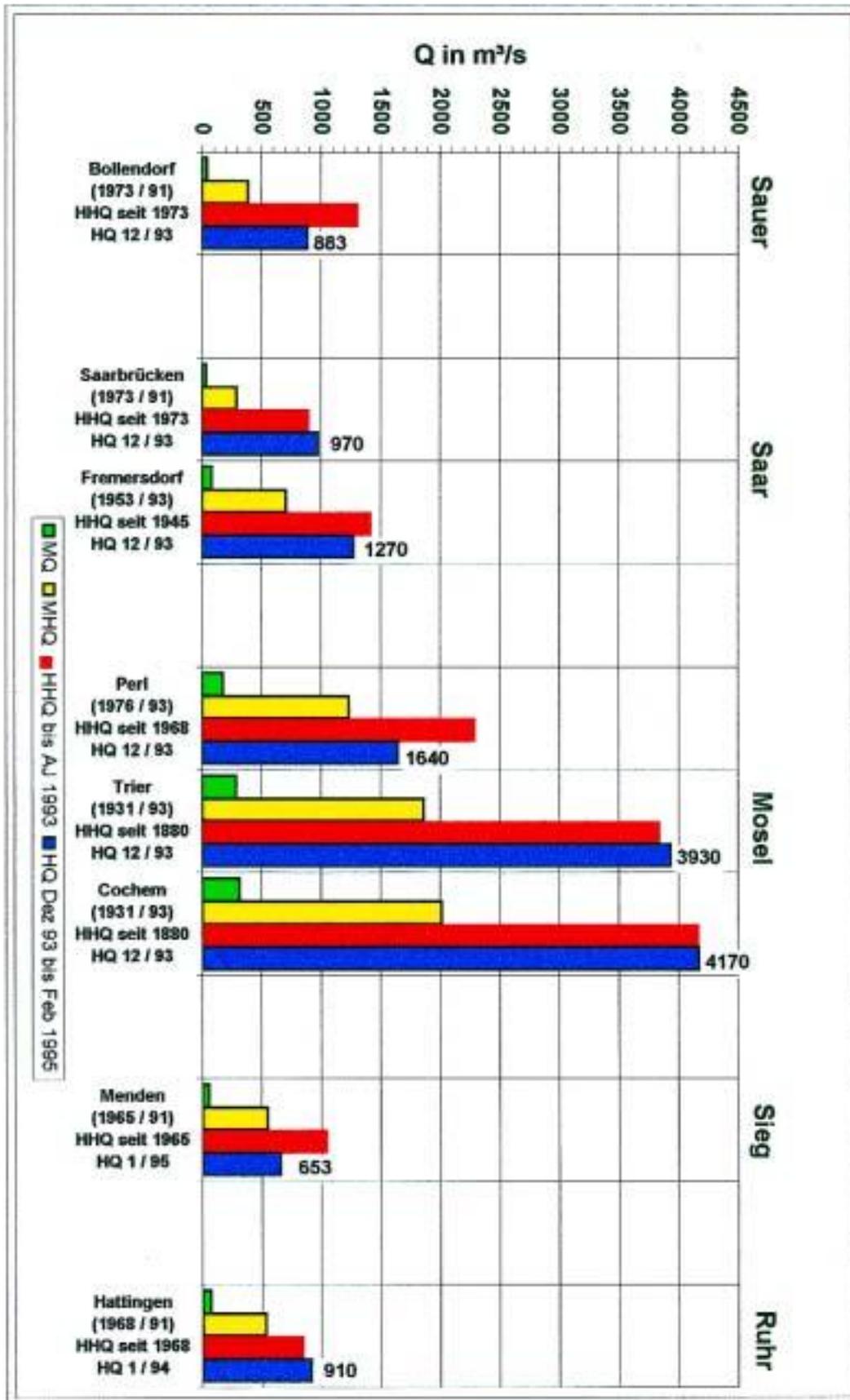


Abb. 3.1c Abflüsse MQ, MHQ und HHQ (für die Jahresreihen - siehe Tabelle 3.3)

Tab. 3.1b Hauptwerte und Maxima der Periode 12/1993 bis 2/1995 von Pegeln in Untereinzugsgebieten des Rheins

Gebiet	Fluß	Pegel	MQ	MHQ	HHQ	HQ	Reihe seit
			m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	(bis 93) m <sup>3</sup> /s	(93-95) m <sup>3</sup> /s	
Hochrhein	Töss	Neftenbach	2,73		270	245 (5/94)	1921
Aare	Lorze	Frauenthal	7,22		32	29 (5/94)	1913
Aare	Reuss	Mellingen	140		720	740 (5/94)	1915
Hochrhein	Ergolz	Liestal	3,67		155	155 (5/94)	1914
"	Birs	Münchenstein	15,2		330	220 (5/94)	1917
Oberrhein	Ill	Colmar				166 (1/94)	1959
"	Zorn	Waltenheim				97,0 (12/93)	1916
"	Moder	Schweighouse				58,5 (12/93)	1966
"	Kinzig	Schwaibach	23,1	312	914	404 (1/95)	1914
"	Rench	Ramsbach	3,66	62,2	167	192 (6/94)	1928
"	Murg	Rotenfels	15,8	265	603	472 (12/93)	1917
Neckar	Eyach	B. Imnau	3,01	76,0	230	284 (5/94)	1968
"	Lauter	Wendlinden	2,82	34,1	82,7	110 (4/94)	1929
"	Enz	Pforzheim	16,9	165	418	554 (12/93)	1932
"	Kocher	Stein	22,5	298	580	640 (12/93)	1882
"	Jagst	Untergriesheim	15,9	194	461	591 (12/93)	1924
Main	Tauber	B. Mergentheim	6,31	95,2	248	250 (12/93)	1895
Mosel	Obermosel	Epinal	39,8		805		1952
"	"	Toul	64,0		1.100		1951
Mosel	Meurthe	Malzeville	39,6		760		1951
"	Seille	Metz	9,8		143		1965
Sauer	Alzette	Ettelbruck	30,1	-	201	>350 (1/95)	1961
"	Prüm	Prümzurley	8,11	112	193	207 (12/93)	1973
"	Nims	Alsd.-Oberecken	2,93	43,8	84	75,9 (12/93)	1973
Mosel	Saar	Sarreinsming	18,5		600	440 (12/93)	1945
"	Kyll	Kordel	9,96	111	184	210 (1/95)	1973
"	Salm	Dreis	1,98	31,8	55,5	46,2 (12/93)	1973
"	Lieser	Platten	3,82	62,1	115	130 (1/93)	1973
Mittelrhein	Wied	Friedrichstahl	8,66	92,4	155	124 (12/93)	1973
"	Ahr	Reimerzhoven	7,74	96,6	194	187 (12/93)	1973

**Tabelle 3.3** enthält für die Pegel der **Tab. 3.1a** die höchsten Scheitelwasserstände und -abflüsse der Rhein-Hochwasser 1993/94, Mai 1994 und Januar 1995 einschließlich ihrer Jährlichkeiten. Sind für die Jährlichkeiten Spannen genannt, so ergeben sich diese durch Verwendung nur der historischen Scheitel (obere Grenze) oder nach Umrechnung der Hochwasserscheitel auf den heutigen Gerinnezustand (untere Grenze).

Die **Tab. 3.1a** und **3.3** nennen Daten für insgesamt 34 ausgewählte Pegel. An 8 dieser Meßstellen hat sich im Dezember 1993, an 3 Meßstellen im Mai 1994 (beginnt man die Reihe Basel 1890, nach Durchführung der 1. Juragewässerkorrektion) und an 2 Meßstellen im Jan. 1995 ein neuer höchster Abfluß, bezogen auf die jeweils genannten Jahresreihen, ergeben. Dabei erreichen die Jährlichkeiten der genannten Abflüsse nur in Rheinfeldern und an wenigen Nebenflußpegeln Werte von 100 Jahren und höher. Überwiegend bewegen sich die Jährlichkeiten um 50 Jahre und weniger. Diese Erkenntnis steht durchaus im Widerspruch zu der den Hochwassern in den Medien zugeordneten Dramatik bzw. den mit dem Begriff Katastrophe gemeinhin assoziierten Fakten.

**Tab. 3.4** gibt, bezogen auf Rheinpegel und den Moselpegel Cochem, für 9 Hochwasser seit 1880 die Rangfolge der Scheitelabflüsse und Wasserstände. Es ist zu erkennen, daß

- die Rangfolgen von W und Q einander nicht entsprechen, was aus den morphologischen Prozessen Erosion und Sedimentation folgt
- Hochwasser im Rhein regional sehr unterschiedlich ausgeprägt sind, was die Heterogenität des Einzugsgebietes und seiner meteorologischen Bedingungen widerspiegelt.

Besonders eindrucksvoll ist, daß sich diese Erkenntnisse auch an den innerhalb von nur 13 Monaten abgeflossenen Hochwassern von 1993/94, Mai 1994 und 1995 belegen lassen.

Betrachtet man die Abflußfülle der Welle 1995, so zeigt sich diese ab dem Mainzufluß im

Tab. 3.2 Hochwasserabfluß-Scheitelwerte an badenwürttembergischen Pegeln, geordnet nach ihrer Größe

Gewässer	Pegel	A <sub>E<sub>0</sub></sub> (km <sup>2</sup> )	Beob.- Reihe	Beob.- Dauer [a]	Rangordnung der Hochwasserereignisse				
					1. Datum, HQ (m <sup>3</sup> /s)	2. Datum, HQ (m <sup>3</sup> /s)	3. Datum, HQ (m <sup>3</sup> /s)	4. Datum, HQ (m <sup>3</sup> /s)	5. Datum, HQ (m <sup>3</sup> /s)
<b>Hoch- und Oberrhein-Einzugsgebiet</b>									
Neumagen	Untermünstertal	67	1931-1994	63	06/1946 45,7	08/1938 43,7	05/1994 43,4	11/1944 39,9	08/1969 39,5
Rench	Ramsbach	106	1928-1994	66	06/1994 192	12/1991 167	12/1947 148	02/1990 114	01/1948 112
<b>Neckar- und Tauber-Einzugsgebiet</b>									
Neckar	Plochingen	3.995	1927-1994	67	05/1978 1.150	04/1983 874	05/1931 850	04/1994 754	12/1947 750
Neckar	Rockenau	12.676	1951-1994	43	12/1993 2.680	04/1994 2.330	02/1990 2.230	03/1956 2.150	05/1978 2.050
Neckar	Heidelberg- Karlstor bzw. - Ziegelhshn.	13.764	1918-1994	76	12/1993 2.560	12/1947 2.450	02/1970 2.340	12/1919 2.320	04/1994 2.270
Glatt	Hopfau 2	202	1928-1994	66	02/1990 225	12/1947 134	10/1986 129	12/1993 128	02/1984 122
Eyach	Bad Imnau	331	1968-1994	26	05/1994 284	09/1940 237	07/1953 206	01/1955 201	07/1938 174
Lauter	Wendlingen	190	1929-1994	65	04/1994 110	05/1931 83,8	06/1971 79,8	05/1978 72,1	06/1969 63,8
Fils	Plochingen	702	1927-1994	67	05/1931 379	04/1994 352	03/1956 349	11/1927 299	07/1987 280
Rems	Neustadt 3	567	1923-1994	71	03/1956 265	05/1931 251	02/1935 243	11/1927 239	04/1994 225
Enz	Pforzheim	1477	1932-1994	62	12/1993 554	12/1947 418	02/1990 391	05/1978 282	03/1988 275
Nagold	Nagold	377	1942-1994	52	12/1993 152	02/1990 144	02/1947 141	02/1984 98,0	03/1988 87,2
Kocher	Stein	1.929	1882-1994	112	12/1993 640	04/1994 612	12/1947 580	12/1885 563	12/1919 536
Jagst	Untergriesheim	1.826	1924-1994	70	12/1993 591	12/1947 461	11/1927 424	04/1994 413	02/1970 401
Schwarzbach	Eschelbronn	198	1955-1994	39	06/1994 137	12/1993 83,2	02/1970 76,9	12/1981 48,8	03/1988 48,5
Tauber	Bad Mergentheim	1.017	1895-1994	99	12/1993 250	03/1988 248	04/1994 237	11/1894 223	11/1896 219

Rhein und in der Mosel als sehr erheblich. In Cochem hat die Welle der Mosel ein die Schadensgrenze von 2.000 m<sup>3</sup>/s überschreitendes Abflußvolumen von über 900 Mio m<sup>3</sup>. Dies ist deutlich mehr, als in der Hauptwelle 1993 mit 656 Mio m<sup>3</sup> und auch noch mehr als für Haupt- und Nachwelle des Weihnachtshochwassers 1993 (mit 844 Mio m<sup>3</sup>) ermittelt. Bis Köln beträgt das Einzugsgebiet des Rheins ca. 145.000 km<sup>2</sup>. Das ergibt bei 100 mm Niederschlag eine gefallene Wassermenge von 14,5 Mrd. m<sup>3</sup>. Im Rhein bei Köln sind ab dem Wellenanstieg am 23.01. in den folgenden 10 Tagen bis zum 01.02. über dem Ausgangsabfluß (Basisabfluß) am 22.02. von rund 2.500 m<sup>3</sup>/s rund 5,8 Mrd. m<sup>3</sup> abgeflossen. Dies entspricht 40% der Niederschlagsmenge. Der Anteil der Mosel an dieser Abflußfülle lag bei 2,2 Mrd. m<sup>3</sup> oder 38% der Abflußfülle in Köln.

Tab. 3.3 Scheitelwerte und Jährlichkeiten der HW 1993 und 1995 für ausgewählte Pegel im deutschen Rheingebiet

Fluß/Pegel	HW Dez. 1993				HW Mai 1994				HW Jan. 1995			
	W cm a.P.	Q m³/s	Jährlich- keit	Datum	W cm a.P.	Q m³/s	Jährlich- keit	Datum	W cm a.P.	Q m³/s	Jährlich- keit	Datum
<b>Rhein</b>												
Rekingen	341	700	<2MQ	20.12.	508	1.450	3	19.05.	432	1.100	<3MQ	25./26.01.
Rheinfeldern	386	2.080	<1	20.12.	640	4.270	160	19.05.	548	3.410	20	25./26.01.
Basel	756	1.960	1	21.12.	1.026	4.640	60	19.05.	929	3.600	10	25.01.
Maxau	749	3.020	2	21.12.	834	3.950	10	20.05.	845	4.080	15	26./27.01.
Worms	686	4.760	20-10	23.12.	535	3.450	2	22.05.	639	4.290	7-5	27./28.01.
Mainz	677	5.570	10-8	23.12.	506	3.500	1	22.05.	703	5.940	23-15	28./29.01.
Kaub	766	6.240	35-25	23.12.	477	3.670	<<MHQ	22.05.	779	6.400	35-20	30.01.
Andernach	1.051	10.600	50-35	23.12.	500	3.850	<2MQ	23.05.	1.025	10.200	40-30	30.01.
Köln	1.063	10.800	50-35	24.12.	542	3.880	<2MQ	23.05.	1.069	10.940	70-45	30.01.
Düsseldorf	1.025	10.730	80-45	24.12.	510	3.870	<2MQ	23.05.	1.032	10.850	80-50	31.01.
Rees	1.030	11.000	80-45	25.12.	548	3.840	<2MQ	25.05.	1.056	11.600	90-50	31.01.
Lobith	1.639	11.000	35	25.12.	1.179	3.639	<2MQ	25.05.	1.667	11.901	80	31.01.
<b>Aare</b>												
Brugg	501	760	1	24.12.	702	1.170	25	19.05.	671	1.100	15	25.01.
Stilli	677	1.070	<2MQ	21.12.	885	2.320	125	19.05.	740	1.620	3	25.01.
<b>Neckar</b>												
Plochingen	395	482	2	21.12.	410	548	4	20.05.	349	383	<1	26.01.
Lauffen	588	1.350	20	21.12.	442	594	<1	20.05.	444	597	1,5	26.01.
Rockenau	994	2.690	50	22.12.	455	705	<1	20.05.	638	1.240	2	26./27.01.
<b>Main</b>												
Trunstadt	653	1.160	3,5	23.12.	186	139	MQ+25	01.05.	686	1.310	5	27.01.
Kleinheubach	529	1.310	8	25.12.	164	235	MQ+80	06.05.	622	1.760	25	30.01.
Frankfurt	431	1.310	3	25.12.	207	277	MQ+80	16.05.	547	1.980	35	31.01.
<b>Nahe</b>												
Oberstein	363	390	>100	21.12.	72	10,9		23.05.	407	434	> 100	23.01.
Grolsheim	508	1.150	>100	21.12.	203	54,1		25.05.	495	1.050	50	26.01.
<b>Lahn</b>												
Leun	599	432	12	22.12.	240	35,4	MQ	27.05.	598	428	11	30.01.
Kalkofen	755	591	12	22.12.	244	45,9	MQ	28.05.	732	553	8	30.01.
<b>Sauer</b>												
Bollendorf	608	883	>100	21.12.	95	34,9		27.05.	569	791	30	23.01.
<b>Saar</b>												
Saarbrücken	932	970	40	22.12.	262	51,0	MQ	24.05.	655	465	3	27.01.
Fremersdorf	744	1.280	60	21.12.	244	97,4	MQ	23.05.	598	800	4	26.01.
<b>Mosel</b>												
Perl	729	1.640	10	23.12.	289	246	MQ+80	24.05.	723	1.610	10	28.01.
Trier	1.128	3.930	80	21.12.	389	423	MQ+150	25.05.	1.030	3.170	20	26.01.
Cochem	1.034	4.170	80	22.12.	322	502	MQ+190	25.05.	947	3.550	25	26./27.01.
<b>Sieg</b>												
Menden	375	539	2,5	21.12.	83	48,3		27.05.	401	653	5	30.01.
<b>Wupper</b>												
Opladen	288	136	5	31.12.	105	18,6		08.05.	275	122	3	30.01.
<b>Ruhr</b>												
Hattingen	517	508	**	24.12.	215	66,0	MQ	4.+27.5.	598	874	20	30.01.
<b>Lippe</b>												
Schermbeck	561	312	8	24.12.	224	46,2		09.05.	614	370	30	31.01.

\*) Die Abflüsse mußten zum Teil geschätzt werden, da die vorhandenen Wasserstands-Abflußbeziehungen nicht ausreichend belegt sind. Die Jährlichkeiten sind Verteilungsfunktionen unter Verwendung der historisch eingetretenen Scheitelabflüsse entnommen.

\*\*) In der Ruhr war der 2. Scheitel bedeutender; er erreichte am 01.01.94 mit 604 cm a.P. und 910 m³/s eine Jährlichkeit von 20-30 Jahren.

Tab. 3.4 Rangfolge der Scheitel von Hochwassern zwischen 1880 und 1995 an ausgewählten Pegeln von Rhein und Mosel (Rang 1 = Höchstwert) nach Abfluß (Q) und Wasserstand (W)

Hochwasser	Basel/ Rhein		Worms/ Rhein		Kaub/ Rhein		Köln/ Rhein		Emmerich/ Rhein		Cochem/ Mosel	
	Q	W	Q	W	Q	W	Q	W	Q	W	Q	W
188-2/83	3		2	1	2	2	>10	8	5	5	>10	>10
1925/26	>100		>10	>10	>10	>10	1	1*	1	1	2	2
1955	>>20		1	2	8	9	>10	>10	>10	>10	10	8
4/1983	>100		6	10	10	>10	9	10	>10	>10	>10	>10
5/1983	>>20		5	6	9	10	7	6	9	>10	9	9
1988	>100		3	4	1	3	8	7	6	>10	>10	>10
1993/94	>100		9	>10	7	8	3	2	3	3	1	1
5/1994	2**		>50		>100		>>100		>>100		>>100	
1995	9		>10	>10	5	7	2	1*	2	2	8	7

\* gleicher Wasserstand

\*\* nach Abschluß der 1. Juragewässerkorrektur (1890) das größte HW

Ein Vergleich der drei an Mosel und Niederrhein in diesem Jahrhundert größten Hochwasserwellen (**Abb. 3.2a und b**) zeigt die enorme Abflußfülle des Hochwassers 1995 in den oberen Abflußbereichen. Dies ist in Köln ablesbar an der Summe der Abflüsse, die hätten zurückgehalten werden müssen, um ein Überfluten der mobilen Schutzwand vor der Kölner Altstadt zu verhindern. 1926 wäre das ein Betrag von 194 Mio. m<sup>3</sup> gewesen, 1993 waren es 167 Mio. m<sup>3</sup> und 1995 mehr als 270 Mio. m<sup>3</sup>.

Hydrologisch besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Abflußfülle oberhalb bestimmter Schwellenwerte des Abflusses und den die Hochwasser auslösenden Niederschlägen. Die Scheitelwasserstände sind mittelbares Ergebnis verschiedener Randbedingungen, wie Abflußkonzentration über Fläche und Zeit sowie Gefälle und Querschnittsform des Gewässerabschnitts. In **Tab. 3.5** sind die 12 Rhein-Hochwasser mit den größten Scheitelabflüssen in Köln seit 1880 (bis 1995) zusammengestellt. Zusätzlich sind die korrespondierenden Scheitelabflüsse der Mosel für den Pegel Cochem sowie die Rangzahlen der Scheitel in der jeweiligen Reihe angegeben.

Für die neun Ereignisse seit 1925/26 sind die Abflußganglinien in Köln und Cochem bekannt. Damit konnten die Abflusssummen, d. h. die Volumina der Wellen berechnet werden und die Abflußfüllen über den jeweiligen Basisabflüssen. Unter Basisabfluß wird hier vereinfacht derjenige Abfluß verstanden, der zu Beginn des Hochwasseranstiegs gegeben ist. Die Abflußfülle über dem Basisabfluß entspricht näherungsweise dem Anteil des Niederschlags, der direkt von der Fläche des Einzugsgebietes in den Vorfluter gelangt ist.

Tab. 3.5 Die 12 größten Scheitelabflüsse am Pegel Köln und ihre Rangfolge an den Pegeln Köln/Rhein und Cochem/Mosel

Nr.	Ereignis	Abfluß und Rang am Pegel			
		Köln Q in m <sup>3</sup> /s	R	Cochem Q in m <sup>3</sup> /s	R
1	1882 (11)	10.400	5	3.640	5
2	1920	10.700	4	4.020	3
3	1924	9.750	8	3.600	6
4	1925/26	11.100	1	4.100	2
5	1947/48	9.950	6	3.740	4
6	1955	9.550	12	3.430	9
7	1970	9.740	9	2.820	>10
8	1983 (4)	9.690	10	3.240	11
9	1983 (5)	9.910	7	3.440	8
10	1988	9.580	11	2.360	>10
11	1993/94	10.800	3	4.170	1
12	1995	10.940	2	3.550	7

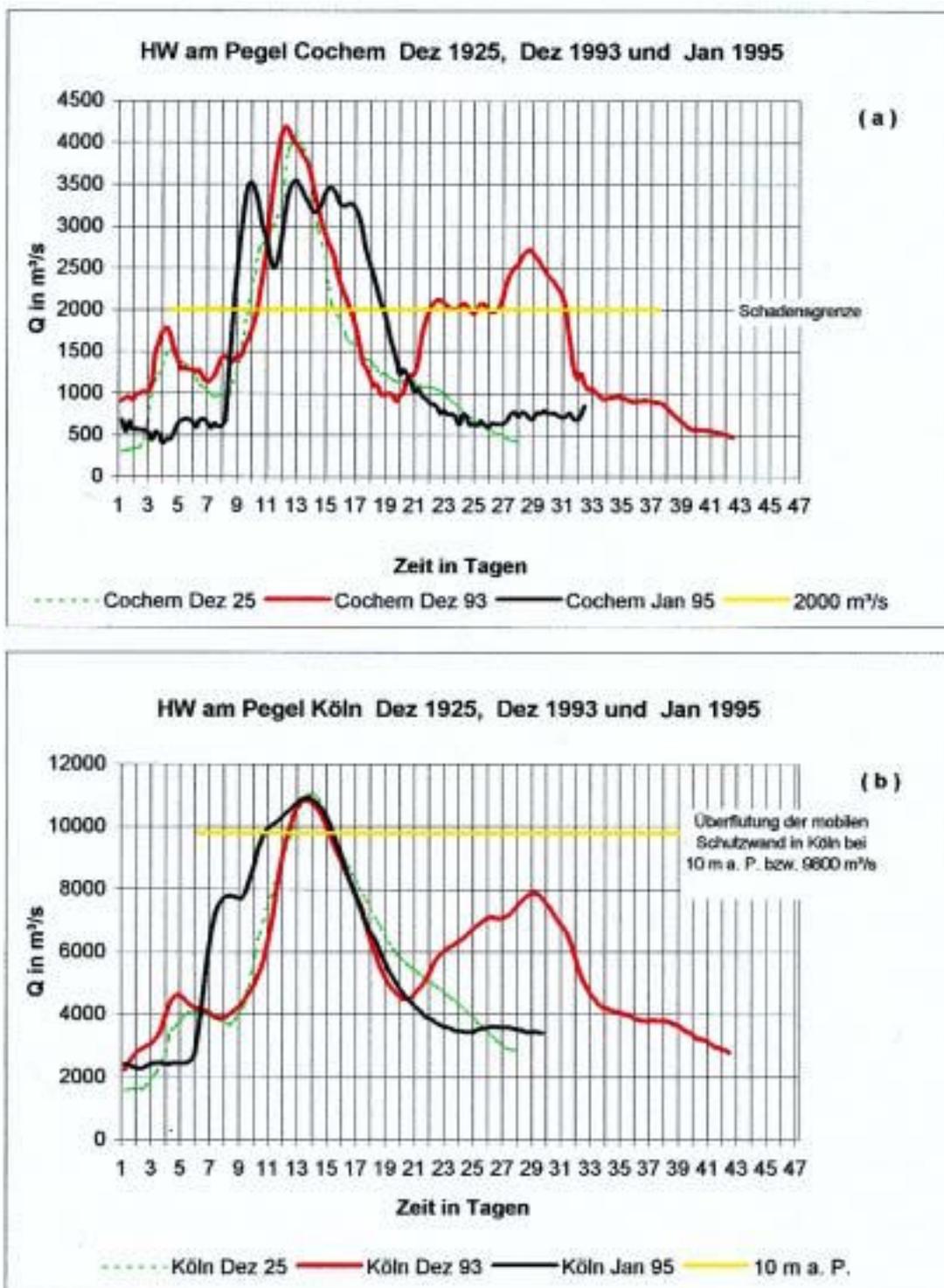


Abb. 3.2 Vergleich der Abflußganglinien der Hochwasser 1925/26, 1993/94 und 1995 an den Pegeln Cochem/Mosel (3.2a) und Köln/Rhein (3.2b)

In Tab. 3.6 sind die neun in Köln größten Hochwasser gemäß ihrer Scheitelgröße absteigend geordnet. Den Füllen über den Basisabflüssen für Köln sind die der Mosel für Cochem angefügt und um die Rangzahlen der Füllen ergänzt. Die Füllen der Mosel sind außerdem noch in % der Fülle des Rheins angegeben. – Aus den Daten läßt sich folgendes ableiten:

- Die größte Fülle ist in Köln im Jahre 1988 eingetreten, allerdings begleitet von einem Scheitelabfluß, der nur auf Rang 8 liegt.
- Das Hochwasser mit dem höchsten Scheitelabfluß (1925/26) erreicht füllenbezogen nur Rang 3.
- Bei den genannten Extremhochwassern in Köln hatte die Mosel in 7 der 9 Fälle an der Abflußfülle

des Niederrheins Anteile von über 26%. 1955 und 1993/94 betragen die Anteile sogar 40 bzw. 42,4%. Im Mittel trägt die Mosel zur Welle in Köln ca. 32% bei.

- Mit großen Wellen in Köln treten in der Regel zeitgleich auch bedeutende Ereignisse in der Mosel auf. Die Rangzahlen der Füllen in Cochem bewegen sich dann auch zumeist in gleicher Größenordnung wie in Köln.

Tab. 3.6 Die neun größten Scheitelabflüsse am Pegel Köln seit 1926 und die Abflußfüllen dieser Wellen oberhalb der jeweiligen Basisabflüsse

Abflußereignis			Pegel Köln/Rhein		Pegel Cochem/Mosel		
Rang	Zeit	Q in m <sup>3</sup> /s	Fülle		Fülle		
			in Mrd. m <sup>3</sup>	Rang	in Mrd. m <sup>3</sup>	in % von Köln	Rang
1	1925/26	11.100	9,4	3	2,8	29,6	2
2	1995	10.800	8,0	4	2,6	29,8	3
3	1993/94	11.000	7,4*	5	3,1*	42,4	1
4	1947/48	9.950	10,3	2	2,2	20,9	5
5	1983(5)	9.910	3,5	9	1,3	35,3	8
6	1970	9.740	4,2	8	1,1	26,2	9
7	1983(4)	9.690	4,2	7	1,4	34,2	7
8	1988	9.580	10,8	1	1,9	17,9	6
9	1955	9.550	6,9	6	2,4	40,0	4

\* nur Hauptwelle

Regelmäßig werden die Hochwasserjährlichkeiten für die Pegel der Wasser- und Schiffsverwaltung nach Möglichkeit aus Datenkollektiven gleicher Jahresreihen (ab 1901) ermittelt. In einigen Fällen sind die Beobachtungszeiten jedoch kürzer, so daß ein direkter Vergleich der Jährlichkeiten untereinander dadurch nicht immer ganz korrekt durchführbar ist. Die Erweiterung der Datenkollektive durch die Scheitelwerte neuer Ereignisse kann die Wahrscheinlichkeitsverteilungen unterschiedlich beeinflussen, in Abhängigkeit von dem Umfang der vorhandenen Daten und von der Größe der hinzukommenden Scheitelabflüsse. An 7 ausgewählten Pegeln (**Tab. 3.7**) mit unterschiedlicher Länge der Datenreihen wird der Einfluß der Hochwasser 1993/94 und 1995 auf die Jährlichkeiten der Scheitelabflüsse verdeutlicht.

Die Pegel Worms/Rhein und Perl/Mosel fallen auf mit sehr geringen Veränderungswerten, d.h., die zu gleichen Jährlichkeiten gehörenden Abflüsse, ermittelt aus den unterschiedlichen Reihenlängen, ändern sich kaum durch Hinzunahme der jüngsten Ereignisse. Zum Teil erhebliche Veränderungen weisen die Daten der übrigen Pegel auf, wobei vor allem die (für HQ100) angegebenen prozentualen Zunahmen der Abflüsse gleicher Jährlichkeiten deren wahres Ausmaß zeigen. – Die Unterschiede finden ihre Begründung darin, daß

- an den Pegeln Worms und Perl die Hochwasserscheitel beider Ereignisse unbedeutend waren
- an den stärkst betroffenen Pegeln sehr außergewöhnliche Scheitelwerte in 1993 und/oder 1995 aufgetreten sind (z. B. Cochem, 1993 größter Wert seit 1784 oder Köln, zweit- und dritthöchste Abflüsse (1993 und 1995) in diesem Jahrhundert)
- am Pegel Rockenau im Dezember 1993 der weitaus größte Wert der Beobachtungsreihe auftrat und im gleichen Jahr ein weiterer Scheitel den zweiten Rang in der Reihe einnimmt. Dies und die nur 45 Jahre umfassende Beobachtungszeit haben zu einer geradezu dramatischen Änderung der Abflüsse gleicher Jährlichkeiten in nur 2 Jahren geführt.

Für den Pegel Lobith hat das Hochwasser 1993 mit einem Scheitelabfluß von 11.100 m<sup>3</sup>/s auf der Grundlage der Statistik der Abflußreihe von 1901 bis einschließlich 1992 eine geschätzte Wiederkehrzeit von 35 Jahren. Der Scheitelabfluß 1995 von 12.000 m<sup>3</sup>/s am Pegel Lobith hat danach eine Wiederkehrzeit von 80 Jahren. Der Höchstabfluß wurde in Lobith 1926 ermittelt, als etwa 12.600 m<sup>3</sup>/s am Pegel Lobith in den Niederlanden eintrafen. Auf der Rangliste der Höchstabflüsse stehen 1995 als Nummer 2 und 1993 als Nummer 3.

Die beiden letzten Hochwasserereignisse beeinflussen die Statistik der Scheitelabflüsse in den

Tab 3.7 Abflüsse verschiedener Jährlichkeiten, abgeleitet aus Jahresreihen (\*) bis 1993 (1) bzw. bis 1995 (2) für ausgewählte Pegel im Rheingebiet

Fluß	Pegel	Scheitelabflüsse in m³/s											Beginn der Jahresreihen	Δ HQ <sub>100</sub> in % von 1	
		HQ <sub>10</sub>			HQ <sub>25</sub>			HQ <sub>50</sub>			HQ <sub>100</sub>				
		1	2	Δ2-1	1	2	Δ2-1	1	2	Δ2-1	1	2			Δ2-1
Rhein	Rheinfelden	3.353	3.347	-6	3.604	3.738	134	3.795	3.970	175	3.989	4.210	221	1931	+5,5
	Worms	4.462	4.471	9	4.926	4.914	-12	5.287	5.255	-32	5.660	5.608	-52	1901	-0,9
	Kaub	5.585	5.682	97	6.183	6.307	124	6.639	6.785	146	7.104	7.275	171	1901	+2,4
Neckar	Köln	8.761	8.983	222	9.840	10.145	305	10.666	11.041	375	11.513	11.962	449	1901	+3,9
	Rockenau	1.770	1.910	140	2.072	2.288	216	2.308	2.594	286	2.555	2.921	366	1951	+14,3
Mosel	Perl	1.620	1.630	10	1.930	1.940	10	2.190	2.190	0	2.480	2.470	-10	1910	-0,4
	Cochem	3.023	3.113	90	3.506	3.631	125	3.887	4.040	153	4.286	4.472	186	1901	+4,3

\* nur historische Werte

Niederlanden stark. Wird in der Ermittlung des Bemessungsabflusses der Zeitraum 1901 bis einschließlich 1995 betrachtet, werden also die neuen Hochwasser einbegriffen, so steigt der 1.250-jährliche Abfluß am Pegel Lobith von 15.000 auf 16.050 m³/s (WL, 1995). In dieser neuen Statistik hat das Hochwasser 1993 eine geschätzte Wiederkehrzeit von 25 und das Hochwasser 1995 von 50 Jahren.

In der Öffentlichkeit liefert jedes Hochwasser neuen Stoff für Diskussionen über die Ursachen von Extremereignissen und über negative Entwicklungen, die anthropogen bedingt sein könnten. Im aktuellen Fall war es nicht nur die Höhe der Wasserstände, sondern vor allem die Wiederholung zweier bereichsweise so außergewöhnlicher Ereignisse in nur 13 Monaten. – Entgegen der häufig geäußerten Meinung hat es Hochwasserhäufungen auch in der Vergangenheit gegeben. – Es ist üblich, daß Perioden nasser Jahre mit Perioden trockener Jahre wechseln. Dabei kann es immer wieder vorkommen, daß auch besonders extreme Hochwasser in kurzer Zeit aufeinanderfolgen. Dieses kann in einem Jahr sein und in einem oder wenigen Jahren Abstand.

So sind zum Beispiel Maximal-Hochwasser an Mittelrhein, Niederrhein und Mosel 1824 und 1825, 1844 und 1845, 1918 und 1920, 1925 und 1926, 1982 und 1983 (2x) aufgetreten. An Hoch- und Oberrhein kennen wir solche Folgen für die Jahre 1882 und 1882/1883, 1978 und 1979 sowie 1986/1987 und 1988.

Die Pegel, deren jährliche Höchstabflüsse in **Abb. 3-3** dargestellt sind, zeigen in mehreren Zeitabschnitten Hochwasserhäufungen. In Köln am Niederrhein sind zwischen 1870 und 1995 vier Hochwasserperioden erkennbar:

- um 1880 (1)
- in den 1920'er Jahren (2)
- um 1950 (3)
- und seit 1983 bis heute (4)

An Ober- und Hochrhein fehlen die Perioden 2 und 3, während die Perioden 1 und 4 klar ins Auge fallen. Wie die Graphiken deutlich machen, sind am ganzen Rhein Tendenzen einer Zunahme der Hochwasserabflüsse erkennbar. Welche Einflüsse dafür verantwortlich sind, läßt sich im einzelnen nicht sagen. Tatsache ist jedoch, daß sich bei den Jahresgebietsniederschlägen seit 100 Jahren ebenfalls ein Anstieg feststellen läßt. Diese Niederschlagszunahmen scheinen in Zusammenhang zu stehen mit ebenfalls festgestellten großräumigen Temperaturanstiegen. Ob diese Erwärmung als Auswirkung des Treibhauseffektes gesehen werden muß, ist nicht nachgewiesen. Die warmen, nassen Winter 1993/94 und 1994/95 passen jedoch in eine Klimaentwicklung, die wir als Folge einer Verstärkung des Treibhauseffektes erwarten könnten.

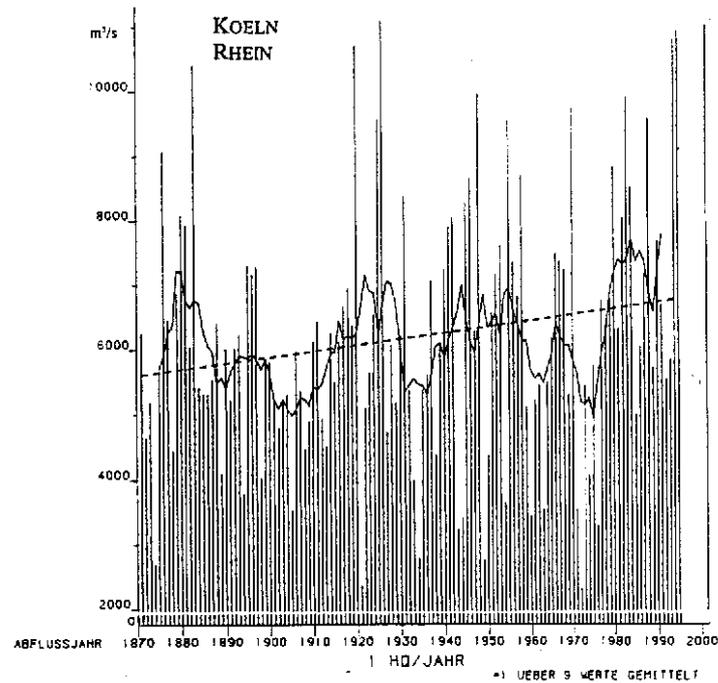
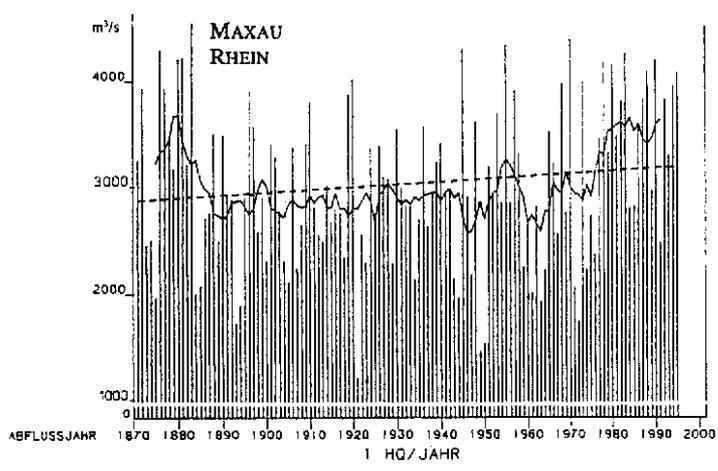
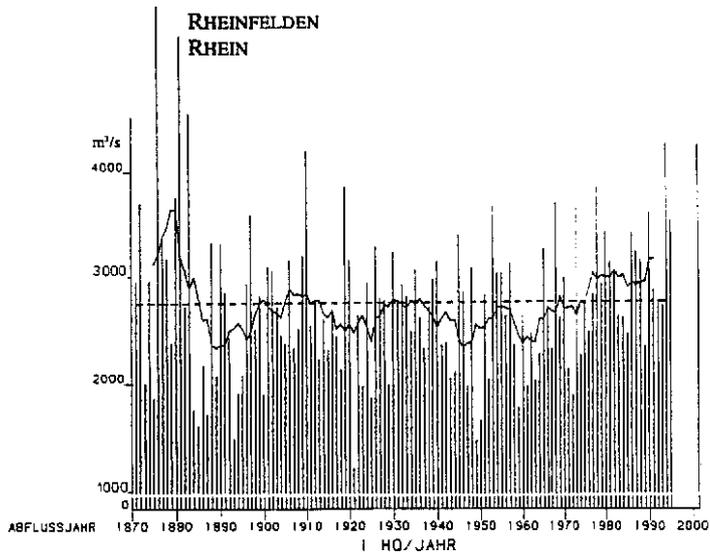


Abb. 3.3 Hochwasserabflüsse (HQ) der Jahre 1871 bis 1995 an den Pegeln Rheinfelden, Maxau und Köln



## 4 WEITERGEHENDE HYDROLOGISCHE BETRACHTUNGEN UND ERGEBNISSE

Der Abfluß in seiner Dynamik hat neben den in freifließenden Gewässern sichtbaren Wasserstandsänderungen auch Bewegungen der Grundwasserstände zur Folge, die andererseits wiederum auf die oberirdischen Abflüsse nicht ohne Wirkung bleiben. Verstärkt werden solche Wechselwirkungen durch technisch herbeigeführte Rückhaltungen im und neben den Flüssen.

### 4.1 Austauschvorgänge zwischen Rhein- und Grundwasser Untersuchungen zum Basisabfluß [2], [5], [8], [10], [12]

Die Wasserstände in oberirdischen Gewässern unterliegen, insbesondere bei Hochwasserereignissen, zum Teil sehr kurzfristigen Schwankungen. Die ufernahen Grundwasserstände, die eine Reaktion auf die Wasserstandsänderungen im Fluß darstellen, werden dagegen durch das Korngüst des Grundwasserleiters stark gedämpft, sofern eine freie Grundwasseroberfläche vorliegt. Sind tieferliegende Deckschichten vorhanden, können sich gespannte Grundwasserverhältnisse einstellen, bei denen spontane Druckübertragungen eintreten.

Im Neuwieder Becken, für das die Austauschvorgänge zwischen Rhein- und Grundwasser repräsentativ anhand eines Meßprofiles bei Urmitz (**Abb. 4.1**) kontinuierlich untersucht werden, liegt eine freie Grundwasseroberfläche vor. Während des Hochwassers dringt Rheinwasser in den Untergrund ein und wird dort zwischengespeichert, bis im Rhein niedrigere Wasserstände auftreten, die einen Rückfluß des gespeicherten Wassers ermöglichen. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen sind in mittlerweile 10 Berichten zusammengetragen.

Zur Berechnung der Austauschvorgänge wird die Methodik der Volumenbetrachtung angewendet. Die Auswertungen für 1993/94 konnten mittlerweile mit der Berechnung der Uferspeicherung, die einem Teil der Grundwasservorratsänderung entspricht, abgeschlossen werden. Die Uferspeicherung läßt sich aus der Grundwasservorratsänderung durch Abzug der Grundwasserneubildung, die wiederum aus der Größe des Niederschlages ermittelt werden kann, errechnen. Sollten im Untersuchungsbereich Grundwasserentnahmen vorhanden sein, sind diese ebenfalls zu berücksichtigen. Im Meßprofil Urmitz existieren keine Grundwasserentnahmen.

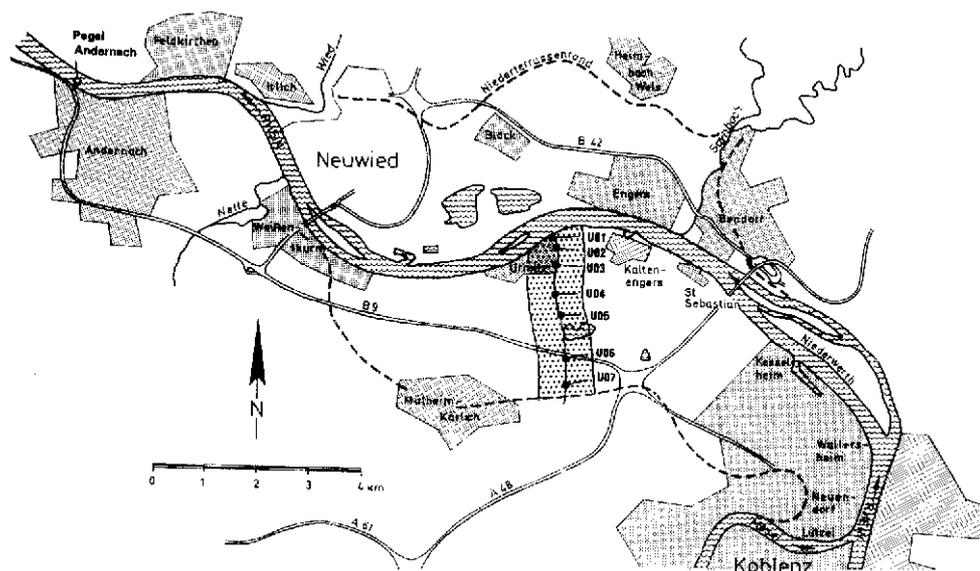


Abb. 4.1 Neuwieder Becken mit Ergänzungsbereich Andernach und Lage des Meßprofiles Urmitz

Für das Neuwieder Becken wird ein mittlerer Niederschlag von rd. 600 mm pro Jahr mit einer Grundwasserneubildungsrate von rd. 4,5 l/s km<sup>2</sup> angenommen. Bei einer Meßprofilfläche von rd. 3,3 km<sup>2</sup> ergibt sich somit eine Grundwasserneubildung aus Niederschlag von knapp 15 l/s bzw. 1.300 m<sup>3</sup>/d. Die Grundwasserneubildung aus Randzufluß beträgt nach nur rd. 1 l/s km. Da das Meßprofil 1 km breit ist, ergibt sich eine Gesamt-Grundwasserneubildung von rd. 16 l/s bzw. 1.400 m<sup>3</sup>/d.

Den Berechnungen der Uferspeicherung für das Meßprofil Urmitz liegt eine tägliche Grundwasserneubildung von 1.500 m<sup>3</sup> zugrunde.

In bezug auf die langfristig mittlere Tageserhöhung des Grundwasservorrates entspricht die Grundwasserneubildung einem Anteil von rd. 3%. Wird dieser Wert auf die maximale Tageserhöhung seit 1982 bezogen, verringert sich dieser Anteil sogar auf nur rd. 0,5%. Seit 1982 hat sich die Uferspeicherung durchschnittlich in knapp 3 Monaten auf- und in gut drei Monaten wieder abgebaut. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Gesamtdauer der Uferspeicherung von etwa 6 Monaten (Abb. 4.2).

Der Aufbau der Uferspeicherung im Zuge des Hochwasserereignisses 1993/94 begann am 9. Dezember und endete am 10. Januar 1994, also nach nur rd. einem Monat mit einem gespeicherten Volumen von rd. 1,67 Mio m<sup>3</sup>/km Uferlänge. Das Rheinwasser war in dieser Zeit mindestens 900 Meter tief in den Grundwasserleiter eingedrungen, das entspricht rd. einem Drittel der Gesamttiefe des Grundwasserleiters bis zum den Aquifer begrenzenden Niederterrassenrand. Wegen anhaltend hoher Rheinwasserstände in der Folgezeit zog sich der Abbau dieses ufergespeicherten Rheinwassers bis Ende Juli, also über rd. 6 1/2 Monate hin (Abb. 4.3).

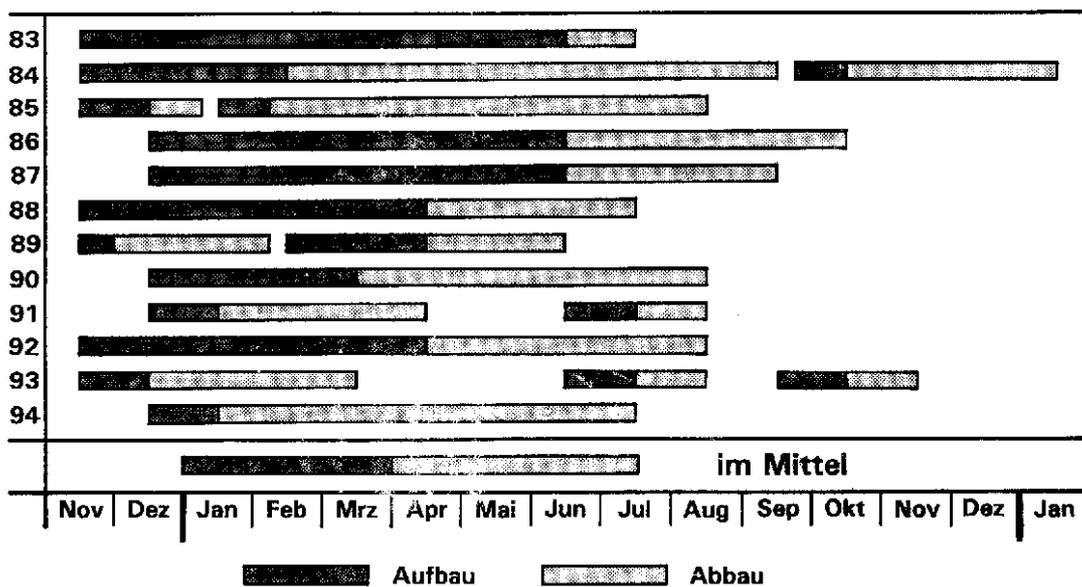


Abb. 4.2 Zeiten der Uferspeicherung in den Jahren 1983 bis 1994

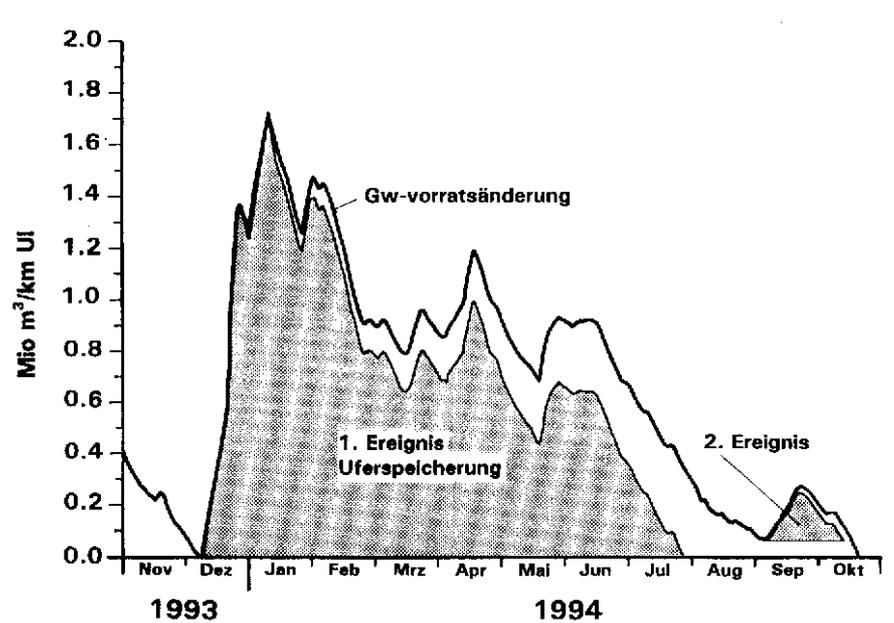


Abb. 4.3 Grundwasservorratsänderung und Uferspeicherung als Folge des Hochwassers 1993/94

Dem Hochwasserereignis vom Januar 1995 liefen seit Anfang Dezember 1994 drei kleinere Ereignisse mit höheren Rheinwasserständen voraus. **Abb. 4.4** verdeutlicht die Situation und zeigt u.a., wie das Grundwasser an den rheinfernere Meßstellen U05 bis U07 kontinuierlich angestiegen ist. Dies hatte auch eine stetige Erhöhung des Grundwasservorrates zur Folge, so daß mit Beginn des eigentlichen Hochwasserereignisses am 23. Januar bereits ein Volumen von rd. 0,5 Mio m<sup>3</sup>/km Uferlänge gespeichert war (**Abb. 4.5**). Obwohl der Spitzenwert des Rheinwasserstandes 1995 im Neuwieder Becken niedriger lag als Weihnachten 1993, baute sich aufgrund der Vorspeicherung ein annähernd gleich großer Grundwasservorrat von rd. 1,7 Mio m<sup>3</sup>/km Uferlänge auf. Nach Umrechnung ergab sich für das Volumen der Uferspeicherung mit rd. 1,64 Mio m<sup>3</sup>/km Uferlänge ebenfalls ein annähernd gleich großer Wert wie 1993.

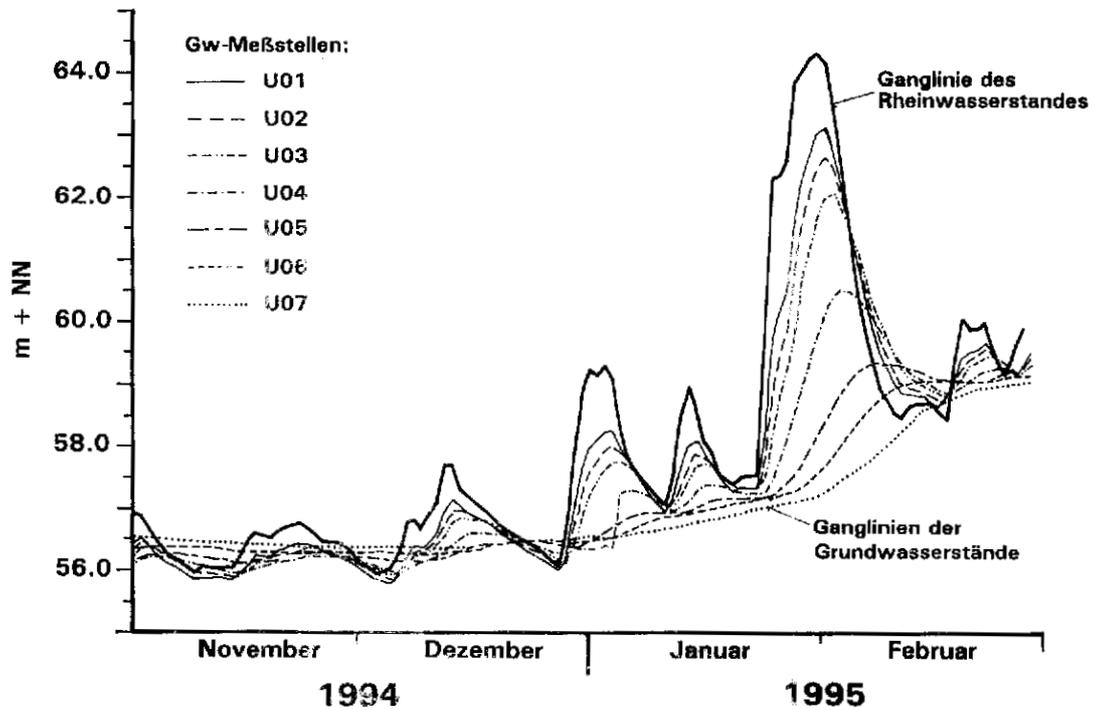


Abb. 4.4 Rhein- und Grundwasserstandganglinien im Meßprofil Urmitz während des Hochwassers 1995

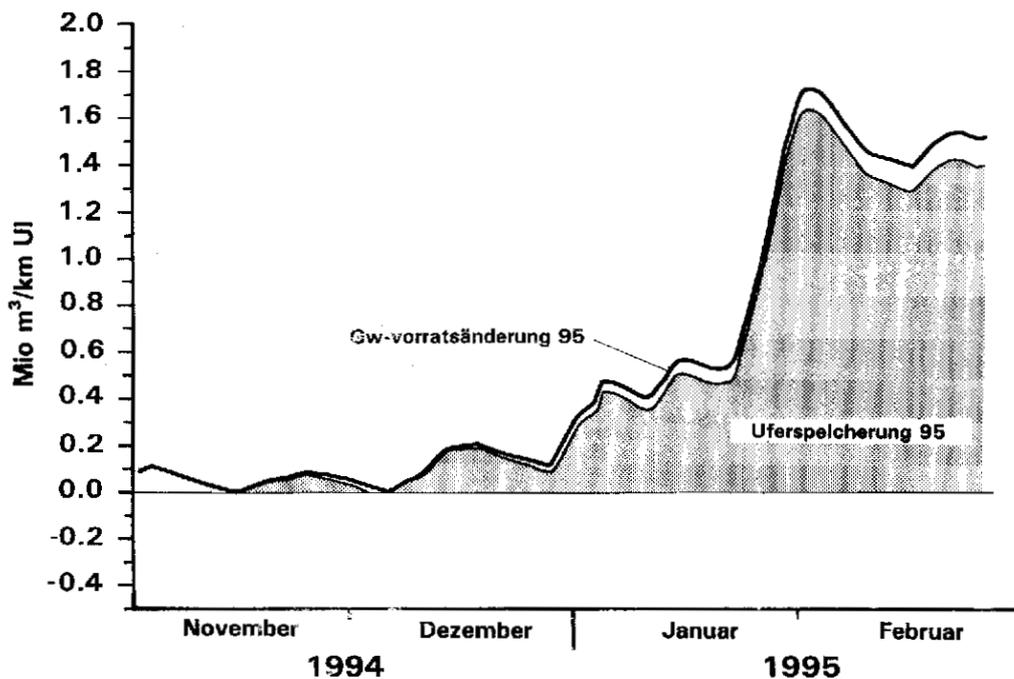


Abb. 4.5 Grundwasservorratsänderung und Uferspeicherung als Folge des Hochwassers 1995

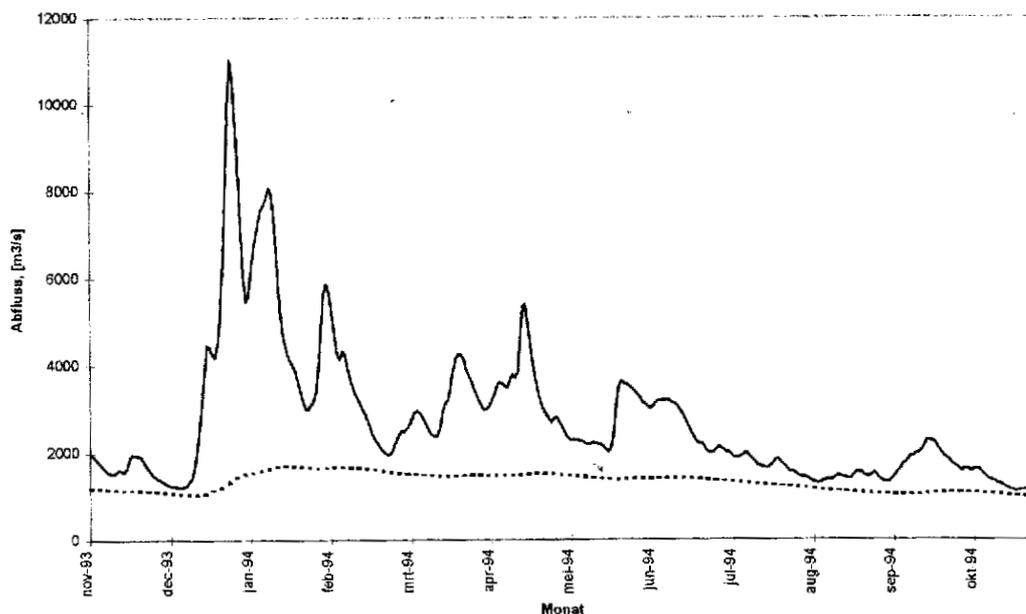
Neben den vorstehend behandelten kurzfristigen Reaktionen des unterirdischen Wasserkörpers auf den Durchlauf einer Hochwasserwelle im Fluß bestehen auch noch sehr langfristige flächenhafte Speicherungen im Untergrund.

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.

Der Basisabfluß läßt sich auch definieren als der Teil der effektiven Niederschlagsmenge, der erst mit bedeutender Verzögerung zum Abfluß kommt. Die Ganglinie des Basisabflusses ist durch eine Rezessionskurve darstellbar. Für Lobith wurde eine Methode zur täglichen Ermittlung des Basisabflusses entwickelt und es wurden die dafür erforderlichen Parameter T und Alpha hergeleitet.

**Abb. 4.6** stellt die gemessene Abflußganglinie am Pegel und den berechneten Basisabfluß für den Zeitraum November 1993 bis einschließlich Oktober 1994 dar. Der Basisabfluß war über das Jahr ziemlich konstant. In der Hochwasserzeit nahm der Basisabfluß stark zu von 1.000 auf 1.700 m<sup>3</sup>/s. Der mittlere Anteil des Basisabflusses am Gesamtabfluß betrug etwa 60%. In Trockenperioden nahm er bis auf über 90% zu; in der Hochwasserzeit ging er bis auf 12% zurück.

Das hydrologische Jahr 1994/1995 weist ein ähnliches Bild auf (**Abb. 4.7**). In der Hochwasserzeit stieg der Basisabfluß stark an, der prozentuale Anteil fiel bis auf 12%. In trockneren Perioden erreichte der prozentuale Anteil des Basisabflusses weit über 90%. Der mittlere Anteil des Basisabflusses am Gesamtabfluß von 75% lag erheblich höher als im hydrologischen Jahr 1993/1994. Dies läßt sich durch den niederschlagsarmen Sommer und den niederschlagsarmen Herbst 1995 erklären, wobei der Basisabfluß einen wesentlichen Teil des Gesamtabflusses ausmachte.



*Abb. 4.6 Berechneter Basisabfluß und aufgetretener Abfluß am Pegel Lobith zwischen November 1993 und Oktober 1994*

#### 4.2 Hochwasserrückhaltungen durch oberirdische Maßnahmen [2], [8]

Anthropogene Eingriffe zur Hochwasserrückhaltung sind derzeit in ggf. zur Hochwasserbewirtschaftung freigehaltenen Teilräumen von Talsperren oder in Rückhaltebecken möglich. Außerdem sind inzwischen Maßnahmen am südlichen Oberrhein einsetzbar. Mittelbar anthropogene Wirkungen gehen von Sommerpoldern aus, von Gebieten, deren gegenüber den Hauptdeichen niedriger

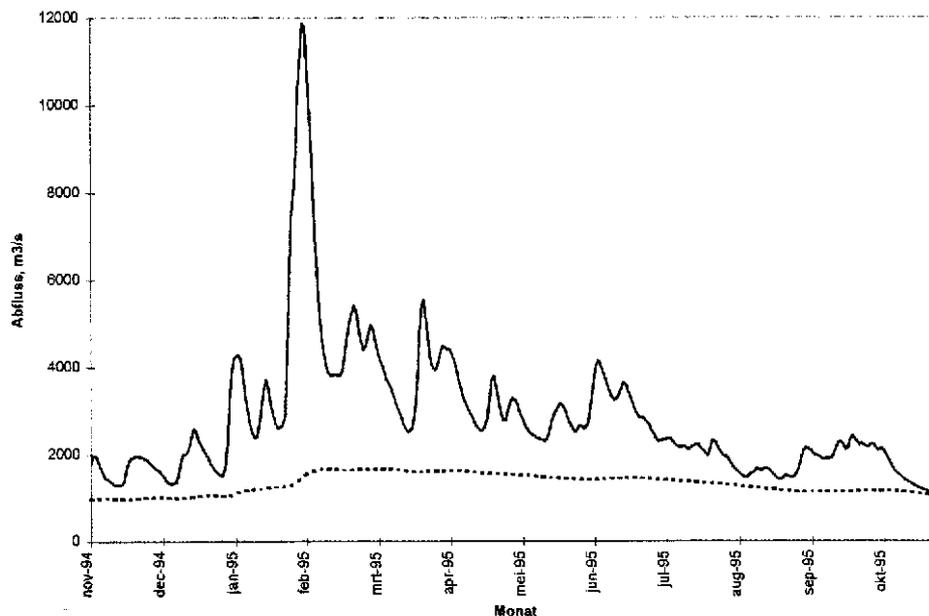


Abb. 4.7 Berechneter Basisabfluß und aufgetretener Abfluß am Pegel Lobith zwischen November 1994 und Oktober 1995

angelegte Schutzwälle erst bei kleinen bis mittleren Hochwassern überströmt werden. Sommerpolder finden sich am nördlichen Oberrhein und am Rhein unterhalb von Köln.

Im Rheingebiet sind flächendeckend eine Vielzahl von Talsperren verteilt. Sie dienen in vielen Fällen der Trinkwasserversorgung sowie der Energiegewinnung. Eine große Anzahl ist auch ausschließlich zum Zwecke der Hochwasserrückhaltung errichtet worden. In jedem Fall ist jedoch der Hochwasserschutz regional ausgerichtet, so daß Wirkungen in nachfolgenden Vorflutern allenfalls sehr schwach ausgeprägt sind. Eine Steuerung aller oder eines Teils der Talsperren zum Nutzen der Rheinanlieger ist wegen Zielkonflikten bei der Nutzung und zur Zeit nicht formulierbarer Steuerungsstrategien nicht möglich. Daneben ist zur Kenntnis zu nehmen, daß allenfalls Bruchteile des vorhandenen Retentionsvermögens im Anforderungsfall einsetzbar wären. Die Talsperren mit möglichen Stauinhalten von  $\geq 10$  Mio.  $m^3$  addieren sich im deutschen Rheingebiet auf knapp 1 Mrd.  $m^3$ . Davon findet sich die Hälfte allerdings erst unterhalb von Köln (an Ruhr und Lippe). Inwieweit vor Ort gesteuerte Füllungen von Rückhaltebecken und Stauseen bzw. Talsperren für den Rhein wirksame Abminderungen ergeben haben, läßt sich nicht abschätzen.

Anders ist es mit der Wirkung der Sommerpolder. Sowohl im Dezember 1993 wie auch im Januar 1995 erreichten die Wellenscheitel unterhalb der Neckarmündung mit 10-jährlichen bis knapp 10-jährlichen Wellenscheiteln Abflüsse bzw. Wasserstände, die die dortigen Sommerdeiche gerade überströmen ließen. Dies führte dazu, daß 1993 die Welle bis zur Mainmündung deutlich abgemindert wurde. – Auch die flutbaren Polder am Niederrhein haben sichtbaren Einfluß auf die Wellen. Mit Anspringen der Sommerdeichüberläufe ergeben sich Abminderungen der Anstiegsgradienten. Allerdings sind bei Erreichen der Scheiteldurchflüsse sowohl 1993 wie auch 1995 am Niederrhein keine Poldereinflüsse mehr wirksam gewesen.

Von ehemals 1.400  $km^2$  Überschwemmungsgebiet am Oberrhein stehen heute noch ca. 450  $km^2$  zur Verfügung. Letztmals wurde in den Jahren 1955 bis 1977 durch Ausbau des südlichen Oberrheins mit Staustufen eine Fläche von 130  $km^2$  ausgedeicht. Die sich daraus ergebenden Hochwasserverschärfungen sollen durch Rückhaltungen im Flußbett und in Poldern neben dem Strom ausgeglichen werden. Der ursprüngliche Retentionsbedarf wurde 1978 mit etwa 220 Mio.  $m^3$  ermittelt.

Die Änderung des Konzeptes unter Beachtung ökologischer Randbedingungen wie Begrenzung von Wassertiefen und Standzeiten in Poldern und die Renaturierung der Auenvegetation hat das erforderliche Rückhaltevolumen auf zur Zeit 290 Mio.  $m^3$  erhöht.

Seit Ende der 80'er Jahre stehen Teile der Maßnahmen am südlichen Oberrhein zur Verfügung.

Sie sind entsprechend internationaler Vereinbarungen nach festen Vorgaben einzusetzen und müssen eine Überflutung der Deiche unterhalb der Staustufenstrecke verhindern. Beim Hochwasser im März 1988 wurden erstmals 25 Mio. m<sup>3</sup> Rückhaltevolumen eingesetzt. Modelltechnische Vergleichsrechnungen haben gezeigt, daß die auf den Pegel Maxau ausgerichtete Wirkung auch alle Scheitelwerte stromab günstig beeinflusst hat. Allerdings verminderten sich die Scheitelreduktionen von 265 m<sup>3</sup>/s in Maxau ( $\cong$  23 cm) auf 100 m<sup>3</sup>/s in Andernach ( $\cong$  6 cm). In Köln betrug die Scheitelreduktion etwa 3 bis 5 cm und hat damit gerade die Überflutung der mobilen Schutzwand vor der Kölner Altstadt verhindert.

Die international vereinbarten Kriterien zum Einsatz der Retentionsmaßnahmen am südlichen Oberrhein waren im Dezember 1993 bei weitem nicht und 1995 gerade noch nicht erfüllt. Allerdings waren 1995 alle Vorbereitungen zum Einsatz getroffen. Sieht man von den einer Füllung der Retentionsräume entgegenstehenden Einsatzkriterien ab, so bleibt darüberhinaus festzustellen, daß die Nutzung der Retentionsmaßnahmen zum gezielten Schutz von Gebieten an Mittel- und Niederrhein auch an der z.Z. fehlenden Vorhersagetechnik scheitern müßte. Es wären Langfristvorhersagen erforderlich – des Eintreffens des Scheitels stromab über 3 1/2 bis 4 1/2 Tage und – der Niederschlags- und Abflußentwicklung am Oberrhein (damit klar ist, daß die Maßnahmen für den Oberrhein selbst nicht benötigt werden) über 5 Tage und mehr.

Solche Vorhersagen sind zur Zeit nicht möglich. In Gebrauch befindliche Modelle leisten maximale Vorhersagen für 36 Stunden.

Schließlich ist festzuhalten, daß die Wirkung der Maßnahmen abflußabhängig ist. Die genannten Volumina werden nur erreicht, wenn im Bereich des südlichen Oberrheins deutliche Hochwassersituationen gegeben sind. Da dies 1993 gar nicht und 1995 nur ansatzweise gegeben war, hätten nur Anteile der rechnerischen Retentionsvolumina wirken können.

Um die überhaupt erreichbaren Effekte richtig einzuordnen ist es hilfreich, sich die erforderlichen Größenordnungen an den hier diskutierten Ereignissen klar zu machen. Allein zur Verhinderung der Überflutung der mobilen Schutzwand vor der Kölner Altstadt hätte den Wellenscheiteln

1993 → 167 Mio. m<sup>3</sup> und

1995 → 270 Mio. m<sup>3</sup>

Abflußvolumen entzogen werden müssen. Zur Zeit sind am Oberrhein weniger als 100 Mio. m<sup>3</sup> steuerbare Retentionsräume verfügbar; letztendlich werden es wie oben berichtet 290 Mio. m<sup>3</sup> sein. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß Retentionswirkungen entlang einer nachfolgenden Gewässerstrecke verflachen. Modellrechnungen zeigen, daß kurzzeitige Abflußerniedrigungen unterhalb von Maxau bis Köln auf ein Drittel ihres ursprünglichen Betrages reduziert werden. Konkret kann bei den bisher geltenden Steuerungen aus 1.000 m<sup>3</sup>/s Reduktion in Maxau eine maximale Wasserstandermäßigung in Köln in der Größenordnung von 30 cm erwartet werden, sofern der Beeinflussungsbereich tatsächlich mit dem Scheitel in Köln zusammentrifft, was jedoch nur in Ausnahmefällen so sein wird.

Welche Retentionsvolumina insgesamt nötig sind, um Extremhochwasser unschädlich zu machen, sei am Beispiel der drei größten Moselwellen dieses Jahrhunderts verdeutlicht: In **Abb. 3.2a** sind diese Wellen (1925/26, 1993/94, 1995) für den Moselpegel Cochem aufgetragen. Ab etwa 2.000 m<sup>3</sup>/s treten an Mittel- und Untermosel deutliche Schäden bei den Anliegern ein. Wollte man diese verhindern, müßten die 2.000 m<sup>3</sup>/s übersteigenden Abflußanteile zurückgehalten werden (Volumina oberhalb der horizontalen Linie in **Abb. 3.2a**).

Die Differenzmengen zwischen Schwellenwert (2.000 m<sup>3</sup>/s) und den jeweiligen Scheitelabflüssen haben betragen:

1925/26 → 561 Mio. m<sup>3</sup>

1993/94 → 844 Mio. m<sup>3</sup> (Haupt- und Nachwelle)

1995 → 900 Mio. m<sup>3</sup>

Wäre es möglich, ein Becken von der Größe des Moseltales zwischen französisch/deutscher Grenze und Koblenz (250 km Länge und im Mittel ca. 300 m Breite, entspr. 75 km<sup>2</sup> Fläche) zu schaffen, so würde diese mit 900 Mio. m<sup>3</sup> 12 m hoch eingestaut. Daß diese Überlegungen für den Niederrhein bedeutsam sind, zeigt die Tatsache, daß große Hochwasser unterhalb Koblenz bis über 40% (im Mittel rund 30%) ihres Abflußvolumens aus der Mosel erhalten.

## 5 WASSERINHALTSSTOFFE

Neben den Wirkungen, die von den Abflüssen bzw. Wasserständen auf die Anlieger direkt ausgehen, ist das Wasser als Transportmedium von großer Bedeutung hinsichtlich der suspendierten und gelösten Stoffe. Hochwasser bringt mit den sichtbaren Wasserstandsänderungen erhebliche morphologische Prozesse in Gang und hat bedeutende Änderungen des Qualitätszustandes der Gewässer zur Folge.

### 5.1 Feststofftransport und Sedimente [2], [8]

Sowohl das Weihnachtshochwasser 1993 als auch das Hochwasser 1995 hinterließen deutliche Spuren. Neben der Zerstörung durch die Kraft des Wassers verursachten überschwemmungsbedingte Verschmutzungen durch Treibzeug sowie Öle und vor allem Schlamm erhebliche Schäden. Großflächig auf den Vorländern, auf innerstädtischen Verkehrsflächen und Parkanlagen, besonders aber auch auf ufernahen Privatgrundstücken und in den Häusern, haben sich viele tausend Tonnen der vom Hochwasser mitgeführten Stoffe abgelagert. Während das Treibzeug (Holz, Plastik usw.) meist von Überflutungsflächen stromauf mitgerissen wird, ist die Herkunft der Feststoffe (Geschiebe und Schwebstoffe) sehr vielfältig.

Das bewegte Geschiebe im Rhein besteht in der Regel aus Kies und Sanden zwischen 0,5 und 60 mm Korndurchmesser. Da seine Zufuhr sowohl vom Oberrhein als auch aus den Nebenflüssen als Folge der Stauregelungen weitgehend abgeschnitten ist, läuft dieser morphodynamische Prozeß überwiegend im Gewässerbett ab und kann hier zu erheblichen Strukturveränderungen führen.

Der Schwebstoff – im wesentlichen Schluff mit Ton und Sandanteilen zwischen 0,001 und 0,5 mm – kommt überwiegend aus dem Einzugsgebiet. Er wird besonders durch Starkregen von Äckern und Siedlungsflächen in die Vorfluter gespült und durch industrielle und kommunale Einleitungen ergänzt dem Rhein zugeführt. Üblicherweise besteht das suspendierte Material zu ca. 90% aus mineralischen und bis zu maximal 10% aus organischen Anteilen. Bei der Hochwasserwelle im Dezember 1993 betrug der organische Anteil 15 - 20%. Das ist zum Teil eine Folge der Starkniederschläge, die erhebliche Mengen der Ackerkrume und der verrotteten Vegetationsdecke in die Flüsse gespült haben.

Sind die Schwebstoffe im Wasser in Bewegung, verursachen sie starke Trübung und sind Bestandteil der Feststofffracht. Lagern sie sich bei nachlassender Strömung ab, tragen sie als Sediment zur Veränderung der morphologischen Sohlstruktur bei.

Die Niederschläge trafen – in beiden Jahren – auf überwiegend vorgesättigte, weiche Böden. Dennoch waren die während der 1995er Welle in den Flüssen gemessenen Schwebstoffkonzentrationen erheblich geringer als 1993. Damit wurden die subjektiven Aussagen vieler Anwohner und Beobachter bestätigt, daß z.B. in den Überflutungsflächen im Raum Koblenz erheblich weniger Schlamm abgelagert wurde.

Spitzenwerte der Schwebstoffkonzentration wurden im Rhein am 24.01.95 in Weißenthurm mit 403 g/m<sup>3</sup> und in Düsseldorf am 25.01.95 mit 427 g/m<sup>3</sup> ermittelt. Das entspricht etwa 438 g/m<sup>3</sup> am 24.01. ebenfalls etwa 75% der Vorjahresbeträge. Die Mittelwerte von Rhein und Mosel liegen bei 30-35 g/m<sup>3</sup>, d.h. während des Hochwasserereignisses wurden 12- bis 14-fach erhöhte Schwebstoffkonzentrationen gemessen.

Aus Schwebstoffmessungen an den Dauermeßstellen von Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel und Abflußdaten der Bezugspegel – zum Teil vorläufig – wurden für Januar und Februar 1995 Schwebstofffrachten berechnet bzw. abgeschätzt, die eine Beurteilung der Schwebstofftransportverhältnisse im Hochwasserzeitraum vom 22.01. bis 12.02.1995 gestatten. Aufgrund der Meßmethode – Einpunktmessung und Probenahme von der Gewässeroberfläche – kann der bei Hochwasser relativ hohe Anteil an suspendiertem Sand im Übergangsbereich zwischen Geschiebe und Schwebstoff allerdings nicht erfaßt werden, so daß die ermittelten Schwebstofffrachten eher untere Grenzwerte darstellen.

Tab. 5.1 Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel für den Zeitraum vom 12.12.1993 bis 12.01.1994 und als mittlere Jahreswerte

Fluß/ Meßstelle	Strom km	A <sub>Eo</sub>  [km²]	Messun- gen seit	Schwebstofffracht mSf		mSf HW mittl. mSf [%]
				Jahresmittel, von Meßbe- ginn bis 1993 [t]	im HW-Zeitraum 1993-/94* [t]	
1	2	3	4	5	6	7
<b>Rhein</b>						
Albbruck-Dogern	108,9	33.987	1973	973.300	173.700	18
Weil	173,0	36.472	1971	1.091.300	178.500	16
Plittersdorf	339,8	48.276	1978	848.200	219.100	26
Maxau	362,3	50.196	1965	1.331.700	289.200	22
Bacharach	543,1	103.729	1971	2.079.400	726.500	35
Weißenthurm	608,2	138.647	1972	3.111.600	2.112.200	68
Düsseldorf	744,2	147.680	1979	3.119.200	1.804.000	58
Emmerich	852,0	159.784	1983	2.680.400	1.820.600	68
<b>Neckar</b>						
Rockenau	61,3	12.676	1972	420.000	356.400	85
<b>Main</b>						
Eddersheim	15,6	27.100	1987	330.900	206.000	62
<b>Lahn</b>						
Kalkofen	31,6	5.303	1971	74.800	74.000	99
<b>Mosel</b>						
Brodembach	27,2	27.872	1982	795.400	991.400	125
* teilweise mit vorläufigen Abflußdaten berechnet						

Aufgrund von Schwebstoffmessungen wurden für den Hochwasserzeitraum vom 12.12.1993 bis 12.01.1994 die Schwebstofffrachten berechnet bzw. abgeschätzt und für Meßstellen an Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel in **Tab. 5.1** zusammengestellt. Verhältniswerte dieser Schwebstofffrachten zu den jeweils mittleren jährlichen Schwebstofffrachten (vom jeweiligen Meßbeginn bis 1993) verdeutlichen den hohen Schwebstofftransport während des Hochwasserereignisses in den genannten Nebenflüssen und im Rhein selbst, etwa ab der Neckarmündung.

Die Schwebstofffrachten für das Hochwasser 1995 sind in **Tab. 5.2** zusammengestellt. Verhältniswerte dieser Schwebstofffrachten zu den jeweils mittleren Schwebstofffrachten der Jahresreihe 1987/94 in Spalte 7 zeigen auch hier den hohen Schwebstofftransport während des Hochwasserereignisses. Der Verhältniswert von 25% bei Albbruck-Dogern läßt auch am Hochrhein auf erhöhte Schwebstofffrachten schließen. Die deutliche Zunahme dieses Wertes in Nierstein geht auf den Schwebstoffeintrag des Neckars zurück. Weitere Anstiege führten zwischen Weißenthurm und Emmerich auf über 50%, desgleichen in Eddersheim/Main, Kalkofen/Lahn und Brodenbach/Mosel. Besonders hohe Beiträge in den Rhein aus dem Einzugsgebiet des Mains (Verhältniswert 85%) und der Mosel (Verhältniswert 75%) kommen darin zum Ausdruck.

Um eine eindeutige Zuordnung der relativen Entwicklung der Frachten in Längsrichtung des Rheins zu erzielen, wurde als Bezugsreihe einheitlich 1987/94 gewählt, da hierfür an allen Meßstellen Daten vorliegen. Somit können die Verhältniswerte der Spalte 7 nicht unmittelbar mit den Ergebnissen im Bericht zum HW 93/94 [4] verglichen werden. Hinzu kommt, daß 1993/94 der Zeitabschnitt zur Berechnung der Frachten 4 Wochen betragen hat und 1995 nur 3 Wochen. Um dennoch die wesentlichen Unterschiede auch in der Frachtentwicklung herauszustellen, wurden die Frachten des HW 95 zu denen des HW 93/94 in Bezug gesetzt; die Ergebnisse sind in Spalte 8 eingetragen.

Die Frachten lagen 1995 im Bereich des Hochrheins und im staugeregelten Oberrhein etwa um die Hälfte bis zu 2/3 höher als 1993; der Main lieferte ca. 50% mehr Schwebstoffe. Aus dem Neckar kamen nur ein Drittel und aus Lahn und Mosel etwa die Hälfte der 93/94er Frachten zum Rhein.

An den Rheinmeßstellen Maxau und Emmerich ergaben sich ca. 70-90% der damaligen Werte; lediglich an der Meßstelle St. Goar bewirkte die starke Zufuhr des Mains eine Anhebung.

Tab. 5.2 Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel im Hochwasserzeitraum vom 22.01. bis 12.02.1995 als mittlere Jahreswerte und im Vergleich zum HW 1993

Fluß/ Meßstelle	Strom- km	A <sub>E0</sub>  [km <sup>2</sup> ]	Messun- gen seit	Schwebstofffracht mSf		mSf HW95 mSf 1987/9-4 [%]	mSf HW 95 mSf HW 93 [%]
				mittlere Jahres- fracht 1987/94 [t]	HW-Zeitraum 1995 [t]		
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Rhein</b>							
Albbruck-Dogern	108,9	33.987	1973	1.152.500	288.200	25	166
Weil	173,0	36.472	1971	1.552.700	254.700	16	143
Maxau	362,3	50.196	1965	1.289.500	229.500	18	79
Nierstein	480,6	70.387	1984	1.329.200	365.800	28	-
St. Goar	557,0	103.842	1971	2.128.400	775.600	36	107
Weißenthurm	608,2	138.647	1972	2.924.000	1.511.600	52	72
Düsseldorf	744,2	147.680	1979	2.686.000	1.666.600	62	85
Emmerich	852,0	159.784	1983	2.936.000	1.592.100	54	88
<b>Neckar</b>							
Rockenau	61,3	12.676	1972	413.600*	135.700	33*	36
<b>Main</b>							
Eddersheim	15,6	27.100	1987	357.100	303.200	85	147
<b>Lahn</b>							
Kalkofen	31,6	5.303	1971	78.300	39.800	51	54
<b>Mosel</b>							
Brodenbach	27,2	27.872	1982	718.900	537.900	75	54

\* mSf 1987/93

Die größenmäßige Verteilung der Hochwasser-Schwebstofffrachten entlang der ‘‘Rhein-Achse’’ und an den vier genannten Nebenflüssen ist in den **Abb. 5.1 und 5.2** maßstäblich dargestellt. In den **Abb. 5-3 und 5-4** sind die Schwebstofftransportverhältnisse des Rheins nach **Tab. 5.1**, bzw. **5.2**, Spalten 6 u. 7 einmal als HW-Fracht und zum anderen als Verhältnis der Frachten des HW 93/94 bzw. 95 und der vieljährigen Mittelwerte aufgetragen. Besonders deutlich werden hier die Beiträge von Main und Mosel.

Aus den Ganglinien der täglichen Schwebstofffrachten und des täglichen mittleren Abflusses in **Abb. 5.5** ist abzulesen, daß in Maxau die höchste Tagesfracht 1995 zeitgleich mit dem größten Abfluß auftrat. Dies war in Brodenbach/Mosel nur bei der ersten Hochwasserspitze der Fall. Der zweite Schwebstofffracht-Höchstwert lag dort vor dem Abflußscheitelwert. In Weißenthurm fand der maximale Schwebstofftransport des Hochwasserereignisses ebenfalls vor dem Abflußscheitel statt, wahrscheinlich durch den Schwebstoffeintrag der Mosel bedingt.

Beim Vergleich von Hochwasser-Schwebstofffrachten ist zu bedenken, daß deren Bilanzierung problematisch ist, da einerseits die Masse von abgelagerten Schwebstoffen in Überschwemmungsgebieten nicht bekannt ist und andererseits die mögliche Resuspendierung von früher abgelagerten Schwebstoffen unter bestimmten Abflußbedingungen eine weitere unbekannte Größe darstellt. Besonders der Frage der Interaktion zwischen Gewässerbett und Überschwemmungsflächen sowie der daraus abzuleitenden Frachtentwicklung in Längsrichtung muß intensiv nachgegangen werden.

Die Geschiebebewegungen sind bei einem Hochwasserereignis ebenfalls entsprechend groß. So wurden 93/94 für den Rhein zwischen Koblenz und Köln über 5.000 t pro Tag und ca. 30.000 t pro Woche bilanziert; das entspricht etwa 15% einer mittleren Jahresfracht. Bei mittleren Abflüssen ist das Verhältnis der Schwebstoffe zum Geschiebe etwa 10:1. Bei dem Hochwasser 1993/94 betrug es 10:0,25.

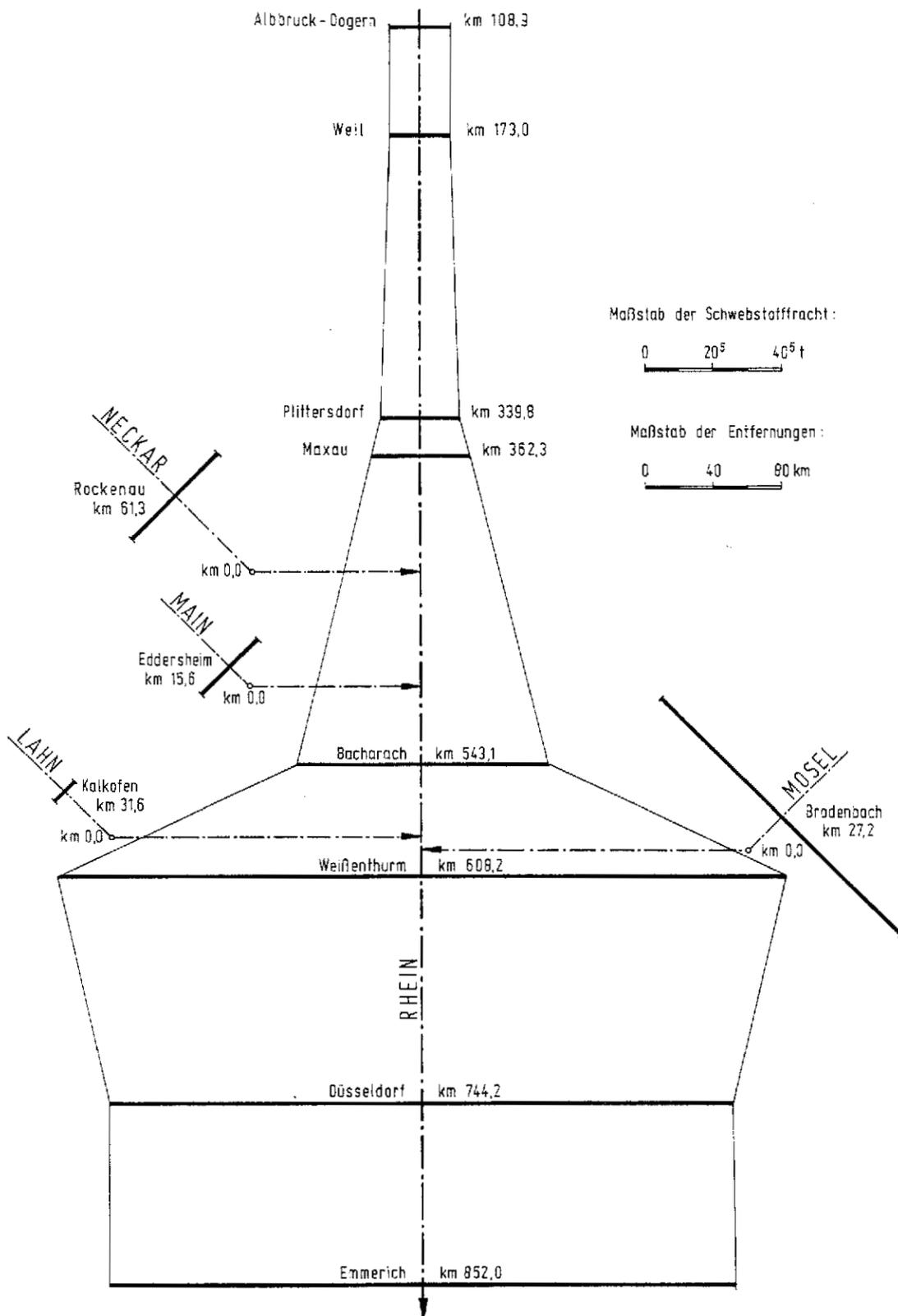


Abb. 5.1 Darstellung der Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel im Hochwasserzeitraum vom 12.12.1993 bis 12.01.1994

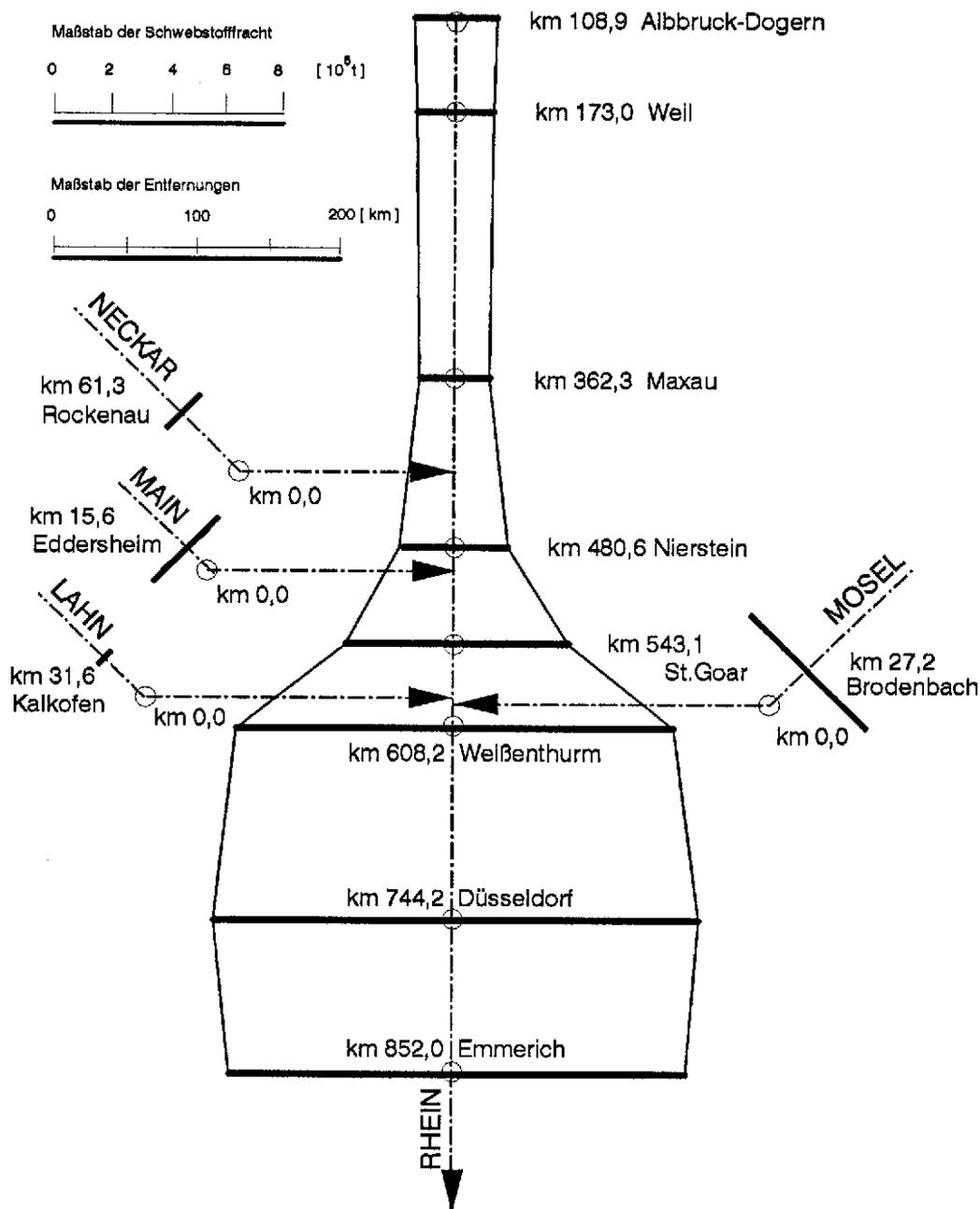


Abb. 5.2 Darstellung der Schwebstofffrachten in Rhein, Neckar, Main, Lahn und Mosel im Hochwasserzeitraum vom 22.01. bis 12.02.1995 (3 Wochen)

## 5.2 Wasserinhaltsstoffe [2], [8], [13], [14], [15], [16]

Bei einem anlaufenden Hochwasser werden erhöhte Anteile von Wasserinhaltsstoffen transportiert. Dies gilt besonders für an Schwebstoffe gebundene Schwermetalle und organische Schadstoffe wie Hexachlorbenzol oder polychlorierte Biphenyle. Neben den industriellen und kommunalen Einträgen kommen mit einer Hochwasserwelle zusätzliche Einträge aus der Atmosphäre über den Luftstaub und den Niederschlag sowie aus den Abschwemmungen von Landflächen und den Überläufen der Kanalisation hinzu. Eine schlechte Reinigungsleistung von Kläranlagen im Vergleich zu Trockenwetterbedingungen wirkt sich ebenfalls als weiterer Stoffeintrag aus. Schließlich können auch belastete Sedimente in den staugeregelten Bereichen des Rheins und seiner Nebenflüsse, sofern sie remobilisierbar sind, einen Frachtbeitrag liefern.

Die Meßeinrichtungen der beiden Gütemeßstationen der BfG an der Moselmündung (Mokm 2,0) und am Rhein (Rheinkm 590,3) sind während des Hochwassers 1993/94 für etwa 10 Tage ausgefallen. Die exponierte Lage direkt am Gewässer und die außergewöhnlich hohen Wasserstände

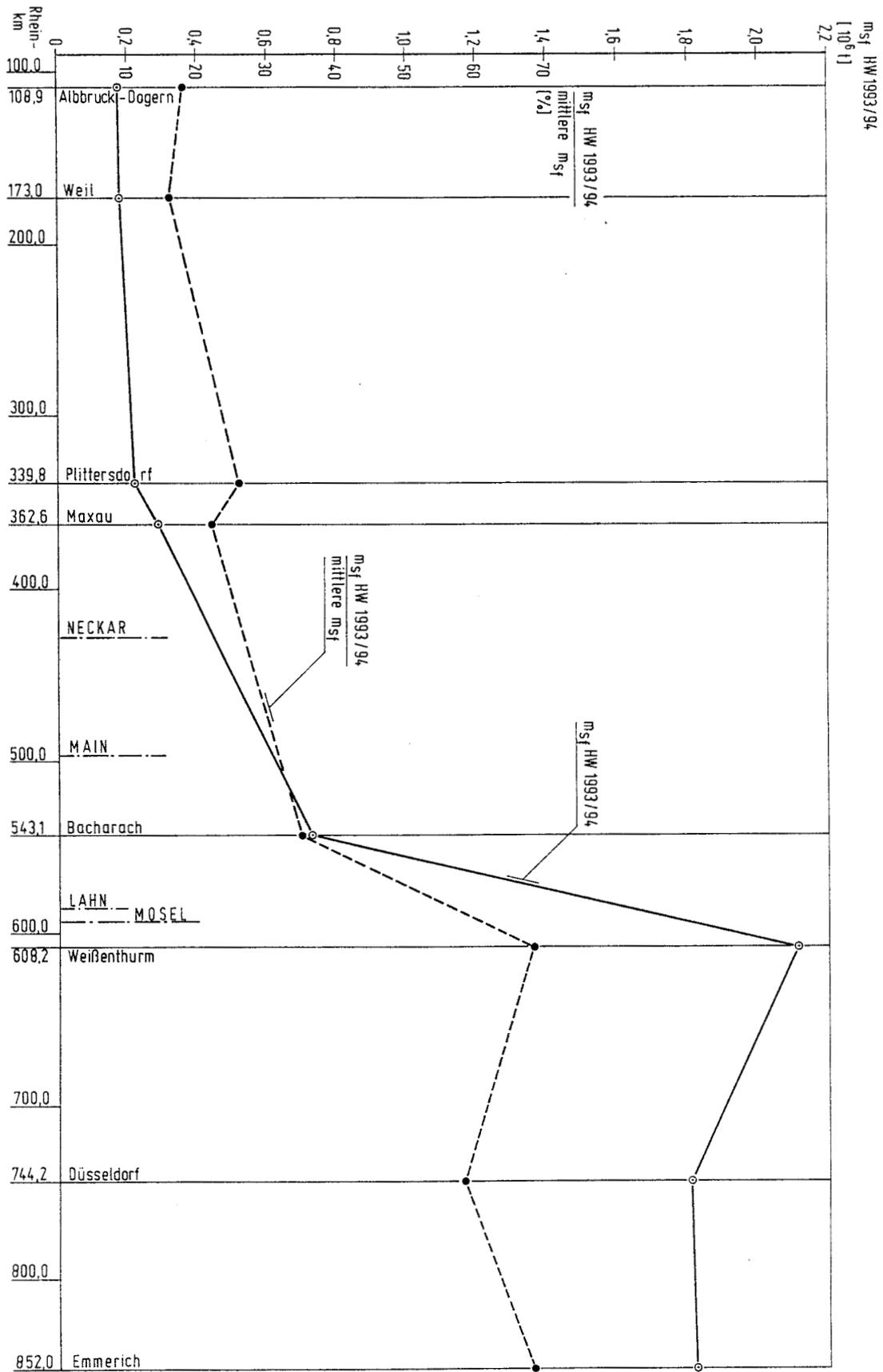


Abb. 5.3 Längsschnitt der Schwebstofffracht des Rheins im Hochwasserzeitraum vom 12.12.1993 bis 12.01.1994 sowie ihres Verhältnisses zur mittleren Jahresschwebstofffracht (vom jeweiligen Meßbeginn bis 1993)

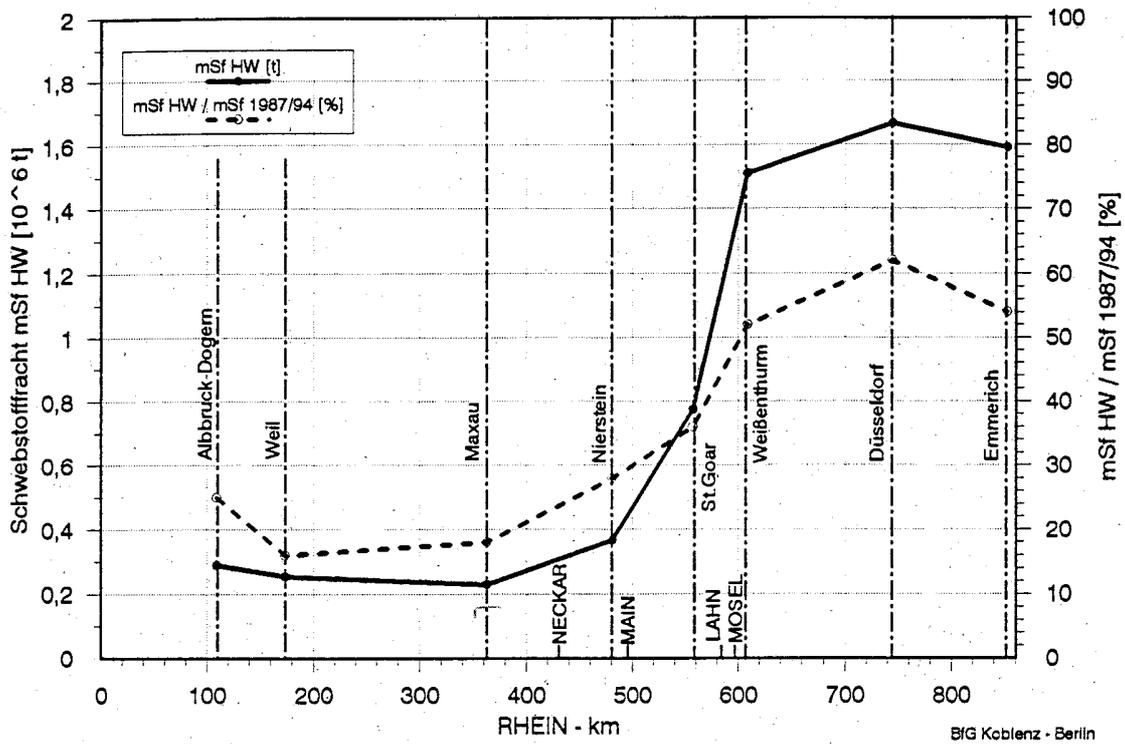


Abb. 5.4 Die Schwebstofffracht des Rheins im Hochwasserzeitraum vom 22.01. bis 12.02.1995 sowie ihr Verhältnis zur mittleren Jahresschwebstofffracht der Abflußjahre 1987/94

führten zu Stromunterbrechungen im gesamten Bereich der Meßstationen. Daher sind während der höchsten Abflüsse keine Gütedaten verfügbar.

Während des Hochwassers im Januar 1995 wurden von den Bundesländern an den Gütemeßstellen am Rhein und seinen Nebenflüssen z.T. tägliche Beprobungen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden vom Ministerium für Umwelt und Forsten, Rheinland-Pfalz und dem Landesamt für Wasserwirtschaft, Rheinland-Pfalz im Auftrag der Deutschen Kommission zur Reinhaltung des Rheins in einem Bericht zusammengestellt. Die **Tab. 5.3 und 5.4** sind diesem Bericht entnommen. Sie zeigen beispielhaft für die Meßstellen Mainz (Rhein-km 498,5) und Bad Honnef (Rhein-km 640) einen Vergleich von Gewässergütedaten während des Hochwassers im Januar 1995 mit Werten bei einer "normalen" Abflußsituation im Januar 1992. Während sich das gesamte Hochwasserereignis über rund drei Wochen erstreckte, wurden wegen eingeschränkter Probenahmemöglichkeiten in Mainz für die Frachtermittlung 9 Tage (26.01. bis 03.02.1995) und in Bad Honnef 8 Tage (24.01. bis 31.01.1995) herangezogen. In Bad Honnef entspricht dies der ansteigenden Kurve der Hochwasserwelle -bis zum Scheitelpunkt; in Mainz wurde der Beginn der Welle nicht erfaßt, aber dafür ein Teil der fallenden Abflüsse beprobt. Trotz dieser Einschränkungen lassen sich aus den Daten plausible Schlüsse ziehen.

#### a) Gelöste Stoffe

Dies sind hier die Alkali- und Erdalkalimetalle Na, K, Ca, Mg sowie Chlorid, Nitrat, Ammonium, DOC und mit Einschränkung Gesamtphosphor und AOX (vgl. **Tab. 5.3**). Die kontinuierlichen anthropogenen Einträge dieser Stoffe werden durch die erhöhte Wasserführung verdünnt und die Konzentrationen sind durchweg niedriger als in der Vergleichsperiode 1992. Trotzdem liegen die Frachten aufgrund der oben erwähnten zusätzlichen Einträge um den Faktor 1,3 bis 4,0 über denen der Vergleichsperiode.

#### b) Schwebstoffgebundene Stoffe

Wie in Kapitel 5.1 gezeigt, steigt die Schwebstoffkonzentration und damit die Schwebstofffracht mit dem Abfluß exponentiell an. Die spezifische Belastung der Schwebstoffe mit z. B. Schwermetallen (in mg/kg) nimmt im allgemeinen mit zunehmender Schwebstoffkonzentration ab (Verdünnung durch unbelastetes Erosionsmaterial). In den Tabellen sind nun die Gesamtschwermetallgehalte der Wasserproben (in  $\mu\text{m/l}$ ) wiedergegeben. Die Konzentrationen, insbesondere von

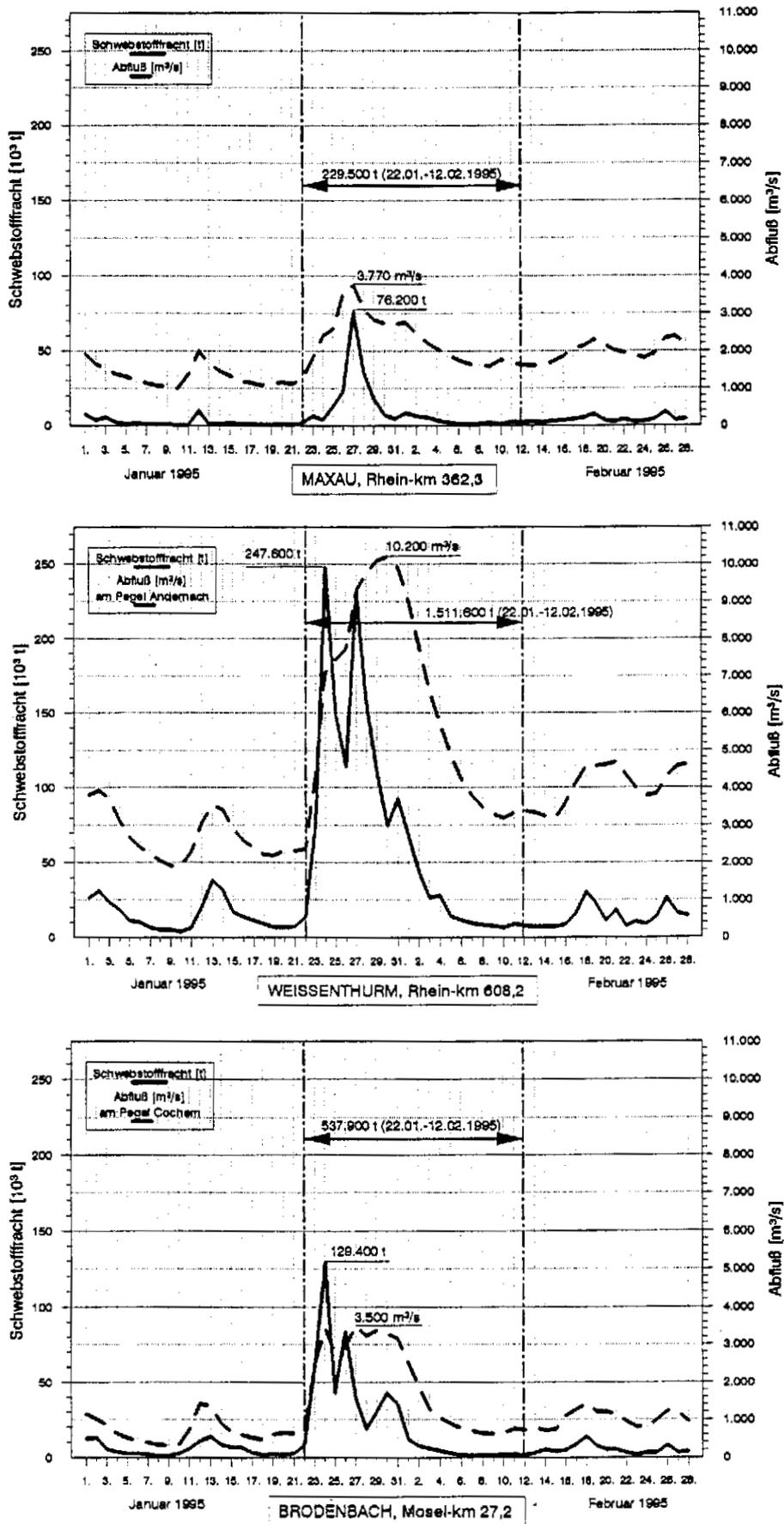


Abb. 5.5 Ganglinien der täglichen Schwebstofffracht und des mittleren täglichen Abflusses an den Meßstellen Maxau/Rhein, Weisenthurm/Rhein und Brodenbach/Mosel in den Monaten Januar und Februar 1995

Eisen und Mangan, sind während des Hochwassers deutlich höher als bei mittleren Abflüssen und dies spiegelt den hohen Schwebstoffgehalt der untersuchten Wasserproben wider. Entsprechend sind auch die Schwermetallfrachten deutlich erhöht. In **Tab. 5.5** sind daher zum Vergleich die zusätzlichen Schwermetallfrachten des Rheins bei Mainz innerhalb von 9 Tagen in Prozent der Jahresfracht (Vergleichsjahr 1992) dargestellt.

Nach **Tab. 5.5** wurden also innerhalb von 9 Tagen 37% der Gesamteisenfracht, bezogen auf das "Normaljahr" 1992, mit der Hochwasserwelle transportiert.

Eisen dient hier als Ersatzkenngröße für die nicht ermittelten Schwebstoffgehalte der untersuchten Wasserproben. Bezogen auf Eisen beträgt z. B. der zusätzliche Zinkanteil ein Drittel (12% zu 37%) und genau dies würde man auch aus der Hintergrundkonzentration des Erosionsmaterials (für Zn: 100 mg/kg) im Vergleich zur mittleren Belastung der Schwebstoffe (für Zn: 300 mg/kg) prognostizieren. Der Schluß liegt hier also nahe, daß die ermittelten zusätzlichen Schwermetallfrachten, die während des Hochwassers transportiert werden, hauptsächlich von unbelastetem Erosionsmaterial stammen.

Um bei künftigen Hochwasserereignissen die Eintragspfade verschiedenster Schadstoffe aufklären zu können, wurde von der Deutschen Kommission zur Reinhaltung des Rheins ein abgestimmtes Meßprogramm erarbeitet.

Nachfolgend werden Informationen über die Wasserqualität des Rheins im Bereich der deutsch-niederländischen Grenze gegeben, die im Rahmen verschiedener Meßaktionen der IKSR ermittelt wurden.

**Abb. 5.6** zeigt den Verlauf der Schwebstoffkonzentration bei Bimmen (Hochwasserwelle vom 1. März bis 27. April 1994). Die Abbildung läßt eine deutliche Zunahme des Schwebstoffgehalts bei ansteigendem Hochwasser erkennen. Der Schwebstoff besteht aus Lehmteilchen, Silt, feinsandigem Material, organischem Material von Pflanzenresten. Durch Abrasion und Erosion gelangt dieses Material in den Fluß.

Tab. 5.3 Vergleich von Gewässergütedaten bei Hochwasser (1995) mit Werten im Normaljahr (1992), Rhein (Mainz)

Normaljahr 1992		an- und ab- laufende Welle		Hochwasser Januar 1995		Vergleich			
mittlerer Abfluß 1388 m³/s 30.12.91- 12.01.92	Konzentration 30.12.91- 12.01.92	Transport g/s	Fracht 9 Tage t	mittlerer Abfluß 5309 26.01.1995- 03.02.95	Konzentration 26.01.1995/ 03.02.95	Transport g/s	Fracht 9 Tage t	Konzentration HW 1995/ Konzentration NJ 1992	Transport HW 1995/ Transport NJ 1992
Produkt aus Mittelwerten				Mittelwerte täglicher Einzelproben					
Einheit	µg/l	g/s	t	Einheit	µg/l	g/s	t	%	%
Natrium	73.000	101.000	78.538	Natrium	25.000	133.000	103.421	34	132
Kalium	8.000	9.000	6.998	Kalium	4.600	25.000	19.440	58	278
Calcium	78.000	106.000	82.426	Calcium	58.000	306.600	237.946	74	289
Magnesium	11.000	15.200	11.820	Magnesium	8.000	42.000	32.659	74	276
Cadmium*	0,3	0,42	0,32	Cadmium	0,4	2,1	1,63	133	504
Chrom	3,0	4,16	3,24	Chrom	8,5	45,7	35,5	283	1.098
Kupfer	4,8	6,66	5,18	Kupfer	5,6	29,4	22,9	117	441
Eisen	220	305	237	Eisen	2.207	11.867	9.228	1.003	3.886
Mangan	30	41,6	32	Mangan	96	518	403	320	1.244
Nickel*	5,0	6,94	5,40	Nickel	5,0	19,8	15,4	100	285
Blei*	3,0	4,16	3,24	Blei	3,0	16,0	12,4	100	384
Zink*	30	41,6	32,4	Zink	30	121	94,1	100	291
Einheit	mg/l	kg/s	t	Einheit	mg/l	kg/s	t	%	%
Chlorid	96	133	103.614	Chlorid	53	237	184.291	55	178
NO <sub>3</sub> -N	3,60	5,0	3.886	NO <sub>3</sub> -N	2,7	14,3	11.120	75	286
NH <sub>4</sub> -N	0,32	0,44	345	NH <sub>4</sub> -N	0,14	0,7	544	44	158
Ges.P	0,14	0,19	151	Ges.P	0,08	0,4	311	57	206
DOC	3,0	4,16	3.238	DOC	3,0	17,0	13.219	100	408
AOX	0,026	0,04	28	AOX	0,021	0,117	91	81	291

Bei mit \* gekennzeichneten Parametern liegt der Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze. Ministerium für Umwelt und Forsten, RP, LfW, Mainz August 1995.

Tab. 5.4 Vergleich von Gewässergütedaten bei Hochwasser (1995) mit Werten im Normaljahr (1992), Rhein (Bad Honnef)

Normaljahr 1992		an- und ab- laufende Welle		Hochwasser Januar 1995		Vergleich	
mittlerer Abfluß	Transport	Fracht 9 Tage	mittlerer Abfluß	Konzentration	Transport	Fracht 9 Tage	Konzentration HW 1995/ Konzentration NJ 1992
1916m³/s 30.12.91- 12.01.92	g/s	t	8924 m³/s 26.01.1995- 03.02.95	µg/l	g/s	t	%
28-Tages-Mischprobe	g/s	t	Einheit	µg/l	g/s	t	%
Cadmium*	0,5	0,10	Natrium	0,20	1,8	1,2	400
Chrom*	2,0	3,83	Kalium	7,7	69	47	385
Kupfer	2,0	3,8	Calcium	9,0	80	56	450
Eisen	352	674	Magnesium	4.800	42.835	29.608	1.364
Mangan	25	48	Cadmium	160	1.428	987	640
Nickel	2,7	5,2	Chrom	8,6	77	53	319
Blei	2,5	4,79	Kupfer	8,4	75	52	336
Zink	21	40	Eisen	44	393	271	210
Einheit	mg/l	kg/s	Einheit	mg/l	kg/s	t	%
Chlorid (K)	108	207	Chlorid	50	446	308.413	46
NO <sub>3</sub> -N (E14)	2,87	5	NO <sub>3</sub> -N	3,60	32	22.206	125
NH <sub>4</sub> -N (E14)	0,40	0,77	NH <sub>4</sub> -N	0,16	1	987	40
Ges.P (E14)	0,22	0,42	Ges.P	0,65	6	4.009	295
DOC			DOC	5,8	52	35.776	
AOX (E14)	0,018	0,03	AOX				

Bei mit \* gekennzeichneten Parametern liegt der Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze.  
Ministerium für Umwelt und Forsten, RP, LfW, Mainz August 1995.

Tab. 5.5 Zusätzliche Schwermetallfrachten des Hochwassers 1995 im Vergleich zur Jahresfracht 1992

Stoffe	Gesamtfracht 1992 365 Tage	Fracht HW 1995 Gesamtfracht 1992
	t	%
Cadmium	9,5	17
Chrom	252	14
Kupfer	252	9
Eisen	24.977	37
Mangan	1.328	30
Nickel	126	12
Blei	94,6	13
Zink	766	12

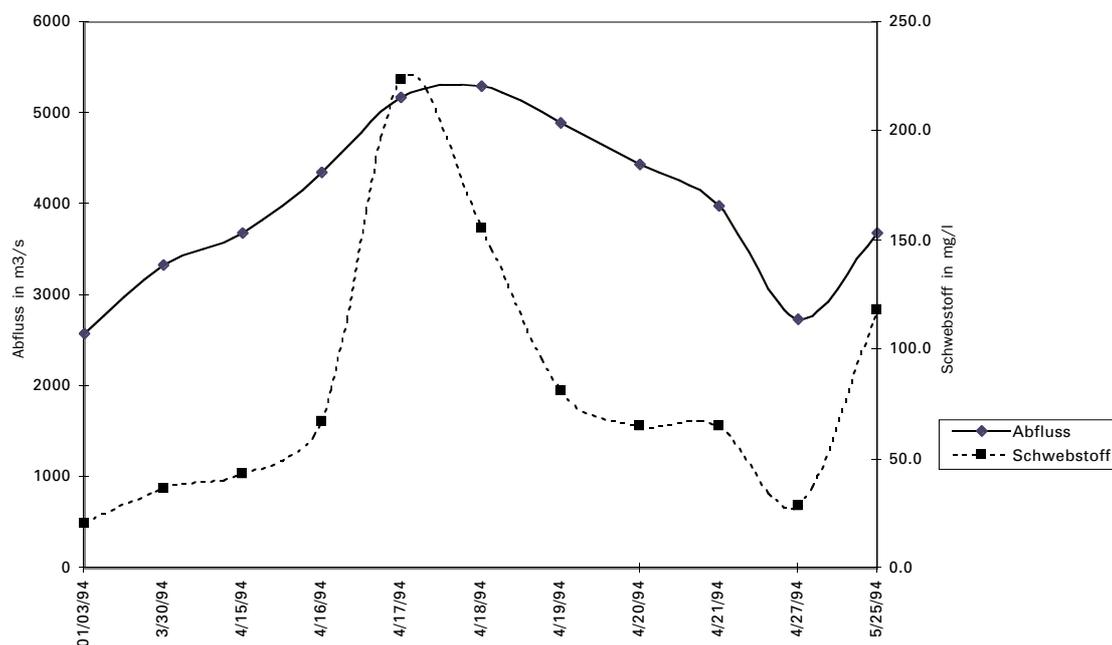


Abb. 5.6 Abflußverlauf und Schwebstoffgehalt bei Kleve-Bimmen während der Hochwasserwelle von April 1994

Die Qualität des Schwebstoffes wird größtenteils durch die Einleitung von Verunreinigungen bestimmt und nur teilweise durch den natürlichen Schwermetallgehalt. Mit der Tonfraktion (Korngröße  $< 2 \mu\text{m}$ ) verbinden sich vor allem Schwermetalle. PAK, PCB und andere halogenierte Verbindungen wie z.B. Hexachlorbenzen (HCB) verbinden sich vorwiegend mit den organischen Anteil der Schwebstoffe.

**Abb. 5.7** gibt das Verhältnis zwischen dem Verlauf der Kadmiumkonzentration und der Tonfraktion ( $< 2 \mu\text{m}$ ) wieder. Die Kadmiumkonzentration nimmt kurz vor Erreichen des Hochwasserspitzenwertes (17. April 1994) zunächst zu. Bei anschließender Zunahme der Tonfraktion nimmt daraufhin die Kadmiumkonzentration ab und sinkt unter den Jahresdurchschnitt (18. April) ab. Ursache dieser Abnahme ist die während einer Hochwasserwelle stattfindende Verdünnung des belasteten Schlammes mit frischem, relativ sauberem Uferschlamm.

Während des Hochwasserscheitels von April 1994 variiert die Zusammenstellung der Teilchengröße im transportierten Schwebstoff. Dies ist aus **Abb. 5.8** ersichtlich. Bei steigendem Abfluß (1. März bis 17. April) liegt der Grobmaterialanteil ( $20\text{-}63 \mu\text{m}$  und  $> 63 \mu\text{m}$ ) bei etwa 40% des Gesamtmaterials. Kurz vor dem Abflußscheitel nimmt die Fließgeschwindigkeit ab und somit auch der Anteil der groben Fraktion, die Ton- und Schluffanteile nehmen zu ( $< 2 \mu\text{m}$  und  $2\text{-}20 \mu\text{m}$ ). In der

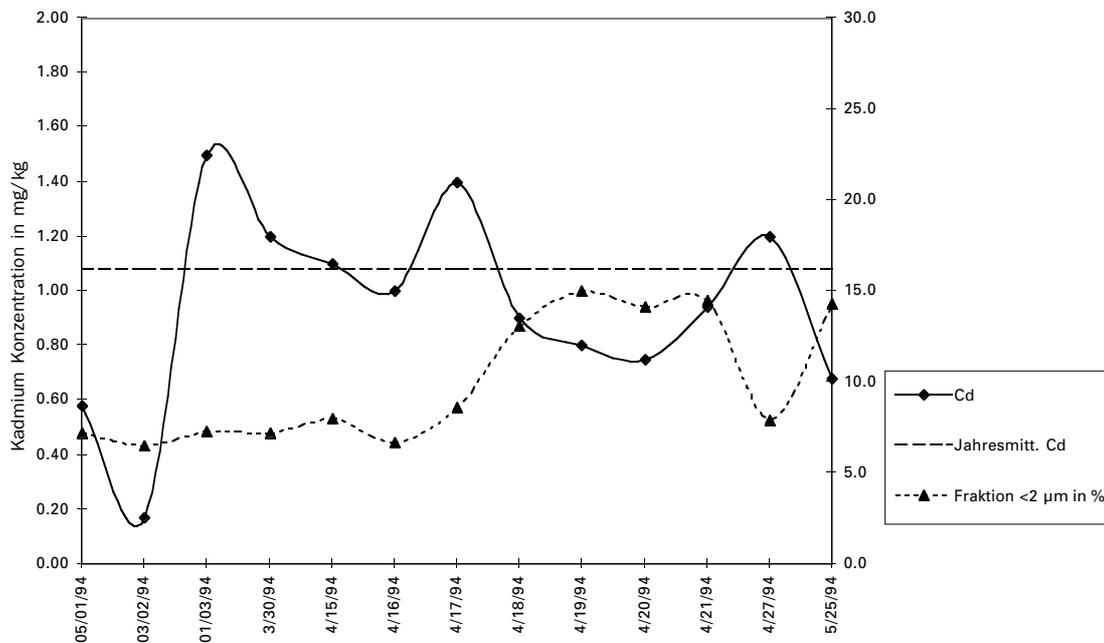


Abb. 5.7 Verlauf der Tonfraktion und der Kadmiumkonzentration während des Hochwassers von April 1994 sowie Kadmiumkonzentration bei Kleve-Bimmen im Jahresdurchschnitt.

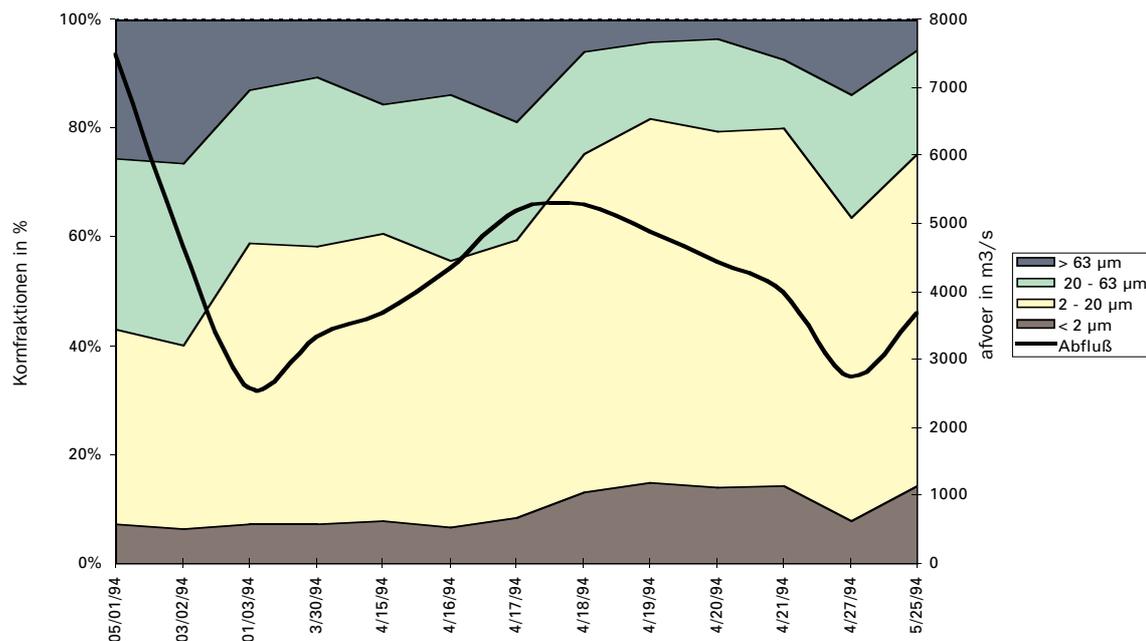


Abb. 5.8 Verlauf des Abflusses und der verschiedenen Kornfraktionen im transportierten Schwebstoff bei Kleve-Bimmen 1994.

dargestellten Hochwasserperiode werden die Höhenpunkte der feinen und die Tiefpunkte der groben Fraktion kurz nach dem Abflußspitzenwert erreicht. Im Vorfeld zum Hochwasser im April 1994 lief das Hochwasser Dez. 1993/Febr. 1994. Zu dieser Hochwasserperiode stehen keine Sondermessungen zur Verfügung. Daher kann hinsichtlich der Verteilung der verschiedenen Korngrößen nur der Spitzenwert von April interpretiert werden.

Der Schadstoffgehalt der Schwebstoffe steht nicht immer in Relation zum Abfluß. Dies ist aus **Abb. 5.9a** ersichtlich, die den Verlauf der HCB-Gehalte in Relation zum Abfluß des Jahres 1995 wiedergibt. Während des Hochwasserscheitels von Januar 1995 beträgt die HCB-Konzentration 18 µg/kg. Gegen Ende November ist die Konzentration wesentlich niedriger (9 µg/l) bei einem eben-

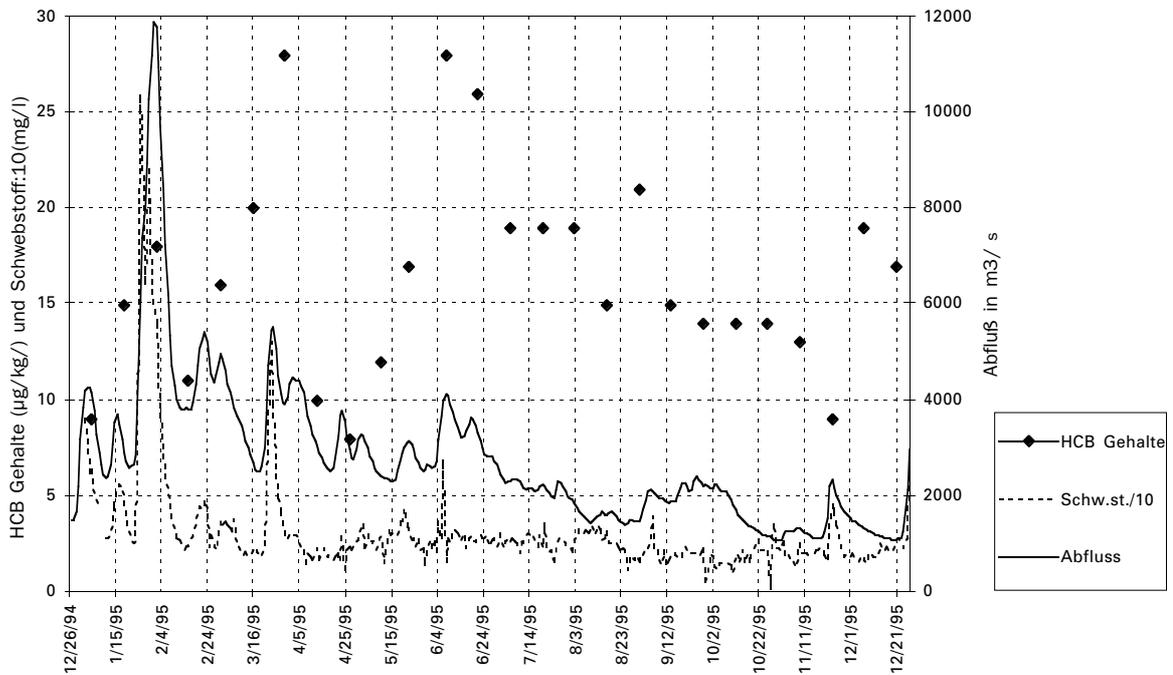


Abb. 5.9a Verlauf des Abflusses und HCB-Schwefstoffgehalt im Rhein bei Lobith, 1995

falls deutlich niedrigeren Abfluß. Dies ist u.a. auf Faktoren wie die Herkunft des zu diesem Zeitpunkt gemessenen Schwebstoffes und damit dessen Qualität zurückzuführen.

Während ansteigender Wasserführung nimmt auch der Schwebstoffgehalt stark zu. Die Größe der Schwebstofffracht ist dann überwiegend bestimmend für die Größe der Schadstofffrachten. Dies geht auch aus **Abb. 5.9b** hervor, die den Abfluß und den prozentualen Anteil einer jeden Messung an der berechneten HCB-Jahresfracht wiedergibt. Bei Lobith erfolgte eine Routinemessung zufällig zeitgleich mit dem Hochwasserscheitel im Januar. In bezug auf HCB ergibt diese Messung einen etwa 45%igen Beitrag zur (gemessenen) Gesamtjahresfracht. Dies unterstreicht die Wichtigkeit einer hohen Probenahmefrequenz zu Zeiten hoher Abflüsse, wenn man plausible Jahresfrachten abschätzen will.

Ein weiteres Beispiel in **Abb. 5.10** zeigt die Unterschiede in den Fluoranthenfrachten (Monats-

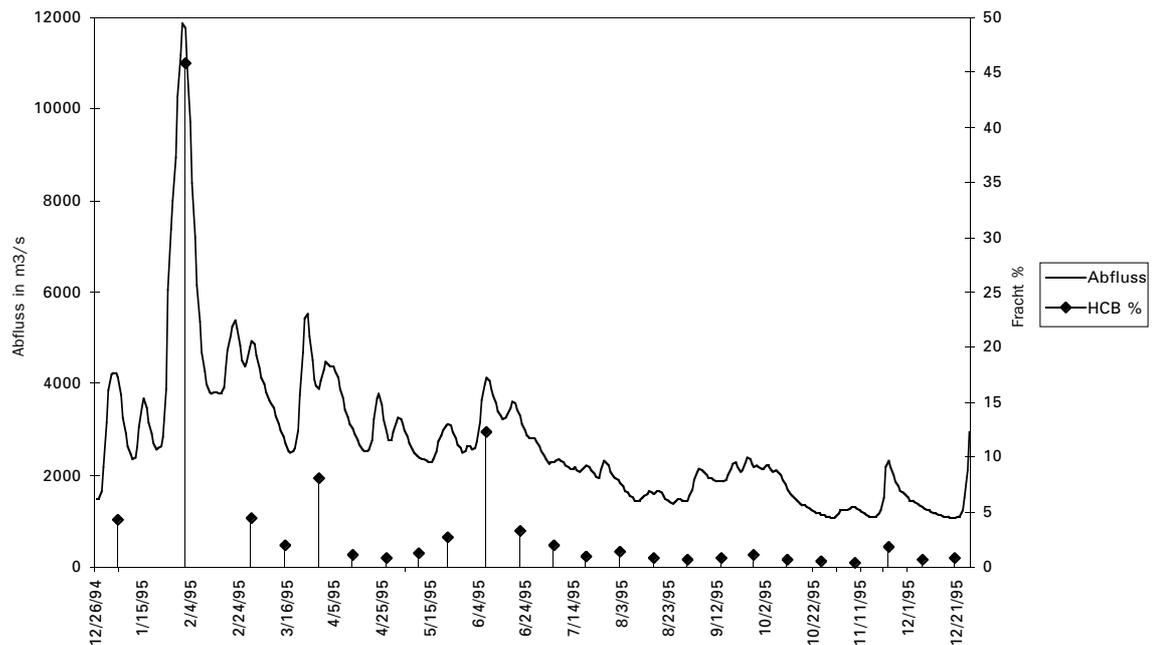


Abb. 5.9b Verlauf des Anteils je Messung an der HCB Jahresfracht bei Lobith, 1995

durchschnittswerte) und den Verlauf des Abflusses (Monatsdurchschnittswerte) im Jahr 1995. Bei normalen Abflüssen (zwischen 1.500 und 2.500 m<sup>3</sup>/s) unterscheiden sich die Monatsfrachten nur wenig (wie auch in den Jahren 1993 und 1994 ermittelt wurde). Da die berechneten Monatsfrachten nur den Momentwert während der Messung widerspiegeln – vor, nach bzw. während eines Abflußspitzenwertes (**Abb. 5.9b**) – sollten diese Daten mit Vorsicht interpretiert werden. Die berechneten Jahresfrachten für Fluoranthene in den Jahren 1993, 1994 und 1995 betragen jeweils 2,4, 2,5 und 3,0 Tonnen (**Tab. 5.6**). Dies scheint auf eine Steigerung hinzudeuten. Die Frequenz und der Umfang der Hochwasserspitzenwerte innerhalb eines Jahres sind jedoch bestimmend für die jährlichen Stofffrachten, die an Schwebstoff gebunden sind. Die Berechnung der Schwebstoff-Jahresfrachten während des Untersuchungszeitraums (**Tab. 5.6**) zeigt dann auch, daß die Gesamtschwebstofffracht im Jahre 1995 im Vergleich zu den beiden Vorjahren deutlich höher war.

Tab. 5.6 Fluoranthen- und Schwebstofffrachten während des Zeitraums 1993-1995 bei Lobith

Jahr	Fluoranthenfracht in Tonnen pro Jahr <sup>1)</sup>	Schwebstofffracht in Ktonnen pro Jahr <sup>2)</sup>
1993	2,4	2.750
1994	2,5	2.426
1995	3,0	3.764

<sup>1)</sup> auf der Grundlage der Monatsdurchschnittswerte (Stichproben, durchschnittlich alle 2 Monate gemessen)  
<sup>2)</sup> auf der Grundlage der Monatsdurchschnittswerte (24-Stunden-Sammelproben, täglich gemessen)

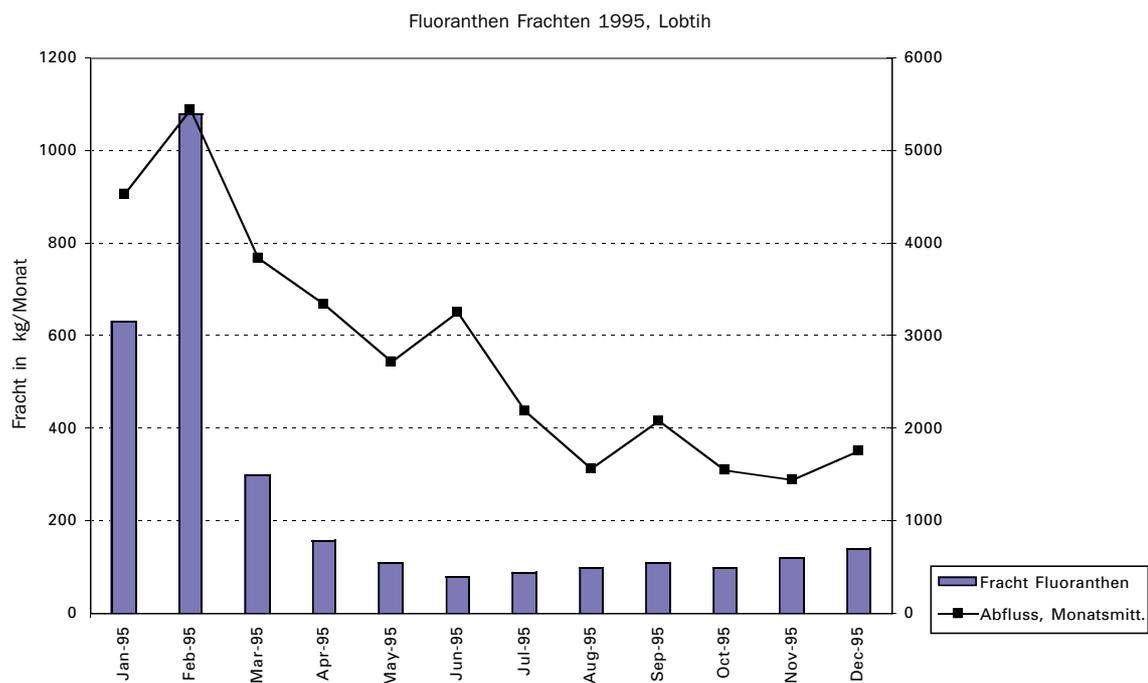


Abb. 5.10 Verlauf der durchschnittlichen Fluoranthen-(PAK) Monatsfrachten\* und monatliche Abflußdurchschnittswerte 1995 bei Lobith.  
 \* auf der Grundlage von 8-Stunden-Sammelproben (durchschnittlich 2x im Monat genommen)

Die Auswertung der Meßdaten aus Trockenwetterperioden ergibt allerdings, daß die anthropogenen Schadstoffeinträge (über Wasser und Schwebstoffe) in den letzten 10 Jahren stark gesunken sind (LWSR 1995).

Für sämtliche Schwermetalle, PAKs und PCB-138 hat sich die Qualität des Schwebstoffes im Rhein bei Lobith im Laufe der Zeitspanne 1988 bis 1995 verbessert. Einige Schwermetalle und die PAKs sowie PCB-138 (siehe **Abb. 5.11**) überschreiten jedoch immer noch den Grenzwert. Eine weitere Senkung der Emissionen führt langsam auch zu einer weiteren Verbesserung der Schwebstoffqualität.

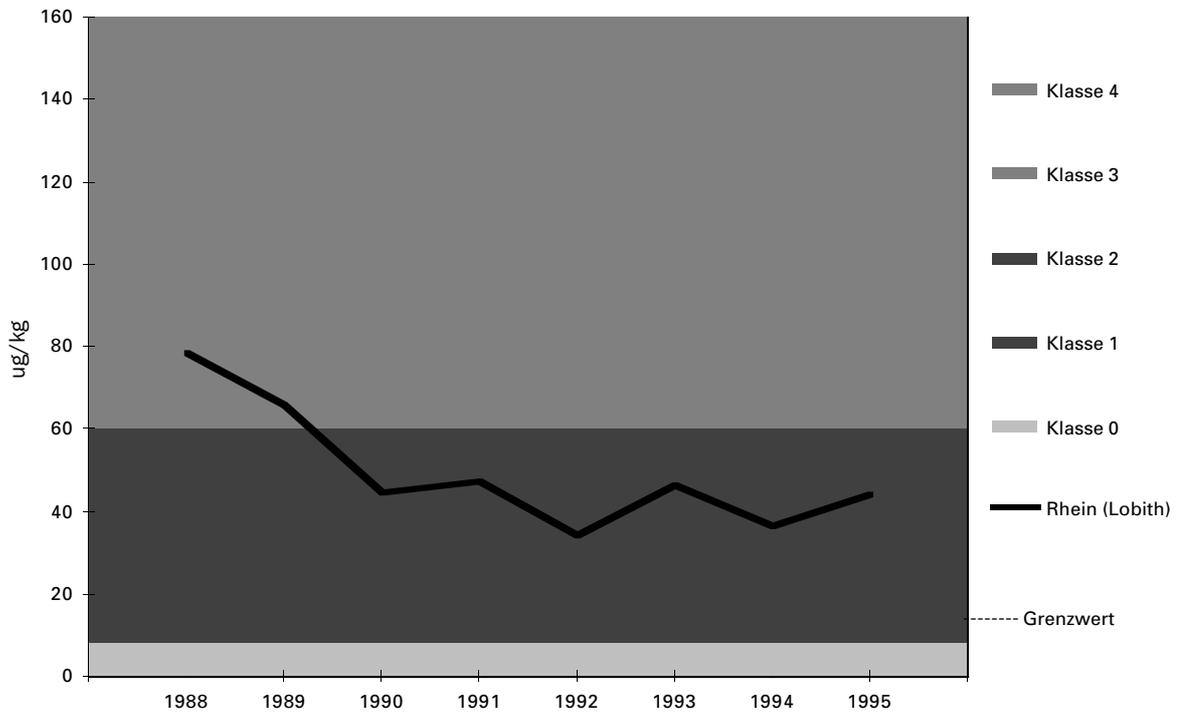


Abb. 5.11 Entwicklung der Jahresdurchschnittswerte bei Lobith: PCB-138 in Schwebstoff 1988-1995

Ergänzend zu den Angaben über die Wasserqualität während der Hochwasser werden im weiteren die Auswirkungen auf während des Hochwassers abgelagerten Flußschlamm beschrieben.

Aus einer Untersuchung zur Qualität und zu den Risiken des von Rhein und Maas (während eines Hochwassers) herangeführten Uferschlammes geht hervor, daß die Qualität des während des Hochwassers von 1995 abgelagerten Uferschlammes auf dem niederländischen Teilstück des Rheins keine oder nur unwesentliche Veränderungen bezüglich der Risiken für Flora und Fauna im Deichvorland verursacht hat. Diese bestehenden Risiken betreffen vor allem wärmerfressende Vögel und Säugetiere sowie in kleinerem Maße verschiedene Artengruppen wirbelloser Tiere. Eindeutig wahrnehmbare negative Effekte auf das Ökosystem des Deichvorlandes werden aufgrund der gemessenen Gehalte im rezent abgelagerten Schlamm jedoch nicht erwartet.

## 6 VORHERSAGEN [2], [5], [8], [10], [17], [18]

Hochwasserwarnungen stellen ein wichtiges Mittel zur Reduzierung von Schäden dar. Die Herausgabe solcher Warnungen und gegebenenfalls Vorhersagen ist Aufgabe des Hochwassermelddienstes. Zur Aufgabenwahrnehmung bedarf es eines Meßnetzes zur Gewinnung notwendiger Daten, einer sicheren Datenübertragungstechnik von der Meßstelle zum Meldezentrum, eines zeitsparenden und möglichst automatischen Datenabrufs, eines Verfahrens zur Berechnung der zu erwartenden Wasserstände oder Abflüsse und eines Kommunikationssystems zur Information der Entscheidungsträger sowie der vom Hochwasser Betroffenen. Im Idealfall sollten alle diese Komponenten einzeln und im Zusammenwirken optimiert sein.

Im internationalen Rheingebiet üben derzeit 25 Zentren den Hochwassermelddienst und/oder Vorhersagedienst aus. Erste Schritte zu einem Kommunikationsnetz zwischen den Zentren sind erkennbar.

Die für eine Schadensbegrenzung zur Verfügung stehende Zeit hängt vom Vorhersagezeitraum ab. Derzeit können gesicherte Vorhersagen am Rhein in der Schweiz bis zu 12 Stunden, in Deutschland bis zu 24 Stunden und in den Niederlanden bis zu zwei Tagen erstellt werden. Seit 1995 wird eine Ausweitung der Vorhersagezeiträume am Rhein nachdrücklich gefordert.

Am 185.000 Quadratkilometer großen Rheineinzugsgebiet haben die vier Länder Schweiz, Frankreich, Deutschland und die Niederlande flächenmäßig bedeutsame Anteile: kleine und kleinste Flächenanteile gehören zu den fünf Ländern Luxemburg, Belgien, Italien, Österreich und Liechtenstein. Der 1.320 Kilometer lange Rhein selbst läßt sich in die sechs Teilabschnitte Alpenrhein, Hoch-, Ober-, Mittel-, Niederrhein und das Delta des Rheins in den Niederlanden einteilen.

### 6.1 Organisation und Verfahren der Vorhersagen

Von den derzeit 25 Hochwassermeldezentren im Rheingebiet liegen 12 Zentren in Deutschland, 6 in Frankreich, 4 in den Niederlanden, 2 in Luxemburg und 1 in der Schweiz. Aus **Tab. 6.1** ist ersichtlich, wo und für welchen Fluß bzw. Flußabschnitt Vorhersagen erstellt (in Klammern: Vorhersagepegel) und Hochwassermelddienste durchgeführt werden. Der Kontakt der Zentren untereinander wird in der letzten Spalte der Tabelle deutlich, in der die laufende Nummer des Zentrums angegeben ist, von dem Informationen, Daten oder Vorhersagen abgefragt und übernommen werden.

18 der 25 Zentren sind hauptsächlich für Meldedienste und Vorhersagen an Zuflüssen zum Rhein oder deren Nebenflüssen und lediglich 7 Zentren für den Rhein selbst zuständig. Diese sind in **Abb. 6.1** zusammen mit den Vorhersagepegeln am Rhein dargestellt.

Die Tätigkeiten der Hochwassermelde- und -vorhersagezentren sind über Hochwassermeldeordnungen geregelt. Dabei sind alle Hochwassermelddienste jedoch unterschiedlich organisiert.

Der Melde- und Vorhersagedienst an national bedeutsamen Gewässern in der Schweiz wird von der Landeshydrologie und -geologie in Bern durchgeführt. Für den Hochwasserschutz sind die einzelnen Kantone zuständig. In der Schweiz werden vielfältige Abflußvorhersagen erstellt: Die Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich gibt monatlich eine Langfristvorhersage für den Pegel Rheinfelden (für zwei Monate im Winter und im Sommer bis Ende Oktober) sowie die Mindestabflußvorhersagen über 40 Tage an größeren Flüssen in der Schweiz heraus (Schädler 1992). Werktäglich wird eine Kurzfristvorhersage bis zu 64 Stunden am Pegel Rheinfelden erstellt. Vorhergesagt werden stündliche Mittelwerte des Wasserstandes bzw. Abflusses. Bei Hochwasser werden diese Vorhersagen täglich erstellt und bei extremen Ereignissen mehrmals täglich aktualisiert.

Der Hochwassermelddienst im französischen Teil des Rheineinzugsgebietes wird von sechs Zentren wahrgenommen, von denen zur Zeit zwei auch Hochwasservorhersagen erstellen. Im Moselgebiet sind drei Zentren zuständig:

- DIREN (Direction Interrégionale de l'Environnement) Lorraine in Nancy mit Meldedienst für das französische Einzugsgebiet der Mosel und ihre Zuflüsse (außer Seille und Niede);

- DDAF (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt) de la Moselle in Metz mit Meldedienst für Seille und Niede sowie
- Service de la Navigation de Strasbourg in Sarreguemines mit Meldedienst für die Eichel und Blies.

Im Rheingebiet sind weitere drei Zentren tätig:

- DDAF du Haut Rhin in Mulhouse mit Meldedienst für die Ill oberhalb Colmar;
- DDAF du Bas Rhin in Strasbourg mit Meldedienst für die Ill unterhalb Colmar und vier weitere französische Rheinzuflüsse;
- C.A.R.I.N.G. (Centre d'Alerte Rhénane et d'Informations Nautiques) in Gamsheim. Dieses Melde- und Vorhersagezentrum untersteht dem Service de la Navigation in Strasbourg und ist in seiner Funktion als Zentrum für Rheinalarm rund um die Uhr tätig.

Zur Verbesserung des Hochwassermeldedienstes im Moselgebiete wurden 1989 sechs Pegelstationen in Epinal, Damelevières, Metz, Custines, Ückingen und Wittringen ausgebaut. Die Installation und Unterhaltung des Datenfernübertragungssystems wurde und wird von deutscher Seite finanziert.

Alle Hochwassermeldezentren informieren die regional zuständigen Ministerien und die sechs Präfekturen im französischen Rheingebiet. Die Präfekten informieren dann weiter.

In Luxemburg wird der Hochwassermelde- und -vorhersagedienst von zwei Zentren wahrgenommen. Der Service de la Navigation in Grevenmacher leitet Informationen und Lageberichte sowie Vorhersagen von bis zu 6 Stunden am luxemburgischen Moselpegel Stadtbredimus weiter. Bei der Protection Civile in Luxembourg erfolgt der Melde- und Vorhersagedienst für das luxemburgische Einzugsgebiet der Sauer und ihrer Nebenflüsse. Unterstützend wird ein komplexes Vorhersagemodell genutzt.

Tab. 6.1 Überblick über die Hochwasservorhersage- und -meldezentren im Rheineinzugsgebiet. (Quelle: Internationale Kommission zum Schutz des Rheins [IKSR] 1997)

Nr.	Ort		Vorhersagen für:	Hochwassermeldedienst für:	Zuarbeit von:
1	Bern	(CH)	Rhein (Rheinfelden)	Rhein (Rheinfelden)	
2	Gamsheim	(F)	Rhein (Kembs)	Rhein (Rheinfelden bis Maxau)	1
3	Mulhouse	(F)	Ill (Colmar-Ladhof)	Ill oberhalb Colmar	2
4	Strasbourg	(F)		Ill unterhalb Colmar	1,2,3
5	Karlsruhe	(D)	Rhein (Maxau), Neckar, Tauber Main	Neckar inkl. Nebenflüsse	1,2,4
6	Würzburg	(D)			
7	Darmstadt	(D)		Rhein (Worms bis Kaub) Main (Kleinostheim bis Mündung)	6,8
8	Mainz	(D)	Rhein (Maxau bis Köln)	Rhein (Maxau bis Köln)	1,2,5,6,7,9,10, 11,14,15,18,19
9	Koblenz, HMZ	(D)	Nahe, Lahn, Sieg	Nahe, Lahn, Sieg	10
10	Giessen	(D)		Lahn, Ohm, Dill	8,9
11	Koblenz, BfG	(D)	Rhein (Speyer bis Emmerich)		1,8,19,22
12	Nancy	(F)	Mosel (Toul abwärts)	Mosel, Meurthe, Madon, Orne, Vezouze, Mortagne	13
13	Metz	(F)		Seille, Niede	12
14	Grevenmacher	(L)	Mosel (Stadtbredimus)	Mosel (Stadtbredimus)	8,12
15	Trier	(D)	Mosel, Sauer	Mosel, Sauer	8,12,14,16
16	Luxembourg	(L)	Sauer inkl. Nebenflüsse	Sauer inkl. Nebenflüsse	15
17	Sarreguemines	(F)		Saar (Sarreboung bis Sarre- guemines), Eichel, Blies (Bliesbrück)	
18	Saarbrücken	(D)	Saar	Saar, Blies	4,8,15,17
19	Duisburg	(D)	Rhein (Bonn bis Emmerich)	Rhein (Bonn bis Emmerich)	1,8,11,15,21
20	Essen	(D)	Lenne		
21	Lippstadt	(D)		Lippe	
22	Lelystadt, RIZA	(NL)	Rhein (Lobith)	Rhein (Lobith)	1,8,11,19,21
23	Arnhem	(NL)	Waal, Nederrijn, IJssel	Waal, Nederrijn, IJssel	22
24	Lelystadt WDIJ	(NL)	IJssel (Kampen)	IJssel (Kampen)	22,23
25	Rotterdam	(NL)	Deltagebiet und Dordrecht	Deltagebiet und Dordrecht	22,23



Abb. 6.1 Überregionale Melde- und Vorhersagezentralen und ausgewählte Pegel am Rhein

Am deutschen Rheingebiet haben 6 Bundesländer und die WSV Anteil. Für die Erstellung und Weitergabe von Hochwasservorhersagen sind die Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer zuständig, die bezüglich der Bundeswasserstraßen mit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde zusammenarbeiten.

**Tabelle 6.2** enthält in alphabetischer Reihenfolge die Orte der Vorhersagezentralen, zusammen mit den Flüssen bzw. Flußstrecken, für die Hochwasservorhersagen erstellt und an die Öffentlichkeit

weitergegeben werden. Durch Schraffur ist gekennzeichnet, ob die Hochwasservorhersagen von der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes, der WSV oder von beiden Verwaltungen gemeinsam in einer Vorhersagezentrale erstellt werden. Aus **Abb. 6.2** ist die Lage der Vorhersagezentralen im Rheingebiet ersichtlich.

*Tab. 6.2 Vorhersagezentralen und Verwaltungszugehörigkeit des Personals sowie Gewässer, für die Vorhersagen erstellt werden*

Vorhersagezentrale in	Personal		Gewässer
	L	B	
Duisburg			Rhein (Bonn bis Emmerich)
Karlsruhe			Neckar, Rhein (Maxau und Worms)
Koblenz			Nahe, Lahn, Sieg
Mainz			Rhein (Maxau bis Oberwinter)
Saarbrücken			Saar
Trier			Mosel, Sauer
Würzburg			Main

L: Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes  
B: Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

Von der BfG in Koblenz wurden statistische Filterverfahren entwickelt und als Vorhersageverfahren eingeführt. Am Rhein wird das Mehrkanal-Wiener-Filter mit Ausnahme für den Pegel Maxau für alle Vorhersagepegel bis zur niederländischen Grenze angewendet, ebenso für die Saar.

Die Verantwortung für die Erteilung von Informationen über aufgetretene und vorhergesagte Wasserstände trägt in den Niederlanden Rijkswaterstaat (das Staatliche Wasserwirtschaftsamt). Das Staatliche Amt für Integralverwaltung der Binnengewässer und für Abwasserreinigung (RIZA) ist für die Vorhersage für den Grenzpegel Lobith und im Falle eines Hochwasserereignisses für die Koordination der Hochwasserberichterstattung insgesamt verantwortlich. Hochwasser am Pegel Lobith ist gegeben, wenn der Wasserstand dort NAP + 14.00 m überschreitet und zu erwarten ist, daß er bis über NAP + 15.00 m ansteigen wird. Die Verantwortung für die Vorhersagen weiter stromabwärts obliegt den regionalen Rijkswaterstaat-Direktionen Ost und Südholland. Im Gebiet, in dem die Tide keinen oder wenig Einfluß hat, bilden die Wasserstandsvorhersagen für den Pegel Lobith die bestimmende Randbedingung für die regionalen Vorhersagen. Im Gebiet der Flußmündung spielt auch der Meereswasserstand eine wichtige Rolle. Im Gebiet der Mündung der IJssel spielt der Wasserstand im IJsselmeer und ein eventueller Windstau eine wichtige Rolle.

Die Vorhersagen für den Pegel Lobith werden mit einem einfachen statistischen Modell erstellt. Dieses Modell basiert auf der Technik der mehrfachen linearen Regression. Wasserstandsvorhersagen werden bis zu vier Tagen im voraus berechnet. Eingabedaten sind Wasserstände, Abflüsse und gemessene und vorhergesagte Niederschlagsmengen. Die erforderlichen Wasserstandsdaten für das Modell Lobith gehen zweimal am Tag über Fax vom Wasser- und Schifffahrtsamt in Duisburg ein. Das KNMI stellt die Niederschlagsdaten alle sechs Stunden über eine on-line-Verbindung bereit. Niederschlagsvorhersagen für sechs Tage im voraus werden jeden Morgen per Fax vom KNMI übermittelt.

Die Berechnungen des Modells Lobith werden durch den für die Vorhersage Verantwortlichen geprüft. Die Modellberechnungen werden gegebenenfalls korrigiert und auf 5 cm abgerundet. Bei Hochwasserereignissen erfolgt diese Prüfung anhand von Faustregeln, die auf gemessenen Abflüssen, auf Vorhersagen aus Deutschland für stromauf gelegene Punkte und auf sehr einfachen empirischen Niederschlag-Abfluß-Beziehungen, in Kombination mit Fortschreitezeiten von Abflußwellen, basieren (Sprokkereef, 1996).

## Bundesländer

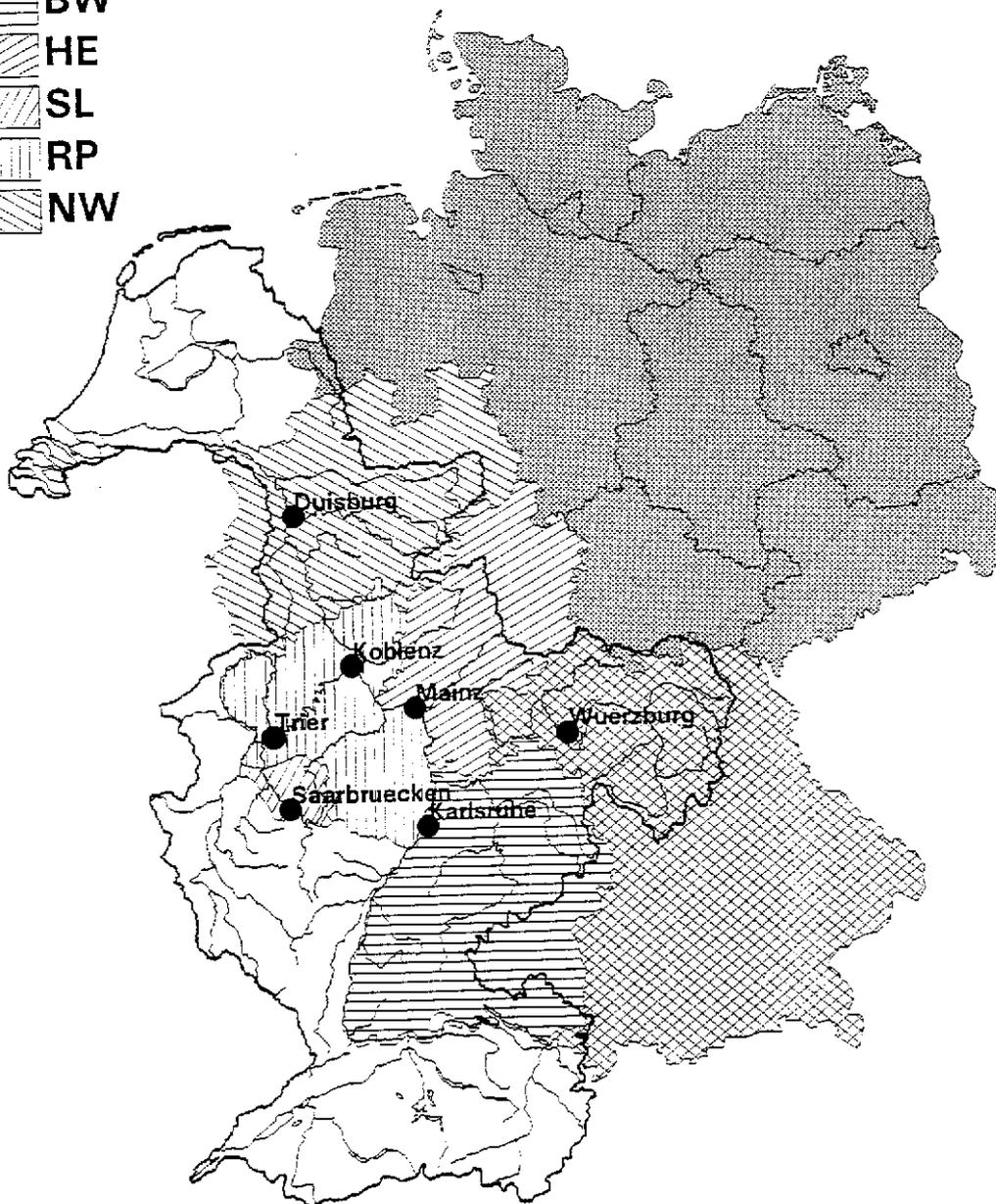
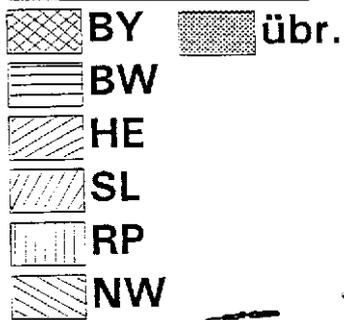


Abb. 6.2 Bundesländer und Lage der Vorhersagezentralen im deutschen Rheingebiet

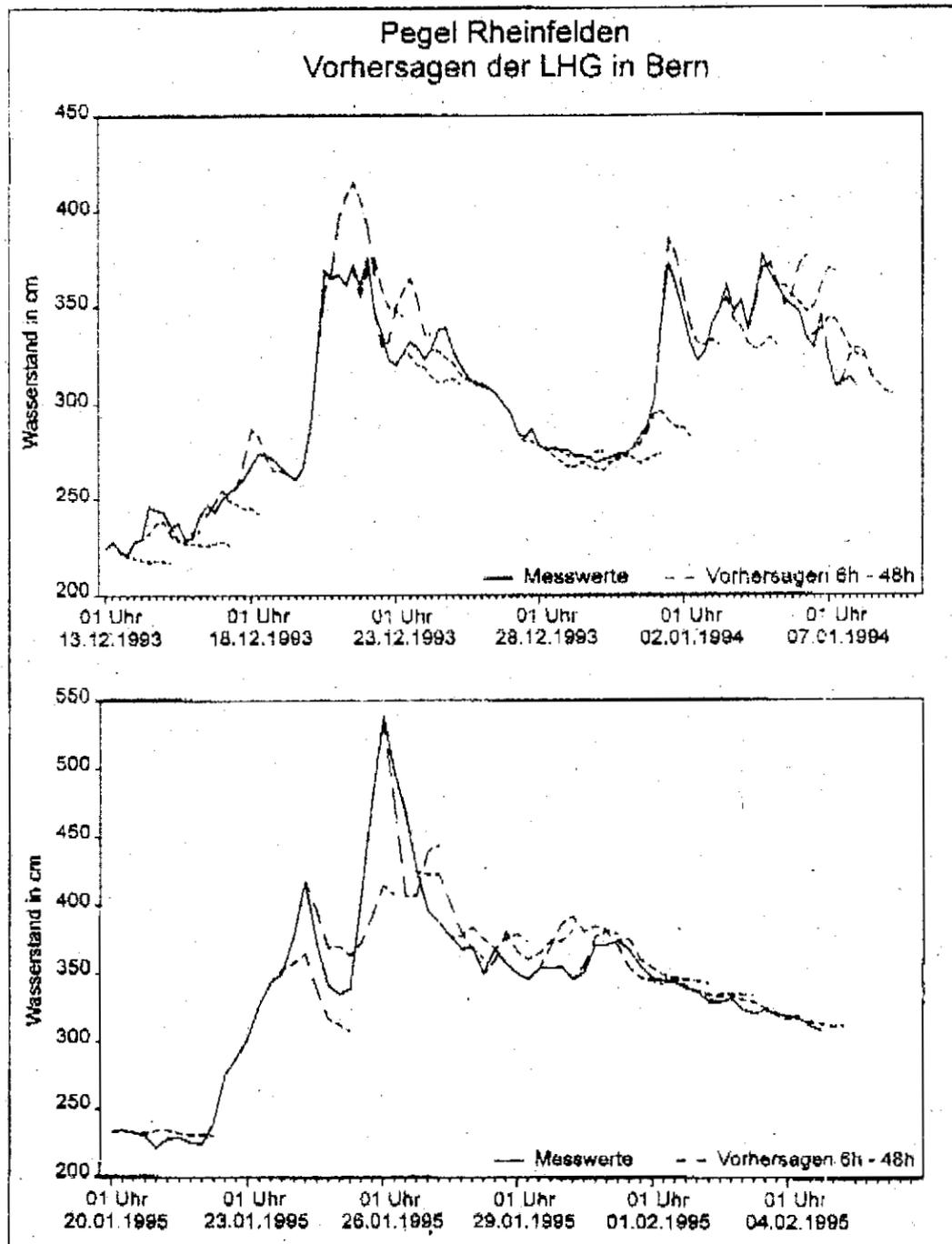
Der erwünschte Genauigkeitsgrad der Hochwasservorhersagen für den Pegel Lobith beträgt 1 Tag im voraus  $\pm 10$  cm, für 2 Tage  $\pm 15$  cm, für 3 Tage  $\pm 20$  cm und für 4 Tage  $\pm 40$  cm. Im allgemeinen erfüllen die Vorhersagen die gestellten Genauigkeitsanforderungen für die ersten zwei Tage, für den dritten und vierten Tag jedoch nicht. Daher werden in der täglichen Bekanntgabe nur die Vorhersagen für die ersten zwei Tage veröffentlicht. Während eines Hochwassers wird für den dritten und darauffolgende Tage eine qualitative Aussage, zum Beispiel "ein weiterer Anstieg wird erwartet", hinzugefügt.

### 6.2 Ergebnisse der Vorhersagen und Verbreitung

Mit einem detaillierten Flußgebietsmodell, das mit zwischenzeitlich eingebrachten wesentlichen Verbesserungen seit 1960 im Einsatz ist, werden Vorhersagen für den Rheinpegel Rheinfeldern erstellt.

In **Abb. 6.3** wurden Wasserstandsvorhersagen der beiden letzten Hochwasser bis zu 48 Stunden berücksichtigt. Dabei ist zu beachten, daß alle Vorhersagen für mehr als 6-12 Stunden direkt von der Genauigkeit der Niederschlagsvorhersagen abhängen. Ebenfalls wichtig ist eine genaue Temperaturvorhersage, wenn im Einzugsgebiet ein wiederholter Schneedeckenauf- und -abbau stattfindet, der modellmäßig zu erfassen ist.

Der direkte Vergleich der vorhergesagten mit den gemessenen Pegelständen bestätigt sowohl die Güte des komplexen Vorhersagemodells als auch die räumlichzeitlich richtige Vorhersage der Niederschläge. Die in Bern erarbeiteten Daten wurden von der Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg in Karlsruhe modellmäßig bei den Vorhersageberechnungen auf der Strecke Rheinfelden bis Karlsruhe berücksichtigt. Dem Hochwassermeldezentrum Rhein, der Bundesanstalt für Gewässerkunde und RIZA in den Niederlanden dienten sie zur qualitativen Einschätzung der Hochwasserlage am Oberrhein.



*Abb. 6.3 Operationelle Hochwasservorhersagen am Pegel Rheinfelden für die Hochwasser im Dezember 1993/Januar 1994 und Januar/Februar 1995*

Am deutschen Rhein sind im Dezember/Januar 1993/94 und im Januar/Februar 1995 für 16 Pegel von Speyer bis Emmerich in der Bundesanstalt für Gewässerkunde Wasserstandsvorhersagen für 6, 12, 18, 24, 30 und 36 Stunden berechnet worden (für Speyer und Koblenz nur bis 24 Stunden). Die Vorhersagen basierten auf den Meßwerten von 5 Uhr, 11 Uhr und 17 Uhr und standen ca. 1 Stunde nach Abruftermin um 6 Uhr, 12 Uhr und 18 Uhr für alle Pegel zur Verfügung. Eingangsdaten für das Modell waren 6stündliche Wasserstände an insgesamt 36 Pegeln.

Die Wasserstandsvorhersagen wurden weitergegeben an die deutschen Vorhersagezentralen in der WSD Südwest in Mainz und im Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein sowie an das RIZA in niederländischen Lelystad.

Vor Erreichen des Hochwasserscheitels im Dezember 1993 fielen am Rhein die Pegel Koblenz, Andernach, Bonn und Düsseldorf wegen Überflutung oder Stromausfall aus. Die Wasserstände am Pegel Koblenz wurden stündlich von einem Pegelbeobachter (Lattenablesung) gemeldet. Bei den weiteren 3 Pegeln wurden anstelle der fehlenden Meßwerte die modellberechneten Vorhersagen für 6 Stunden eingesetzt. Auf diese Weise konnten sowohl für die ausgefallenen Pegel als auch für die stromab folgenden Pegel Vorhersagen berechnet werden.

Die mobile Schutzwand in Köln bietet der dortigen Altstadt einen Hochwasserschutz bis zu einem max. Wasserstand von 10,0 m am Pegel Köln. Die Überschreitung dieser Grenzmarke wurde 36 Stunden im voraus vorhergesagt. Leider ist es während des Weihnachtshochwassers vorgekommen, daß Betroffene von den Vorhersagen nicht erreicht wurden, zum Teil wegen Unkenntnis der Existenz solcher Vorhersagen, zum Teil weil ihnen die zu nutzenden Medien nicht bekannt oder verfügbar waren. In anderen Fällen wurden Vorhersagen nicht geglaubt.

1995 wurde die Arbeit der Vorhersage- und Hochwasserschutzzentralen gegenüber 1993/94 vermehrt in Anspruch genommen. Im allgemeinen waren die Vorhersagen gut. Tendenzangaben über 24 Stunden hinaus waren jedoch wegen der enorm schnell wechselnden Wetterlagen mit großen Unsicherheiten behaftet. Die **Abb. 6.4 und 6.5** zeigen die erreichten Vorhersagegenauigkeiten am Ablauf der HW-Welle 1995. Auf **Abb. 6.4** sind die vorhergesagten Wasserstände in die abgelaufene Welle eingetragen. **Abb. 6.5** gibt direkt die Differenzen zwischen vorhergesagten und eingetretenen Wasserständen für 6- und 24-h-Vorhersagen an. Der Darstellungsmaßstab der **Abb. 6.4** vermittelt den Eindruck einer Vorhersagegenauigkeit, die so nicht in jeder Phase des Wellenablaufes gegeben war. Aus **Abb. 6.5** geht hervor, daß die normale Abweichung der 6-h-Vorhersagewerte von den Meßdaten in einer Marge von  $\pm 1$  bis 3 cm liegt. Besonders steile Anstiege gaben sehr kurzzeitig zu einer 10-cm-Abweichung Anlaß.

Die Grafik der 6-h-Differenzen zeigt einen weiteren Ausschlag etwa am 16./17.02., zu einer Zeit, als die Hauptwelle komplett abgelaufen war und die Wasserstände in Köln als quasi stationär gelten konnten. Die Differenzen betragen in diesem Zeitintervall ca. +12 bzw. -19 cm und sind damit die mit Abstand größten. Da sie in fast gleicher Größe auch bei den 24-h-Vorhersagen aufgetreten sind, kann hier nur ein Fehler bei den Eingabedaten vorliegen.

Ansonsten zeigen die Differenzen der 24-h-Vorhersagen zu den Meßwerten gegenüber den 6-h-Differenzen ähnliches Verhalten. Die Abweichungen zwischen Messung und Rechnung liegen systematisch bei ca. -5 bis +8 cm und spiegeln damit die vorhersagezeitabhängige Abnahme der Treffsicherheit. Bei steilem Wellenanstieg nehmen die Differenzen wiederum sehr kurzzeitig erheblich zu.

Neben den operationellen Vorhersagen, bei denen es um die möglichst genaue Bestimmung von Wasserständen bzw. Abflüssen zu bestimmten Zeiten an vorgegebenen Punkten geht, ist ein zweites Anliegen die Warnung vor Extremereignissen noch im zeitlichen Vorfeld ihrer Entstehung. Hier kann großräumig aufgrund von Niederschlagsvorhersagen auch zur Zeit schon gut reagiert werden. So war der Eintritt eines extremen Hochwassers im Januar 1995 schon rund 4 Tage vor Erreichen der Scheitel in Mosel und Rhein prognostiziert worden. Eine Zeitspanne, die ausreicht, die Anlieger zu sensibilisieren und alle Vorbereitungen zu treffen zum Schutz öffentlicher und privater Habe. Voraussetzung ist, daß derartige Warnungen ernstgenommen werden, auch auf die Gefahr hin, gelegentlich "umsonst" reagiert zu haben.

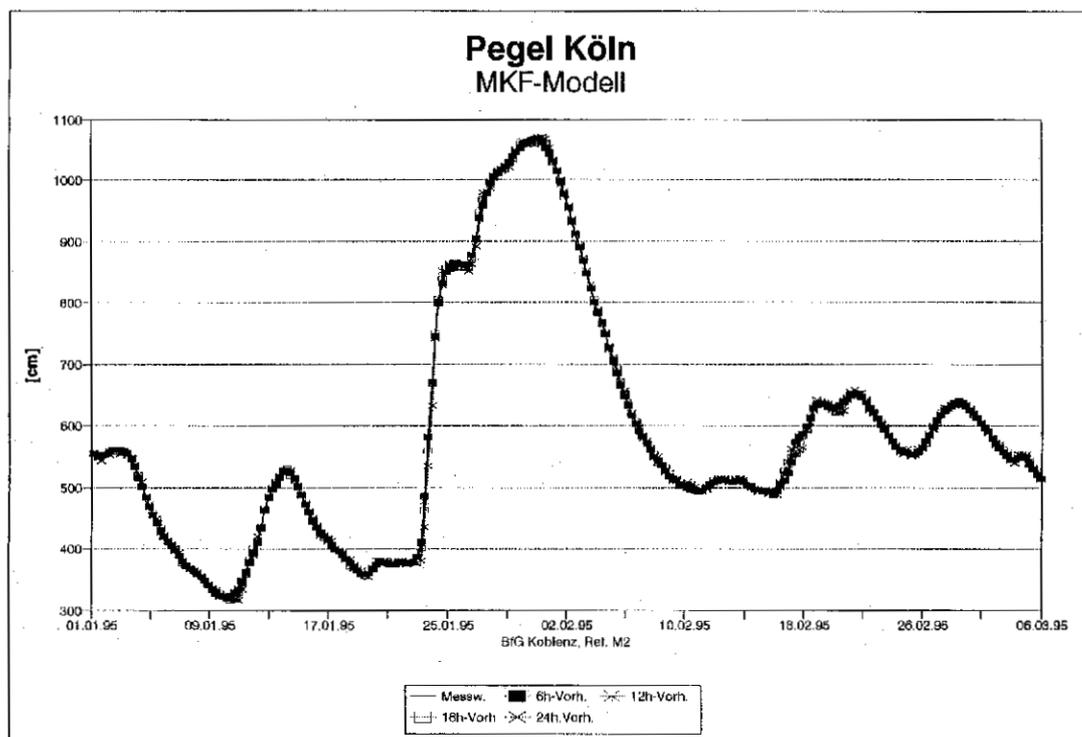


Abb. 6.4 Gemessene Wasserstände und Vorhersagewerte für 6, 12, 18 und 24 h für die Zeit vom 01.01. bis 06.03.1995 am Pegel Köln

In **Abb. 6.6** sind die vom RIZA ausgegebenen Vorhersagen für ein, zwei, drei und vier Tage im voraus in bezug auf die aufgetretenen Wasserstände an dem niederländischen Pegel Lobith für das Hochwasser 1993 dargestellt. Die Abbildung zeigt, daß die Vorhersagen für die ersten zwei Tage im allgemeinen guter Qualität waren. Der Prozentsatz der Vorhersagen mit der erwünschten Genauigkeit beträgt 82% für den ersten und 77% für den zweiten Tag. Höchstabweichungen waren 15 bzw. 38 cm. Der Scheitel wurde zwei Tage im voraus mit einer Genauigkeit von 12 cm vorhergesagt. Für den dritten und vierten Tag sind die Vorhersagen bedeutend weniger gut. Kennzeichnende Fehler sind Unterschätzung der Abflußmenge in der Anstiegsphase und Überschätzung in der Rückgangphase. Der Prozentsatz guter Vorhersagen beträgt 45% für den dritten und 57% für den vierten Tag. Höchstabweichungen waren 63 bzw. 97 cm. Der Scheitel wurde drei und vier Tage im voraus mit einer Genauigkeit von etwa 30 cm vorhergesagt. Diese Zahlen zeigen deutlich, weshalb die Vorhersagen für den dritten und vierten Tag nur qualitativ veröffentlicht werden.

Die Vorhersagen für das Hochwasser 1995 weisen ein vergleichbares Bild auf wie für das Hochwasser 1993. Für den ersten und zweiten Tag sind die Ergebnisse gut, siehe **Abb. 6.7**. In 100 bzw. 83% der Vorhersagen wurde die erwünschte Genauigkeit erreicht. Der Scheitel wurde schließlich einen Tag im voraus mit einer Genauigkeit von 7 cm vorhergesagt. Die beste Vorhersage des Scheitels war zwei Tage im voraus, mit einer Genauigkeit von 3 cm. Der dritte und vierte Tag weisen das charakteristische Bild von Unterschätzung in der Anstiegs- und Überschätzung in der Rückgangphase auf. Nur in 42 bzw. 50% der Vorhersagen wurde die erwünschte Genauigkeit erreicht. Der Scheitel wurde drei Tage im voraus mit einer Genauigkeit von 28 cm und vier Tage im voraus mit einer Genauigkeit von nur 58 cm vorhergesagt. Diese ungenaue Vorhersage geht auch zurück auf die unerwartet großen Niederschläge, die am 28. und 29. Januar im nördlichen Teil des Rheineinzugsgebietes fielen und die Welle unterhalb von Andernach deutlich verstärkt haben.

Der Datenaustausch ist von wesentlicher Bedeutung für die Vorhersagen. Bei den Hochwasserereignissen 1993 und 1995 funktionierte er gut. Wasserstände und Vorhersagen gingen täglich ein vom Wasser- und Schiffsamt in Duisburg bzw. von der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz, außerdem Niederschlagsdaten und -vorhersagen vom KNMI.

Neben dem Datenaustausch sind auch operationelle Kontakte zwischen den Vorhersagezentren von großer Bedeutung. Intensive Kontakte gibt es insbesondere zwischen den relevanten Zentren

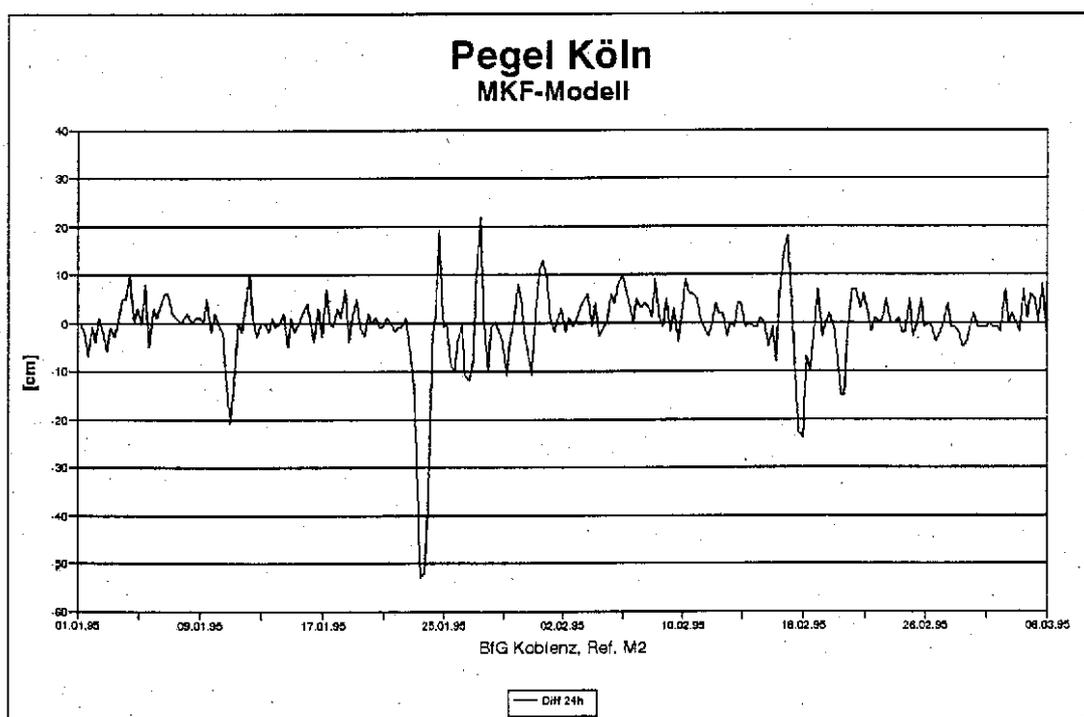
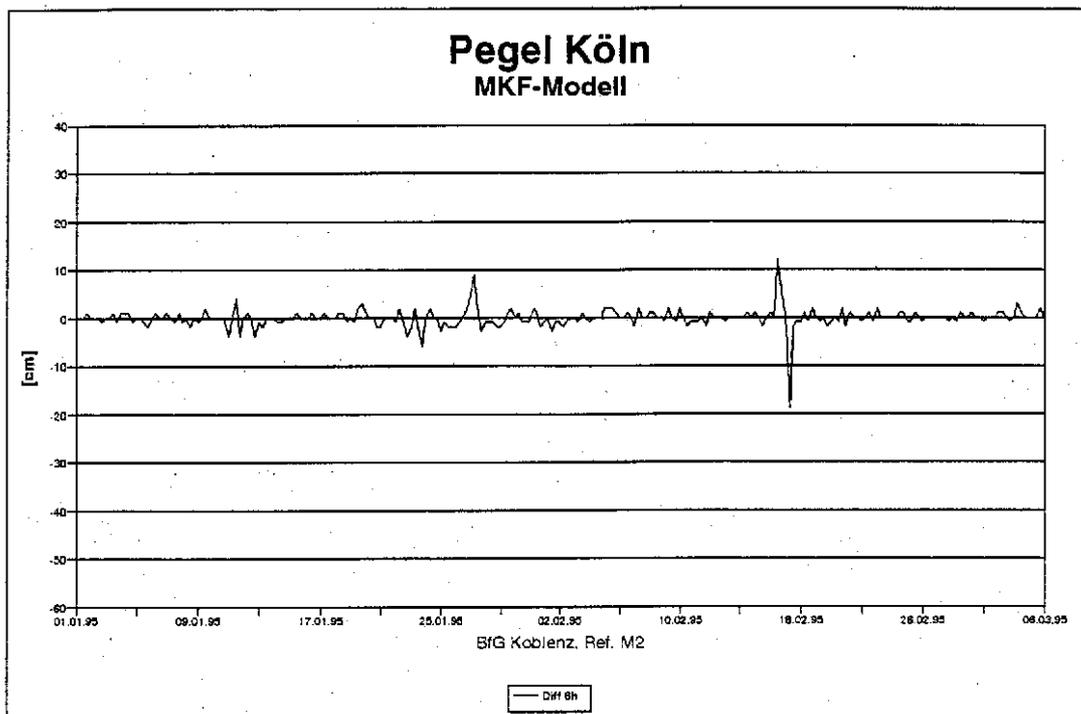


Abb. 6.5 Abweichungen der Einzelvorhersagen für 6 bzw. 24 h von den Meßwerten für die Zeit vom 01.01. bis 06.03.1995 am Pegel Köln

entlang des Rheins (Tab. 6.1). Verbesserungen im Bereich der Optimierung von Datenaustausch, Vereinheitlichung von Hochwassermeldungen und Verbesserung von Modellen sind allerdings möglich und werden angestrebt.

Die Hochwasservorhersagen werden in den Niederlanden mittels Telegrammen von RIZA und Telefaxen der regionalen Direktionen an direkt betroffene Behörden und Krisenzentren auf nationaler und regionaler Ebene sowie in den Provinzen verbreitet. Die Hochwasserberichte werden der

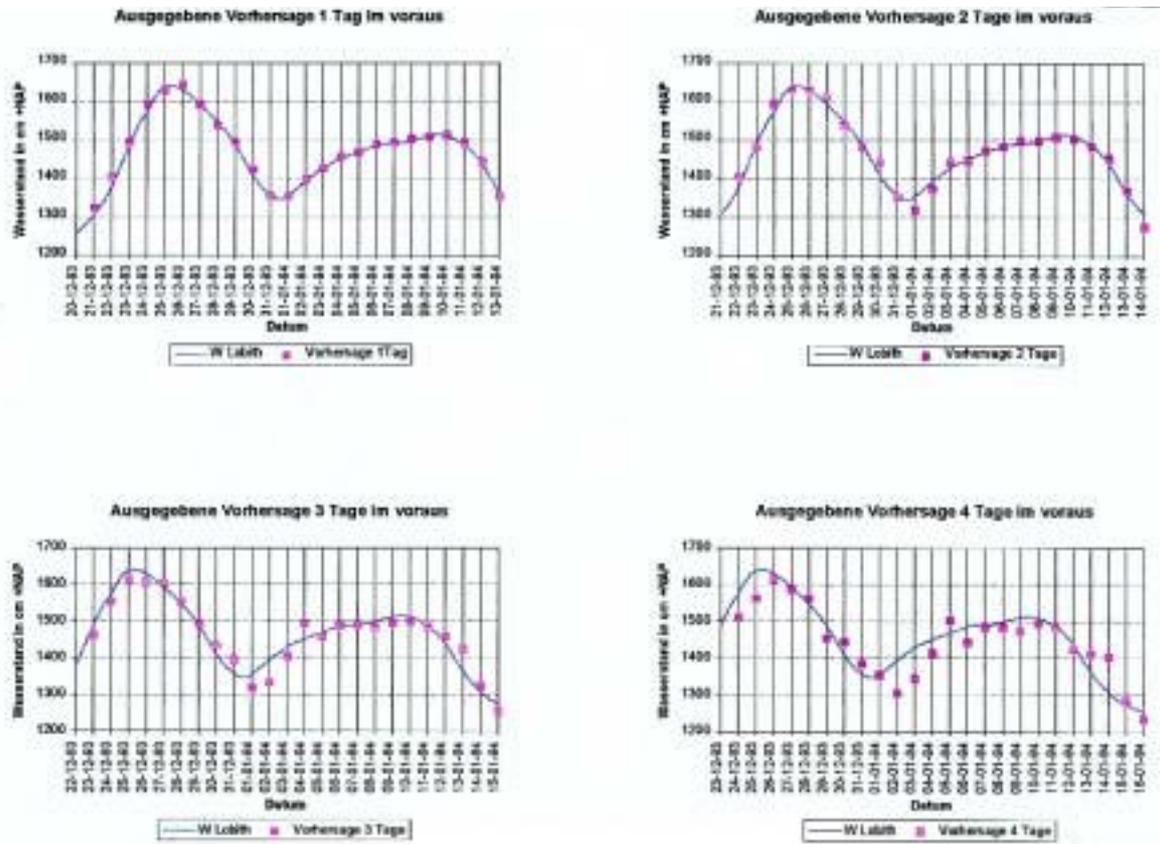


Abb. 6.6 Ausgegebene Vorhersagen für 1, 2, 3 und 4 Tage im voraus und gemessene Wasserstände während des Hochwassers 1993 für den Pegel Lobith

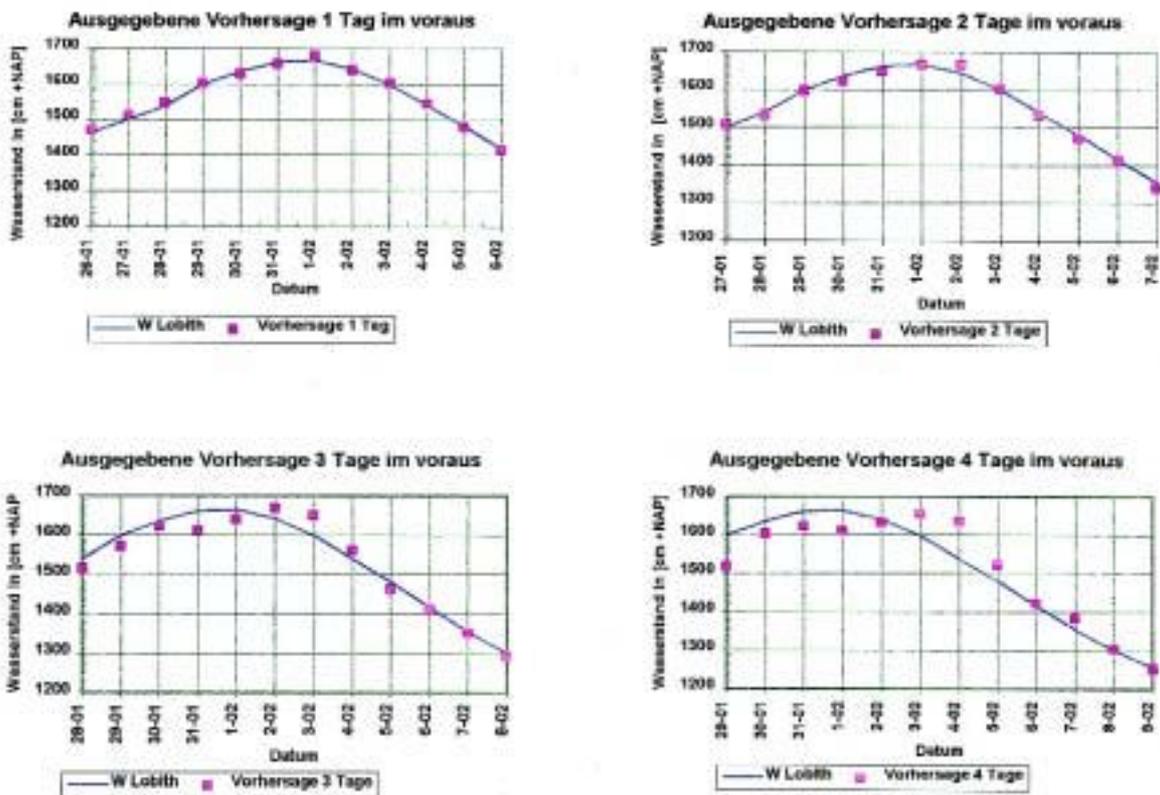


Abb. 6.7 Ausgegebene Vorhersagen für 1, 2, 3 und 4 Tage im voraus und gemessene Wasserstände während des Hochwassers 1995 für den Pegel Lobith

Bevölkerung über Teletext mitgeteilt. Bei Hochwasserereignissen geschieht dies durch mindestens zwei Hochwasserberichte pro Tag.

Die Vorhersagen der Wasserstände bilden wichtige Basisinformationen für das Hochwassermanagement und Anhaltspunkte für das Krisenmanagement. Auf der Grundlage der Vorhersagen lassen sich potentielle Problembereiche in einem möglichst frühen Stadium erkennen. Dies bietet die Möglichkeit, rechtzeitig Maßnahmen zu treffen, um Hochwasserschäden möglichst zu begrenzen.

Neben Vorhersagen der Wasserstände sind Erkenntnisse über den Zustand der Deiche von großer Bedeutung für das Krisenmanagement. Diese Informationen werden von den Deichverwaltungen, den "Waterschappen" (Wasser- und Deichverbände) geliefert. Im Fall eines Hochwassers intensivieren diese Waterschappen die Deichinspektionen, wozu eine aus Freiwilligen zusammengesetzte sogenannte "Deicharmee" aufgestellt wird.

Die Verantwortung für das tatsächliche Krisenmanagement, betreffend die Sicherheit der Bevölkerung, obliegt an erster Stelle den lokalen Behörden. Der Bürgermeister jeder Gemeinde ist der erste Verantwortliche. Sind mehrere Regionen beteiligt, ist der Gouverneur der Provinz als Leiter des Provinz-Krisenzentrums verantwortlich. Rijkswaterstaat und Waterschappen haben eine beratende Tätigkeit im Krisenmanagement. Wenn ein Waterschap die Standsicherheit der Deiche nicht gewährleisten kann, müssen die betroffenen Bürgermeister eventuell Evakuierungen anordnen, wie 1995 in großem Umfang geschehen ist.



## 7 SCHÄDEN ALS FOLGEN DER HOCHWASSER [2], [8], [18], [19], [20], [21]

Weltweit war die erste Hälfte der 1990'er Jahre von außergewöhnlichen Hochwassern geprägt, die zum Teil erhebliche Schäden angerichtet haben, bis hin zu katastrophalen Auswirkungen.

1993 wurden Teile des Mississippi/Missouri-Gebiets in den USA von einer 5-monatigen Hochwassersituation betroffen, bei der allein im nördlichen Einzugsgebiet rund 93.000 km<sup>2</sup> Landfläche überflutet waren. 47 Menschen mußten ihr Leben lassen und die Schäden lagen in der Summe zwischen 18 und 24 Mrd. DM. In Europa ereigneten sich außergewöhnliche Hochwasser an der Rhone (1993), an Rhein und Maas (1993/94 und 1995) und im oberen Po-Gebiet (November 1994). Die Schäden in Oberitalien beliefen sich infolge einer Flut von nur zwei Tagen Dauer auf rund 20 Mrd. DM. 63 Tote waren zu beklagen und weite Teile der Überflutungsgebiete waren nach dem Ereignis mit bis zu 60 cm dicker Schlammschicht überdeckt.

In Deutschland folgte dem Weihnachtshochwasser im Rheingebiet ein hohe Schäden verursachendes Saalehochwasser. Im Mai ereignete sich das Hochwasser im schweizerischen Einzugsgebiet des Hocht Rheins und Ende Januar 1995 baute sich erneut eine bedeutende Welle im Rhein auf.

Die Gesamtschäden in den von der Januarflut 1995 betroffenen europäischen Ländern (B, D, F, LUX, NL) belaufen sich nach vorsichtigen Schätzungen auf etwa 3,3 Mrd. DM. Das Maihochwasser 1994 in der Schweiz verursachte Sachschäden um 150 Mio. DM. Beim Weihnachtshochwasser 1993 lag die Schadenssumme bei ca. 2,1 Mrd. DM. – Für Deutschland allein ergibt sich als Folge des Weihnachtshochwassers allerdings: Die Schäden waren 1995 nur etwa halb so groß wie 1993/94.

Die Hochwasserbetroffenheit ist an den einzelnen Gewässern im Rheingebiet sehr unterschiedlich. Sie bestimmt sich aus den Gegebenheiten der Hydrologie ebenso wie aus denen der Flußtäler und Gerinnebetten.

### 7.1 Allgemeine Hochwassersituation

Welche Auswirkungen sich aus einem Hochwasser ergeben, hängt ab von

- der Größe des Ereignisses nach Höhe und Dauer der Wasserstände
- der Topographie und Nutzung (dem Schadenpotential) in den Überschwemmungsgebieten
- dem vorhandenen Schutzgrad
- dem Hochwasserbewußtsein und damit der Reaktionsbereitschaft und -fähigkeit der Betroffenen.

Der Teilaspekt der Nutzung, vor allem das Schadenpotential, unterliegt der auch kurzfristigen menschlichen Beeinflussung; Gleiches gilt bedingt für den aktuellen Schutzgrad. Das Hochwasserbewußtsein ist schließlich die kurzfristig variabelste Größe. Die allgemeinen Hochwasserverhältnisse am Rhein und seinen Nebenflüssen und damit auch der großräumig vorhandene Hochwasserschutz sind nachfolgend beschrieben.

**Abb. 7.1** zeigt die durch Dämme gegebenen Sicherheiten am Rhein: In der oberrheinischen Tiefebene schützen Dammsysteme die Anlieger durchgehend von der deutschschweizerischen Grenze bis in den Raum Mainz. Allerdings hat dieser Schutz unterschiedliche Wertigkeiten.

Entlang der mit Staustufen ausgebauten Stromstrecke (bis Rhein-km 334) werden Hochwasserscheitel schadlos abgeführt mit Jährlichkeiten bis zu rund 1000 Jahren. Dabei liegen die Dämme unmittelbar an den Ufern des Rheins und erreichen Kronenhöhen bis zu 8 m über dem natürlichen Gelände. Unterhalb der letzten Staustufe im Rhein bis zur Mainmündung besteht ein Überflutungsschutz gegen 200jährige Hochwasserscheitelabflüsse, wobei infolge des Staustufenbaus eingetretene Scheitelerhöhungen durch spezielle Retentionsmaßnahmen (Flußretention, Stauwehre und flutbare Polder) zurückgenommen werden. Die eigentlichen Schutzdeiche liegen in diesem Stromabschnitt in vielen Fällen relativ uferfern. Kleinere Deiche im Vorfeld schützen lediglich gegen sommerliche Hochwasser und können im Winter auf mittlere Hochwasser scheitelreduzierend wirken. – Unterhalb der Mainmündung schützen Deiche gegen 100jährige Hochwasserscheitel bis etwa in den Raum von Bingen. – Ab Bingen bis Köln existieren keine Schutzdeiche bis auf die 1929 gebaute Schutzmauer um die Stadt Neuwied und einige kleinere Maßnahmen im Stadtgebiet von

Köln. Unterhalb Köln, ab Rhein-km 710 beginnen erneut Deiche, die die Anlieger auf deutschem Staatsgebiet gegen Scheitelabflüsse mehr als 500jähriger Wiederkehr schützen. In den Niederlanden liegt die Jährlichkeit noch höher.

Keiner der Nebenflüsse des Rheins ist auf längeren Strecken mit Schutzdeichen versehen. Bei den Gewässern im Oberrheingebiet bestehen in mehreren Fällen ab dem Gebirgsrand beginnende Hochwasserkanäle. Diese und die in der Rheinebene verlaufenden Mündungsstrecken der Flüsse sind in der Regel mit Deichen versehen. Dabei handelt es sich allerdings immer nur um kurze Abschnitte. Lediglich am Main wurden auf einer Strecke von 56,5 km Länge Deiche errichtet. – An der Mosel bestehen verschiedentlich Schutzanlagen mit sehr unterschiedlichen Höhen vor Ortschaften. – An der Saar wurden im Zuge des Ausbaus zur Großschiffahrtsstraße gezielt einzelne Ortschaften mit Deichen und Mauern geschützt. Im Oberlauf wurden zusätzlich auf kürzeren Strecken Deiche gegen Vorlandüberflutungen errichtet.

Aus den vorgenannten Fakten ergibt sich, daß der überwiegende Teil der Anlieger an den Nebenflüssen des Rheins mit dem Hochwasser lebt, das heißt, Strategien entwickelt hat, wie auf steigende Wasserstände zu reagieren ist. Dies gilt auch für die Bewohner des Mittelrheintales. In der Regel bleiben Schäden infolge von Überflutungen hier begrenzt. Beim Hochwasser 93/94 war dies jedoch zum Teil anders wegen der ungewöhnlichen Größe der Hochwasserscheitel und wegen der allgemein sehr rasanten Wellenanstiegszeiten.

Schutzdämme sind nirgendwo im Rheingebiet zerstört worden. Am Oberrhein lagen die Wasserstände weit unter den kritischen Höhen und am Niederrhein waren die Bemessungshöhen ebenfalls noch deutlich unterschritten. Hier ergaben sich allerdings verbreitet Überflutungen hinter den Deichen infolge Qualmwassers und aus Dammdurchsickerungen. Schließlich bestand in den Niederlanden verschiedentlich Dambruchgefahr, was zu großräumigen Evakuierungen Anlaß gegeben hat.

Die vor Siedlungen errichteten Schutzmauern haben ebenfalls überall den Wassermassen widerstanden. Sie sind allerdings nicht immer gegen höchstmögliche Fluten ausgelegt und wurden deshalb zum Teil übertrömt (z.B. in Zell an der Mosel). In Köln wird vor der Altstadt bei Hochwasser eine mobile Schutzwand errichtet. Sie ist bewußt nicht auf den höchsten bekannten Wasserstand ausgelegt und war 1993 und 1995 mit maximal 63 bzw. 69 cm übertrömt.

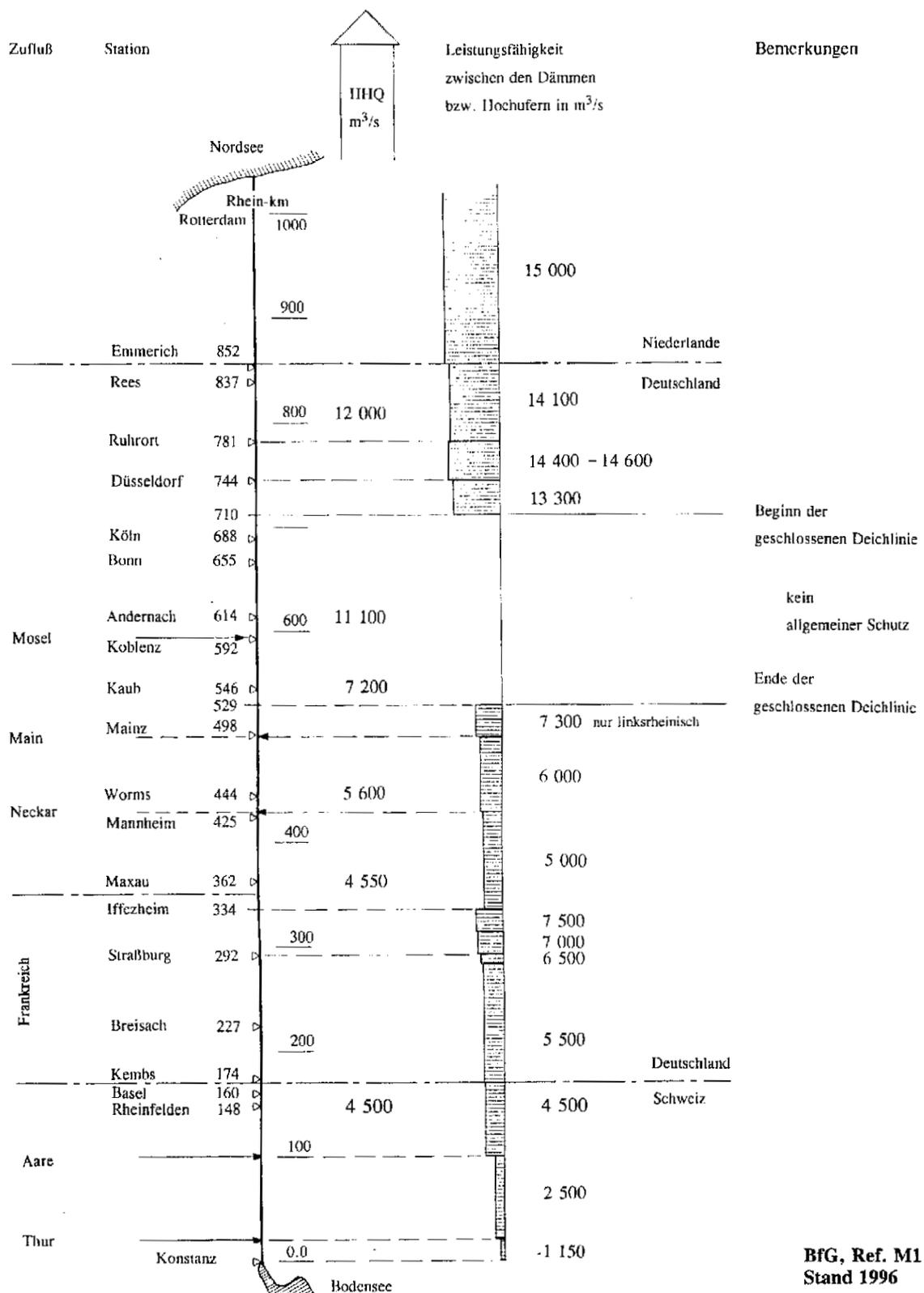
## **7.2 Hochwasserschäden in Städten und Gemeinden**

In der Schweiz war 1993/94 kein Hochwasser gegeben. 1995 lief ein unschädliches Hochwasser ab. Im Mai 1994 jedoch mußten weite Teile des Mittellandes und des Jura in der Nordschweiz erhebliche Hochwasserschäden hinnehmen.

Unzählige Gebäude, Keller, Straßen und Kulturen standen unter Wasser, Strom- und Telefonverbindungen wurden unterbrochen, der Einsatz Tausender von Helfern war notwendig. Überall herrschten chaotische Verkehrsverhältnisse auf den Straßen und Schienen. Trotz Kosten von über 130 Millionen Franken in 15 Kantonen war dieses Mai-Unwetter keine eigentliche Katastrophe, sondern mehr ein Naturereignis mit hohen materiellen Sachschäden.

Schadenschwerpunkte waren:

- Im Kanton Aargau das Wynen-, das Bünz- und das Surbtal sowie die Region Brugg. Das normalerweise drei Meter breite, "harmlose" Wynabächlein schwoll zu einem 30 Meter breiten, reißenden Fluß an und überflutete mehrere Dörfer. Dies führte wegen der dichten Besiedlung zu Millionenverlusten. Denn wo früher nur Wiesen und allenfalls Scheunen überschwemmt, also nicht viel mehr als Kartoffeln nass wurden, stehen heute Wohnhäuser, Produktionswerkstätten und Lagerhallen mit teuren Einrichtungen unter Wasser. Allein in einem Betrieb werden die Schäden auf 15 Millionen Franken (!) beziffert. 500 Tonnen Armaturen und Verpackungsmaterial mußten entweder geschreddert, verbrannt oder eingeschmolzen werden. Es läßt sich feststellen, daß allgemein die Schadenhöhe in den letzten Jahren gestiegen ist; es verwundert allerdings, daß aus den Folgen früherer Ereignisse so wenig Konsequenzen gezogen wurden.
- Im Kanton Zürich das Reppischtal von Birmensdorf bis Dietikon sowie die Region Winterthur. Amtliche Untersuchungen ergaben, daß millionenschwere Überschwemmungen in Dietikon auf



BfG, Ref. M1  
Stand 1996

Abb. 7.1 Höchste Hochwasserabflüsse und Leistungsvermögen des Rheins zwischen den Dämmen bzw. Hochufern vom Bodensee bis zur Nordsee

das ungenügende Durchlaßprofil einer Bahnbrücke zurückzuführen waren. In Affoltern am Albis überschwemmte der Jonenbach rund 80 Keller, Garagen und Geschäfte. Ein schon lange geplantes Hochwasser-Rückhaltebecken war dort wegen der hohen Kosten (noch) nicht realisiert.

– Im Kanton Thurgau die Region Weinfelden-Pfyn-Frauenfeld. Allein in Weinfelden, dessen Ortskern von Wasser- und Geröllmassen verwüstet wurde, beliefen sich die Schäden auf rund 14 Mil-

- lionen Franken. In Pfyon floß der Dorfbach 50 Meter breit durchs Dorf. Gegen 150 Gebäude wurden betroffen. Schuld an den thurgauischen Überschwemmungen waren die zahlreichen Ausbrüche der kleinen Bäche und weniger das Hochwasser der gefürchteten Thur.
- Im Kanton Basel-Land vor allem der Hauptort Liestal sowie Allschwil, wo die Dorfbäche, vorab im eingedolten Bereich, ausbrachen und Schäden in Millionenhöhe anrichteten.

Die Erfassung der durch Hochwasser entstandenen Schäden, insbesondere kurz nach einem Ereignis, ist sehr schwierig. So gilt auch heute noch die Aussage der Preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde nach dem Hochwasser 1925/26:

“Genaue Angaben über die Höhe des Schadens sind nicht zu machen; die Erhebungen sind nicht überall in gleicher Weise vorgenommen worden. Auch hat sich, wie so oft bei allgemeinen Notständen, herausgestellt, daß die unter dem ersten Eindruck des Unglücks angemeldeten Schäden übertrieben groß erschienen und bei der späteren Abschätzung durch die Orts- und Kreiskommissionen teilweise erheblich herabgesetzt werden konnten. Andererseits ließ sich mancher Schaden erst nach Abschluß der Schätzungen in seiner vollen Höhe erkennen”.

Die ersten Schadensschätzungen 1993/94 sprachen von 650 Mio. DM Gesamtschaden allein in Rheinland-Pfalz und 100 Mio. DM im Saarland. Für die Stadt Köln wurde eine Summe von über 110 Mio. DM genannt, so daß in Nordrhein-Westfalen insgesamt von mindestens 200 Mio. DM Schadenssumme ausgegangen werden kann. In Baden-Württemberg betrug allein der versicherte Gebäudeschaden mehr als 160 Mio. DM. Zusammen mit den Schäden im bayerischen Maingebiet ergibt sich insgesamt für das Rheingebiet ein Schadenbetrag von 1,3 Mrd. DM.

Nach dem Hochwasser 1925/26 wurden im preußischen Teil des Rheingebietes Schäden in einer Gesamtsumme von rund 100 Mio. RM festgestellt, was umgerechnet ebenfalls einem Betrag von ca. 1,3 Mrd. DM entspricht.

Auch heute haben die Bürger die Möglichkeit, Finanzhilfen des Landes zu beantragen, wenn sie durch die Hochwasserschäden in existentielle Not geraten. Die Notlage muß durch Offenlegung der finanziellen Verhältnisse nachgewiesen werden. Der Schadenbetrag sollte außerdem im Privatbereich über 3.000 DM liegen (Gewerbe 5.000 DM). Durch diese Einschränkungen ist die Anzahl der Anspruchsberechtigten und damit auch die Zahl der Anträge sehr begrenzt. Im Verhältnis zur Zahl der vom Hochwasser betroffenen Haushalte liegt die Antragsquote meist unter 10%. Dennoch geben Zahlen dieser Finanzhilfefaktionen Abschätzungshilfen für Schäden.

Die Gebäudebrandversicherung in Baden-Württemberg bot als einziger Versicherer in Deutschland seit Jahrzehnten auch Schutz bei Hochwasser- und Überschwemmungsereignissen (für das Gebiet Baden-Württembergs). Beim Weihnachtshochwasser 1993 gab es über 10.000 Schadenfälle mit einer Entschädigungssumme von über 160 Mio. DM. Dies war aus **einem** Ereignis mehr als in den Jahren 1990/91 insgesamt. Betroffen waren vor allem die Flußanlieger der Murg, des Neckars mit den Seitengewässern Nagold, Enz, Rems, Jagst, Kocher und der Tauber. Der Oberrhein hatte praktisch kein Hochwasser und damit keine Schäden. Die mittlere Schadenssumme pro Risiko betrug rund 16.000 DM. Damit bestätigte sich der Trend einer starken Zunahme der Durchschnittsschäden in der Hochwasserversicherung [20], bedingt durch die zunehmende Wertekonzentration. In der Periode 1960-69 lag die durchschnittliche Schadenhöhe preisbereinigt (Basis 1991) für Hochwasserüberschwemmungsschäden bei rund 4.400 DM. In den folgenden Dekaden betragen die vergleichbaren Werte 7.400 DM und 5.400 DM. Eine Aufteilung in private, gewerbliche und öffentliche Schäden ist allerdings nicht vorgenommen.

Die Durchschnittsschäden pro Region schwankten zwischen 3.000 DM und 27.000 DM. Eine Ursache dafür sind Großschäden, die in den Zahlen enthalten sind und die Statistik stören. So ist zum Beispiel in den 30 Mio. DM bei Künzelsau ein Großschaden von 7 Mio. DM enthalten. Ohne diesen Schaden sinkt der Durchschnittsschadenwert von 27.300 DM auf 20.900 DM. Eine weitere Ursache für regionale Unterschiede liegt in der Schwere des Hochwassers. So ist zum Beispiel die Schadenhöhe stark abhängig vom Wasserstand im Gebäude. Erreicht der Wasserstand ein neues Stockwerk, steigt der Schaden sprunghaft an. In der am stärksten betroffenen Neckargemeinde betrug die mittlere Schadenssumme pro betroffenes Risiko rund 20.000 DM. Hier allein waren rund 1.000 Häuser betroffen. Die Einzelschäden an Wohngebäuden lagen im Bereich von 5.000 DM bis 150.000 DM, bei öffentlichen Gebäuden zwischen 300.000 bis 400.000 DM und bei Industrieobjek-

ten zwischen 200.000 DM und 300.000 DM im Durchschnitt. Bedauerlich für die im gleichen Ausmaß betroffenen Bewohner der unmittelbaren Nachbargemeinde war die Zugehörigkeit zu einem anderen Bundesland und damit der Ausschluß aus der Elementarschadenversicherung.

Für Rheinland-Pfalz sind die Ergebnisse einer Befragung der am stärksten betroffenen Kreise und kreisfreien Städte ausgewertet worden. Bei den meisten Kreisen war eine Aufteilung in die drei Klassen Privat/Gewerbe/Landwirtschaft zu erhalten. Die landwirtschaftlichen Schäden erreichten bei 36 bekannten Anträgen eine Schadenssumme von 574.319 DM. Aufgrund der Jahreszeit spielen diese Schäden erwartungsgemäß praktisch keine Rolle. Die von den Betroffenen im privaten und gewerblichen Bereich angegebenen Schadenssummen waren im Durchschnitt um den Faktor 2 höher. Immerhin ergab sich trotz der eingeschränkten Zahl von Anspruchsberechtigten eine Summe von mehr als 52 Mio. DM bei nahezu 3.500 Anträgen. Der Durchschnittsschaden über alle Klassen betrug rund 15.000 DM. Eine detaillierte Erfassung von Hochwasserschäden an der Mosel beim Ereignis 1983 ergab eine mittlere Schadenssumme von ebenfalls ca. 15.000 DM je Anwesen aus den Bereichen private und öffentliche Bauten, sowie Gewerbe und Landwirtschaft. Diese Summe beinhaltete sowohl Gebäude- als auch Inhaltsschäden, ebenso wie Werteverlust und Verdienstausfall.

Im privaten Bereich, der immerhin zwei Drittel aller Anträge ausmacht, war der Durchschnittsschaden auch im Vergleich zu den Zahlen aus Baden-Württemberg mit 8.700 DM relativ gering. Die Ursache dafür kann in der Mischung aus Gebäude- und Inhaltsschäden liegen. Die Anwohner, speziell an der Mosel, sind an häufige Hochwasser gewöhnt. Viele Installationen in den Häusern (Elektroverteiler, Heizungsanlagen etc.) waren hochwassersicher angebracht, und die Keller seltener mit Wertsachen bestückt und schnell geräumt. Generell waren Inhaltsschäden nur halb so hoch wie Gebäudeschäden (inkl. festem Inventar).

Bei der Schadenverteilung im privaten Bereich ist zu beachten, daß der Anteil der Kleinschäden eindeutig zu gering ist, da erst ab einem Schaden von rund 3.000 DM ein Antrag gestellt werden sollte. Mehr als 99% der Fälle bzw. 95% des Gesamtschadens bestand aus Schadenssummen unter 30.000 DM.

Nahezu die Hälfte der Schadenssumme kam aus dem gewerblichen Bereich. Der mittlere Schadenwert liegt hier bei über 46.000 DM. Es sind Einzelschäden bis zu 1 Mio. DM enthalten. 88% der Fälle hatten Schäden unter 100.000 DM, 95% lagen unter 200.000 DM.

In einer Bilanz des Weihnachtshochwassers 1993 sprach die Stadt Koblenz von einem Gesamtschaden von 150 bis 200 Mio. DM. Rund 4.000 Häuser und 10.000 Einwohner waren vom Hochwasser direkt betroffen. Nahezu ein Viertel der bebauten Stadtfläche war überflutet. Beim Hochwasser 1925/26 ist von 14.000 Betroffenen in Koblenz die Rede. Vom Planungsamt der Stadt und der Feuerwehr wurde eine Untersuchung durchgeführt, die mit Hilfe einer Kartierung der überschwemmten Gebiete und der Bevölkerungsverteilung die Anzahl der direkt vom Hochwasser betroffenen Bürger mit 9.925 ermittelte. Mehr als 9.000 weitere Bürger wohnen in Zonen mit überschwemmten Kellern außerhalb der eigentlichen Hochwasserzone (steigendes Grundwasser, Qualmwasser, Rückstau). Dadurch errechnet sich ein Faktor von mehr als vier zwischen betroffenen Bürgern und Häusern. Dies stimmt gut mit dem Wert aus einem früheren Ereignis am Mittelrhein überein. Daher kann von rund 5.000 betroffenen Haushalten in Koblenz ausgegangen werden.

Vergleicht man diese Zahl mit den vorgenannten Werten, so ergibt dies eine Antragsquote von weniger als 10%. Mehr als 90% der vom Hochwasser Betroffenen haben keinen Antrag auf Finanzhilfe gestellt, sei es, daß der Schadenbetrag zu gering oder keine Notlage vorhanden war. Eine Schätzung des Gesamtschadens im privaten Bereich für Koblenz nach Schadengrößeklassen basiert auf der Annahme, daß mit steigender Schadenssumme auch der prozentuale Anteil der Anträge steigt, so daß bei einer Schadenssumme von 30.000 DM rund ein Drittel der Betroffenen einen Antrag stellt. In der Klasse bis 2.000 DM sind es nur 1%. Damit ergibt sich eine Gesamtzahl von 4.369 Hochwassergeschädigten, die gut mit den Werten der Hochwasserbilanz übereinstimmt. Legt man nun nicht die festgestellte Schadenssumme zugrunde, sondern nimmt die für Versicherer eher interessante beantragte Schadenssumme, so ergibt sich für die gesamte Stadt Koblenz ein Betrag von 57 Mio. DM.

Eine entsprechende Rechnung für den gewerblichen Bereich ist auf Grund der geringen Anzahl

der Anträge nicht möglich. Zusammen mit den öffentlichen Schäden sollte sich aber eine realistische Gesamtschadenssumme von nicht mehr als 100 Mio. DM ergeben.

Mit den Zahlen der einbezogenen 13 Kreise zu den privaten Schäden ergibt eine analoge Hochrechnung wie für Koblenz eine Schadenssumme für Rheinland-Pfalz von 173 Mio. DM. Bei einer Antragsquote im gewerblichen Bereich von 25% addieren sich weitere 100 Mio. DM.

Im Saarland sind die Werte der anerkannten Schäden sehr ähnlich den Zahlen aus Rheinland-Pfalz, die sie damit stützen. Die von den Antragstellern angegebenen Schadenzahlen bestätigen den weiter oben benutzten Faktor 2 zwischen beantragten und festgestellten Schäden. Im privaten Bereich liegen 5% der Schäden über 30.000 DM, bei den gewerblichen sind es 40%. Der Anteil der gewerblichen Schäden ist im Saarland höher als in Rheinland-Pfalz, daher resultiert auch der höhere Durchschnittsschaden im Total (rund 29.000 DM).

In Nordrhein-Westfalen waren die Schäden auf die Rheinstrecke zwischen Königswinter und Köln begrenzt. Die drei Städte mit der höchsten Anzahl direkt betroffener Haushalte waren Köln mit 4.550, Bonn mit 1.334 und Königswinter mit 500. Hinzu kamen noch 9.000 Haushalte in Köln mit indirekten Hochwasserschäden durch steigendes Grundwasser (einige Stadtteile liegen ständig unter Reihenniveau und müssen durch Pumpen entwässert werden). In Königswinter lag diese Zahl bei 484.

Eine Abschätzung des Ereignisschadens gestaltete sich für das Hochwasser von 1995 noch schwieriger als für 1993. Offizielle Stellen waren zurückhaltend mit Informationen, und Zahlen der Finanzhilfreaktionen der Bundesländer (wenn sie denn vorliegen) lassen keinen Vergleich zum Weihnachtshochwasser 1993 zu.

Neben dem Faktum, daß die Wasserstände in Rheinland-Pfalz an vielen Gewässerstrecken 1995 um einige Dezimeter unter denen von 1993 lagen (Untermosel ca. 90 cm, Untere Saar und Sauer ca. 40 cm, Koblenz rd. 30 cm) und damit weniger Bürger betroffen waren, sind auch geänderte Verwaltungsvorschriften dafür verantwortlich, daß die Anträge um mehr als eine Größenordnung zurückgegangen sind. So sind für Koblenz ca. 50 Anträge gegenüber fast 400 Anträgen 1993, in Cochem rund 25 Anträge gegenüber 432 beim Weihnachtshochwasser anzusetzen.

In Baden-Württemberg fiel das Hochwasser ebenfalls geringer aus als 1993. Die Gebäudeversicherung Baden-Württemberg nennt rund 70 Mio. DM Gebäudeschäden (inklusive Sturm), so daß der versicherte Hochwasserschaden in diesem Bereich bei etwa 50 Mio. DM liegen müßte, weniger als einem Drittel des 93er Schadens.

In Nordrhein-Westfalen war das Januarhochwasser 1995 bedeutender als das Ereignis 1993. Die Anzahl der betroffenen Bürger in Köln war etwa gleich groß: 4.000 direkt und 10.000 indirekt Betroffene.

Der Schaden dort war jedoch mit ca. 65 Mio. DM nur annähernd halb so groß wie 1993. Trotzdem war das Hochwasser 1995 für Köln beängstigender und von größerer Dramatik als das Weihnachtshochwasser 1993. Dies lag vor allem an dem aufgrund der Vorhersagen in einer kritischen Zwischenphase erwarteten Höchstwasserstand von über 11 m am Pegel Köln. Sein Eintreten hätte für die Stadt eine Katastrophe bedeutet.

Aus den 1993 gewonnenen neuen Erkenntnissen ergaben sich Schlußfolgerungen, die innerhalb eines Jahres zu zahlreichen baulichen Verbesserungen geführt haben (z. B. Sicherung von Öltanks) und Verlegung von Heizungsanlagen in höher liegende Gebäudeteile sowie Höherlegung elektrischer Verteiler). So reduzierten sich allein in Köln die Ölunfälle von 100 (1993) auf 6 im Januar 1995. Auch Verbesserungen des "Hochwassermanagements" durch Kommunen, Nachbarschaften und Einzelpersonen waren unübersehbar. Das Engagement der Hochwasserdienste, das gute Vorbereitetsein und die Solidarität der Bürger, ihre Hilfsbereitschaft untereinander und das gemeinsame Handeln von Bürgern und öffentlichen Institutionen haben sehr zur Schadenminimierung beigetragen.

Ganz entscheidend war, daß die verbreiteten Vorhersagen und Warnungen wachsam verfolgt und sehr ernstgenommen wurden. Viele Bürger an Mosel und Rhein räumten ihre Häuser über den

Wasserstand von 1993 hinaus. Dieses Hochwasser war noch jedermann präsent und der Lerneffekt wirkte sich erkennbar aus. Hinsichtlich des ermittelbaren Gesamtschadens ist auch erheblich, daß 1995 kein ‘Superschaden’ wie der am Schürmann-Bau 1993 in Bonn eingetreten ist. Einzelkatastrophen waren dennoch zu verzeichnen. Ein Beispiel gibt die Überflutung des Ortes Kirn an der Nahe, wo der Stadtkern in einer Ausdehnung von 5 km<sup>2</sup> zweimal innerhalb von nur 6 Tagen bis zu 2 m Höhe überflutet war. Die resultierenden Schäden erreichten einen zweistelligen Millionenbetrag.

Insgesamt wird der Schaden im deutschen Rheingebiet mit rund 500 Mio. DM beziffert. Damit liegt er bei nur 40% des Schadens von 1993.

In den Niederlanden sind beim Hochwasser 1993 sowohl entlang der Rheinarme wie auch im Flußmündungsgebiet keine kritischen Wasserstände überschritten worden. Entsprechend ist kein nennenswerter Schaden entstanden. Entlang der Maas, die zum Teil nicht eingedeicht ist, war eine Fläche von 21.000 ha überflutet. Dort betrug der direkte Schaden etwa 300 Mio. Gulden.

Durch das Hochwasser 1995 sind erneut Überflutungen an der Maas eingetreten. Da aber sowohl Behörden als Bürger besser vorbereitet waren, erlangte der direkte Schaden viel kleinere Dimensionen als im Jahre 1993. 1995 wurden auch am Rhein kritische Wasserstände überschritten. Dadurch wurde die Evakuierung von insgesamt mehr als 200.000 Menschen im Zeitraum von zwei Tagen als präventive Maßnahme erforderlich. Der Beschluß zur Evakuierung der Gebiete Land van Maas en Waal, Ooijpolder und Bommelerwaard wurde am 30. Januar gefaßt, als die Vorhersagen erwarten ließen, daß Wasserstände höher als das kritische Niveau NAP + 16,50 m am Pegel Lobith eintreten könnten und die Waterschappen die Standsicherheit der Deiche in mehreren Deichabschnitten nicht länger gewährleisten konnten. Am 31. Januar wurde auch die Evakuierung der Gebiete Tielerwaard und Culemborger Waard beschlossen. **Abb. 7.2** stellt die evakuierten Bereiche dar. Erst am 4. Februar war die Situation wieder soweit stabilisiert, daß die Rückkehr der Menschen für den 5. Februar beschlossen werden konnte. Es ist nicht zu Deichbrüchen gekommen. Daher blieben die direkten Kosten begrenzt. Die Gesamtkosten, die durch den niederländischen Staat erstattet wurden, erreichten 364 Mio. Gulden (Moll et al., 1996). Die Gemeinkosten lagen vielfach höher.

Zur allgemeinen Hochwassergefahr in den Niederlanden ist zu bemerken: Zum größten Teil schützen Deiche die Niederlande gegen Hochwasser. Die Mindestschutzniveaus wurden vom Parlament in der Wasserschutzgesetzgebung festgelegt. Entlang der Flüsse ist ein Schutz gegen 1250-jährliche Scheitelabflüsse gegeben. In Richtung der Küste nimmt das Schutzniveau bis auf 10.000-jährliche Scheitel zu. Grund dafür ist das größere Schadenpotential im Westen der Niederlande, insbesondere in städtischen Herzen der Randstad Holland. Ein anderer Grund ist der größere Schaden, der durch Salzwasser entsteht. **Abb. 7.3** (Deichringkarte) zeigt die Mindestschutzniveaus.

### 7.3 Hochwasserschäden an den Schiffsstraßen und Ausfallkosten für die Schifffahrt

- 1993/94 waren die vom Hochwasser betroffenen Schiffsstraßen
- der Rhein ab der Neckarmündung bis zur deutschniederländischen Grenze
  - der Neckar von der Mündung bis 200 km flußauf
  - der Main von der Mündung bis 393 km flußauf
  - die Lahn von der Mündung bis 148 km flußauf
  - die Mosel zwischen der deutschfranzösischen Grenze und Koblenz
  - die Saar zwischen der deutschfranzösischen Grenze und der Mündung.

Besondere Hochwasserverhältnisse traten ein:

- Im Rhein ab der Nahemündung (Rhein-km 529)
- Im Neckar
- In der Mosel
- In der Saar.

1995 waren von Hochwasser betroffen alle Schiffsstraßen des Rheingebiets. Besondere Hochwasserverhältnisse hinsichtlich des Schiffsverkehrs bestanden

- im Rhein von Basel bis zur Neckarmündung
- im Main und
- in der Mosel.

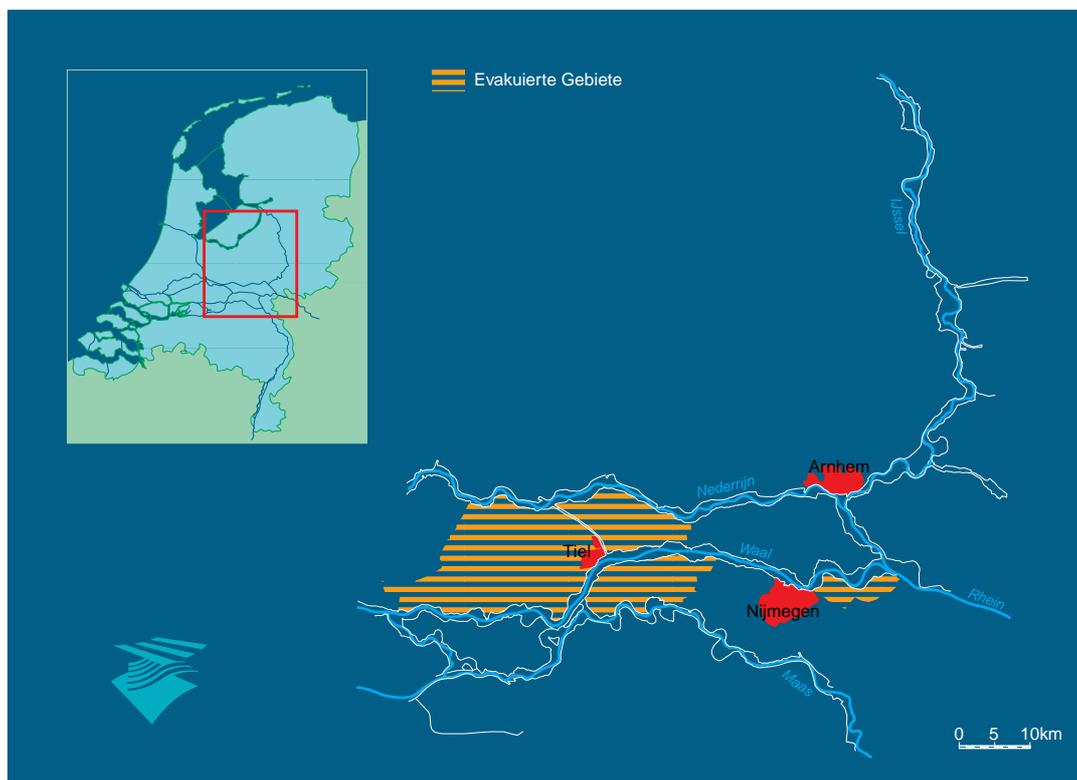


Abb. 7.2 Evakuierte Gebiete während des Hochwassers 1995

Die aus Hochwasser sich ergebenden Beeinflussungen betreffen das Gewässerbett (Erosionen, Sedimentationen), die darin und an den Ufern vorzuhaltenden Schifffahrtszeichen sowie die Bauten am und im Gewässerbett.

Bei den morphologischen Veränderungen ist in jedem Einzelfall zu prüfen, inwieweit der Vorzustand unbedingt wieder herzustellen ist. Eine Beseitigung von Ablagerungen bzw. Auffüllen von Verluststellen wird seitens der Schiffsverkehrsverwaltung nur erfolgen, wenn dies aus Schiffsverkehrsgründen erforderlich ist. Bei Schäden an Schifffahrtszeichen und Bauwerken sind diese in der Regel umgehend zu beheben. Gleiches gilt für Sammlung und Beseitigung des Treibzeuges, das vor allem vor den Stauanlagen und in Abzweigungen (Hafeneinfahrten, Altarmmündungen) in Massen zusammenreibt. 1995 fielen allein am Main ca. 78.000 t Baggergut von den Schleusenplanen an und an den Tor- und Schütz-Antriebsgruben waren bis zu 60 cm Schlamm zu entfernen. Die der deutschen Wasser- und Schiffsverkehrsverwaltung als Folge des Hochwassers 1993/94 entstandenen Schäden erreichten eine Kostensumme von rund 12 Mio. DM, wobei davon mit ca. 7,5 Mio. DM der Hauptanteil auf die Saar und die Mosel ab der Saarmündung entfiel. 1995 ergaben sich in der Summe rund 9 Mio. DM, davon am Main 4,5 Mio. und am Niederrhein 3,1 Mio. DM.

Wegen Überschreitung der höchsten schiffbaren Wasserstände mußte die Schiffsverkehr in einigen Flußstrecken eingestellt werden. Mit 12 Tagen in 1993/94 die längste Zeitspanne ergab sich für die Mosel, gefolgt von Neckar und Saar mit je 9 Tagen und dem Rheinabschnitt unterhalb der Moselmündung bis zur niederländischen Grenze mit insgesamt 7 Tagen. 1995 haben sich folgende Sperrzeiten ergeben:

- Neckar 1 Tag
- Main 9 bis 14 Tage
- Mosel 11 Tage unterhalb Sauer- und Saarmündung, oberhalb 3 Tage
- Saar 10 Tage
- Rhein 7 bis 11 Tage auf der Strecke Emmerich-Koblenz (Köln 10 Tage), 7 Tage zwischen Main- und Moselmündung, zwischen Neckar- und Mainmündung kein Ausfall, zwischen Staustrecke (unterhalb Iffezheim) und Neckarmündung 3 Tage, am Hochrhein 1 Tag.

Eine überschlägige Schätzung der Verluste der Schiffsverkehr infolge ausgefallener Transporterlöse ergibt für beide Ereignisse je die Summe von mehr als 50 Mio. DM. Hierin enthalten sind sowohl

## Deichringen und Jährlichkeiten

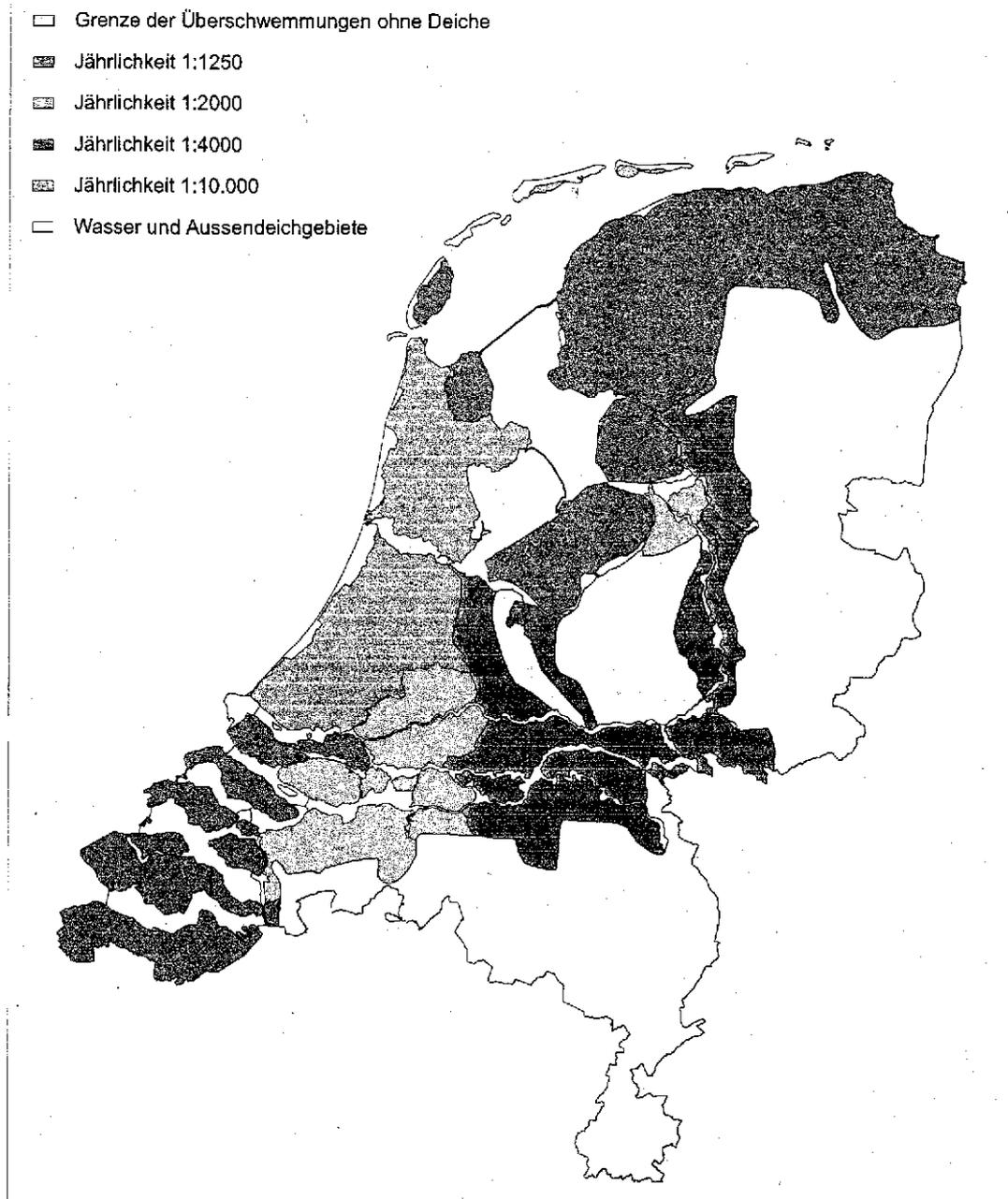


Abb. 7.3 Deichringe und Jährlichkeiten

die Unterhaltungs- als auch die Gewinnausfallkosten. Die Transporte verringerten sich in den hochwasserbetroffenen Monaten Januar und Februar um ca. 20% gegenüber dem vieljährigen Mittel.

Für die Niederlande sind Schadenssummen der Schifffahrt aus Fahrtunterbrechungen bisher nicht ermittelt. Man geht allerdings von Transporterlös-Ausfällen aus in der Größenordnung von 10.000 Gulden pro Tag und Schiffseinheit. Bei mehreren Ausfalltagen sowohl 1993 als auch 1995 ist ein durchaus nicht unerheblicher Schaden anzunehmen. Allerdings sind nach einem Hochwasser regelmäßig deutlich erhöhte Transportaktivitäten festzustellen, wodurch Anteile des entstandenen Schadens wieder eingefahren werden.



## 8 MAßNAHMEN WÄHREND DER HOCHWASSER UND NACH DEREN ABKLINGEN [2], [8]

Ein wesentlicher Teil des Hochwasserschutzes im Bereich der nicht mit Deichen gesicherten Flußufer liegt bei den Gemeinden und den betroffenen Bürgern selbst. Dort sind Hochwasser periodisch eintretende Herausforderungen, auf die man im allgemeinen planvoll reagiert. Die Städte und Gemeinden haben aus langer Erfahrung Alarm- und Einsatzpläne entwickelt, die selbst bei außergewöhnlichen Ereignissen die Lage für die Bevölkerung überschaubar und für die Einsatzkräfte beherrschbar machen.

Das Weihnachtshochwasser setzte an Mosel und Mittelrhein mit den seit 70 Jahren höchsten Wasserständen neue Maßstäbe. Die Hochwasserscheitel lagen bei allen Extremereignissen seit 1926 an Mosel und Mittelrhein mindestens 60 cm unter denen von 1993 (z. B. Koblenz – 80 cm, Köln – 67 cm). Aus diesem Grund und wegen der enorm schnellen Anstiegszeiten waren die Verhältnisse unerwartet und das Ereignis insoweit katastrophal, als die Maßnahmen, die eingesetzten Kräfte, das Material und die freiwilligen Helfer vielerorts nicht ausreichten, die Versorgung der betroffenen Bevölkerung jederzeit sicherzustellen.

Die bedeutendsten deutschen Städte an den nicht generell dammgeschützten Flußabschnitten von Mosel, Saar und Rhein sind: Saarbrücken (360.000 Ew), Trier (98.000 Ew), Koblenz (110.000 Ew), Bonn (295.000 Ew) und Köln (955.000 Ew). Im folgenden soll die Situation schlaglichtartig dargestellt werden.

Während der Zeit der extremen Wasserstände war das eingesetzte Hilfspersonal besonders zahlreich. Dabei handelte es sich sowohl um Angehörige der organisierten Hilfsdienste wie um frei handelnde Personen.

In der größten Stadt am Rhein, in Köln, waren 1993/94 bis zu 2.000 Personen im Einsatz. Insgesamt wurden von ihnen mehr als 100.000 Hilfsstunden geleistet. In Trier beteiligten sich bis zu 400 Personen an den Hilfsarbeiten. Allein die Feuerwehrangehörigen leisteten hier 23.900 Arbeitsstunden. In Koblenz halfen in der Spitzenzeit 230 Personen.

Zum Schutz einzelner Punkte waren Weihnachten 1993 Verwallungen erforderlich, für die in Trier 200 t Sand in 24.000 Säcke abgefüllt wurde. In Köln kamen 60.000 Sandsäcke zum Einsatz. In Koblenz mußten zu den vorhandenen Sandsäcken 26.000 Stück zusätzlich beschafft werden.

Zur Aufrechterhaltung des Fußgängerverkehrs sowie zur Verbindung benachbarter Häuser in den überschwemmten Stadtteilen waren in Köln 3.400 m Stege aufgebaut. In einigen Bereichen von Koblenz konnten die vorgesehenen Stege nur zum Teil errichtet werden, weil der Wasserstand zu schnell anstieg. – Außer durch Stege werden die Verbindungen zu den vom Wasser Eingeschlossenen vor allem durch Boote und hochrädige Lkw aufrechterhalten. Allein in Köln waren über 40 Boote im Einsatz, in Köln waren es 19 Boote und in Trier mehr als 10. Die Zahl der eingesetzten Räderfahrzeuge betrug in Trier 55, in Koblenz 32.

Neben den Sandsackverwallungen gibt es vor allem in Köln auch andere temporäre Schutzmaßnahmen, z. B. 110 Hochwasserschutzstore sowie Stahl- bzw. Aluminiumwände vor der Altstadt, vor einzelnen Ladenlokalen sowie in Zufahrten zu diversen Tiefgaragen. Zusätzlich muß an vielen Punkten gepumpt werden, wozu allein in Trier 1993 insgesamt 125 Pumpen gleichzeitig benötigt wurden.

1993 folgten aus dem Ausfall der Stromversorgung auch Ausfälle der Heizungsanlagen, weshalb viele Anwohner ihre Wohnungen zum Teil für mehrere Tage verließen. Hier funktionierte weitgehend die Nachbarschaftshilfe bzw. die Unterbringung bei hochwasserfrei wohnenden Freunden und Verwandten. Nur in wenigen Fällen waren Evakuierungen durchzuführen (z. B. 51 Personen in Köln und ca. 300 Personen in Koblenz).

Vom Hochwasser direkt betroffen waren insgesamt weitaus mehr Menschen als durch oberflächliche Überflutungen erkennbar (vergleiche auch 7). Bedingt durch den hohen Grundwasserdruck reichten die Auswirkungen zum Beispiel in Koblenz bis zu mehr als 100 m über die Überschwemmungsgebiete hinaus. Hier waren Keller geflutet und Souterrainwohnungen, aber auch

tiefliegende Hof- und Zufahrtbereiche. Insgesamt betrug die Zahl der Betroffenen in Koblenz ca. 25.000 Einwohner. Die Zahl der stromlosen Haushalte belief sich hier auf rund 7.000, wobei die an sich angestrebte unterirdische Stromversorgung diese fatalen Auswirkungen begünstigt hat.

Aus den Beschreibungen des Hochwasserablaufs und den Angaben über die erreichten Jährlichkeiten ist erkennbar, daß 1995 hauptsächlich der Niederrhein betroffen war. D.h., dort ergaben sich Hochwasserstände höher als 1993 und teilweise die höchsten in diesem Jahrhundert. Im Brennpunkt des Hochwassergeschehens wie auch des Medieninteresses stand die Stadt Köln. Durch fest eingebaute und mobile Schutzeinrichtungen konnten dort einerseits 9.000 ha (davon 3.500 ha bebaute Fläche) vor Überflutung geschützt werden. Andererseits wurden trotz allem 1.740 ha überschwemmt, wovon 33.000 Einwohner direkt betroffen waren.

Die Aufwendungen zum Schutz vor Hochwasser wie zur Hilfe bei dennoch eingetretenen Schäden werden an den für Köln ermittelten Zahlen deutlich:

- Mit über 100.000 Einsatzstunden waren bis 2.000 Personen zu Hilfeleistungen eingesetzt.
- Es wurden 9,2 km Stege errichtet, 400.000 Sandsäcke gelegt und 54 Hochwasserpumpwerke mit einem Gesamtleistungsvermögen von 110.000 m<sup>3</sup>/h betrieben.
- 1.400 m mobile Schutzwände sollten dem Wasser den Zutritt verwehren, wie auch eine große Zahl fest eingebauter Hochwasserschutztore.
- Schließlich waren 100 Menschen und 70 Großtiere zu evakuieren.
- Mit 50 Booten wurden Notverkehr und -versorgung in den gefluteten Straßen aufrechterhalten und es wurden 260 Notunterkünfte bereitgehalten.

Verbreitet waren an den nicht mit Deichen gesicherten Gewässerabschnitten Verbesserungen der Hochwasservorsorge wie auch des Hochwassermanagements zu verzeichnen.

Das Engagement der Hochwasserdienste, die hervorragende Vorbereitung und besondere Solidarität der Bürger, ihre Hilfsbereitschaft untereinander und das gemeinsame Handeln der Bürger mit den öffentlichen Institutionen haben 1995 wesentlich zur Schadenminimierung beigetragen.

Unterhalb von Köln beginnen die geschlossenen Deichlinien, die den Rhein bis zu seiner Mündung in die Nordsee lückenlos begleiten. Dadurch werden zwischen Köln und der deutschniederländischen Grenze rund 1.400 km<sup>2</sup> vor den regelmäßigen Überflutungen geschützt. Obwohl die Deichkronen auf Hochwasserscheitel mit Jährlichkeiten zwischen 350 und 750 Jahren bemessen sind, haben sich im Januar 1995 Probleme ergeben. So mußte am 30.01. im Kreis Kleve Katastrophenalarm ausgelöst werden, da die Gefahr eines Deichbruchs auf niederländischem Gebiet (Ooij-Polder) mit Zurückfluten des Hochwassers bis in die Tieflagen von Kleve nicht mehr ausgeschlossen werden konnte. Es war der erste Katastrophenalarm seit 1945.

Alle anderen rheinanliegenden Städte und Gemeinden hatten Alarmierungsstufe I ausgelöst. In den betroffenen Kommunen waren die Einsatzstäbe ständig ansprechbar.

Am 30. Januar verfügte die Bezirksregierung Düsseldorf die Räumung der Grav-Insel. Noch Ende Januar wurde der beschädigte Querdeich zum Ooij-Polder an der niederländischen Grenze ertüchtigt, um im Schadensfall das Vollaufen der Tieflagegebiete Kranenburg und Kleve zu verzögern.

Der persönlichfachliche Kontakt der deutschen und niederländischen Ingenieure vor Ort war von Anfang an sehr gut. Dies wurde besonders wichtig, als gemeldet wurde, auch der Deich bei Kekerdom sei gefährdet. Sein Bruch hätte eine schnelle Überflutung der Tieflagegebiete bis Kleve zur Folge gehabt. Es stellte sich allerdings nach Ortsbegehung heraus, daß hier keine akute Bruchgefahr bestand.

In den Niederlanden ergab sich schließlich in den Räumen Arnheim und Nijmegen das Problem von Deichbrüchen infolge der durch den langandauernden hohen Wasserstand bedingten völligen Durchnässung der Deiche. Daher liefen Zwangsevakuierungen von 240.000 Menschen in den bedrohten Poldern an. In den gefährdeten Bereichen des Kreises Kleve wurde vorsorglich und auf freiwilliger Basis das Vieh in Sicherheit gebracht. Am 31. Januar wurden schließlich auch die 120 Personen des Ortes Schenkenschanz freiwillig evakuiert.

Sowohl beim Hochwasser 1995 wie schon beim Hochwasser 1993 hat es eine Reihe von Schäden wie Wegspülen eines Stücks eines Flügeldeiches, zahlreiche Qualmwasseraustritte und Auskolkungen gegeben. Aber obwohl nicht wenige Deiche Jahrhunderte alt sind, ist ihre Schutzwirkung auch diesmal erhalten geblieben.

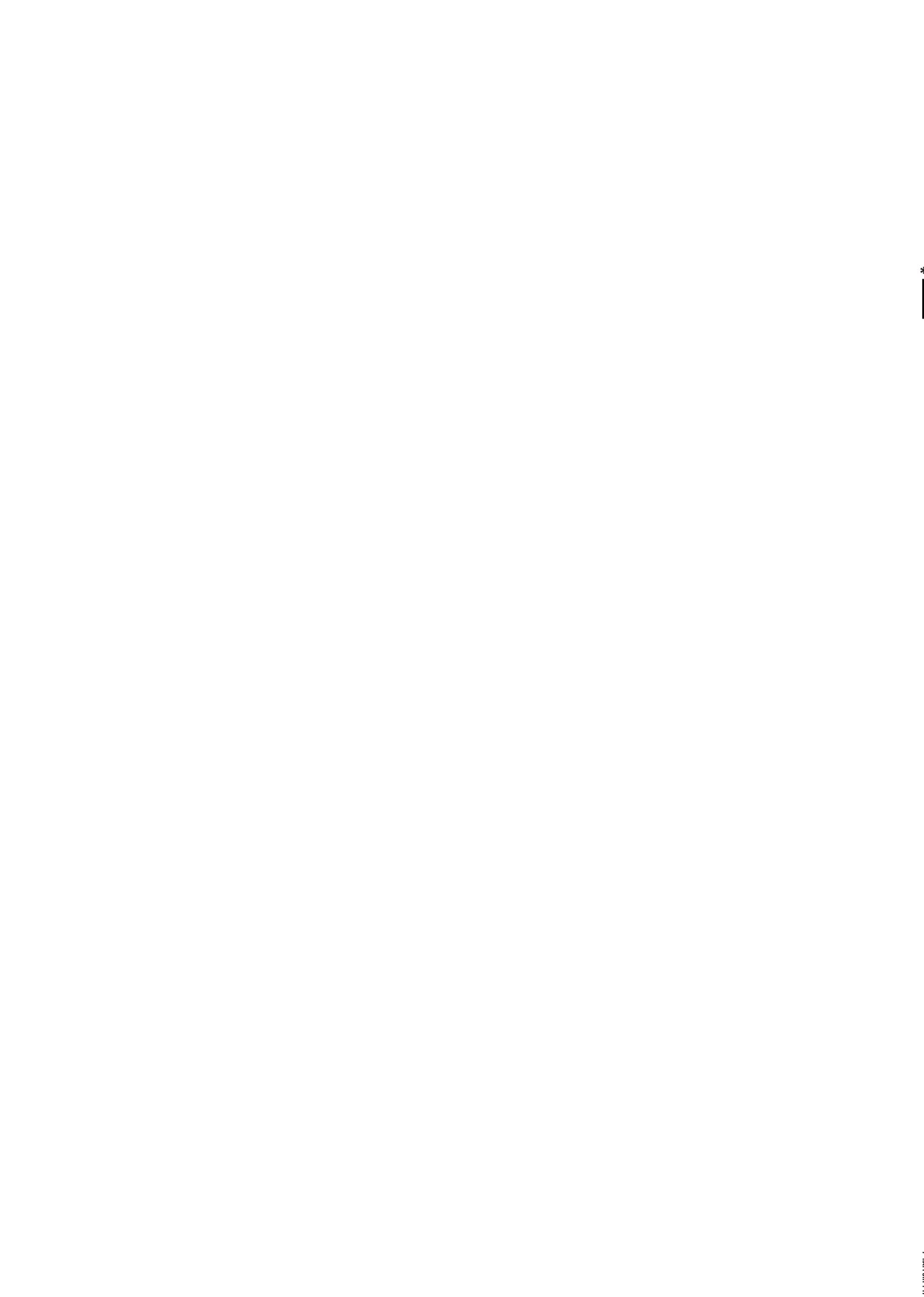
Nach den umfangreichen Arbeiten, die während des Hochwassers anfallen, müssen weitere Aufgaben in der Folge von Hochwassern getan werden, die teilweise ebenso unter Druck zu erledigen sind. Drei Bereiche sind zu nennen:

- Beseitigung der Ablagerungen und Verschmutzungen
  - Abtransport von durch Wassereinwirkung verdorbenen Gegenständen
  - Wiederherstellung von Zerstörungen
- Auf Straßen, Wegen und Anlagen im Bereich gering strömenden bzw. stehenden Wassers finden sich nach einem Flutereignis bis zu mehrere Zentimeter dicke schlammige Rückstände. Sie bestehen im wesentlichen aus abgelagerten Schwebstoffen (Schluff mit Ton und Sandanteilen zwischen 0,001 und 0,5 mm Korngröße), die bei Trocknung hohe Festigkeit erreichen, so daß sie dann nur mit hohem Aufwand und entsprechend großen Kosten zu beseitigen sind.

Dort, wo Schlammablagerungen beseitigt werden müssen oder sollen, stehen die Anlieger bzw. öffentliche Stellen unter dem Zwang, die Beseitigung praktisch gleichzeitig mit dem zurückweichenden Wasser vornehmen zu müssen. Das Ausmaß der Reinigungsaufwendungen wird deutlich an der Feststellung, daß allein die Reinigung der öffentlichen Straßenflächen in Köln mit Kosten in Höhe von 1 Mio. DM beziffert wird. – Nicht geringer sind die Kosten aus der Ölschadensbekämpfung, die schon während des Hochwassers notwendig war, aber vor allem während des Hochwasserrückganges zunehmend Personal gebunden hat. Dabei ist besonders kostenwirksam, daß hierfür spezielle Fachleute mit entsprechendem Gerät benötigt werden, die im allgemeinen nur bei Spezialfirmen zur Verfügung stehen. Schließlich fällt zu entsorgendes Öl-Wasser-Gemisch an, das nur in entsprechenden petrochemischen Anlagen aufgearbeitet werden kann. In Köln (nahezu 2000 t) geschah dies weitgehend unentgeltlich; in den kleinen Mosel-Ortschaften der Verbandsgemeinde Bernkastel-Wittlich z. B. mußten dagegen nur für die Ölentsorgung über 100.000 DM aufgebracht werden.

- Wasserschäden an Gegenständen, die in gefluteten Keller- und Lagerräumen abgestellt waren, ergaben Berge von Sperrmüll. Sie wurden ergänzt durch Schäden infolge auslaufenden Heizöls. Die davon ausgehenden langanhaltenden Auswirkungen haben in Einzelfällen zum Verlust ganzer Wohnungseinrichtungen bis hin zu empfindlichen Gebäudeschäden geführt. Die zu beseitigenden unbrauchbar gewordenen Gegenstände betragen in den besonders vom Hochwasser betroffenen Gemeinden bzw. Stadtteilen bis zu mehr als 50% des mittleren jährlichen Sperrmüllaufkommens.
- Vor allem über den Vorländern und in Anlagen und Straßen am Flußufer ergaben sich bei Hochwasser teilweise erhebliche Fließgeschwindigkeiten, in deren Folge Schäden auftraten wie
  - Umknicken von Bäumen, Zäunen, Schildern und Beleuchtungen
  - Zerstörung von gärtnerischen Anlagen und Oberflächenbefestigungen (Pflasterungen, Straßenbeläge)

Unpassierbare Verkehrsflächen mußten in vielen Fällen direkt ausgebessert werden, andere Schäden sind auch längerfristig regulierbar. Häufig ist darüber nachzudenken, ob Herrichtung und Nutzung nicht den gegebenen Verhältnissen besser angepaßt werden sollten. Speziell für die hier genannten Aufwendungen lassen sich Mengen- und Kostenangaben erst zu einem viel späteren Zeitpunkt machen.



## 9 NATIONALE UND INTERNATIONALE AKTIVITÄTEN ALS FOLGE DER HOCHWASSER 1993/94 UND 1995 [8]

In der Nachkriegszeit sind mehrfach extreme Hochwasser im Rheingebiet und an anderen Gewässern in Deutschland eingetreten. Regelmäßig war das Echo in den Medien groß. Aber ebenso regelmäßig dauerte es nur wenige Wochen bis die üblichen Tagesgeschäfte ihren Stellenwert in der Berichterstattung zurückerobert hatten und damit die Hochwasser wie auch ihre Auswirkungen verdrängt waren.

Nach dem Weihnachtshochwasser 1993 war dies anders. Die Diskussionen über die Ursachen des '93er Ereignisses im besonderen und große Hochwasser allgemein waren 1995 noch überall in Deutschland in vollem Gange und erhielten mit Eintritt des Januar-Ereignisses neue Nahrung. Das Interesse an der Hochwasserproblematik ist selbst mehr als zwei Jahre nach dem HW 95 noch ungebrochen. Dabei ist es erfreulich und befriedigend, festzustellen, daß inzwischen einiges an Verständnis in den Medien, bei den Politikern und auch in der Bevölkerung vor Ort gewachsen ist. Nicht zuletzt hat viel Aufklärungsarbeit vor Ort, regional und überregional, dies bewirkt und haben Schadenserfahrungen manche Einsicht gefördert.

- Zum Teil schon nach dem Hochwasser 1988 haben sich entlang des deutschen Rheinabschnitts, in dem der Strom ungestaut fließen kann, eine ganze Reihe von Gemeinden und Bürgerinitiativen gebildet mit dem Aktionsziel "Hochwasser". Obwohl die Inhalte der diversen Verlautbarungen hauptsächlich Forderungskataloge an Oberlieger, Politiker, an angeblich oder tatsächlich Schuldige sind, wird auch immer mehr Selbstkritik laut, und eigene Beiträge zur Situationsverbesserung werden angeboten.
- In den deutschen Bundesländern am Rhein (Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Hessen und Nordrhein-Westfalen) besteht durchweg das Bemühen, die Hochwassersituation zu verbessern. Hierzu laufen sowohl Programme zur Vermehrung der Rückhaltmöglichkeiten am Rhein direkt (Polderbau, Renaturierungen) und Ertüchtigung der bestehenden und für notwendig erachteten Deichsysteme wie auch Erhöhung der Rückhaltekapazitäten in den Einzugsgebieten. Es werden Renaturierungen kleiner Gewässer vorangebracht, und man weist auf Möglichkeiten für Speicherungen des Niederschlagswassers im Boden (Änderung der Bodenbearbeitungsmethoden sowie der Landnutzung) hin. Entsiegelungen werden gefördert und wo möglich gezielte Versickerung in Entwässerungsnetzen betrieben. Programme sind formuliert und werden nach und nach umgesetzt wie z. B.:
  - Integriertes Rheinprogramm (B.-W.), seit 1988
  - Aktion Blau (Rh.-Pf.), seit 1994
  - Gesamtkonzept Rhein in Nordrhein-Westfalen, seit 1990
- Neben Deichertüchtigung am Oberrhein hat das Land Rheinland-Pfalz auch mit der Neufestsetzung der 1913 letztmalig festgelegten gesetzlichen Überschwemmungsgrenzen begonnen (Mittelrhein bis zur Landgrenze am 01.01.96 eingeführt) und eine ergänzende Hochwasserverordnung zum Landeswassergesetz formuliert. – Ende 1995 wurde das Ergebnis einer gemeinsamen Untersuchung bzw. Studie des Bundes sowie der Länder Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz zur Ermittlung der Hochwasserschadenpotentiale zwischen Iffezheim und Rolandswerth (Ober- und Mittelrhein) vorgelegt. Daraus geht hervor, daß gewichtige Argumente für die schnellstmögliche Realisierung aller für den Oberrhein beschlossenen Retentionsmaßnahmen sprechen. Die Untersuchung ist auch ein Beitrag zur Bewußtseinsbildung hinsichtlich der Gefährdung durch Hochwasser [22].
- Ein weiterer Impuls für die Bildung eines ausgeprägten Hochwasserbewußtseins sind die durch die deutsche Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) im Auftrag der Umweltministerkonferenz erarbeiteten und 1995 herausgegebenen "Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz". In 10 Leitsätzen sind die darin enthaltenen Erkenntnisse zusammengefaßt. Dabei ist bemerkenswert, daß 5 der 10 Leitsätze an die Betroffenen sowie deren Handeln und Einsichtsbereitschaft appellieren [23].
- Unter dem Eindruck der extremen Hochwasser 1993 und 1995 wurden auch gemeinsame internationale Anstrengungen unternommen. So wurde in der "Erklärung von Arles" der EU-Umweltminister vom 04.02.1995 (in Abstimmung mit der Schweiz) die Internationale Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR) beauftragt, einen "Aktionsplan Hochwasser" für den Rhein (unter

Berücksichtigung seines Einzugsgebietes) zu entwickeln. Seitdem arbeiten mehrere Arbeitskreise an Entwürfen zur Darstellung der bestehenden Hochwassergefährdung, Hochwasserschutzmaßnahmen und eingeleiteten Programme sowie zukünftigen gemeinsamen Strategien [23], [17], [25].

Von Bedeutung für die Niederlande ist, daß die Verwaltungsrichtlinie "Raum für den Fluß" beschlossen wurde, die die kommerzielle Nutzung der Stromvorländer und -Überflutungsbereiche weiter einschränkt. Zudem haben die Hochwasser die Durchführung der Deichverstärkungsmaßnahmen im Rahmen des "Deltaplans Große Flüsse" entscheidend vorangebracht. Dies gilt auch für Deichsanierungen auf deutschem Gebiet und für eine Vielzahl von Maßnahmen zur Verbesserung der Hochwassersituation.

Unabhängig von der direkten Abarbeitung der Hochwasserproblematik gibt es Themenbereiche, die mittelbar oder unmittelbar auch der Hochwasserbewältigung dienen. In diesem Sinne sind Aktivitäten der KHR zu sehen und weiter voranzubringen:

- Verbesserung der Hochwasservorhersagen durch Verbesserung der
  - Datenstrukturen
  - Modelle
  - HW-Berichterstattung
- Einrichtung einer einzugsgebietsdeckenden Datenbank für
  - Hydrologie
  - Hydraulik
  - Morphologie
- Entwicklung eines einzugsgebietsdeckenden Wasserhaushaltsmodells für die Untersuchung der Auswirkungen von
  - Klima- und
  - Landnutzungsänderungen sowie von
  - Hochwasserschutzmaßnahmen
- Erarbeitung eines Entscheidungsmodells zur Beurteilung der Auswirkungen
  - hydrologischer
  - hydraulischer
  - morphologischer
  - ökologischerEingriffe.

## LITERATUR

- [1] Daten und Mitteilungen der nationalen Wetterdienste Österreichs, der Schweiz, Frankreichs, Luxemburgs, Belgiens, der Niederlande und Deutschlands (DWD)
- [2] ENGEL, H. ET AL.: Das Hochwasser 1993/94 im Rheingebiet. Bericht der BfG - Nr. 0833; Koblenz, Mai 1994
- [3] RIJKSWATERSTAAT, directie Oost-Nederland: Een Zee van rivieren; Arnheim 1995
- [4] Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen: Water tegen de dijk 1993; Delft, März 1994
- [5] SPROKKEREEF, E. UND W.J. DE LANGE: Hoogwaterberichtgeving Rijn december 1993/januari 1994. RIZA Werkdocument 94.029x; 1994
- [6] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG: Das Abflußjahr 1994 – ein Hochwasserjahr. Handbuch Wasser 2; Karlsruhe, März 1996
- [7] GREBNER, D.: Meteorologische Analyse des Unwetters im Unterlauf von Thur, Limmat, Reuss und Aare vom 18. und 19. Mai 1994. Bericht des Geographischen Institutes ETH Zürich im Auftrag des Bundesamtes für Wasserwirtschaft; Zürich, Juli 1994
- [8] ENGEL, H. ET AL.: Das Januarhochwasser 1995 im Rheingebiet. BfG-Mitteilung Nr. 10; Koblenz, August 1996
- [9] Technical Advisory Committee on Water Retaining Structures: Under Pressure 1995. Delft, Dezember 1995 (zweite Auflage: August 1996)
- [10] PARMET, B.W.A.H. UND E. SPROKKEREEF: Hoogwaterberichtgeving Rijn januari/februari 1995. RIZA Werkdocument 95.052x; Mai 1995
- [11] Daten und Mitteilungen der Wasserwirtschaftsverwaltungen der Schweiz, der französischen Einzugsgebiete von Rhein und Mosel, im Elsaß und in Lothringen sowie von Luxemburg
- [12] MADE, J.W. VAN DER: Quantitative Analyse der Abflüsse. Bericht der KHR II-1; Lelystad, 1982
- [13] BRUGGEN, M. VAN, P.B.M. STORTELDER, C. VAN DE GUCHTE, W.F. VAN HOOFT: Hoogwater januari en februari 1995: Kwaliteit en risico's van het door Rijn en Maas aangevoerde rivierslib. RIZA nota: 95.019; Lelystad, 1995
- [14] IKSR: Statusbericht Rhein; Schwebstofflängsprofil. 1995
- [15] IKSR: Aktionsprogramm Rhein; Bestandsaufnahme der Punktwellen; Einleitungen prioritärer Stoffe.
- [16] CUWVO: Landelijke Watersysteemrapportage. Lelystad, 1996
- [17] IKSR: Bestandsaufnahme der Meldesysteme und Vorschläge zur Verbesserung der Hochwasservorhersage im Rheineinzugsgebiet. Koblenz, März 1997
- [18] MOLL, J.R., B.W. PARMET UND T.A. SPRONG: Floods und droughts in the Netherlands Euraqua report. Technical meeting; Rom, Oktober 1996
- [19] RÖTHLISBERGER, GERHARD: Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1994. Wasser, Energie, Luft – 87. Jahrgang, Heft 1/2; Baden/Schweiz, 1995

- [20] RIJKSWATERSTAAT, directie Limburg: De Maas slaat toe, Verslag hoogwater Maas december 1993. Maastricht, April 1994
- [21] RIJKSWATERSTAAT, directie Limburg: De Maas slaat weer toe, Verslag hoogwater Maas januari/februari 1995. Maastricht, 1995
- [22] Bund-Länder-Arbeitsgruppe Hochwassergefährdung am Ober- und Mittelrhein, Schadenminderung durch Rückhaltmaßnahmen. Dezember 1995
- [23] LAWA Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Hochwasser – Ursachen und Konsequenzen. Stuttgart, November 1995
- [24] IKS: Grundlagen und Strategie zum Aktionsplan Hochwasser. Koblenz, Dezember 1995
- [25] IKS: Hochwasserschutz am Rhein, Bestandsaufnahme. Koblenz, März 1997

## 10 ZUSAMMENFASSUNG

Die hydrologischen Jahre 1994 und 1995 wurden geprägt von mehreren, bereichsweise außerordentlich extremen Hochwasserereignissen. Am Anfang der Periode (Dezember 1993/Januar 1994) und im Januar/Februar 1995 ereigneten sich Hochwasser vor allem im nördlichen Rheingebiet mit mehr als 100-jährlichen Abflüssen in Nahe und Sauer und 1993 den größten Scheitelwerten nach W und Q in der unteren Mosel seit 1784. Im Niederrhein wurden 1995 die Marken des bisher in diesem Jahrhundert höchsten Wasserstandes von 1926 erreicht und teilweise überschritten. Ein sommerliches Ereignis in der Nordschweiz erbrachte im Mai 1994 den seit 110 Jahren höchsten Wasserstand am Rheinpegel Basel. Kleinräumige Sommerhochwasser in Baden-Württemberg (im Juni 1994) setzten an einigen Pegeln neue Rekordmarken.

Am Neckar 1993 und an der Mosel 1995 ergaben sich Wellenanstiege mit bisher nicht registrierter Steilheit (z.B. mehr als 5 m in 24 h am Pegel Cochem).

Die in dem Bezugszeitraum abgelaufenen Hochwasser sind besondere Beispiele der für das Rheingebiet charakteristischen Regionalität der Hochwasser. 1993 erlebten Hoch- und südlicher Oberrhein nur minimale Anschwellungen. 1995 war die Welle aus der Schweiz extrem kurz und daher für den Rhein ohne Bedeutung und der Neckar entwickelte nur einen 2-jährlichen Scheitel. Im Mai 1994 ergab ein hohe Schäden verursachendes Ereignis in der Schweiz im Niederrhein lediglich noch eine durch die Anlieger kaum wahrgenommene Abflußerhöhung ohne Wellencharakter.

Die geschilderten Verhältnisse brachten es mit sich, daß im Bereich der Staustufen am Oberrhein (dort wo umfangreiche Retentionsmaßnahmen geplant und zu einem Teil gebaut und einsatzbereit sind) nur geringe Hochwasser abliefen bzw. keine Hochwassersituation eintrat. Damit konnten die Retentionsmaßnahmen nicht eingesetzt werden, was aus Unkenntnis der gegebenen hydraulischen und vertraglichen Randbedingungen bei den Hochwasser-Betroffenen am Niederrhein zu teilweise erheblichen Irritationen führte.

Am Beispiel des Neuwieder Beckens konnten Auf- und Abbau der Grundwasser-

## 10 RÉSUMÉ

Les années hydrologiques 1994 et 1995 furent marquées par plusieurs crues extrêmes. Au début de la période (décembre 1993/janvier 1994) et en janvier/février 1995 des crues se sont surtout produites dans le bassin rhénan nord avec les plus hauts débits depuis 100 ans dans les rivières Nahe et Sauer et avec les plus grandes valeurs de pointe pour le niveau et le débit dans la Moselle inférieure depuis 1784. Dans la partie basse du Rhin, les délaissés de crue de 1926, les plus hautes de ce siècle, furent atteintes et partiellement dépassées. Une crue d'été dans le nord de la Suisse a produit le niveau d'eau le plus haut depuis 110 ans au limnimètre du Rhin à Bâle. Des crues d'été de courte durée à Baden-Württemberg (en juin 1994) ont permis d'enregistrer quelques délaissés records pour quelques limnimètres.

Dans le Neckar en 1993 et dans la Moselle en 1995 des vagues montantes se sont manifestées avec un escarpement jamais relevées auparavant (ex. plus de 5 m en 24 heures par le limnimètre de Cochem).

Les crues qui se sont produites dans la période concernée sont des exemples particuliers du caractère régionale des crues dans le bassin rhénan. En 1993 le haut Rhin et le haut Rhin sud n'ont vu que des hausses minimales. En 1995 l'onde de crue de la Suisse était très courte et donc sans importance pour le Rhin et le Neckar a uniquement développé une pointe bisannuelle. En mai 1994 une crue provoquant des dégâts importants dans le bas Rhin en Suisse n'a produit qu'une hausse de débit à peine perceptible par les riverains et sans profil d'ondes.

Les proportions décrites ont eu comme conséquence que seules les crues de moindre importance se sont écoulées et donc qu'aucune situation d'alerte de crue ne s'est produite dans le périmètre du barrage de dénivellation du haut Rhin (où d'importants ouvrages de rétention ont été planifiés; partiellement construits ils ne sont que partiellement opérationnels). De ce fait, les ouvrages de rétention ne pouvaient être employés ce qui a en partie provoqué la colère des personnes concernées par la crue du bas Rhin en raison de leur manque de connaissance des conditions annexes hydrauliques et contractuelles pertinentes.

Dans l'exemple du bassin de Neuwieder, le stockage et le déstockage des réserves de la nap-

vorräte im Dez./Jan. 1993 und Jan/Febr. 1995 nachvollzogen werden. Es zeigte sich, daß die eingespeisten Grundwassermengen in beiden Fällen etwa die gleiche Größenordnung erreichten.

Die für Lobith ermittelten Basisabflüsse schwankten zwischen 1.000 und knapp 2.000 m<sup>3</sup>/s, was bezogen auf die Gesamtabflüsse Anteile zwischen über 90% in Trockenzeiten und nur 12% während der Hochwasserereignisse ausmachte. Erst gegen Ende der jeweiligen hydrologischen Jahre wurden wieder Normalwerte erreicht.

Die Schwebstofffrachten erreichten in den besonders von Hochwasser betroffenen Gewässerbereichen während der jeweiligen Hochwasser-Zeitabschnitte deutlich über 50% der mittleren Jahresfrachten. Die Spitzenwerte lagen im Niederrhein bei mehr als 60%. Da viele Verunreinigungen an Schwebstoffe gebunden sind, war allein schon dadurch ein erheblicher Anstieg auch der Schwermetallfrachten gegeben. Die gelösten Stoffe erfuhren zwar deutliche Senkungen der jeweiligen Konzentrationen, doch lagen auch deren Frachten bei den HW-Ereignissen bis zum 4-fachen über dem Normalwert.

Die extreme Höhe der Hochwasserscheitel und deren sehr steile Anstiege erzeugten vergleichsweise große Schadenssummen im Rheingebiet. Allerdings erreichten die Schäden 1995 in vielen Bereichen (trotz weitgehend gleicher Überflutungsverhältnisse) um Größenordnungen geringere Werte. Eine Katastrophe trat insgesamt nicht ein, was nicht bedeutet, daß nicht für einzelne Personen oder Familien die Existenzgrundlagen verloren gingen, sich also persönliche Katastrophen ereigneten, vor allem auch wegen der kurzen Aufeinanderfolge zweier sehr außergewöhnlicher Hochwasser in nur einem Jahr.

Die Bemühungen um möglichst gute Vorhersagen der zu erwartenden Wasserstände waren allgemein von Erfolg gekrönt. So konnte beispielsweise die Überströmung der mobilen Schutzwand vor der Kölner Altstadt 1993 schon 36 Stunden im voraus vorhergesagt werden. Die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen hydrologischen Dienststellen in der Schweiz, in Frankreich, Luxemburg, der Bundesrepublik Deutschland und den Niederlanden war intensiv und verlief ausgesprochen gut. Die Weitergabe an und vor allem auch die Aufnahme der Vorhersagen durch die Betroffenen funktionierte 1995 objektiv besser als ein Jahr zuvor. Hier

pe phréatique n'ont pu être effectués qu'après en décembre/janvier 1993 et en janvier/février 1995. Il a été démontré que les quantités d'eau souterraine stockées atteignaient le même ordre de grandeur dans les deux cas.

Les débits de base relevés à Lobith fluctuaient entre 1.000 et à peine 2.000 m<sup>3</sup>/s, répartis à plus de 90% en périodes sèches et seulement 12% en période de crue. Seulement vers la fin de l'année hydrologique en question, des valeurs normales ont été obtenues.

Les transports de sédiments en suspension atteignaient largement plus de 50% des transports moyens annuels pour la période de crue concernée dans les cours d'eau particulièrement touchés par la crue. Les valeurs de pointe dans le bas Rhin s'élevaient à plus de 60%. Puisque beaucoup d'impuretés sont liées aux sédiments en suspension, seul ce facteur a produit une hausse importante des transports de métaux lourds. Les substances dissoutes ont certes subies une baisse des concentrations concernées, néanmoins leurs transports s'élevaient également à quatre fois la valeur normale lors de la crue.

La hauteur extrême de la pointe de crue et ses montées très raides ont en comparaison produit d'énormes dégâts dans le bassin rhénan. Cependant les dommages en 1995 atteignaient dans plusieurs zones (malgré des proportions d'inondation extrêmement semblables) des valeurs plus basses de plusieurs ordres de grandeur. Il n'y pas eu de catastrophe à proprement parler. Toutefois, ceci ne veut pas dire que les bases de subsistance n'ont pas été perdues pour quelques personnes individuelles ou familles, et que donc quelques catastrophes personnelles se sont produites, avant tout en raison de la brève succession de deux crues exceptionnelles dans la même année.

Les efforts pour fournir des prévisions fiables des niveaux d'eau où cela est possible furent pour la plupart couronnés de succès. C'est ainsi que l'on pouvait en 1993 par exemple annoncer déjà 36 heures à l'avance l'inondation du barrage de protection mobile situé en amont de la vieille ville de Cologne. La coopération entre les différents services hydrologiques en Suisse, en France, au Luxembourg et dans la République Fédérale d'Allemagne et aux Pays-Bas a été intensive et s'est remarquablement bien déroulée. La transmission et avant tout la réception des prévisions par les personnes concernées ont été manifestement

hat sich offensichtlich ein Lerneffekt positiv ausgewirkt.

National und international haben die großen Rheinhochwasser erheblich zum Nachdenken über Ursachen und Schadenswirkungen von Hochwassern Anlaß gegeben. Bei Betroffenen und Politikern hat das Verständnis für die Wirkmechanismen deutlich zugenommen. Nationale und internationale Programme zur Mehrung der Kenntnisse über den Komplex Hochwasser und die Möglichkeiten zu seiner Entschärfung sind eingeleitet und haben auch schon Ergebnisse gebracht. Sie geben zur Hoffnung auf nachhaltige Verbesserungen Anlaß.

meilleures en 1995 que l'année précédente. L'expérience d'apprentissage a manifestement eu un effet positif.

Au niveau national et international, les grandes crues du Rhin ont considérablement porté à réfléchir sur les causes et les dégâts des crues. La compréhension des personnes concernées et des politiciens pour les mécanismes générateurs s'est considérablement amélioré. Des programmes nationaux et internationaux relatifs à une augmentation de la connaissance du phénomène de la crue et des possibilités de freiner la crue ont été mis sur pied et ont déjà donné des résultats. Ils ouvrent la porte à des améliorations durables.



CHR/KHR (1978): Das Rheingebiet, Hydrologische Monographie. Staatsuitgeverij, Den Haag/  
Le bassin du Rhin. Monographie Hydrologique. Staatsuitgeverij, La Haye. ISBN 90-12017-75-0

**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 90-70980-01-0
- I-3 HOFIUS, K. (1985): Hydrologische Untersuchungsgebiete im Rheingebiet / Bassins de recherches hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-02-9
- I-4 BUCK, W.; KIPGEN, R.; MADE, J.W. VAN DER; 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 90-70980-03-7
- I-5 TEUBER, W.; VERAART, A.J. (1986): Abflußermittlung am Rhein im deutsch-niederländischen Grenzgebiet / La détermination des débits du Rhin dans la région frontalière germano-hollandaise. ISBN 90-70980-04-5
- 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 90-70980-05-3
- I-7 MENDEL, H.-G. (1988): Beschreibung hydrologischer Vorhersagemodelle im Rheineinzugsgebiet / Description de modèles de prévision hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-06-1
- 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 90-70980-10-x
- I-9 CHR/KHR (1990): Das Hochwasser 1988 im Rheingebiet / La crue de 1988 dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-11-8
- I-10 NIPPES, K.-R. (1991): Bibliographie des Rheingebietes / Bibliographie du bassin du Rhin. ISBN 90-70980-13-4
- I-11 BUCK, W.; FELKEL, K.; GERHARD, H.; KALWEIT, H.; MALDE, J. VAN; NIPPES, K.-R.; PLOEGER, B.; SCHMITZ, W. (1993): Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen – Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft / Le Rhin sous l'influence de l'homme – Aménagement, navigation, gestion des eaux. ISBN 90-70980-17-7
- I-12 SPREAFICO, M.; MAZIJK, A. VAN (Red.) (1993): Alarmmodell Rhein. Ein Modell für die operationelle Vorhersage des Transportes von Schadstoffen im Rhein. ISBN 90-70980-18-5
- I-13 SPREAFICO, M.; MAZIJK, A. VAN (red.) (1997): Modèle d'alerte pour le Rhin. Un modèle pour la prévision opérationnelle de la propagation de produits nocifs dans le Rhin. ISBN 90-70980-23-1
- I-14 EMMENEGGER, CH. et al. (1997): 25 Jahre KHR. Kolloquium aus Anlaß des 25jährigen Bestehens der KHR / 25 ans de la CHR. Colloque à l'occasion du 25e anniversaire de la CHR. ISBN 90-70980-24-x
- I-15 ENGEL, H. (1997): Fortschreibung der Monographie des Rheingebietes für die Zeit 1971-1990 / Actualisation de la Monographie du Bassin du Rhin pour la période 1971-1990. ISBN 90-70980-25-8
- I-16 GRABS, W. (ed.) (1997): Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. ISBN 90-70980-26-6
- I-17 ENGEL, H. (1999): Eine Hochwasserperiode im Rheingebiet. Extremereignisse zwischen Dez. 1993 und Febr. 1995. ISBN 90-70980-28-2
- 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 90-70980-08-8

- 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 90-70980-07-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 90-70980-09-6
- II-4 MAZIJK, A. VAN; VERWOERDT, P.; MIERLO, J. VAN; BREMICKER, M.; WIESNER, H. (1991): Rheinalarmmodell Version 2.0 – Kalibrierung und Verifikation / Modèle d'alerte pour le Rhin version 2.0 – Calibration et vérification. ISBN 90-70980-12-6
- II-5 MADE, J.W. VAN DER (1991): Kosten-Nutzen-Analyse für den Entwurf hydrometrischer Meßnetze / Analyse des coûts et des bénéfices pour le projet d'un réseau hydrométrique. ISBN 90-70980-14-2
- II-6 CHR/KHR (1992): Contributions to the European workshop Ecological Rehabilitation of Floodplains, Arnhem, The Netherlands, 22-24 September 1992. ISBN 90-70980-15-0
- II-7 NEMEC, J. (1993): Comparison and selection of existing hydrological models for the simulation of the dynamic water balance processes in basins of different sizes and on different scales. ISBN 90-70980-16-9
- II-8 MENDEL, H.-G. (1993): Verteilungsfunktionen in der Hydrologie. ISBN 90-70980-19-3
- II-9 WITTE, W.; KRAHE, P.; LIEBSCHER, H.-J. (1995): Rekonstruktion der Witterungsverhältnisse im Mittelrheingebiet von 1000 n. Chr. bis heute anhand historischer hydrologischer Ereignisse. ISBN 90-70980-20-7
- II-10 WILDENHAHN, E.; KLAHOLZ, U. (1996): Große Speicherseen im Einzugsgebiet des Rheins. ISBN 90-70980-21-5
- II-11 SPREAFICO, M.; LEHMANN, C.; SCHEMMER, H.; BURGDORFFER, M.; KOS, T.L. (1996): Feststoffbeobachtung im Rhein, Beschreibung der Messgeräte und Messmethoden. ISBN 90-70980-22-3
- II-12 SCHÄDLER, B. (Red.) (1997): Bestandsaufnahme der Meldesysteme und Vorschläge zur Verbesserung der Hochwasservorhersage im Rheingebiet. Schlussbericht der IKSAR-Arbeitsinheit 'Meldesysteme / Hochwasservorhersage' – Projektgruppe 'Aktionsplan Hochwasser' / Annonce et prévision des crues dans le bassin du Rhin. Etat actuel et propositions d'amélioration. Rapport final de l'unité de travail 'Systèmes d'annonce / prévision des crues' – Groupe de projet 'Plan d'action contre les inondations'. ISBN 90-70980-27-4
- II-13 DRÖGE, B.; HENOCH, H.; KELBER, W.; MAHR, U.; SWANENBERG, T.; THIELEMANN, T.; THURM, U. (1999): Entwicklung eines Längsprofils des Rheins. Bericht für die Musterstrecke von Rhein-km 800 – 845. Arbeitsgruppe 'Sedimenttransport im Rhein' Projekt 3. ISBN 90-70980-29-0
- II-14 MAZIJK, A. VAN; LEIBUNDGUT, CH.; NEFF, H.-P. (1999): Rhein-Alarm-Modell Version 2.1. Erweiterung um die Kalibrierung von Aare und Mosel. Kalibrierungsergebnisse von Aare und Mosel aufgrund der Markerversuche 05/92, 11/92 und 03/94. ISBN 90-70980-30-4
- II-15 KWADIJK, J.; DEURSEN, W. VAN (1999): Development and testing of a GIS based water balance model for the Rhine drainage basin. ISBN 90-70980-31-2

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 Rheinanliegerstaaten.

### **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 hydrologiques 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

### *‘Klimaänderungen’*

- Entwicklung eines Wasserhaushaltsmodelles für den Rhein.
- Analyse des Einflusses von Klima- und Landnutzungsänderungen auf mittlere und extreme Abflüsse.
- Bestimmung einschränkender Maßnahmen.

### *‘Sediment’*

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

### *‘GIS’*

- Realisierung einer digitalen Rheinmonographie durch Zusammenfügen vorhandener, nationaler, thematischer Datensätze.

### *‘Änderungen im Abflußregime’*

- Beschreibung des Einflusses der menschlichen Aktivitäten auf die Rheinabflüsse.

### *‘Fließzeiten’*

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

### *‘Extreme Ereignisse’*

- Beschreibung von Ursachen, Ablauf und Folgen extremer hydrologischer Ereignisse.

## Fertiggestellte Arbeiten

sie Publikationsliste, Seite 123

## Principaux thèmes en cours

### *‘Changements de climat’*

- Développement d’un modèle de bilan hydrique pour le bassin du Rhin.
- Analyse de l’effet des changements de climat et de l’utilisation des sols sur les débits moyens et extrêmes.
- Déterminer des mesures pour limiter ces effets.

### *‘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.
- Echange de connaissances concernant la modélisation morphologique.

### *‘SIG’*

- Réalisation d’une Monographie du Rhin digitale par jonction des fichiers nationaux, thématiques, disponibles.

### *‘Changements dans le régime des débits’*

- Description de l’impact des activités humaines sur le débit du Rhin.

### *‘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).

### *‘Événements extrêmes’*

- Description des causes, du déroulement et des conséquences des événements hydrologiques extrêmes.

## Travaux effectués

voir la liste de publications, page 123

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**

### *‘Klimaatveranderingen’*

- Ontwikkeling van een waterhuishoudkundig model voor de Rijn.
- Analyse van de invloed van klimaat- en landgebruiksveranderingen op gemiddelde en extreme afvoeren.
- Vaststellen van beperkende maatregelen.

### *‘Sediment’*

- Verbetering en standaardisering van meetmethoden voor gehalten aan zwevend materiaal en bodemtransport.
- Beschrijving van de sedimenthuishouding in de rivier.
- Kennisuitwisseling op het gebied van morfologische modellering.

### *‘GIS’*

- Vervaardiging van een digitale Monografie van de Rijn door samenvoegen van beschikbare nationale thematische gegevens.

### *‘Veranderingen in het afvoerregime’*

- Beschrijving van de invloed van menselijke activiteiten op de Rijnafvoeren.

### *‘Stroomtijden’*

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

### *‘Extreme gebeurtenissen’*

- Beschrijving van oorzaken, verloop en gevolgen van extreme hydrologische gebeurtenissen.

## **Afgesloten onderwerpen**

zie lijst van publikaties, blz. 123

## **Selection of current subjects**

### *‘Climate changes’*

- Development of a water management model for the Rhine.
- Analysis of the impact of climate and land use changes on average and extreme discharges
- Identification of mitigating measures.

### *‘Sediment’*

- Improvement and standardization of methods to measure suspended load and bed-load transport.
- Description of sediment characteristics of the river.
- Exchange of knowledge on morphological modelling.

### *‘GIS’*

- Realisation of a digital Monograph of the Rhine by joining available national thematic data sets.

### *‘Changes in the discharge regime’*

- Description of the impact of human activities on the Rhine discharges.

### *‘Travel times’*

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

### *‘Extreme events’*

- Description of causes, course and consequences of extreme hydrological events.

## **Completed projects**

see list of publications, p. 123

**KOLOPHON / COLOPHON**

**Übersetzungen / traductions :** PassWord Translations, Heino

**Drucker / imprimeur :** Veenman drukkers, Ede

**Papier :** Chlorfrei M.C. / sans chlor M.C.

**ISBN :** 90-70980-28-2

Prod. N° 02-99



**Secretariaat CHR/KHR**  
**Maerlant 16**

**Postbus 17**  
**NL-8200 AA Lelystad**  
**Niederlande/Pays-Bas**