

**Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes**

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



**Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen  
- Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft -**

**KHR-Arbeitsgruppe  
»Anthropogene Einflüsse  
auf das Abflußregime«**



**Bericht Nr. I-11 der KHR**

# Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

---

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

### Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen - Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft -

KHR-Arbeitsgruppe  
»Anthropogene Einflüsse auf das Abflußregime«

Obman: H. Kalweit

Autoren: Buck, W. – Universität Karlsruhe  
Felkel, K. – früher Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe  
Gerhard, H. – Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden  
Kalweit H. – früher Landesamt für Wasserwirtschaft, Mainz  
Malde, J. van – Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage  
Nippes, K.-R. – Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i.Br.  
Ploeger, B. – früher Rijkswaterstaat, Arnheim  
Schmitz, W. – Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft,  
Düsseldorf



Secretariaat CHR | KHR  
Maerlant 16

Postbus 17  
NL-8200 AA Lelystad  
Niederlande | Pays-Bas

Bericht Nr. I-11 der KHR

© 1993, CHR/KHR  
ISBN 90-70980-17-7

**Le Rhin sous l'influence de l'homme**  
**- aménagement, navigation, gestion des eaux -**

**Textes français:**

Avant-propos: p. 5

Résumé: p. 213

Informations sur la CHR: p. 256

**The Rhine under the influence of man**  
**- river engineering works, shipping, water management -**

**English texts:**

Summary: p. 223

Particulars CHR: p. 258

**De Rijn onder de invloed van de mens**  
**- waterbouwkundige werken, scheepvaart, waterhuishouding -**

**Nederlandstalige gedeelten:**

Samenvatting: blz. 231

Bijzonderheden CHR: blz. 258

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Rhein

Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen : Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft /  
KHR-Arbeitsgruppe »Anthropogene Einflüsse auf das Abflußregime«; Obmann:

H. Kalweit ; Autoren: W. Buck ... [et al.]. – Lelystad :

CHR/KHR. – Ill. – (Rapport / Commission Internationale de l'Hydrologie du Bassin du  
Rhin = Bericht / Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes.

I de la CHR = I der KHR ; Nr. 11)

Met lit. opg.

ISBN 90-70980-17-7 geb.

Trefw.: hydrologie ; Rijn / Rijn ; cultuurgeschiedenis.



## Vorwort

*»Das Wasser fließt dahin, wohin ihm der Weg gewiesen«*

Dieses böhmische Sprichwort gilt auch für die Flüsse im Einzugsgebiet des Rheins, die durch den Menschen in den vergangenen Jahrhunderten zum Guten und zum Schlechten beeinflusst worden sind. Zum Schutze der Menschen vor schädigenden Wirkungen des Wassers wurden die Gewässer korrigiert, verbaut und umgeleitet. Das Wasser und die Kraft des Wassers wurden für die Stromerzeugung, die Schifffahrt, die Wasserversorgung und -entsorgung, die Fischerei sowie die Freizeitgestaltung immer intensiver genutzt. Neben dem Nutzen für den Menschen führten diese anthropogenen Eingriffe auch zu negativen Auswirkungen auf die Wasserqualität und das Ökosystem.

Außer den anthropogenen Einwirkungen ist der Wasserhaushalt auch natürlichen Änderungen unterworfen. Um die Auswirkungen dieser beiden Einflußkomponenten besser quantifizieren zu können, hat die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes eine internationale Expertengruppe, unter der Leitung von Herrn Dr.-Ing. H. Kalweit, damit beauftragt, Material über die menschlichen Eingriffe (Gewasserausbau, Schifffahrts-, Wasserkraft- und Hochwasserschutzanlagen) im Rheineinzugsgebiet zu sammeln und darzustellen. Finanziell und personell unterstützt wurde die Studie durch das deutsche IHP/OHP-Nationalkomitee.

Die Resultate dieser Untersuchung sind in der vorliegenden Publikation dargestellt. Den Experten, den Mitarbeitern, dem Sekretariat und allen anderen Beteiligten sei hier der Dank ausgedrückt für die umfassende und übersichtliche Darstellung der anthropogenen Eingriffe auf den Rhein während der letzten Jahrhunderte.

Dr. M. Spreafico  
Präsident der KHR

## Avant-propos

*«L'eau s'écoule en suivant le chemin qui lui a été tracé»*

Ce dicton bohémien vaut également pour les fleuves du bassin du Rhin, dont le cours a été modifié par l'homme au cours des siècles passés, pour le meilleur et pour le pire. Pour se protéger de la violence ou de l'invasion des eaux, l'homme a aménagé, corrigé et dérivé leur cours naturel. L'eau et la puissance qu'elle véhicule ont toujours davantage été mises à contribution, pour la navigation, l'alimentation, l'élimination des déchets, la pêche, la détente et aussi pour la fabrication d'électricité. A côté des nombreux aspects positifs de cette mise en valeur, cet empiètement de l'homme sur l'élément liquide a aussi des aspects négatifs, comme son action néfaste sur la qualité de l'eau et l'écosystème.

Mais en plus des atteintes anthropogènes, le cycle de l'eau est également soumis à des changements naturels. Dans le but de mieux pouvoir quantifier les effets de ces deux catégories d'influences, la Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin a mandaté un groupe international d'experts sous la direction de M. Dr. Ing. H. Kalweit pour réunir et présenter une documentation sur les interventions humaines dans le bassin du Rhin (corrections de cours d'eau, installations destinées à la navigation, la production d'énergie et la protection contre les crues). L'étude a été soutenue, sur le plan financier comme sur celui du personnel, par le Comité national allemand pour le PHI et le PHO.

C'est le résultat de ces recherches qui est présenté ici. Que les experts, les différents collaborateurs, le Secrétariat et tous les autres participants veuillent bien accepter nos remerciements pour cet aperçu très complet et approfondi des atteintes anthropogènes à l'intégrité du Rhin, au cours des siècles passés.

Dr. M. Spreafico  
Président de la CHR

## Inhalt

Abschnitt	federführender Bearbeiter	Bezeichnung	Seite
	Spreafico	<b>Vorwort</b> (deutsch und französisch)	4
<b>1.</b>	Kalweit	<b>Vorbemerkung</b>	11–12
<b>2.</b>	Nippes	<b>Einzugsgebiet und Abflußregime</b>	13–21
2.1		Gliederung des Einzugsgebietes	13
2.2		Abflußregime des Rheines	16
2.3		Abflußregime großer Rheinzuflüsse	19
2.4		Tideeinfluß im Mündungsgebiet	20
<b>3.</b>	Nippes	<b>Besiedlung und Wassernutzung</b>	22–36
3.1		Politische Gliederung und wasserrechtliche Grundlagen	22
3.2		Bevölkerung	25
3.3		Wirtschaftsentwicklung	26
3.4		Nutzungsansprüche an Wasser und Gewässer	30
<b>4.</b>		<b>Menschliche Einwirkungen vor dem 19. Jahrhundert</b>	37–54
4.1	Kalweit	Übersicht	37
4.2	Gerhard	Alpenrhein, Bodensee und Hochrhein	38
4.3	Buck	Oberrhein bis zum Neckar	40
4.4	Kalweit	Oberrhein unterhalb des Neckars	42
4.5	Felkel	Mittelrhein	44
4.6	Schmitz	Niederrhein	47
4.7	Ploeger	Bovenrijn und Verzweigungen	49
<b>5.</b>		<b>Eingriffe und Ereignisse im 19. und 20. Jahrhundert</b>	55–197
5.1	Gerhard	Alpenrhein, Bodensee und Hochrhein	55–69
5.1.1		Fluß- und Seeregulierungen	55
5.1.2		Wasserkraft- und Speicherausbau	63
5.2	Buck	Oberrhein bis zum Neckar	70–97
5.2.1		Naturräumliche Gegebenheiten	70
5.2.2		Ausbaumaßnahmen am Rhein	74
5.2.3		Maßnahmen an kleineren Nebenflüssen und am Neckar	92
5.3	Kalweit	Oberrhein zwischen Neckar und Nahe	97–115
5.3.1		Entwicklungen und Ereignisse im Rheintal	97
5.3.2		Ausbau des Rheins	100
5.3.3		Wasserwirtschaft seitlich des Rheins	106
5.3.4		Ausbau des Mains	113

Abschnitt	federführender Bearbeiter	Bezeichnung	Seite
5.4	Felkel	Mittelrhein	116–152
5.4.1		Natürliche Gegebenheiten	116
5.4.2		Entwicklung der Rheinschifffahrt	118
5.4.3		Stromausbau im 19. Jahrhundert	126
5.4.4		Stromausbau zwischen 1901 und 1985	131
5.4.5		Lahn	140
5.4.6		Mosel	143
5.4.7		Saar	150
5.5	Schmitz	Niederrhein	153–172
5.5.1		Gebietscharakter und wasserwirtschaftliche Aufgaben	153
5.5.2		Rheinstrecke Bonn – Duisburg	158
5.5.3		Rheinstrecke Duisburg – Wesel	164
5.5.4		Rheinstrecke Wesel – Emmerich	170
5.6	Ploeger	Bovenrijn und Verzweigungen	173–197
5.6.1		Übersicht	173
5.6.2		Die Periode der seitlichen Hochwasserentlastungen	174
5.6.3		Die Periode des systematischen Gewässerbaus	177–182
5.6.3.1		Planungsschritte	177
5.6.3.2		Waal und tangierender Maasbereich	179
5.6.3.3		Rheinarm vom Pannerdensch Kanaal bis zum Nieuwe Waterweg	181
5.6.3.4		IJssel	182
5.6.4		Großwasserbauten und Wasserwirtschaft ab 1918	183–197
5.6.4.1		Grundzüge der neuen wasserbaulichen Entwicklungen	183
5.6.4.2		IJsselmeer und IJssel	184
5.6.4.3		Stauregelung des Nederrijn	187
5.6.4.4		Wasserbauten im Deltagebiet und anschließende Werke	187
5.6.4.5		Wasserwirtschaft und -verwaltung auf regionaler und nationaler Ebene	193
6.	Kalweit	<b>Schlußbetrachtung und Ausblick</b>	199–204
6.1		Besiedlung und Ansprüche an das Wasser	199
6.2		Bisherige Gestaltung von Wassernutzung und Wasserwehr	199
6.3		Künftige Einwirkungen auf Rhein und Rheintal	200



---

Abschnitt	federführender Bearbeiter	Bezeichnung	Seite
7.	Kalweit	<b>Zusammenfassung</b>	deutsch 205–212
			französisch 213–222
			englisch 223–230
			niederländisch 231–239
	gemeinsam	<b>Verzeichnis von Literatur</b>	241–248
	gemeinsam	<b>Bildnachweis</b>	249–252
<b>KHR-Veröffentlichungen</b>			254
<b>Einige Informationen über die KHR (französisch, deutsch, niederländisch und englisch)</b>			256

---





## 1. Vorbemerkung

Der Rhein ist der bedeutendste Fluß in Westeuropa. Er hat die Wirtschaft und die Kultur der Anwohner in vielfältiger Weise gefördert, ihnen aber auch große Probleme gestellt. Bei Wassernutzung und Wasserwehr hat der Mensch die ursprüngliche Gestalt des Rheines und seiner Nebenflüsse, wie auch der Talauen, mehr und mehr verändert, sie seinen wachsenden Bedürfnissen anzupassen gesucht.

Widersprüchlich ist die Wertung des Erreichten. Sie spannt sich von der Forderung, die Flüsse noch weitergehend an Nutzungsansprüche anzupassen bis zum Ruf, sie in den ursprünglichen Naturzustand zurückzuführen. Beim Austausch und Gegeneinander der Meinungen hierüber ist deutlich geworden, daß trotz einer sehr reichen fachlichen und populären Literatur über das Rheingebiet und dessen wasserwirtschaftliche Gestaltungen eine zusammenfassende Veröffentlichung auf aktuellem Stande fehlt, in der die baulichen Eingriffe und ihre Auswirkungen dargestellt sind.

Daher erschien es der INTERNATIONALEN KOMMISSION FÜR DIE HYDROLOGIE DES RHEINGEBIETES (KHR), in der die Anliegerstaaten zusammenarbeiten, angebracht, eine entsprechende Veröffentlichung vorzulegen. Sie soll die anthropogenen, d.h. vom Menschen verursachten Einflüsse auf den Rhein in morphologischer, baulicher und hydrologischer Hinsicht darstellen, ihre Veranlassungen und Auswirkungen erläutern. Der von der KHR festgelegte Arbeitsrahmen beinhaltet die Ausbauten der Gewässer, der Schifffahrts-, Wasserkraft- und Hochwasserschutzanlagen.

Das deutsche IHP/OHP-Nationalkomitee hat für die Bearbeitung und Koordination dieser Aufgabe finanzielle Mittel bereitgestellt und eine Arbeitsgruppe eingerichtet. Folgende Fachleute haben an der Abfassung der Veröffentlichung

mitgewirkt:

Dr.-Ing. Werner Buck, Akademischer Oberrat, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe,

Dr.-Ing. Karl Felkel, Regierungsbaumeister, Referatsleiter a.D., früher Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe,

Dr.-Ing. Horst Gerhard, Regierungsdirektor, Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden.

Dr.-Ing. Heino Kalweit, Leitender Bauingenieur a.D., früher Landesamt für Wasserwirtschaft Mainz, (Obmann),

Dr. Karl Rainer Nippes, Akademischer Rat, Institut für Physische Geographie, Universität Freiburg i.Br.,

ir. Bert Ploeger, früher Rijkswaterstaat Arnheim, Niederlande,

ir. Jacob van Malde, Rijkswaterstaat 's-Gravenhage, Niederlande,

Dipl.-Ing. Walter Schmitz, Leitender Regierungsbaudirektor, Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft, Düsseldorf.

Die einzelnen Abschnitte sind von den im Inhaltsverzeichnis genannten Mitgliedern der Arbeitsgruppe im Konzept verfaßt worden. Abstimmungen und Ergänzungen sind in gemeinsamen Sitzungen erfolgt. Die Abschnitte über den Rhein auf Schweizer Gebiet haben die Herren Dr. Andreas Götz, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bern, und Dr. Manfred Spreafico, Landeshydrologie und -geologie, Bern, überarbeitet und ergänzt.

Für die Darstellung der anthropogenen Einflüsse auf den Rhein sind Stoffauswahl und -behandlung darauf ausgerichtet worden, möglichst weite Interessentenkreise anzusprechen. Zahlreiche Bilder vom Alpenrhein bis zum Mündungsgebiet des Rheins sind zur Illustration beigegeben. Einzelfragen, wie Abflußmessung oder Schifffahrt, die für mehrere Rheinabschnitte Aussagen ent-

halten, kommen an passender Stelle in einem einzelnen Flußabschnitt zur Darstellung und gelten sinngemäß auch für weitere Abschnitte. Eine Reihe benutzer und fachlich vertiefender Veröffentlichungen in naturwissenschaftlicher, technischer und historischer Hinsicht ist im Literaturverzeichnis aufgeführt.

Nicht behandelt sind die Einflüsse des Menschen auf die Wasserbeschaffenheit und die davon abhängige Fischerei. Sie haben für das Rheingebiet eine hohe aktuelle Bedeutung, fallen aber in andere Zuständigkeiten. Anthropogene Einflüsse auf das Abflußregime sind dagegen in dieser Schrift an verschiedenen Stellen angesprochen. Ihre systematische Darstellung soll in einer weiteren Veröffentlichung erfolgen.

## 2. Einzugsgebiet und Abflußregime

### 2.1 Gliederung des Einzugsgebietes

Mit einem Einzugsgebiet von rund 185.000 km<sup>2</sup> ist das Rheingebiet das neuntgrößte Flußgebiet Europas. Der Rhein gehört allerdings mit seinem beträchtlichen mittleren Abfluß von 2.200 m<sup>3</sup>/s an der deutsch-niederländischen Grenze zu den wasserreichsten Flüssen des Kontinents [Keller 1978]. Sein Einzugsgebiet reicht von den Alpen bis zur Nordsee. Es hat Anteil am Hochgebirge, Mittelgebirge und Tiefland. Von den Quellen bis zur Mündung beträgt die Lauflänge des Rheins rund 1.250 km.

Die höchsten Erhebungen im Rheingebiet überschreiten 4.000 m. Im Flächenanteil bis zur deutsch-niederländischen Grenze ist die mittlere Höhe 483 m über Meeresniveau und liegt die mittlere Geländeneigung bei 9%. In den Niederlanden befindet sich eingedeichtes Land teilweise tiefer als der Meeresspiegel.

Bild 2.1 zeigt die landschaftliche Gliederung des Rheingebietes. Der Anteil am alpinen Hochgebirge macht etwa 16.000 km<sup>2</sup> oder 8,6% des gesamten Einzugsgebietes aus. Neben dem Alpenrhein wird es vor allem von der Aare entwässert. Den Alpen sind das Schweizer Mittelland, das Bodenseebecken und der Schweizer Faltenjura vorgelagert. Sie bedecken zusammen eine Fläche von 17.000 km<sup>2</sup> oder 9,2% des Rheingebietes [KHR 1978].

Von Basel bis Mainz durchfließt der Rhein in Nord-Süd-Richtung den Oberrheingraben. Dieser wird durch Mittelgebirge begrenzt, westlich durch Vogesen und Haardt/Pfälzerwald, östlich durch Schwarzwald und Odenwald. Die westlichen und östlichen Randgebirge reichen außen in die Kalkzüge der Schichtenstufenlandschaften hinein. In Mainz wendet sich der Strom nach Westen und fließt im Rheingau parallel

zum Taunusrand. Ab Bingen durchbricht er in nordwestlicher Richtung das Rheinische Schiefergebirge, das von Hunsrück und Eifel im Westen, von Taunus und Westerwald im Osten gebildet wird.

Bei Bonn tritt der Rhein in das Flachland der Niederrheinischen Bucht. Ihr hochgelegenes Hinterland wird westlich von der Eifel, östlich vom Bergischen Land und Sauerland eingenommen. Nach Norden verbreitert sich das Rheintal in die Weite des Flachlandes. Der Rhein verzweigt sich in den Niederlanden und führt seinen Abfluß in mehreren Armen zur Nordsee.

Morphologisch hat der Rhein unterschiedliche Teilstrecken ausgebildet. Sie sind im Längsprofil des Bildes 2.2 angegeben und umfassen die Bereiche:

*Alpenrhein* von den Quellen bis zur Mündung in den Bodensee,  
*Hochrhein* von Bodensee bis Basel,  
*Oberrhein* von Basel bis Bingen,  
*Mittlerhein* von Bingen bis Bonn,  
*Niederrhein* von Bonn bis zur deutsch-niederländischen Grenze und  
*Bovenrijn* in den Niederlanden bis Panterdense Kop, unterhalb Flußverzweigungen.

In Tabelle 2.1 ist die Gliederung des Einzugsgebietes des Rheins mit seinen Nebenflüssen über 4.000 km<sup>2</sup> Einzugsgebiet zusammengestellt. Bis zum Hochrhein ist die Aare der größte und abflußreichste Nebenfluß [Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband 1975]. Am Oberrhein kommen Ill und Neckar als wichtige Zuflüsse hinzu, am Rheingau Main und Nahe. Unterhalb fließen aus dem Rheinischen Schiefergebirge als Hauptgewässer Lahn, Mosel und Ruhr zu, aus der Münsterischen Bucht die Lippe.

Auf niederländischem Gebiet verzweigt sich der Rheinstrom. Seine Hauptarme

sind Waal und Neder-Rijn bzw. Lek mit Mündungen unmittelbar in die Nordsee, ferner die IJssel, die in das IJssel-

meer mündet, welches gegen die Nordsee abgedämmt ist.

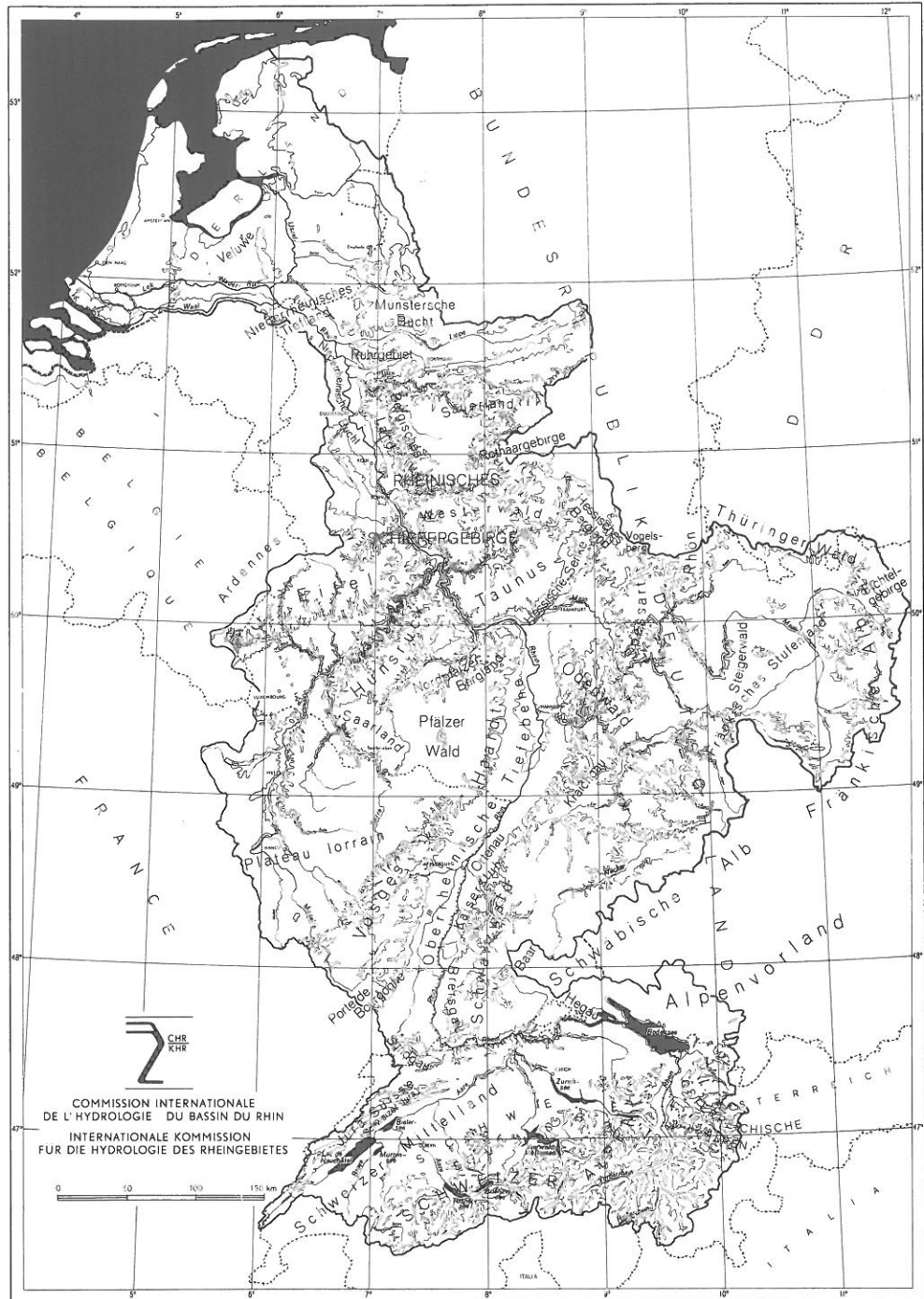


Bild 2.1  
Landschaftsgliederung des Rheingebietes

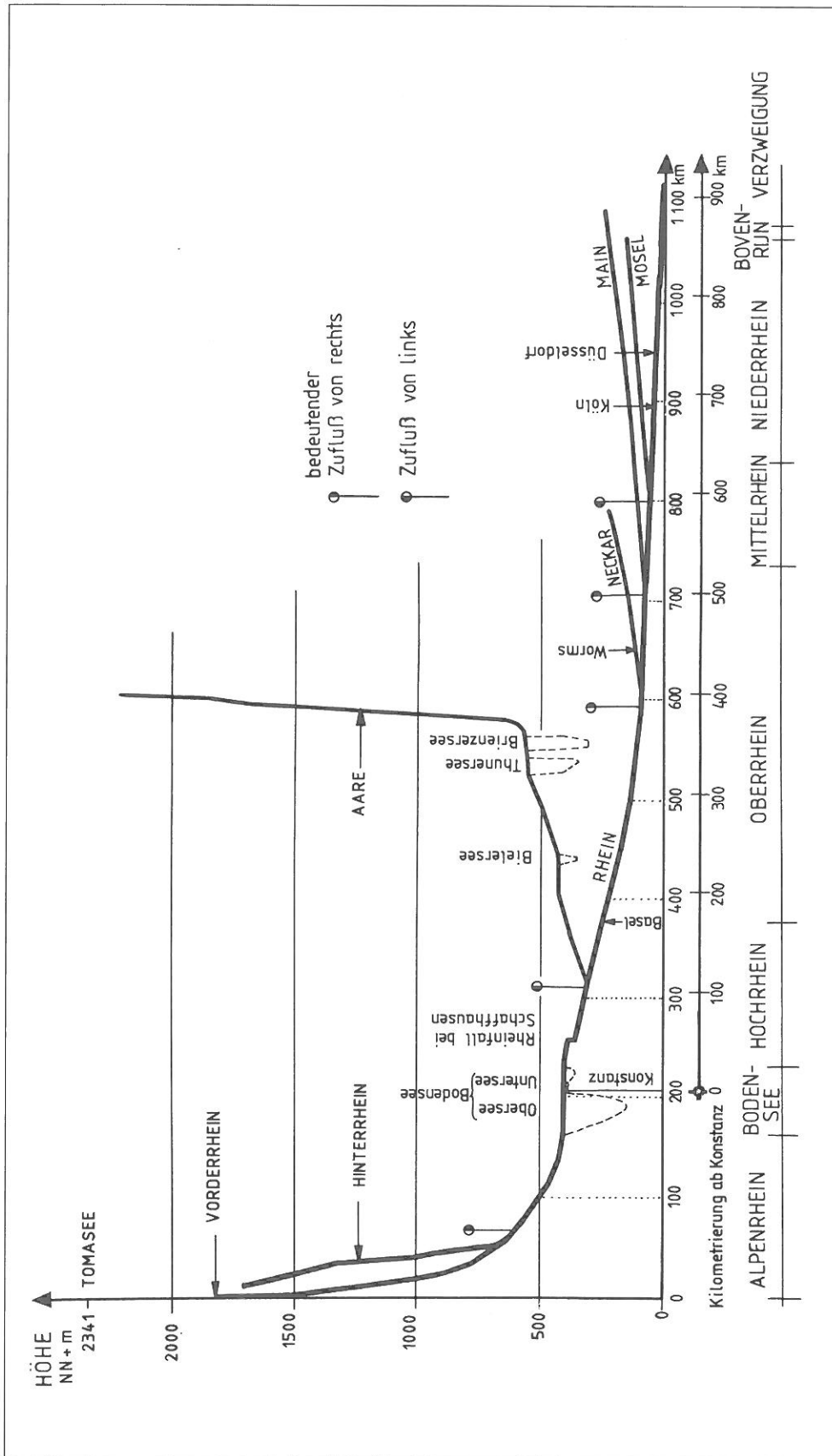


Bild 2.2  
Längsprofil des  
Rheins und bedeu-  
tender Zuflüsse



Rhein		Nebenflüsse		Flächen- summe (km <sup>2</sup> )
Teilstrecke	Länge (km)	Fläche (km <sup>2</sup> )	Name Fläche (km <sup>2</sup> )	
Oberhalb des Bodensees	170	6.100		6.100
Bodensee bis Aare	150	9.800	Aare 17.800	15.900
Aare bis Ill	205	7.500	Ill 4.800	33.700
Ill bis Neckar	120	8.500	Neckar 14.000	41.200
Neckar bis Main	70	3.500	Main 27.200 (davon Regnitz 7.600)	46.000
Main bis Nahe	31	1.000	Nahe 4.100	54.500
Nahe bis Mosel (ohne Lahn)	63	800	Lahn 5.900 Mosel 28.100 (davon Saar 7.400)	68.500
Mosel bis Ruhr	187	10.000	Ruhr 4.500	72.000
Ruhr bis Lippe	35	1.700	Lippe 4.900	99.200
Lippe bis Panner- dense Kop	54	600		104.300
Abwärts Panner- dense Kop (davon Mündungsgebiet Rhein-Maas 1.500 km <sup>2</sup> )	161	24.500		105.100
				111.000
				139.100
				149.100
				153.600
				155.300
				160.200
				160.800
				185.300

Tabelle 2.1  
Hauptgliederung des  
Einzugsgebietes des  
Rheins [KHR 1978]

## 2.2 Abflußregime des Rheins

Der Alpenrhein und andere Zuflüsse aus dem Hochgebirge weisen ein schroffes Abflußregime mit großen Unterschieden zwischen Niedrig- und Hochwasserführung auf. Unterhalb davon ist die Wasserführung des Rheins, aufgrund hydrologischer Gegebenheiten und auch infolge menschlicher Eingriffe, sehr ausgeglichen. Die mittlere Abflußspende ist im alpin bestimmten Teil beträchtlich größer als im übrigen Gebiet. Sie beläuft sich in Basel auf 29 l/s.km<sup>2</sup>, an der Mündung nur auf 14 l/s.km<sup>2</sup>. Die langjährigen mittleren Abflüsse des Rheins betragen rd.

oberhalb des Bodensees	MQ = 250 m <sup>3</sup> /s
bei Basel (mit Aare)	1.100 m <sup>3</sup> /s
bei Worms (mit Ill und Neckar)	1.400 m <sup>3</sup> /s
bei Mainz (mit Main)	1.600 m <sup>3</sup> /s
bei Koblenz (mit Lahn)	1.700 m <sup>3</sup> /s
bei Andernach (mit Mosel)	2.000 m <sup>3</sup> /s
bei Emmerich (mit Ruhr und Lippe)	2.200 m <sup>3</sup> /s

In Bild 2.3 ist ein hydrologisches Längsprofil des Rheins dargestellt. Es zeigt in Fließrichtung die Zunahme des MQ, des mittleren Niedrigwasserabflusses MNQ und des mittleren Hochwasserabflusses MHQ. Außerdem ist der Verlauf der mittleren Hochwasserabflußspenden

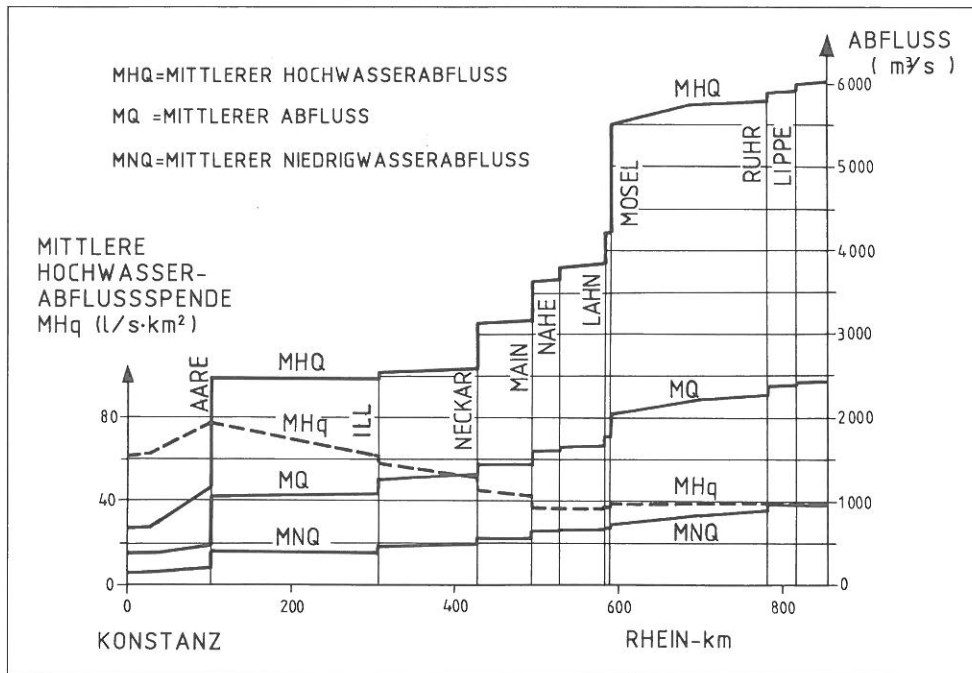


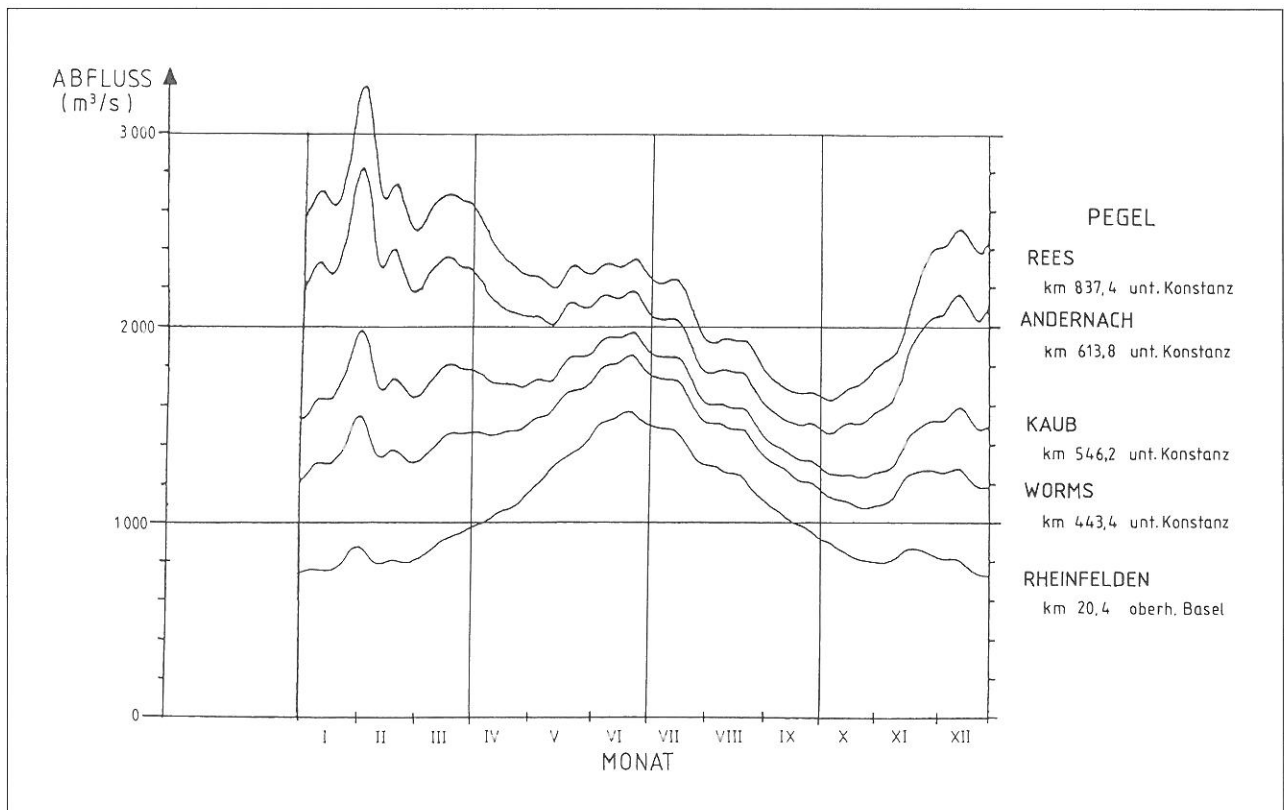
Bild 2.3  
Hydrologisches  
Längsprofil des  
Rheins (Abflußjahre  
1951/70)

MHq dargestellt. Diese erreichen an der Einmündung der Aare ihren Höchstwert.

Der Abfluß schwankt in den Alpen in einem weiten Bereich. So weist der Alpenrhein ein Verhältnis des kleinsten zum größten Abfluß von 1:68 auf. Bis

Basel geht der Schwankungsbereich, vor allem durch Speicherwirkung der großen Seen und der Talsperren im Einzugsgebiet, auf 1:16 zurück. An der deutsch-niederländischen Grenze ist das Verhältnis unter der Einwirkung der Mittelgebirgsflüsse wieder auf 1:21 angestiegen.

Bild 2.4  
Mittlerer Abflußgang  
des Rheins (Neuntä-  
giges gleitendes Mit-  
tel 1931/1985 an aus-  
gewählten Pegeln)



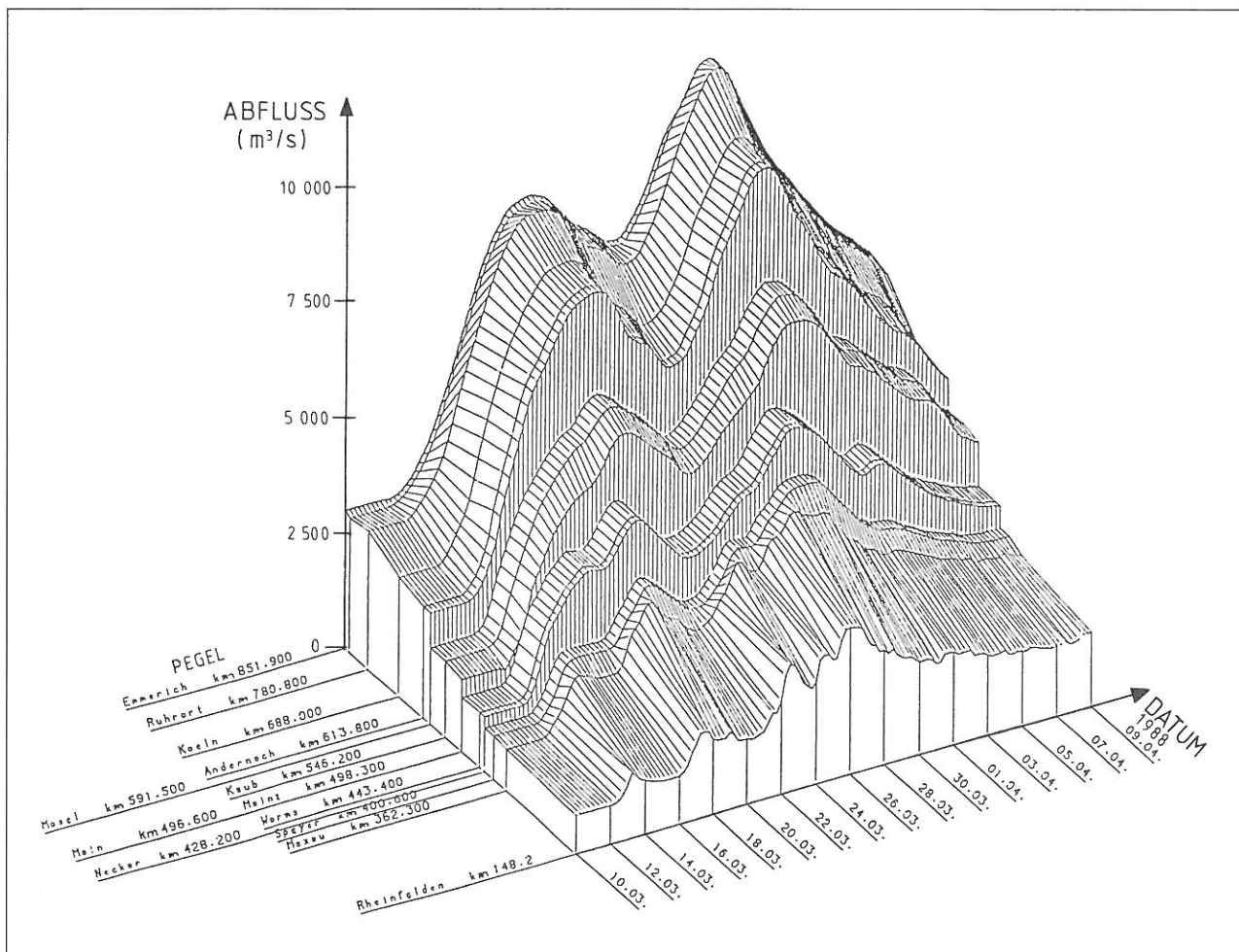
Der Anteil, den das Alpengebiet zum Gesamtabfluß des Rheins beiträgt, ist jahreszeitlich verschieden. Im Durchschnitt stammt fast die Hälfte des Abflußvolumens im Niederrhein aus dem Alpengebiet. Im Sommer beträgt der Anteil über 70%. Im Winter geht er unter 30% zurück, da die Winterniederschläge in den Alpen überwiegend zunächst als Schnee gespeichert werden [Bundesminister für Verkehr 1987].

Betrachtet man den mittleren Abflußgang des Rheins anhand der Pegelauswertungen in Bild 2.4, so erkennt man, daß das Abflußregime im Ganzen vom Hoahrhein bis zum Niederrhein im Rahmen mäßiger Schwankungen liegt. Vom Hoahrhein zum Niederrhein kehrt sich der zeitliche Eintritt großer und kleiner Abflüsse im Mittel nahezu um. Der alpin bestimmte Rhein (Pegel Rheinfelden) weist kleine Abflüsse im Winter und große Abflüsse im Sommer auf, wobei

die Höchstwerte im Juni und Juli liegen. Dagegen gewinnt flußabwärts der gegenläufige Abflußcharakter der Mittelgebirgsflüsse mit hohen winterlichen und kleinen sommerlichen Beiträgen das Übergewicht. Die abflußarme Periode verschiebt sich in den Herbst. Die Wintermonate werden abflußreicher. Am Niederrhein (Pegel Rees) hat sich das Abflußverhalten gegenüber dem Hoahrhein umgekehrt. Das Maximum fällt in den Februar.

Die Abflüsse eines einzelnen Hochwasserereignisses im Rhein sind für das sehr große Hochwasser vom März/April 1988 aus dem stereographischen Bild 2.5 zu ersehen. Vorwelle und Hauptwelle steilen sich stromabwärts immer stärker auf. Die bedeutenden Beiträge der Nebenflüsse Neckar, Main und Mosel sowie der Zuflüsse zwischen den Pegeln Köln und Ruhrort zum Hochwasser im Rhein treten deutlich hervor.

**Bild 2.5**  
Abflußganglinie des  
Rheinhochwassers  
im März/April 1988  
von Rheinfelden bis  
Emmerich



### 2.3 Abflußregime großer Rheinzuflüsse

Die Hauptzuflüsse zum Rhein lassen sich vereinfacht in zwei Gruppen gliedern: Einerseits die alpin beeinflussten Zuflüsse, insbesondere die Aare, andererseits die Mittelgebirgs- und Flachlandzuflüsse. Von den Nebenflüssen hat die Aare ein Abflußregime, das oberhalb der Juraseen dem Alpenrhein, unterhalb davon dem Hochrhein entspricht; denn die Talsperren und Alpenrandseen wirken für den Unterlauf ausgleichend. Trotz des Ausgleiches sind die Sommermonate im Durchschnitt bedeutend abflußreicher als die Wintermonate. Bei den Flüssen der Mittelgebirge und des Flachlandes ist es umgekehrt. Bild 2.6 zeigt dies in graphischer Form.

In Tabelle 2.2 sind die Hauptabflußzahlen großer Rheinzuflüsse von den Alpen bis zum Niederrhein zusammengestellt. Das Verhältnis von Hochwasserabfluß HQ zu Niedrigwasserabfluß NQ ist angegeben. Bis Basel am unteren Ende des Hochrheins verändern die Zuflüsse die Hochwassercharakteristik des Rheines selbst nur wenig. Dagegen haben die Mittelgebirgsflüsse unterhalb

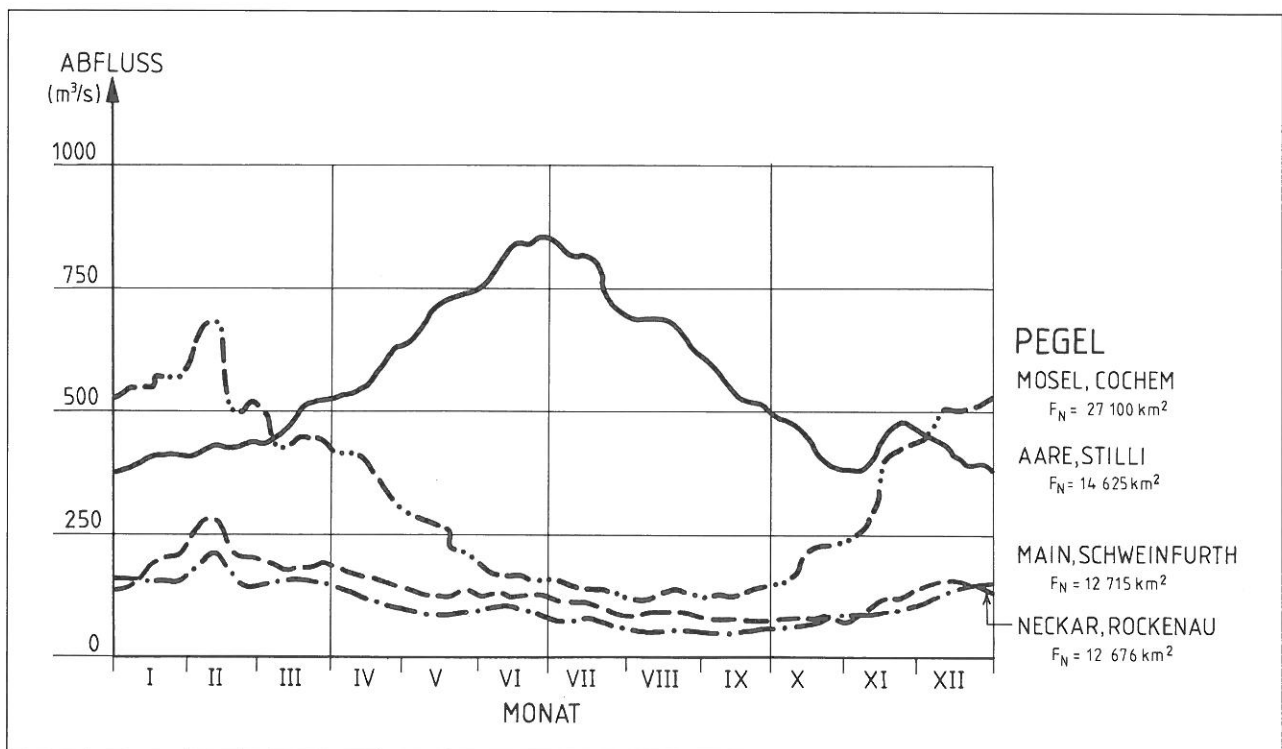
ein schrofferes Abflußregime, das sich in größeren Verhältniswerten (HQ/NQ) ausdrückt. Neckar, Main und Mosel vergrößern die Rheinhochwasser beim Aufeinandertreffen im Spitzenbereich sehr beträchtlich. Auch die Hochwasser der Ruhr können sich im Niederrhein stark bemerkbar machen. Dagegen ist der überwiegend vom Abflußverhalten im Tiefland geprägte Einfluß des Lippehochwassers gering.

Das Abflußregime ist nicht nur im Alpengebiet durch Talsperren und Stauregelung von Seen künstlich beeinflusst worden. Auch im Rheinischen Schiefergebirge ist der Abfluß mehrerer Flußgebiete durch Talsperren erheblich gleichmäßig geworden. Dies gilt vornehmlich für Ruhr und Wupper.

### 2.4 Tideeinfluß im Mündungsgebiet

Das Rheinwasser fließt in den Niederlanden hauptsächlich in drei Stromzügen auf die Nordsee zu. Es sind dies die Waal mit etwa 65 bis 75%, Nederrijn/Lek und IJssel mit zusammen 25 bis 35% Abflußanteil. In der IJssel wird ein

Bild 2.6  
Mittlerer Abflußgang von Hauptzuflüssen des Rheins (Neuntägiges gleitendes Mittel der mittleren täglichen Abflüsse der Jahre 1931/1985)



Fluß	Pegel	Einzugsgebiet km <sup>2</sup>	Abfluß m <sup>3</sup> /s			Verhältnis HQ/NQ
			HQ	MQ	NQ	
Aare	Stilli	17.625	2.140	560	138	16
Neckar	Rockenau	12.676	2.150	132	18,4	117
Main	Frankfurt	24.764	1.850	188	9,0	206
Mosel	Cochem	27.100	3.740	288	9,7	386
Ruhr	Hattingen	4.078	1.950	64,6	1,6	1.219
Lippe	Schermbek	4.762	470	48,3	8,3	57

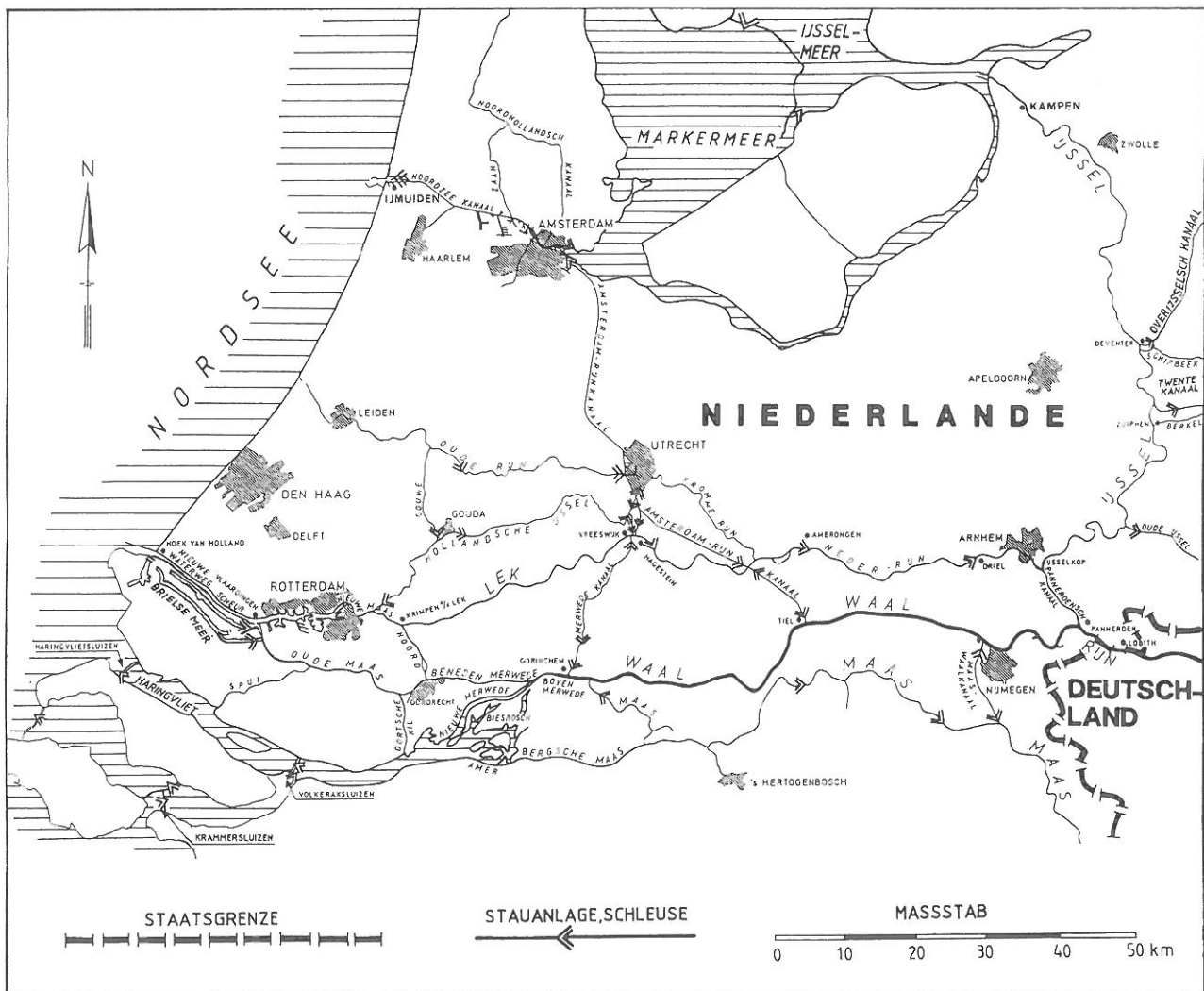
Tabelle 2.2  
Langjährige Abfluß-  
hauptzahlen von Zu-  
flüssen des Rheins

Mindestabfluß von 285 m<sup>3</sup>/s angestrebt. Im Nederrijn wird ein solcher von 25 m<sup>3</sup>/s nicht unterschritten. Der mittlere Abfluß an der deutsch-niederländischen Grenze von insgesamt rund 2.200 m<sup>3</sup>/s nimmt bis zur Küste noch um etwa 200 m<sup>3</sup>/s zu, einschließlich der erheblichen Zuflüsse der IJssel. Die Abflußverteilung ist durch Flußbauten be-

dingt. Sie kann bis 2.300 m<sup>3</sup>/s durch die Stauanlage Driel im Nederrijn geregelt werden. Bild 2.7 zeigt die Lage der Hauptgewässer und der Stauanlagen von der südlich ans Rheingebiet anschließenden Maas bis nach Norden zum IJsselmeer.

Bild 2.7  
Lage der wichtigsten  
Wasserläufe in den  
Niederlanden

Die Wasserstände der Nordsee, die dem



Bezeichnung	Kurzzeichen	Höhe cm am Pegel
Niedrigstes gemessenes Tidewasser	NNTnw	- 214 cm am 8.2.1870
Mittleres Tideniedrigwasser	MNTnw	- 64 cm für 1.1.1981
Mittleres Tidehochwasser	MHThw	+ 105 cm für 1.1.1981
Höchstes gemessenes Tidehochwasser	HHThw	+ 385 cm am 1.2.1953

Tabelle 2.3  
Hauptwasserstände  
am Pegel Hoek van  
Holland

Rhein Vorflut bietet, schwanken unter dem Einfluß von Tide und Witterung. Diese kann den Tideverlauf erheblich beeinflussen. Kennzeichnende Wasserstände an der Küste sind in Tabelle 2.3 genannt.

Der Einfluß der Tidewasserstände auf die Flußwasserstände reicht im Naturzustand bis weit ins Binnenland. Er ist bei offenen Ausläufen zur See umso größer, je kleiner die Wasserführung der Flüsse ist. Bild 2.8 zeigt einen Längsschnitt durch die Waal von ihrer Mündung als Nieuwe Waterweg bis zur Tidewurzel bei Tiel, wobei mittlere Rheinabflüsse zugrundeliegen. In der Zeichnung ist auch der Einfluß der Abdämmungen der See durch die Sperrwerke Haringvliet und Volkeraksluizen dargestellt.

Im Lek endet der Tideeinfluß im Unterwasser der Schleuse Hagestein. Die IJssel ist der Tide entzogen, seit das Sperrwerk des IJsselmeeres 1932 geschlossen worden ist.

Bild 2.8  
Mittlere Tidewasserstände im Verlauf der Waal (Die Referenzhöhe NAP entspricht etwa dem mittleren Wasserstand der Nordsee bei Amsterdam; NAP = Normal Amsterdams Peil)

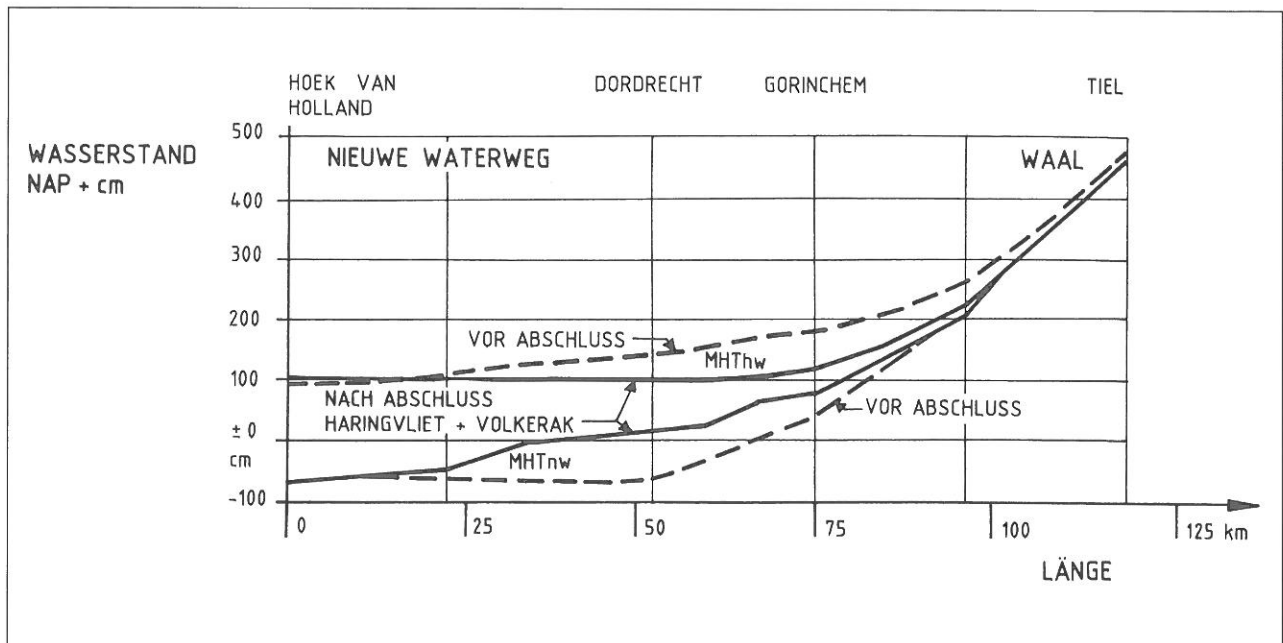




Bild 3.1  
Staatsgrenzen im  
Rheingebiet

### 3. Besiedlung und Wassernutzung

#### 3.1 Politische Gliederung und wasserrechtliche Grundlagen

In der geschichtlichen Zeit ist die politische Gliederung des Rheingebietes und die Zugehörigkeit des Flusses vielfach verändert worden. Während der Römerzeit gehörte er bis hinunter nach Andernach zum Imperium Romanum und bildete unterhalb die Grenze gegen das freie Germanien. Im Mittelalter entstanden wechselnde Herrschaften, die bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts immer zahlreicher wurden, vornehmlich auf deutschem Gebiet. Im 17. Jahrhundert schob Frankreich seine Staatsgrenze bis zum Rhein vor. In der Napoleonischen Zeit und beim Wiener Kongreß 1815 wurde die Zahl der souveränen deutschen Länder erheblich verringert. Weitere Grenzveränderungen in der Folge von Kriegen geschahen bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts.

Heute sind am Flußgebiet des Rheins neun Staaten beteiligt: Belgien, Deutschland, Frankreich, Italien, Liechtenstein, Luxemburg, Niederlande, Österreich und Schweiz. Rund 100.000 km<sup>2</sup> oder 54% des Einzugsgebietes liegen in Deutschland. Frankreich, Niederlande und Schweiz haben Flächenanteile von jeweils 20.000 bis 30.000 km<sup>2</sup>. Liechtenstein liegt mit 160 km<sup>2</sup> vollständig und Luxemburg mit 2.586 km<sup>2</sup> fast gänzlich im Rheingebiet. Österreich hat einen Flächenanteil von rund 2%, während der Anteil der beiden restlichen Staaten noch kleiner ist. Bild 3.1 zeigt den Verlauf der Staatsgrenzen im Rheingebiet.

Auf fast 350 km, das sind 27% der Lauflänge, ist der Rhein Grenzfluß. Ab Sargans bildet er die Grenze der Schweiz zu Liechtenstein, ab Bangs zu Österreich. Die Grenze zwischen der Schweiz und Deutschland verläuft rheinab durch den Bodensee und, mit einigen Abweichungen, entlang des Hochrheins bis

Basel. Die Grenze zwischen Deutschland und Frankreich folgt dann dem Oberrhein bis kurz oberhalb der Lautermündung. Der Niederrhein ist unterhalb Emmerich auf einer kurzen Strecke Grenzfluß zwischen Deutschland und den Niederlanden.

Bereits in der Römerzeit waren am Rhein rechtliche Regelungen erfolgt. Sie betrafen insbesondere die Schifffahrt. Während des Mittelalters wurden sie in großem Umfange von Landesherren und Städten mit Bestimmungen für Zölle, Stapel- und Umschlagrechte fortgesetzt. Die Zahl der Zollstellen, an denen die durchgehende Rheinschifffahrt zollpflichtig wurde, stieg auf über 60 an. Die vier rheinischen Kurfürsten einigten sich 1557 auf ein einheitliches Zollkapitel für angelandete Waren und auf freie Rheinschifffahrt. Im Jahre 1804 setzte die damalige französische Verwaltung erstmals völlig einheitliche Abgaben fest und bildete in Mainz eine Generaldirektion für die Verwaltung des Stromes. Sie wurde vom Wiener Kongreß wieder abgeschafft. Indessen blieb die Freiheit der Rheinschifffahrt erhalten. Im Jahre 1831 kam es in Mainz zur vertraglichen Übereinkunft von Anliegerstaaten über die erste Rheinschifffahrtsakte. Sie wurde 1868 durch die Mannheimer Akte ersetzt. Diese ist 1919 im Versailler Vertrag fortgeschrieben worden. Darin ist die weiterhin geltende Freiheit der Schifffahrt vereinbart, ferner die Unterhaltungspflicht der Anlieger für die Wasserstraße [Schluckebier 1965].

Die heutigen Regelungen des Wasserrechts und der Zuständigkeiten sind in den einzelnen Staaten, die am Rheingebiet beteiligt sind, verschieden. In der Schweiz beruhen sie auf der politischen Grundlage, daß sie ein föderalistisches Staatswesen ist. Als Folge davon haben die einzelnen Kantone ihr Wasserrecht weitgehend autonom gestaltet. Die Rechte zur Nutzung des ober- und



unterirdischen Wassers werden von ihnen teilweise den örtlichen Gemeinwesen oder den Privaten eingeräumt. Auf diese Weise wird den unterschiedlichen demographischen und hydrologischen Verhältnissen Rechnung getragen. Der Schweizer Bund hat eine übergeordnete Gesetzgebungskompetenz. Seine Regelungen beschränken sich auf allgemein verbindliche Grundsätze, Verfahrensvorschriften und auf die Oberaufsicht. Zentrale Instanz ist das Bundesamt für Wasserwirtschaft [Götz und Spreafico 1989].

Die wasserrechtlichen Regelungen in *Österreich* sind durch eine Kompetenzteilung zwischen dem Bund und den Bundesländern gekennzeichnet. Der Bund ist für die Gesetzgebung und für übergreifende Maßnahmen zuständig, ferner für Wildbach- und Lawinverbauung. Die übrigen Aufgaben der Wasserwirtschaft werden von den Bundesländern wahrgenommen, wovon im Rheingebiet ausschließlich das Land Vorarlberg zuständig ist [Schreiber 1990].

In *Deutschland* stehen der Ausbau und die Unterhaltung der Bundeswasserstraßen unter der Zuständigkeit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Gesetzliche Grundlage bildet das Bundeswasserstraßengesetz vom 2.4.1969 [Bundesgesetzblatt 1968].

Die Verwaltung der anderen wasserwirtschaftlichen Aufgaben, die Wasserableitungen und -einleitungen, Hochwasserschutz, Entwässerung, Stauanlagen u.a. betreffen, steht unter der Hoheit der Länder. Anteil am Rheingebiet haben die Länder Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Hessen, Saarland, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Thüringen. Gemeinsame gesetzliche Grundlage in der Bundesrepublik Deutschland bildet das Wasserhaushaltsgesetz in der Fassung vom 23.9.1986 [Bundesgesetzblatt 1986]. In seinem Rahmen haben die Bundesländer eigene Landeswassergesetze zur Regelung im einzelnen erlassen

[siehe z.B. bei Vogel u.a.: Handbuch des Umweltschutzes]. Die Länder sind auch für den mit wasserwirtschaftlichen Maßnahmen oft eng verbundenen Natur- und Landschaftsschutz zuständig.

Wasser- und Bodenverbände, Zweckverbände und Gemeinden nehmen teilweise wasserwirtschaftliche Aufgaben in Zusammenarbeit mit den Wasserbehörden wahr. Die Wassernutzung erfolgt weitgehend auf privater, durch Wasserrechte gesicherter Grundlage. Im hydrologischen Meßwesen und in der Hochwasservorhersage arbeiten Dienststellen des Bundes und der Länder zusammen.

Die wasserrechtlichen und -organisatorischen Bestimmungen in *Frankreich* beruhen auf dem Wassergesetz vom 16.12.1964. Für die Wasserwirtschaftspolitik ist das Staatssekretariat für Umwelt beim Premierminister zuständig. Die örtlichen Einzelheiten des Wasserrechts werden von den Präfekten der Departements gestaltet. Unterhalb dieser Instanz behandeln Gemeinden und Gemeindeverbände die örtlichen Bedürfnisse der Wasserversorgung und Entsorgung sowie des Hochwasserschutzes und der Gewässerunterhaltung in eigener Trägerschaft oder unter Hinzuziehung von Privatfirmen. Eine Besonderheit sind die »Agences des Bassins«, die jeweils für eines der sechs großen Einzugsgebiete des Landes zuständig sind. Sie erheben eine Wasserabgabe von den Nutzern und finanzieren daraus und aus öffentlichen Mitteln Wasserversorgungsanlagen und Reinhaltemaßnahmen. Am Rhein und der mit diesem im Mündungsbereich verbundenen Maas ist die Agence du Bassin Rhin – Meuse zuständig [Botschaft der Bundesrepublik Deutschland, Paris 1990].

Die fließenden Oberflächengewässer stehen grundsätzlich im öffentlichen Eigentum. Allerdings sind an ihnen vielfach private Nutzungen durch einzelne Rechtssetzungen zugelassen, die auch mit Unterhaltungspflichten ver-

bunden sein können. Die Unterhaltung der großen Flüsse und der Kanäle obliegt dem Staat oder von ihm beauftragten Trägern.

In den *Niederlanden* untersteht die Wasserwirtschaft dem Ministerium für »Verkeer en Waterstaat«. Es setzt auch die gesetzlichen Regelungen fest. Die Durchführung im Bereich der »Nationalgewässer«, zu denen der Rhein mit seinen Verzweigungen, weitere große Flüsse und Kanäle, Küstengewässer, das IJsselmeer und die Seen im südwestlichen Delta gehören, liegt bei dem öffentlichen Dienst »Rijkswaterstaat«. Die Wasserverbände (*waterschappen*) und die Abwasserklärverbände (*zuivering-schappen*) sind mit örtlichen Aufgaben der Wasserwirtschaft, wie Hochwasserschutz, Unterhaltung der Deiche und Schöpfwerke, sowie auch Abwasserwesen, beauftragt. Die Wasserverbände und die Abwasserklärverbände sind finanziell selbständig, gehören aber zum Amtsbereich der Provinzen. In den Provinzen Groningen, Friesland und Utrecht ist jedoch die Überwachung der Wasserbeschaffenheit eine Aufgabe der Provinzialdienststellen.

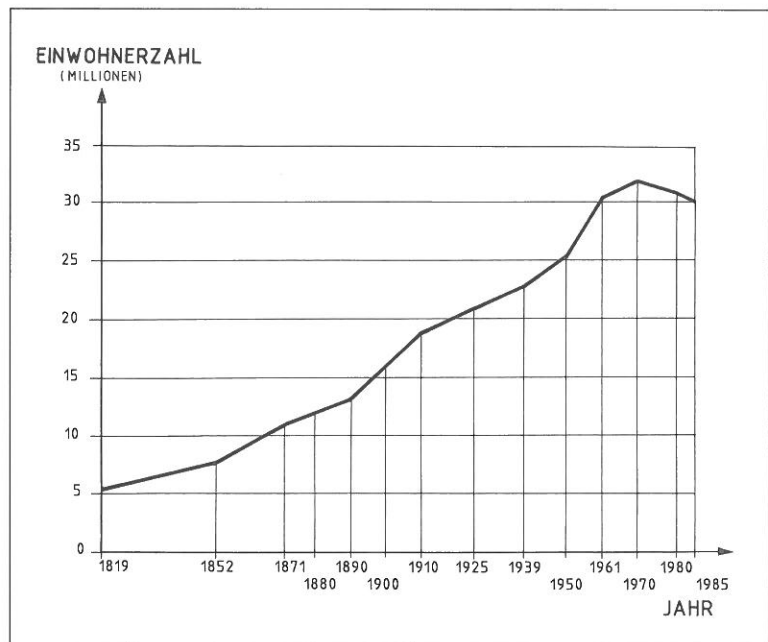
Allgemeine gesetzliche Grundlagen bilden das Wasserwirtschaftsgesetz (*Waterstaatswet*) von 1900 mit der einheitlichen Regelung der verwaltungsmäßigen Zuständigkeiten und das Flußgesetz von 1908, das den Ausbau und die Unterhaltung der bedeutenderen Wasserläufe regelt. Unter eigenen Gesetzesvorschriften sind große Wasserbauten ausgeführt worden, wie der Abschluß der Zuiderzee (Sondergesetz 1918) und von Teilen des Deltagebietes (Sondergesetz 1958) gegen die Nordsee. Am 1. Januar 1992 ist das neue Wasserverbandgesetz (*Waterschapswet*) in Kraft getreten. Dieses Gesetz ersetzt großenteils das Gesetz von 1900, vor allem bezüglich der Wasserverbände.

Im *internationalen Rahmen* bestehen im Rheingebiet Organisationen der Zusammenarbeit. Sie behandeln Fragen der Schifffahrt, des Gewässerausbau,

der Unterhaltung, des Gewässerschutzes und der Hydrologie.

### 3.2 Bevölkerung

Im Altertum und Mittelalter war das Rheingebiet weit weniger besiedelt als heutzutage. Allerdings entstanden schon früh an Rhein, Mosel und im Maingebiet Verdichtungszentren. Sie waren zu einem wesentlichen Teil durch die Schifffahrt auf den größeren Gewässern bedingt. In der Neuzeit verursachte der Dreißigjährige Krieg einen beträchtlichen Rückgang der deutschen Bevölkerung. Sie sank z.B. zwischen Heidelberg und Mainz auf ein Drittel der vorherigen Zahl.



Danach trat eine stetige Zunahme ein, die bis 1800 im deutschen Teil des Rheingebietes auf rund fünf Millionen Einwohner führte. Die weitere Entwicklung ist in Bild 3.2 dargestellt. Es zeigt einen zunehmend steileren Anstieg der Bevölkerungszahl bis Anfang der Sechzigerjahre dieses Jahrhunderts. Danach flachte der Zuwachs rasch ab und ging nach einem Maximum von 32 Millionen um 1970 in einen leichten Rückgang über. Im Ganzen hat sich die Einwohnerzahl in 160 Jahren versechsfacht.

*Bild 3.2*  
Bevölkerungsentwicklung 1819 bis 1985 im deutschen Teil des Rheingebietes

Im gesamten Rheingebiet gab es 1985 rund 50 Millionen Einwohner. Davon entfielen auf

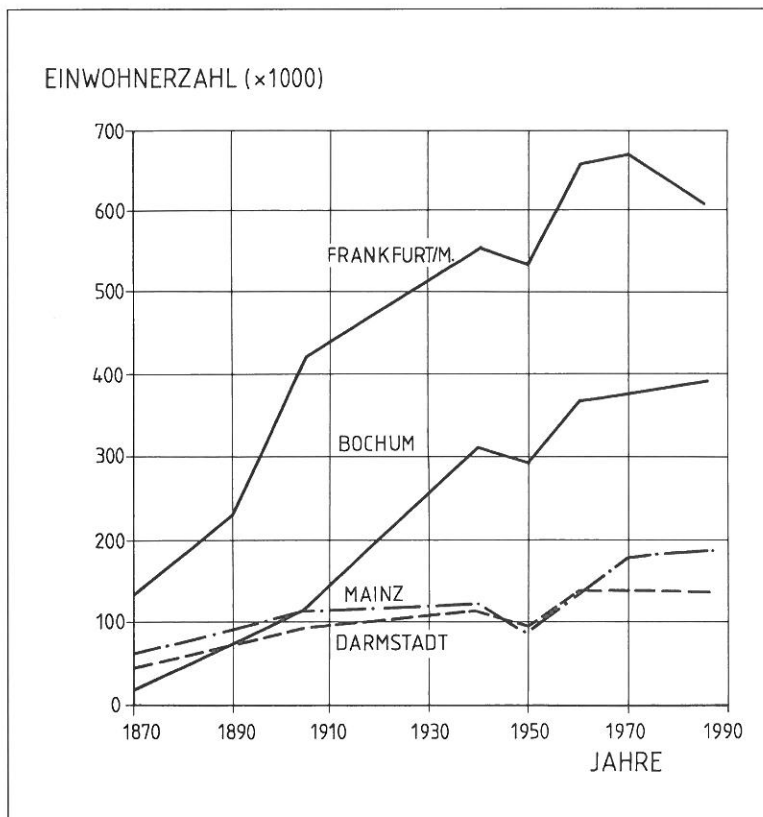
Deutschland	rd. 60%,
Niederlande	rd. 20%,
Schweiz	rd. 10%,
Frankreich	rd. 10% und
die übrigen Länder	unter 1%.

Die Bevölkerungsbewegung in der Neuzeit ist gekennzeichnet durch eine zunehmende Verstädterung. Zunächst wuchsen, abgesehen von neuen Industriestandorten, in erster Linie die bereits vorher bedeutenden Siedlungen. Ab 1910 gewannen auch manche bis da-

hin kleine Städte bedeutend an Umfang. Für vier größere Städte ist das unterschiedliche Wachstum in Bild 3.3 dargestellt.

In einigen Bereichen des Rheingebietes bildeten sich Ballungsregionen aus. Die größten dieser Regionen hoher Bevölkerungsdichte sind in Tabelle 3.1 aufgeführt. Hier konzentriert sich knapp ein Drittel der gesamten Bevölkerung.

Die Ballungszentren liegen am Rhein oder haben Anschluß daran über kanalisierte Flüsse und ausgebaute Wasserstraßen.



### 3.3 Wirtschaftsentwicklung

Bis weit in die Neuzeit hinein war die Wirtschaft des Rheingebietes von der *Land- und Forstwirtschaft* geprägt. Die natürliche Vegetation, der Wald, war seit dem Mittelalter, insbesondere auf den leichter zu bewirtschaftenden Flächen, vielfach gerodet und zurückgedrängt worden. Die Holznutzung hatte sehr große Bedeutung, u.a. in Verbindung mit der Flößerei in das waldarme, aber wirtschaftlich lebhaftes Küstengebiet, wo das Holz für Schiffbau, Hausbau und Heizzwecke benötigt wurde. Im 18. und 19. Jahrhundert kam es, besonders in der Schweiz, zu übermäßigen Rodungen und zu dadurch verursachten Erosions- und Wasserschäden. Sie mußten durch Wiederaufforstung bekämpft werden.

Schon frühzeitig hatte sich der Ackerbau in die Flußniederungen vorgeschoben.

Bild 3.3 Bevölkerungswachstum in größeren Städten seit 1870

Tabelle 3.1 Fläche und Bevölkerung von Ballungsregionen im Rheingebiet [Fuchs, G., 1988, ergänzt]

Region	Fläche (km <sup>2</sup> )	Bevölkerung (Millionen)
Basel/Mühlhausen/Lörrach	1.900	0,91
Mittlerer Neckarraum	3.700	2,35
Rhein-Neckar-Gebiet	3.300	1,74
Mittelfranken	2.900	1,15
Rhein-Main-Gebiet	1.400	1,48
Industriegebiet Rhein-Ruhr	4.400	5,19
Raum Rotterdam	1.000	1,35

ben. Dort begegnete er wiederkehrenden Hochwassern und war durch Ver- nässungen beeinträchtigt, die von Süm- pfen und wechselnden Vorflutbedin- gungen verursacht wurden. Trotz einer noch unvollkommenen Wasserregelung war zu Beginn des 19. Jahrhunderts der weitaus größte Teil des Rheintals land- wirtschaftlich genutzt. Die Möglichkei- ten der Bodennutzung wuchsen mit der Verbesserung des Deichschutzes (Bild 3.4).



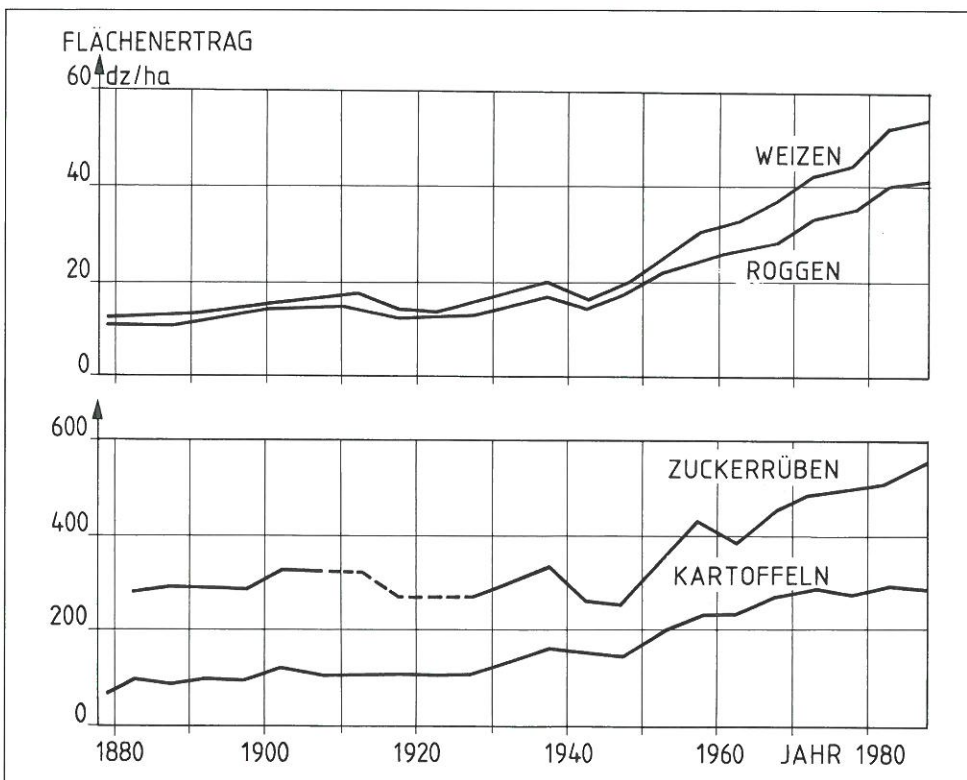
Der Übergang von der Natural- zur Geldwirtschaft und die immer intensi- vere und rationellere Bodennutzung führten in den letzten 100 Jahren zur Vervierfachung der wichtigsten Boden- erträge. In Bild 3.5 ist dies für das im wesentlichen im Rheingebiet liegende Land Baden-Württemberg dargestellt. Bei dem Ertragsanstieg hat die Verbes- erung des Bodenwasserhaushaltes durch Hochwasserschutz und Meliora- tionen eine Rolle gespielt.

breitet. Durch hohe Qualität hat er große Bedeutung erlangt.

*Bild 3.4  
Landwirtschaft und  
Wohnbebauung im  
gemeinsamen Deich-  
schutz (Ginsheim  
oberhalb der Main-  
mündung)*

Vom Bodensee bis Bonn wird im Rhein- bereich seit alters her Weinbau betrie- ben. Er ist auch in klimatisch geeigneten Nebentälern und Randlandschaften ver-

Noch wichtiger als die Land- und Forst- wirtschaft für die Erwerbstätigkeit der sehr beträchtlich gewachsenen Bevölke- rung ist in der Neuzeit die *gewerbliche Wirtschaft* geworden, vornehmlich die Industrie. Sie entwickelte sich unter Be- nutzung örtlicher Bodenschätze an



*Bild 3.5  
Flächenerträge wich-  
tiger landwirtschaftli-  
cher Kulturen in Ba-  
den und Württemberg  
von 1878 bis 1988,  
fünfjährige Mittel*

Kohlen und Eisenerzen insbesondere im Raum Lothringen-Luxemburg-Saargebiet, im Siegerland, im linksrheinischen Braunkohlenrevier und im Ruhrgebiet zum lange Zeit vorherrschenden Wirtschaftszweig. Buntmetalle und andere Bodenschätze wurden an vielen Stellen abgebaut. Für die Standortwahl der Verarbei-

tungsbetriebe spielte die Ausnutzung von Wasserenergie zuerst eine wichtige Rolle, deren Bedeutung erst durch die Verbundversorgung mit Elektrizität zurückging. Die heimischen Rohstoffe der Grundindustrien wurden in wachsendem Maße durch Importe ergänzt und ersetzt, wobei die Wasserwege zum Tragen kamen.

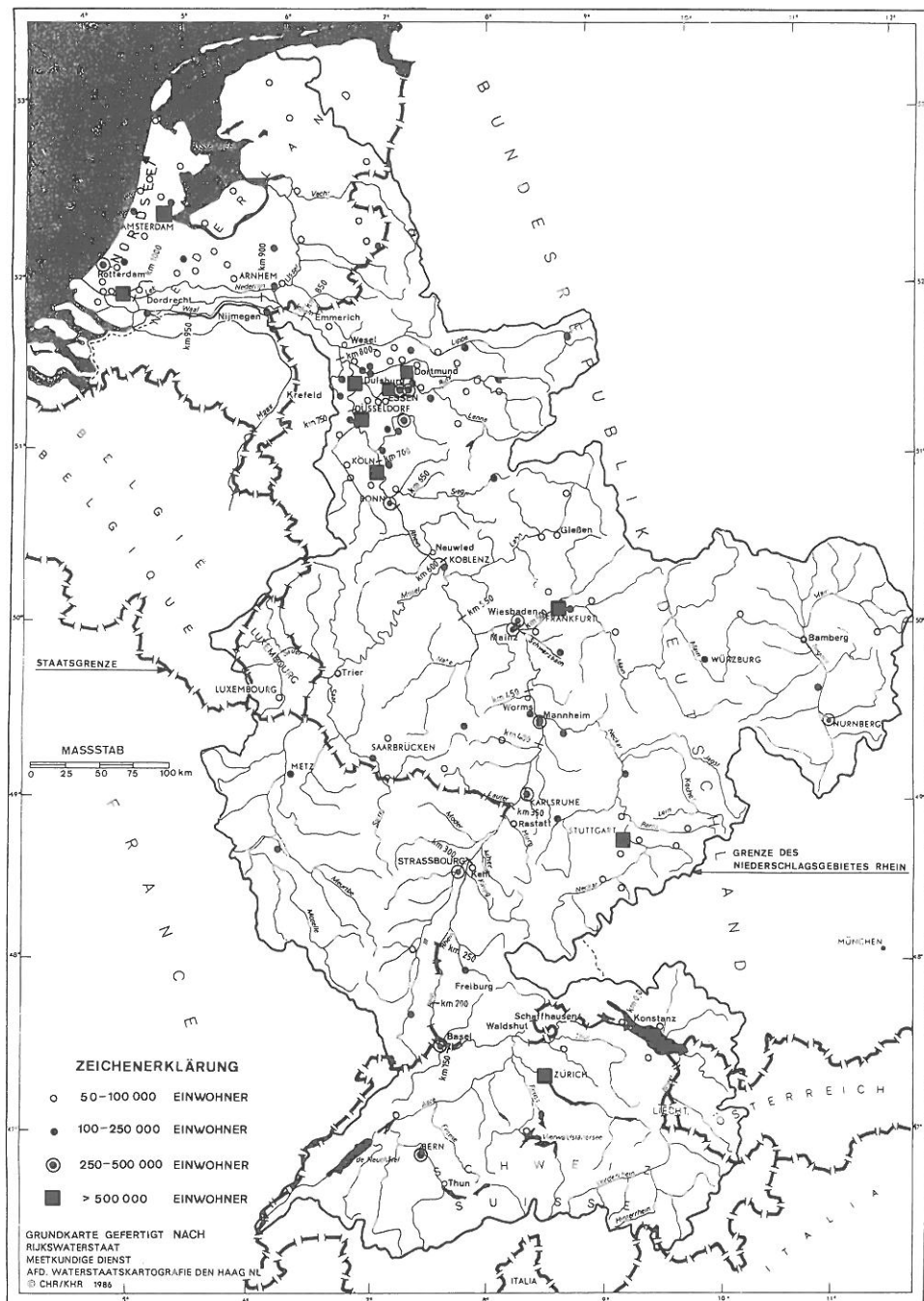


Bild 3.6  
 Übersichtskarte der  
 größeren Städte im  
 Rheingebiet

Im Elsaß, an der oberen Mosel und am Niederrhein ließen die Kali- und Steinsalzvorkommen örtliche Betriebe entstehen. An vielen Orten wurde die Industrie der Steine und Erden tätig, an Vorkommen von Kalk, Bausteinen, Kies und Sand gebunden. Im Neuwieder Becken nahmen Gewinnung und Verarbeitung von Bims und Schaumlava, die schon in der Römerzeit begonnen hatten, eine beherrschende Stellung ein und führten zu Veränderungen der Landschaft.

Die seit der Mitte des 19. Jahrhunderts entstandene chemische Industrie schuf ihre größten europäischen Werksgruppen bei Basel, bei Ludwigshafen, am Untermain, am Niederrhein und im Mündungsbereich des Rheins. Verarbeitungsindustrien, wie Glasfabriken, Papier- und Zellstoffwerke, Textilfabriken, Zuckerfabriken und Brauereien, siedelten sich an bzw. gingen aus älteren Manufakturen hervor. Metallverarbeitung und Maschinenbau nahmen eine stürmische Entwicklung. Sie gewannen

in den letzten hundert Jahren Weltbedeutung, so an Standorten in der Schweiz, an Oberrhein, Neckar, Regnitz, Untermain, Oberrhein, am Niederrhein und seinen Nebenflüssen, vor allem im Ruhrgebiet, und in den Niederlanden. Hier entstand eine bedeutende Elektroindustrie, wie auch in anderen Teilen des Rheingebietes. Die Industriewerke konzentrieren sich im Bereich der großen Städte. In Bild 3.6 ist eine Übersichtskarte der Städte über 50.000 Einwohner enthalten. Bild 3.7 zeigt eine Industrielandschaft am Niederrhein.

Um den sprunghaft wachsenden Energiebedarf zu decken, wurden zahlreiche große Wärmekraftwerke gebaut, des Kühlwasserbedarfes wegen fast ausschließlich am Rhein und seinen großen Nebenflüssen. Sie verwenden größtenteils im Rheingebiet gewonnene Stein- und Braunkohle. Die Ausnutzung der Wasserenergie im Rhein durch große Anlagen setzte im vergangenen Jahrhundert ein. Sie erstreckt sich heute über den Hochrhein und über den Oberrhein



*Bild 3.7  
Industrielandschaft  
am Niederrhein (Far-  
benfabriken Bayer  
AG, Werk Uerdingen)*

bis Rastatt. In neuester Zeit sind eine Anzahl von Kernkraftwerken im Rheingebiet gebaut worden.

Mit der Intensivierung der Wirtschaft ging der *Ausbau des Verkehrs* einher. Das überkommene Wegenetz wurde immer mehr verbessert und erweitert. Seit den Dreißigerjahren dieses Jahrhunderts wurde es durch die Autobahnen ergänzt. Sie durchziehen das Rheingebiet und begleiten den Fluß vom Hochrhein ab. Die Eisenbahnen, die die Länder engmaschig erschlossen haben, bilden ebenfalls wichtige Verkehrswege beiderseits des Rheins. Der Rhein selbst wurde vom Hochrhein bei Rheinfelden bis zur Nordsee als Großwasserstraße ausgebaut. Er weist den größten Schiffsverkehr aller europäischen Wasserstraßen auf. Verbunden mit kanalisiertem Nebenflüssen und Kanälen ist er zur Hauptschiene eines Verkehrsverbundes geworden.

Die Ausdehnung der Verkehrsanlagen, wie auch der Siedlungen und Industrieanlagen, ist im wesentlichen auf Flächen erfolgt, die vorher in land- und forstwirtschaftlicher Nutzung gestanden hatten. Dadurch ist deren Anteil in den letzten 100 Jahren erheblich zurückgegangen, während die Siedlungs- und Wirtschaftsflächen entsprechend umfangreicher geworden sind. Für die im Oberrheingebiet gelegenen Siedlungsflächen wird von 1950 bis 1985 eine Zunahme von 6,7 auf 12,9% der Gesamtfläche angegeben [Koehler 1990]. Die veränderte Flächennutzung hat örtlich zu rascherem Abfluß der Niederschläge und zu höheren Spitzenabflüssen geführt. Im Rhein kann sich dies bei kleinen und mittleren Hochwassern bemerkbar machen.

### 3.4 Nutzungsansprüche an Wasser und Gewässer

Die Nutzungsansprüche des Menschen an das Wasser im Rheingebiet sind mit zunehmender Besiedlung allmählich gewachsen. Im Industriezeitalter haben sie

sich vervielfacht und sind in Interessenkollisionen geraten. Daher ist eine planvolle und umfassende Wasserwirtschaft erforderlich geworden. Zugleich sind auch die technischen Möglichkeiten und die finanziellen Mittel der Staaten im Rheingebiet gewaltig angewachsen, so daß sie den auftretenden Problemen begegnen können [Calvis 1981].

Die *Schifffahrt* bietet hierfür ein deutliches Beispiel. Seit Jahrtausenden findet sie auf dem Rhein und seinen Nebenflüssen statt. Wegen des einstmalig sehr mühsamen und wenig leistungsfähigen Straßenverkehrs hatte sie ursprünglich eine überragende Bedeutung als Träger des Fernverkehrs. Sie spielt auch heute noch eine wichtige Rolle. Die reiche und ausgeglichene Wasserführung des Rheines ist für die Schifffahrt vorteilhaft. Andererseits hat der Fluß im Naturzustand beträchtliche Hindernisse enthalten. Die Anforderungen an ihre Beseitigung sind immer weiter angewachsen, weil Frachtaufkommen und Schiffsgefäße größer wurden. Auch nachdem die hindernisfreie Großschifffahrt von der Nordsee bis über Basel hinaus erreicht worden ist, bleiben Überwachung und Erhaltung des Fahrwassers als dauernde Aufgaben bestehen. Für den Transport von Massengütern ist die Schifffahrt unentbehrlich, obwohl Eisenbahnen und Straßen zu hoher Leistungsfähigkeit ausgebaut worden sind.

Wie das Wachstum von Bevölkerung und Wirtschaft die Ansprüche an die Rheinschifffahrt erhöhte, so wirkte es sich auf die unmittelbare Verwendung des Wassers aus. Dies trifft für die *Trinkwasserversorgung* zu. Ihr Wasserbedarf konnte seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts nicht mehr allein aus Hausbrunnen und offenen Gewässern gedeckt werden. Hygienische Forderungen setzten sich in der Praxis durch, nachdem der Zusammenhang zwischen verschmutztem Wasser und Krankheiten durch Forschungen erwiesen worden war [Max von Pettenkofer, Robert Koch u.a.]. Danach konnten die »Wasserkrankheiten«, wie Typhus, Cholera

und Enteritis, zurückgedrängt und schließlich beseitigt werden.

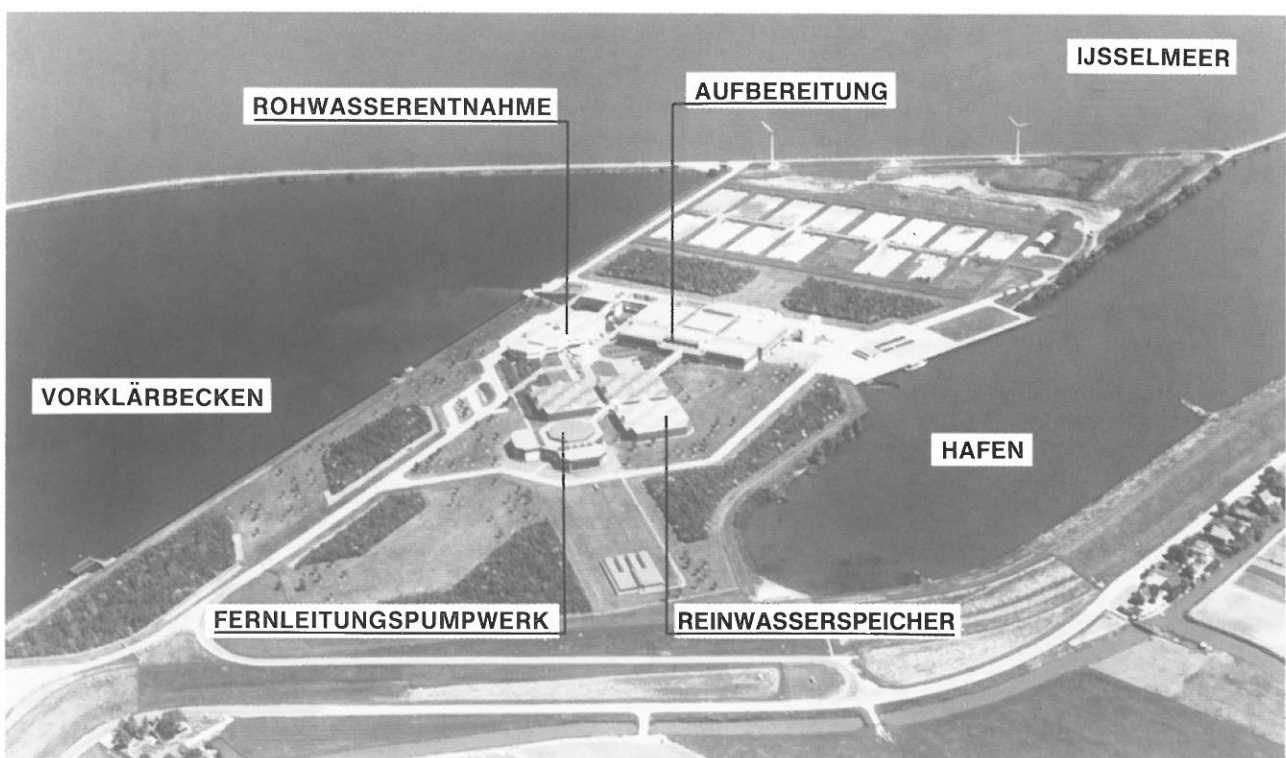
Die wachsenden Bedarfsmengen an hygienisch einwandfreiem Wasser mußten zunehmend durch zentrale Versorgungsanlagen gedeckt werden. Erste große Anlagen entstanden nach der Mitte des 19. Jahrhunderts (Metz 1854, Stuttgart 1861, Essen und Basel 1865). Um 1880 waren bereits fünf Millionen Einwohner an zentrale Wasserversorgungen angeschlossen. Heute ist die Forderung nach zentraler Trinkwasserversorgung praktisch für das gesamte Rheingebiet erfüllt. Der Trinkwasserbedarf ist seit 1900 von etwa 0,6 auf heute rund 3,5 Milliarden Kubikmeter im Jahr gestiegen.

Von der Nutzung des Oberflächenwassers ging man in der Trinkwasserversorgung nach Möglichkeit auf Grundwasserentnahmen über; denn dabei ist das Rohwasser durch den Schutz des Erdbodens und die darin erfolgende natürliche Reinigung in seiner Beschaffenheit wesentlich gleichmäßiger und gegen Verunreinigungen besser geschützt als in offenen Gewässern. Auf Uferfiltrat

aus Flüssen, auf künstlich angereichertes Grundwasser und auf unmittelbar aus Gewässern entnommenes Rohwasser konnte bei der Trinkwasserversorgung aber keineswegs vollständig verzichtet werden. Allein aus dem Grundwasser wäre der wachsende Bedarf nicht zu decken. Daher müssen schon mit Rücksicht auf die Trinkwasserversorgung hohe Anforderungen an die Reinhaltung der Gewässer gestellt werden. Das gilt für die Nebengewässer und für den Rhein selbst bis in sein Mündungsgebiet. Gerade dort wird eine große Zahl der Umwohner mit Trinkwasser aus mehrschrittig aufbereitetem Rheinwasser versorgt (Bild 3.8).

Gegenüber dem Trinkwasserbedarf der Bevölkerung ist der *Brauchwasserbedarf* von Gewerbe und Industrie mengenmäßig bedeutend größer. In der Hauptsache läßt er sich mit Rohwasser geringerer Güte decken bzw. bei hohen Reinheitsansprüchen durch dessen Aufbereitung gewinnen. Das Brauchwasser wird zum größten Teil aus der fließenden Welle der Flüsse entnommen, mit ansehnlichen Beträgen auch aus Uferfiltrat entlang der Gewässer. Daher stellen die

*Bild 3.8*  
Neuzeitliche Trinkwassergewinnungsanlage in den Niederlanden (Werk »Prinses Juliana« bei Enkhuizen mit 110 Mio. m<sup>3</sup> Jahreskapazität am westlichen IJsselmeer, dessen Süßwasser hauptsächlich aus dem Rhein stammt)





die Brauchwassernutzer erhebliche Ansprüche an die Reinhaltung der Gewässer, um ihre Versorgungsanlagen sicher und wirtschaftlich betreiben zu können. Die Wasserwirtschaftspolitik geht dahin, eine Brauchwassernutzung des für die Trinkwasserversorgung unentbehrlichen Grundwassers möglichst einzuschränken.

Der Brauchwasserbedarf ist seit dem Ende des 19. Jahrhunderts sprunghaft gestiegen, im gesamten Rheingebiet von schätzungsweise weniger als 2 auf gegenwärtig reichlich 20 Milliarden Kubikmeter im Jahr. Er verteilt sich auf eine große Zahl von Standorten, wobei die Industrien mit dem größten Wasserbedarf sich vorzugsweise am Rhein selbst angesiedelt haben. Ihre Entnahmen erreichen in zahlreichen Fällen mehrere Kubikmeter in der Sekunde. Besonders groß ist der Kühlwasserbedarf der Kernkraftwerke (Bild 3.9).

Nach ihrer Verwendung gelangen die Entnahmemengen an Trink- und Brauchwasser nicht vollständig als Abwasser in die Wasserläufe. Vielmehr geht ein Teil davon durch Verdunstung in die Atmosphäre über und wird dem Abfluß des betreffenden Flußgebietes damit entzogen. Dies gilt auch bei Kühlanlagen. Bei konventionellen Wärmekraftwerken, die ohne Kühltürme im Frischwasserdurchlauf gekühlt werden, verdunsten aus den dadurch aufgewärmten Gewässern zusätzlich etwa  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$  je 1.000 MW Nettoleistung, bei Kernkraftwerken unter den gleichen Bedingungen etwa  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Beim Einsatz von Kühltürmen zur Begrenzung der Gewässererwärmung werden die Verdunstungsverluste beträchtlich höher. Sie können sich bei Niedrigwasser nachteilig bemerkbar machen; denn im Rheingebiet sind Kraftwerksleistungen von insgesamt rund 23.000 MW installiert.

Praktisch die gesamten entnommenen Wassermengen gehen bei der *Bewässerung* in Verdunstung über und sind als örtliche Abflußverluste zu buchen. Die

Bewässerung hat in den wärmeren und niederschlagsärmeren Teilen des Rheingebietes, besonders auf grundwasserfernen Flächen des Oberrheintales, bereits im Mittelalter Bedeutung gehabt. In den letzten Jahrzehnten ist sie fast vollständig auf Beregnung umgestellt worden (Bild 3.10). Die früher verbreiteten Graben- und Hangrieselverfahren, insbesondere auf Grünland, sind weitgehend eingestellt. Heute ist die Feldberegnung zur Vergrößerung und Sicherung der Ernten an Hackfrüchten, Gemüse, Futterpflanzen und anderen Kulturen am Oberrhein, im Maingebiet und am Niederrhein weit verbreitet. Sie umfaßt gegenwärtig etwa 50.000 ha Flächen, für die Beregnungsanlagen verfügbar sind. Bei verbreitet auftretender sommerlicher Trockenheit kann es insgesamt zu Bewässerungsentnahmen bis  $25 \text{ Mio m}^3$  im Monat kommen, entsprechend rund  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sie erfolgen großenteils aus dem örtlichen Grundwasser, wodurch eine Konkurrenz zur Trinkwasserversorgung entsteht. Um Nachteile hierdurch auszuschließen, werden größere Bewässerungsentnahmen möglichst auf Oberflächenwasser verwiesen. Die umfangreichste Einzelanlage mit  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  Spitzenentnahme aus dem Rhein befindet sich in der Vorderpfalz (Bild 3.11).

Nicht nur durch zeitweiligen Wassermangel entstehen landwirtschaftliche Anforderungen an die Wasserwirtschaft, sondern sie rühren an vielen Stellen des Rheingebietes auch von örtlichem Übermaß an Wasser her. In den Tälern des Rheins und seiner Nebenflüsse gab es ursprünglich umfangreiche Naß- und Sumpfgebiete, in denen die Landwirtschaft, aber auch Siedlungen und Verkehr, mit Vernässungsproblemen zu kämpfen hatten. Auf diesen Flächen ist im Laufe der Zeit zumeist eine *Entwässerung* erfolgt, teilweise in mehreren Schritten, entsprechend steigenden oder veränderten Anforderungen. Heute bestehen nur noch geringe Reste der früheren Naßflächen, meistens als Naturschutzgebiete ausgewiesen.



*Bild 3.9  
Kernkraftwerk Müll-  
heim-Kärlich bei  
Koblenz*



*Bild 3.10  
Feldberegnung zur  
Bewässerung von  
Kulturpflanzen*

Bild 3.11  
 Beregnungspumpwerk am Otterstädter Altrhein südlich Ludwigshafen.  
 Rechts Wasserschloß und Pumpwerk, unten Einlauf.



Voraussetzung für die Flächenentwässerung war vielfach ein *Schutz gegen Hochwasser* der Gewässer. Entsprechende Forderungen sind von alters her erhoben worden. In der Neuzeit sind die Bedürfnisse nach Hochwasserschutz beträchtlich gewachsen, nachdem in den natürlichen Überschwemmungsgebieten eine immer intensivere Flächennutzung um sich gegriffen hatte. Große Teile der Flußtäler müssen heute durch Deiche und Schöpfwerke gegen Überschwemmungen geschützt werden. Dies gilt umso mehr, als durch menschliche Eingriffe und durch Umgestaltung von Landschaftsteilen die Hochwasser zum Teil verschärft worden sind, was in besonderem Maße für den Oberrheinausbau nach 1955 zutrifft. Die sonstigen Veränderungen durch Landschaftversiegelung u.a. haben in kleineren Gewässern die Hochwasserspitzen z.T. erheblich erhöht, nicht dagegen im Rhein [Koehler 1990].

Beim neuen Ausbau des Oberrheins stand das Interesse Frankreichs an der *Wasserkraftnutzung* im Vordergrund. Bild 3.12 zeigt das unterste der insgesamt gebauten 10 Kraftwerke, das in der Nähe von Rastatt liegt. Allgemein war die Energienutzung der Flüsse und Bäche bereits in der vorindustriellen Zeit an zehntausenden von Stellen des Rheingebietes für Getreidemühlen, Sägewerke, Papiermühlen, Metallbearbeitungsstätten u.a. eingerichtet worden.

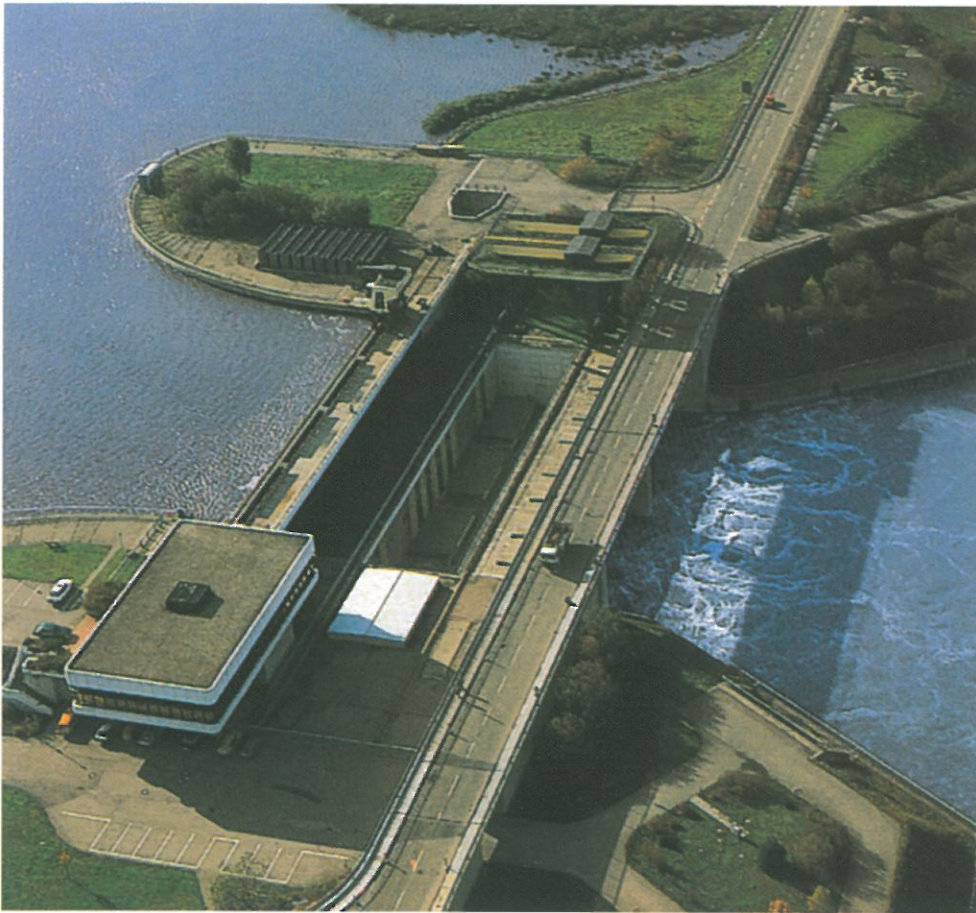


Bild 3.12  
Wasserkraftanlage  
Iffezheim am Ober-  
rhein

Sie deckten örtliche Bedürfnisse. Die technische und wirtschaftliche Entwicklung erlaubte es seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts, auch in großen Flüssen Wasserkraftswerke zu bauen. Die Verbindung mit der Elektrizitätsversorgung gab später hierzu die entscheidenden Impulse. Die Zahl der kleinen Wasserkraftanlagen ist indessen seit den Fünfzigerjahren dieses Jahrhunderts aus Rentabilitätsgründen entscheidend zurückgegangen. Erst in jüngster Zeit macht sich wieder eine Belebung bemerkbar. Sie ist von Überlegungen zum Umweltschutz beeinflusst.

Auf die Umwelt haben die menschlichen Nutzungsansprüche an das Wasser im Rheingebiet große Auswirkungen gezeigt. Der Naturcharakter ist durch Anpassung der Flüsse und der gewässernahen Landstriche an Bedürfnisse von Bevölkerung und Wirtschaft wesentlich verändert worden. Das einst massenhafte Vorkommen von wertvollen Spei-

sefischen ist geschwunden. Der natürliche Reichtum an Tieren, Pflanzen und Landschaftsreizen ist beträchtlich zurückgegangen.

Jedoch beginnt sich das Bestreben durchzusetzen, diese bedauerliche Entwicklung wieder umzukehren. Dazu werden *Natur- und Landschaftsschutzmaßnahmen* als Bestandteile bei weiteren wasserbaulichen Maßnahmen gefordert und verwirklicht. Auch werden die Rückgewinnung von wirtschaftlich genutzten Landschaftsteilen für die Natur, die Anpassung von Gewässern an die Ökologie und an die Sicherung einer guten Wasserbeschaffenheit nachhaltig betrieben.

Die Rheinlandschaften haben auch im derzeitigen Zustand durchaus eine hohe Bedeutung für Naturgenuß, Erholung und Wassersport (Bild 3.13). Ihre Werte sollen bewahrt und wieder gesteigert werden. Der Rhein, in Dichtung und

Lied, im persönlichen Erleben, eine Herzensangelegenheit seiner Umwohner und Besucher, soll seinen einzigarti-

gen Naturcharakter in vermehrtem Umfang wiedergewinnen und für die Zukunft bewahren.



*Bild 3.13  
Sportboote auf  
einem Baggersee  
am Niederrhein*

## 4. Menschliche Einwirkungen vor dem 19. Jahrhundert

### 4.1 Übersicht

Deutlich erkennbare menschliche Einflüsse auf die Natur des Rheines begannen mit dem Vordringen der Römer in sein Flußgebiet kurz vor der Zeitenwende. Zunächst hingen sie hauptsächlich mit der Schifffahrt zusammen; denn in dieser Epoche spielten die Gewässer eine überragende Rolle als Verkehrswege. Als bald bauten die Römer Schiffsbrücken, feste Brücken, Hochwasserschutzanlagen und, im Küstengebiet, kleine Kanäle. Der amphibische, durch wechselnde Wassereinflüsse geprägte Charakter der Tallandschaften blieb indessen von Menschenhand noch weitgehend unverändert.

Während der Völkerwanderung gingen die römischen Anlagen zumeist zugrunde. Sie wurden erst zur Zeit des Frankenreiches unter Karl dem Großen um 800 teilweise erneuert und fortgesetzt. Nach der Karolingerzeit drangen die Wikinger mit ihren Schiffen bis zum Oberrhein und in der Mosel bis Trier vor. Sie beschränkten sich auf Beutezüge, schufen keine anhaltenden Herrschaften und wasserbauliche Anlagen.

Bis ins 14. Jahrhundert folgte eine Periode mit ausgedehnten Waldrodungen und Ausdehnung der landwirtschaftlich genutzten Flächen. Anteil daran hatten die Zisterziensermönche, die in Rheinnähe von den Alpen bis ins Tiefland eine Kette von Klöstern schufen. Dies wirft auf den damaligen Zustand der Länder ein bezeichnendes Licht; denn die Zisterzienser gründeten gemäß ihren Ordensregeln neue Klöster nur in Wildnissen. Vom Mittelalter bis ins 18. Jahrhundert wuchsen die Bevölkerungszahlen und die Eingriffe in die Natur langsam an, wenn sie auch Rückschläge durch Seuchen und Kriege erlitten.

Die historischen Klima- und Abflußverhältnisse unterlagen bedeutenden Schwankungen. So setzte bald nach

1300 eine Wärmeperiode ein, die bis etwa 1500 anhielt. Sie führte zu häufiger Sommertrockenheit mit geringen Abflüssen. Danach trat vom 17. bis ins 19. Jahrhundert eine Kaltzeit ein. Sie brachte ein Vorrücken der Gletscher, häufigere Eisbildung auf den Flüssen und vermehrte Hochwasser mit sich [Liebscher et al. 1988].

Seit dem frühen Mittelalter sind Bauarbeiten für Entwässerung, Hochwasserschutz und Bewässerung verbreitet nachweisbar. Extreme Hochwasser, wie sie in fast jedem Jahrhundert auftraten, gaben Anlaß zur Eindeichung tief gelegener Siedlungen und zu Versuchen, die Rheinufer an Baugebieten, wichtigen Verkehrswegen und Fährstellen durch Baumaßnahmen festzulegen. Diesen Arbeiten kamen seit dem 18. Jahrhundert rasche Fortschritte in der Praxis des Flußbaus mit Faschinen und Steinen sowie theoretische Erkenntnisse in Hydrologie und Hydrologie zugute.

Die Schifffahrttreibenden strebten nach einer Beseitigung von Schifffahrtshindernissen und nach der Anlage von Treidelwegen für die Bergfahrt. Über längere Zeiträume erzielten sie dabei aber nur geringe Erfolge. Als verbreitete Kunstbauwerke entstanden dagegen Schiffsmühlen auf dem Rhein und Zehntausende von festen Wassermühlen an den Nebengewässern.

Bereits vor dem 19. Jahrhundert kam es zu einzelnen, auch umfangreichen Flußausbauten, Deichanlagen und Binnenentwässerungen, ferner zu Bewässerungsanlagen unter Benutzung von Nebenflüssen des Rheins. Sie dienten ausschließlich örtlichen Bedürfnissen. Ihre Ausführung erfolgte uneinheitlich und ohne regionale Abstimmung. Von einem durchgreifenden Gewässerausbau oder gar von einer Wasserbewirtschaftung im heutigen Sinne konnte keine Rede sein. Historische Bedingungen und Maßnahmen an den einzelnen

Abschnitten des Rheins werden nachstehend behandelt.

### 4.2 Alpenrhein, Bodensee und Hoahrhein

Im Tal des Alpenrheines war schon im 11. Jahrhundert von »Rheinnot« und »Rüfinot« als Folge von Hochwassern und Flußverlagerungen die Rede. Die ersten Gegenmaßnahmen bestanden darin, gefährdete Stellen am mäandrierenden Flußlauf durch schief zur Strömungsrichtung gebaute »Wuhre« aus Steinen und Flechtwerk zu schützen. Durch die Ablenkung griff der Fluß aber häufig das Gegenufer an. Mit der Zeit wurden höhere Einbauten vorgenommen. Sie wurden nicht durchgehend angeordnet, sondern möglichst nur an Stellen gebaut, wo der Aufwand gering war. Auch ihre Wirkung auf die Festlegung des Flußbettes war ungenügend. Weiterhin traten unregelmäßige Geschiebeablagerungen ein. Die Ver-

hältnisse verschlimmerten sich deutlich, als im 18. Jahrhundert, infolge großer Abholzungen der Wälder, die Seitengewässer gewaltige zusätzliche Schuttmassen ins Rheintal eintrugen.

In der Zeit zwischen 1739 und 1799 brach der Alpenrhein nicht weniger als 29 mal aus seinem Flußbett aus und verlagerte sich (Tabelle 4.1). Angesichts dieser Tatsache ist es nicht verwunderlich, daß zwischen der Landquartmündung und dem Bodensee auf einer Strecke von 67 km keine einzige Brücke gebaut werden konnte. Katastrophale Hochwasserverhältnisse wurden durch das geringe Gefälle des Rheins auf dieser Strecke hervorgerufen, da die Schleppspannung des Wassers herabgesetzt war und das von oben kommende Geschiebe weitgehend abgelagert wurde. Hierdurch kam es zu häufigen Bettveränderungen [Lichtenhahn 1972].

Schon bei Wildbächen, mehr noch bei Flüssen zeigte sich, daß der erstrebte

Jahrhundert	links nach Ing. WEY	rechts nach Ing. KRAPF
13.		1206, 1276
14.	1343, 1374	1343, 1374
15.		1480
16.	1511, 1516	1511, 1537, 1548, 1566, 1571, 1585
17.	1618, 1627, 1640, 1670	1609, 1618, 1627, 1640, 1670
18.	1740, 1750, 1756, 1758, 1762, 1763, 1764, 1765, 1767, 1768, 1769, 1770, 1772, 1784, 1785, 1793, 1799	1739, 1740, 1743, 1756, 1758, 1762, 1769, 1770, 1775, 1785, 1787, 1789
19.	1817, 1834, 1868, 1871, 1890	1817, 1821, 1829, 1834, 1839, 1846, 1848, 1849, 1853, 1855, 1868, 1871, 1872, 1885, 1888, 1890

Tabelle 4.1  
Rheinausbrüche vom 13. bis 19. Jahrhundert [Meyer-Peter und Lichtenhahn 1963]



Bild 4.1  
Arbeiten am Kanderdurchstich

Schutz mit eng begrenzten Maßnahmen nicht gewährleistet werden konnte. Eine entscheidende Verbesserung bahnte sich erst vor rund 200 Jahren an. Sie verwirklichte die gewonnene Erkenntnis, daß die großen Breiten der Flußgerinne in den flachen Alluvionsebenen wesentliche Ursachen der häufigen Ausbrüche waren und daß ein dauerhafter Hochwasserschutz nur

durch Festlegung und Streckung langer Flußabschnitte zu erreichen war.

Die später in großem Umfang vorgenommenen flußbaulichen Arbeiten zur Ablagerung der Geschiebe in Seen und, in Verbindung damit, zur Speicherung des Hochwassers, begannen 1713 mit der Umleitung der Kander, eines Nebenflusses der Aare, in den Thunersee mittels eines Stollens (Bild 4.1). Nachdem der Stollen getrieben war und die Erweiterung des Profils noch mehrere Monate in Anspruch genommen hatte, konnte am 12. November 1713 zum ersten Male ein kleiner Teil des Kanderwassers durchgelassen werden. Nach und nach wurde der Durchfluß erhöht. Durch rückschreitende Erosion vom steilen Auslaßgerinne des Stollens her erweiterte sich dieser rasch, so daß nach kurzer Zeit die mit der Simme vereinigte Kander vollständig hindurchfloß.

Allerdings zeigte sich bald, daß der Stollen nicht standfest war. Nach und nach trafen Berichte ein, daß man ununterbrochen das Einstürzen von Erdmassen höre, daß es erschalle wie Kanonendonner. Über dem Stollen bildeten sich Erdsenkungen. Vor den Augen einer Besuchergruppe wurden zwei Männer in die Tiefe gerissen und verschüttet. Am Nachmittag des 18. August 1714 brach der Boden über dem Stollen vollständig ein. Statt unterirdisch strömte nun die Kander in einer Schlucht gegen den See hinaus. Ihr Geschiebe, etwa 120.000 bis 150.000 m<sup>3</sup> jährlich, lagerte sich im See ab, der am Ufer etwa 20 m tief gewesen sein soll. Schon nach zwei Jahren hatte sich ein Delta von reichlich einem halben Quadratkilometer Größe gebildet. An der Stelle, wo die Kander aus ihrem natürlichen Bett abgeleitet wurde, vertiefte sich ihre Sohle alsbald um 25 m und sank dann noch weiter ab.

Als Folge der Kanderumleitung ergab sich, daß das vorher vernäßte Gebiet entlang des alten Kanderlaufes unterhalb nun zu trocken wurde, während im Thunersee die Hochwasser häufiger als früher auftraten. In den Jahren 1714,

1715, 1718, 1720 und 1721 stand Thun während mehrerer Tage unter Wasser.

Um dem Wassermangel im Bereich der ehemaligen Kander abzuhelpen und dessen bedürftige Gemeinden mit Wasser zu versorgen, wurde schon bald der Glütschbach in das alte Kanderbett geleitet. Viel schwieriger war es, eine Verbesserung der Verhältnisse am See zu erreichen. Nach vielen Untersuchungen und mühsamen Verhandlungen wurde 1716 von der beteiligten Stadt Bern und den unmittelbar betroffenen Gemeinden beschlossen, den eingetretenen Mißständen dadurch abzuhelpen, daß man der Aare einen besseren Abfluß aus dem Thunersee verschaffte. Zur Zeit der Kanderumleitung bestand die Aare in Thun aus der heutigen Inneren Aare und einem südlich davon abzweigenden und flußabwärts wieder einmündenden Stadtgraben (Bild 4.2). Beide Gerinne besaßen an ihrem oberen Ende Stauschwellen, die einigen Mühlen dienten und einen Mindestwasserstand für die Schifffahrt gewährleisteten.

Das Abführungsvermögen war bei Hochwasser viel zu gering. Als man in-

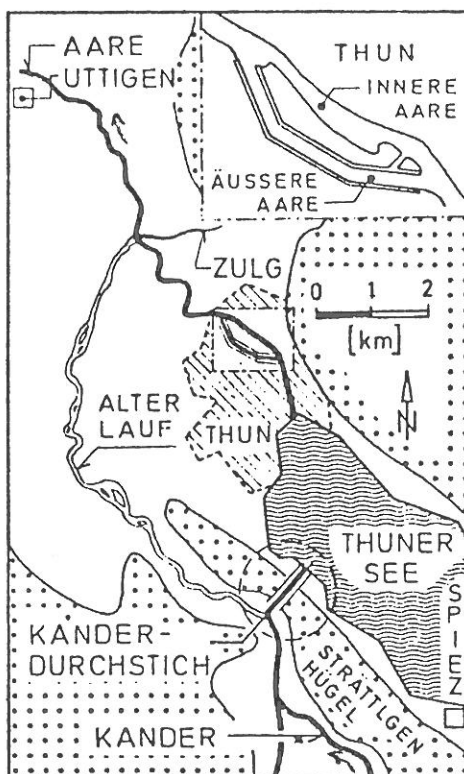


Bild 4.2  
Wasserwirtschaftliche Situation bei Thun



dessen die Schwellen beseitigte, kam es zu einer Ufererosion, so daß weitere Maßnahmen durchgeführt werden mußten. So wurde der Stadtgraben vertieft und zu einem Hochwasser-Entlastungsgerinne als Äußere Aare ausgebaut. Von Thun bis Uttigen wurden Aarestrecken begradigt, die beseitigten Schwellen durch Regulierwehre ersetzt. In der Äußeren Aare wurde die rund 60 Meter lange Schwelle mit 10 Tafelschützen von 4,7 bis 5,7 Meter Breite ausgerüstet, wovon zwei der Schifffahrt dienten. Ungefähr zur gleichen Zeit wurde auch die Schwelle der Inneren Aare mit Tafelschützen ausgestattet. Bei der Erneuerung der Schleusen (Innere Aare 1788, Äußere Aare 1818) lagen auch Pläne für die Äußere Aare von den herausragenden Ingenieuren *Hans Conrad Escher* und *Johann Gottfried Tulla* (siehe unten) vor. Den Abschluß des mit der Kanderkorrektion begonnenen Werkes brachte allerdings erst die Juragewässerkorrektion in der zweiten Hälfte des Neunzehnten Jahrhunderts.

**Bild 4.3**  
Oberrheinlandschaft  
um 1810: Blick vom  
Isteiner Klotz rhein-  
aufwärts Richtung  
Basel



### 4.3 Oberrhein bis zum Neckar

Der Oberrhein war vor der Durchführung umfangreicher wasserbaulicher Maßnahmen, mit denen im Jahre 1817 begonnen wurde, ein Wildfluß. Während der Strom oberhalb der Mündung der Ill in zahlreiche Arme aufgespalten war, die immer wieder ihren Lauf veränderten (Bild 4.3), floß er unterhalb in einem geschlossenen Profil und durchzog in weit ausholenden Mäanderschleifen die Rheinniederung. Auch diese veränderten immer wieder ihre Lage.

Der Wildstromcharakter hatte für die Anlieger zur Folge, daß häufig verheerende Hochwasserkatastrophen auftraten und daß mangelnde Vorflut, Vernässungen und Sümpfe mit ihren nachteiligen Wirkungen für die Bewohner zu verzeichnen waren [u.a. Vieser 1985a]. *Max Honsell*, der Leiter des 1883 gegründeten »Centralbureaus für Meteorologie und Hydrographie des Großherzogtums Baden«, hat über die Hochwas-

serschäden am Oberrhein geschrieben: »Es waren Katastrophen, für die dem heutigen am Oberrhein lebenden Geschlecht geradezu die Vorstellung fehlt.« Er nannte u.a. folgende Auswirkungen von Hochwassern:

- Breisach lag zur Römerzeit linksrheinisch, im 10. Jahrhundert war es beidseitig umflossen, im 13. Jahrhundert lag es wieder linksrheinisch und seit dem 14. Jahrhundert rechtsrheinisch.
- Im August 1302 war die gesamte Rheinebene am Kaiserstuhl unter Wasser. Man konnte wie auf einem See bis Freiburg fahren.
- 1570 bestand ein See von Freiburg bis Offenburg. Viele Menschen und Nutztiere ertranken.
- Beispiele für vom Rhein »verschlungene« oder zerstörte Siedlungen sind:  
Neuenburg mit seinem berühmten Münster (siehe Bild 4.4),  
Rheinau (im 16. Jahrhundert),  
Daxlanden (1615/52),  
Knaudenheim (1758); als »Huttenheim« auf dem Hochgestade wieder aufgebaut,  
Dettenheim (1813); Einwohner nach Karlsdorf umgesiedelt,  
Honau, Selz; berühmte Abteien.

Die meist wenig leistungsfähigen Ab-

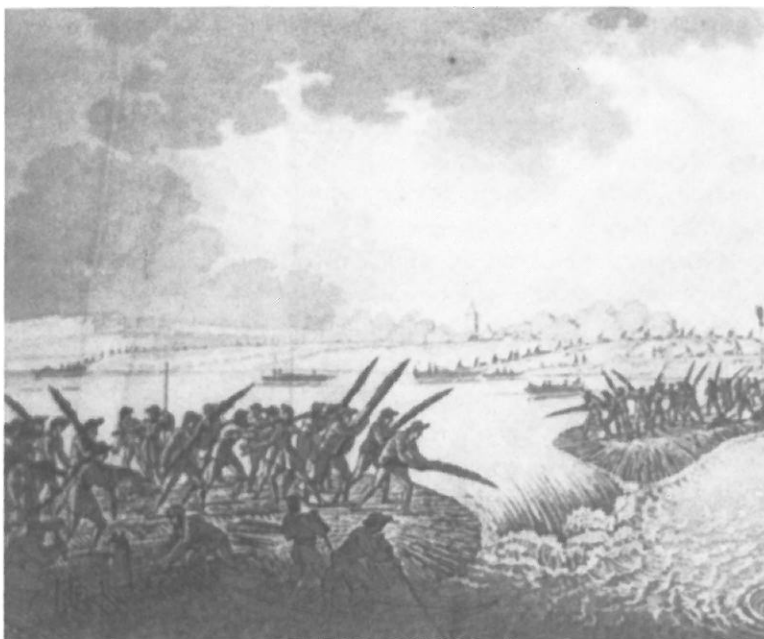
flußgerinne des Oberrheins boten den Seitengewässern nur eine mangelhafte Vorflut. Oft staute sich das Wasser nach Überflutungen wochenlang auf den Feldern. Der Grundwasserstand war hoch, und die Landwirtschaft hatte erhebliche Schäden durch Vernässungen. Weite Landstriche waren versumpft und Brutstätten von Stechmücken und Krankheitserregern. Malaria, Typhus und Ruhr bildeten eine ständige Bedrohung für die Bevölkerung, die auch unter dem sehr feuchten, ungesunden Klima in der Oberrheinebene litt. Für die Schifffahrt und die Flößerei war der Bettzustand des Rheines nachteilig.

Im Rhein verliefen die Grenzen zwischen den jeweiligen Hoheitsgebieten. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts teilten sich acht verschiedene Herrschaften rechts des Flusses in das rheinnahe Gebiet. Die Veränderungen des Flußbettes verursachten immer wieder neue Grenzprobleme.

Seit dem 14. Jahrhundert bemühten sich die einzelnen Anliegergemeinden, durch örtliche Baumaßnahmen einen Schutz gegen Hochwasser zu erreichen. Es wurden Deiche aufgeschüttet sowie Durchstiche von Flußschlingen und Abdämmungen von Rheinarmen durchgeführt (Bild 4.5).



Bild 4.4  
Ansicht der Stadt  
Neuenburg im 17.  
Jahrhundert mit dem  
fast völlig zerstörten  
Münster



**Bild 4.5**  
*Abdämmung eines  
 Flußarmes durch Fa-  
 schinenwerk im 18.  
 Jahrhundert*

Folgende größere Durchstiche sind zu nennen [Kunz 1975]:

bei Liedolsheim im Jahre	1391
bei Germersheim	1396
bei Neupotz	1515
bei Jockgrim	1541
bei Kembs	1560
bei Daxlanden	1652
bei Dettenheim	1762

In Baden wurde 1779 eine »Rheindeichordnung« erlassen. Sie regelte den Bau und die Unterhaltung der Hochwasserdeiche sowie die Beobachtung und Registrierung der Wasserstände.

Die örtlich begrenzten Maßnahmen brachten jedoch keinen bleibenden Erfolg. Oft verschlimmerte sich sogar die Situation für die Unterlieger bzw. die gegenüberliegende Seite. An eine durchgreifende, die gesamte Oberrheinstrecke umfassende Sanierung konnte erst gedacht werden, nachdem zu Beginn des 19. Jahrhunderts die politische Zersplitterung des oberrheinischen Raumes durch die Gründung des Großherzogtums Baden beseitigt war [Vieser 1985a].

#### 4.4 Oberrhein unterhalb des Neckars

Entlang der Oberrheinstrecke vom Neckar bis zur Nahe hatten sich, insbesondere linksseitig, schon frühzeitig eine Anzahl von Siedlungen entwickelt. Ihre Bewohner nahmen Anteil am Schiffsverkehr auf dem Rhein, an der Fischerei und der Energienutzung durch Schiffsmühlen. Die Gestalt der Rheinufer begünstigte die Anlage von Treidelwegen, was der Bergfahrt zugute kam. Ein gravierendes Schifffahrtshindernis bestand nur an der Nackenheimer Schwelle.

Den zentralen Ort des Gebietes bildete Mainz, nach dem Jahre 40 vor der Zeitwende von den Römern als Castellum Mattiacorum befestigt. Die Römer bauten in Mainz einen Beckenhafen im Bereich des heutigen Zollhafens, eine Schiffswerft und eine Wasserleitung mit hohen Aquaeducten. Sie konnte 40.000 Einwohner versorgen, eine Bevölkerungszahl, die nach der Römerzeit erst in der Mitte des vorigen Jahrhunderts wieder erreicht worden ist. Die zunächst geschaffene Schiffsbrücke wurde von den Römern um das Jahr 98 durch eine feste Brücke ersetzt. Während der Völkerwanderung wurde sie zerstört, später unter fränkischer Herrschaft wieder errichtet. Sie war aber nicht von Dauer: »Und ist solcher Rhein 500 Schritte breit, über welchen Kaiser Carl der Große zehn Jahre lang mit großer Mühe und wunderlicher Kunst eine Brücken von Holz also gebauet, daß es, als ob sie ewig währen sollte, das Ansehen gehabt, die aber ein Jahr zuvor, ehe er, der Kaiser gestorben, durch unversehenes Feuer in dreyen Stunden also verbronnen, daß außer den, so unter dem Wasser gestanden, nicht ein einziges Sprießlein übriggeblieben« [Riesels 1687].

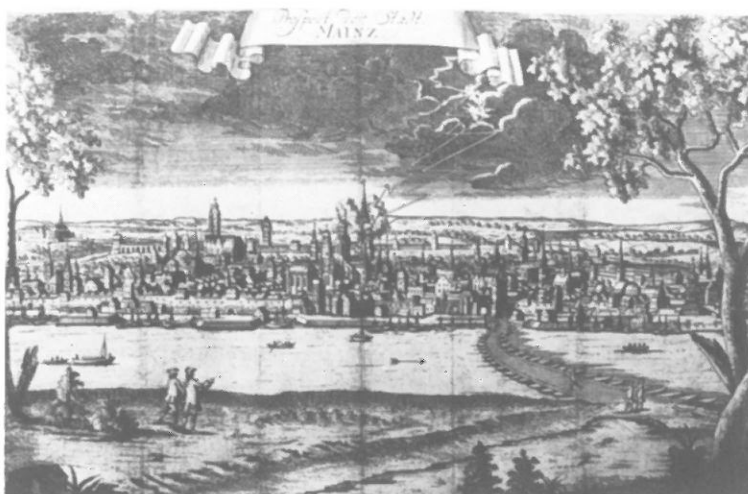
Das Mainzer Baugebiet lag relativ hoch, war aber nicht völlig hochwasserfrei. Es blieb ohne Deichschutz. So konnte es geschehen, daß »bei dem Hochwasser 1342 das Wasser einem Manne im Dom bis an den Gürtel ging«. Eine Stadtan-

sicht von Mainz mit dem Rheinstrom im 18. Jahrhundert ist in Bild 4.6 wiedergegeben.

Unter Hochwasser und unter mangelnder Binnenentwässerung litten tiefgelegene Teile des Rheintales, am ausgedehntesten rechtsseitig im Ried. Die seit dem Mittelalter gebauten örtlichen Deichanlagen wurden bei großen Hochwassern und Eisgängen immer wieder beschädigt oder durch Grundbrüche zerstört. Das Wasser der relativ kleinen seitlichen Zuflüsse suchte man durch Bachausbauten und Einwallungen schadlos zum Rhein zu führen. Dabei wurden nur Teilerfolge erzielt, zumal nachteilige Stau von Wassermühlen vielfach hingenommen wurden.

Der Main von der Mündung in den Rhein bis hinauf nach Miltenberg diente bereits den Römern als wichtiger Wasserweg und lag oberhalb Aschaffenburg im Zuge des Limes. Nachdem ganz Bayern und der gesamte Main unter fränkische Herrschaft gekommen waren, versuchte man im Jahre 793, eine Kanalverbindung für Schiffe von etwa 1 t Tragfähigkeit zwischen Main- und Donaugebiet zu schaffen. Sie wurde als »Fossa Carolina« zwischen der Schwäbischen Rezat und der Altmühl begonnen, aber nicht fertiggestellt. Dagegen wurden die natürlichen Wasserwege zunehmend verbessert. Eine große Bedeutung gewann die Wasserkraftnutzung an Mühlenstauen.

Unter den wasserbaulichen Eingriffen im Rheingau ragen die Bauten bei Bingen und bei Kloster Eberbach hervor. Die Römerbrücke oberhalb der Nahe-mündung stellte eine wichtige Verbindung in der rheinparallelen Römerstraße und zum Schiffslandeplatz Bingen dar. Im nördlichen Rheingau kultivierten die Zisterzienser die Vorhöhen des Taunus und breiteten den Weinbau aus. »Seit der Mitte des 12. Jahrhunderts schickte (die Abtei) Eberbach jährlich im Durchschnitt 200 Fuder Wein auf eigenen Schiffen zoll- und steuerfrei rheinabwärts nach Köln und von da

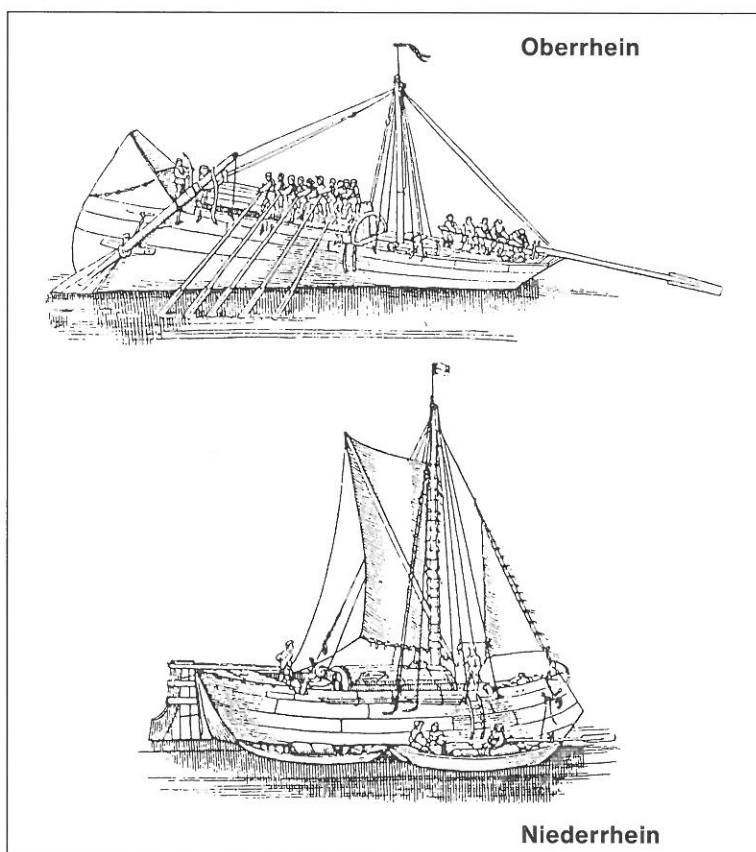


durch Kölner Kaufleute in die Niederlande« [Schneider 1974]. Mittelalterliche Rheinschiffe sind in Bild 4.7 dargestellt.

An eine Verbesserung der wechselnden Fahrwasserverhältnisse im Rheingau, wo sich in den Überbreiten des vielfach gespaltenen Stromes immer wieder Sandbänke bildeten und verlagerten, war bei den geringen technischen und wirtschaftlichen Mitteln damals nicht zu denken. So beschränkten sich die Maß-

*Bild 4.6  
Mainz und Rhein-  
strom vom Kasteler  
Ufer gesehen, mit  
Darstellung des  
Blitzschlages vom  
22.5.1767 in den Dom*

*Bild 4.7  
Schiffe aus dem 16.  
Jahrhundert*



nahmen auf den Bau von Schiffsländen und auf Bemühungen, die Rheinfurt bei Heidesheim passierbar zu halten.

#### 4.5 Mittelrhein

Das nur zwischen Koblenz und Neuwied aufgeweitete Felsental des Mittelrheins, das sich von Bingen bis Bonn erstreckt, ist seit alter Zeit besiedelt. Die Römer haben es vier Jahrhunderte lang beherrscht. Sie haben ihren Militär- und Wirtschaftsverkehr großenteils auf dem Rhein und auf der bei Koblenz mündenden Mosel abgewickelt (Bild 4.8). Dafür haben sie Uferländen und Werften an einer Anzahl von Siedlungen angelegt. Andernach war schon in der Römerzeit Ausfuhrhafen für Vulkangestein und Trass. Die alten Ansiedlungen lagen im wesentlichen hochwasserfrei. Dagegen waren die Talstraßen auf beiden Strom-

seiten über lange Strecken den Hochwassern ausgesetzt.

Das vielfach felsige und gewundene Bett des Rheins stellte die Schifffahrt vor große Probleme. Das Hauptschiffahrtshindernis des Mittelrheins, ja des gesamten schiffbaren Rheins, war das Quarzitriff im Binger Loch beim heutigen Rhein-km 530,7, das sich unterhalb der Mäuseturminsel ursprünglich ohne Unterbrechung von einem Ufer zum anderen erstreckte. Es war gleichsam ein von der Natur geschaffenes Wehr, das bei niedrigen Wasserständen früher für die Schifffahrt unpassierbar war und von ihr auch bei höheren Wasserständen nur mit großen Schwierigkeiten und Gefahren überwunden werden konnte [Felkel 1961].

Über die bis zum Ende des 18. Jahrhunderts ausgeführten Baumaßnahmen lie-

*Bild 4.8*  
*Römisches Weinschiff, Skulpturfund von Neumagen/Mosel*



gen nur wenige und in technischer Hinsicht unzuverlässige Nachrichten vor, die sich heute kaum noch überprüfen lassen. Daher sei nur eine im Jahre 1828 erschienene Zusammenfassung von *Professor Johann August Klein* angeführt. Aus der Lage, welche die Reste römischen Mauerwerks, so der Niederburg bei Rüdesheim, sowie römische Gräber aufweisen, schließt Klein, daß der Flußspiegel in der Römerzeit die gleiche Höhe und Breite besessen haben muß. Wörtlich fährt er hierauf fort: »Römer scheinen zuerst, zum Behufe ihres Handels und ihrer bewaffneten Rheinschiffe, die Felsenbahn erweitert zu haben; ein mühsames Werk, welches Karl der Große, nach ihm mit größerem Erfolge die alten Rheingrafen, kaiserliche Lehns-träger des Geleitrechtes in den wilden Rheinwassern von Bingen bis Lorchhausen, unterstützt des Weinverkehrs wegen von den dortigen Klöstern, besonders von Eberbach, fortsetzten, noch mehr die Erzbischöfe von Mainz, seit Anlegung des Ehrenfelser Zolles, vervollkommneten. Denn schon im zwölften Jahrhundert war der Rheinhandel Straßburgs, Speyers, Worms usw. abwärts bedeutend, und Hunderte von Schiffen befuhren wöchentlich diese Strecke. Wer kennt nicht überdies die Lebhaftigkeit der Schifffahrt in der Zeit des hanseatischen Bundes?

Das meiste aber geschah erst durch die Franzosen und die Schweden mittels Pulversprengung, während sie Ehrenfels in Besitz hatten und zuletzt durch die reichen Kaufleute und Floßherren zu Frankfurt, die Herren von Stockheim (nach Honsell u. and. »von Stockum«) zu Ende des vorletzten und Anfang des letzten Jahrhunderts (um 1700) mit kurmainzischer Einwilligung. Bei ungeheuren Kosten brachten sie es durch holländische Ingenieure dahin, daß, unter Leitung eines geschickten Steuermanns, die größten Holzflöße sicher durchfahren können. Doch fordert die Bergfahrt schwerbeladener Schiffe allerdings hinreichende Bespannung und gutes Seilwerk, welches sonst, bei dem starken Falle des reißenden Stromes durch die

Öffnung hin, Gefahr zu laufen, zu scheitern, wenn die Pferdekraft zu schwach ist, der Gewalt Widerstand zu leisten, oder die Ankertaue brechen sollten. Für kleinere Schiffe und Kähne besteht diese Gefahr nicht, blieb doch vielen Schiffen noch die frühere Gewohnheit, mit abgezogenem Hute bei der Durchfahrt zu beten und Fremde zum Gebet aufzufordern, wohl auch von einer senkrechten Öffnung zu erzählen, die als unterirdischer Kanal mit dem Strudel bei St. Goar zusammenhänge« [Klein 1828].

In dem 1835 erschienenen Werk »Historisch-statistisches Panorama des Rheinstromes von Bingen bis Koblenz« von *J. K. Dahl*, Domkapitular in Mainz, wird, allerdings ohne Beleg, die Ansicht vertreten, daß bis zum frühen Mittelalter die Erweiterung des Schifffahrtsweges »auf der linken und nicht auf der rechten Seite des Rheins« durchgeführt wurde [Dahl 1835]. Das dicht am rechten Ufer unterhalb der Ruine Ehrenfels liegende »Binger Loch« soll zu Anfang des 17. Jahrhunderts durch das Frankfurter Handelshaus von Stockum zuerst ausgesprengt worden seien und zwar derart, daß eine Sohlenbreite von etwa vier Metern geschaffen wurde, die sich nach unterhalb auf neun Meter erweiterte. Da die seitlichen Böschungen indessen flach ausliefen, konnten damals tatsächlich die bis zu 6,5 m breiten Rheinschiffe und Flöße bei mittleren Wasserständen das Binger Loch passieren [Jasmund 1901].

In der Gebirgsstrecke zwischen Bingen und St. Goar ragten aus der felsigen Stromsohle zahlreiche Riffe und Felsrücken in die Höhe. Sie gefährdeten die Schifffahrt und beengten oder spalteten den Schifffahrtsweg. Dies galt z.B. für den Rhein zwischen Bacharach und Kaub, wo das Strombett durch viele Felsrücken zerrissen und durch zwei Inseln, das Bacharacher und das Kauber Werth, gespalten war, wobei sich zwischen den beiden Inseln eine Stromschnelle, das »Wilde Gefähr« ausbildete. Die Nöte der Schiffer auf der felsigen Mittelrheinstrecke (Bild 4.9) sind von *Heinrich Heine* in seinem Gedicht »Die

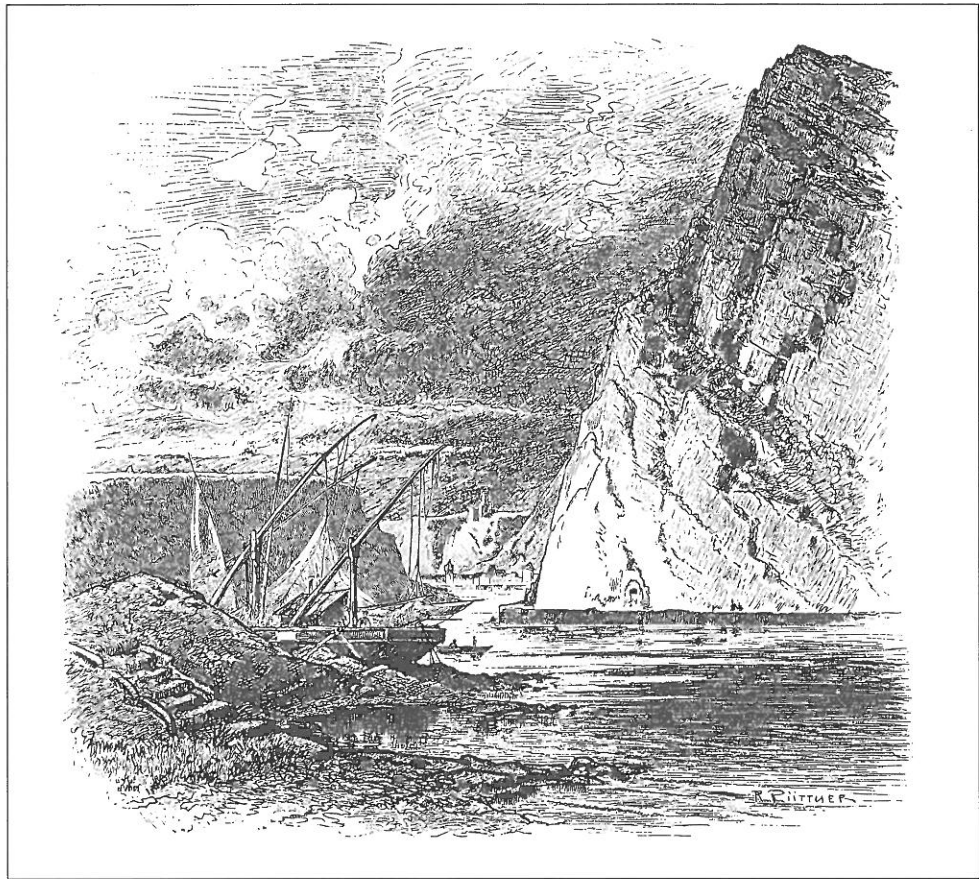


Bild 4.9  
Der Loreleyfelsen  
oberhalb St. Goars-  
hausen

Loreley« beschrieben worden. Es ist zum Text des bekannten Volksliedes geworden:

Ich glaube, die Wellen verschlingen  
Am Ende Schiffer und Kahn;  
Und das hat mit ihrem Singen  
Die Lore Ley getan.

Unterhalb von St. Goar bot der Rhein bessere, wenn schon nicht gefahrlose Fahrwasserverhältnisse. Der Strom war durch das enge Tal weitgehend festgelegt, wies allerdings wechselnde Sandbänke, Inselbildungen und einzelne Verlagerungen, insbesondere im Neuwieder Becken, auf. Die Handels- und

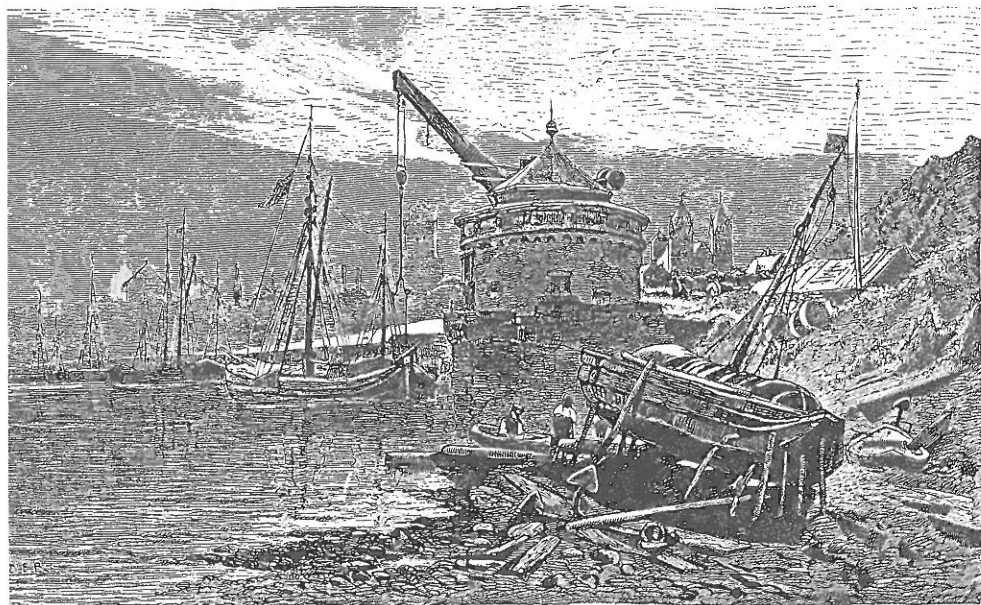


Bild 4.10  
Rheinufer am Alten  
Kranen in Ander-  
nach

Gewerbezentren Koblenz, Neuwied und Andernach konnten sich in günstiger Verkehrslage entwickeln. Bild 4.10 zeigt die historische Umschlaganlage »Alter Krahen« in Andernach.

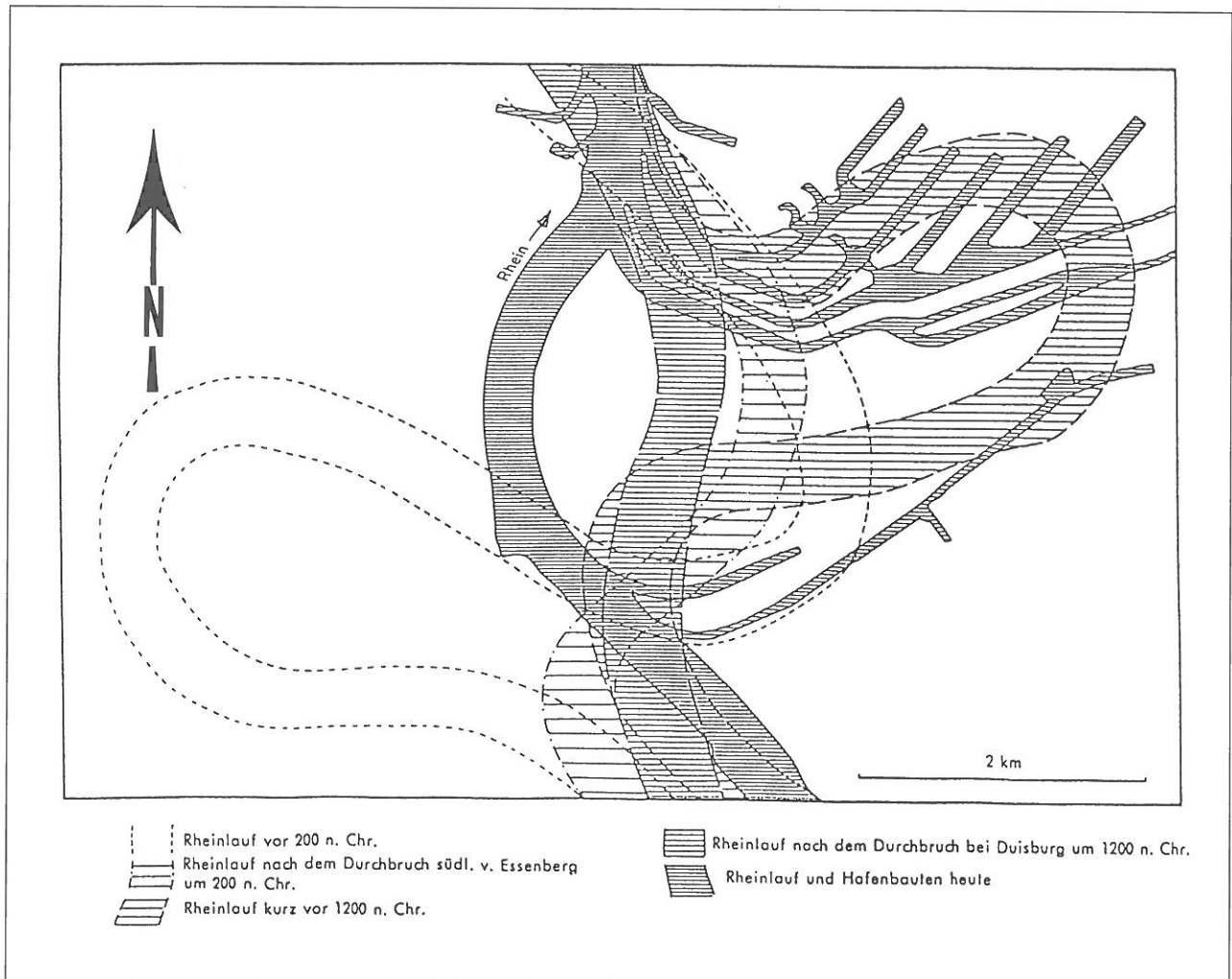
### 4.6 Niederrhein

Der Niederrhein tritt bei Bonn aus dem engen Gebirgstal in eine weite flache Landschaft aus. Ihre Oberfläche ist von quartären Sedimenten bedeckt, die der Tendenz des Stromes, sein Bett zu verändern, keine dauerhaften Hindernisse entgegenstellen. So hat er sich in vorgeschichtlicher und geschichtlicher Zeit vielfach andere Fließwege gesucht und zahlreiche Stromspaltungen und Inseln gebildet. In der Saaleeiszeit verließ der Rhein seine nordwestliche Hauptfließrichtung. Er wandte sich nach Westen und vereinigte sich mit der Maas. Nach

Rückzug der Eismassen fand er in den Bereich des heutigen Laufes zurück. Die Laufänderungen des Rheines konnten teilweise rekonstruiert werden [Hoppe 1970]. Bild 4.11 zeigt einen Ausschnitt aus dem Bereich Duisburg mit Uferlinien der letzten 1.800 Jahre.

Die Römer haben auch auf dem Niederrhein eine lebhafte Schifffahrt bis zur Mündung betrieben. Ihre Stützpunkte befanden sich linksrheinisch und waren an weitgehend hochwassersicheren Uferstellen gebaut. Entsprechend wurden später auch rechtsrheinische Siedlungen, wie Düsseldorf, Wesel und Emmerich, angelegt. Allerdings ist Köln, die älteste Stadt, die bereits über 2.000 Jahre besteht, mit ihrer Altstadt nicht hochwasserfrei. Vom Mittelalter bis in die Neuzeit hinein hat die reichsfreie Stadt Köln eine dominierende Stellung bei der Rheinschifffahrt behauptet. Die

Bild 4.11  
Laufänderungen des  
Rheines bei Duis-  
burg





Natur des Niederrheines erlaubte schon im unregelmäßigen Zustand das Befahren mit verhältnismäßig großen Schiffen. Wegen der einstmaligen schlechten Straßen zog der Rhein Verkehrsströme an, die weit über den örtlichen Warenaustausch hinausgingen.

In den fruchtbaren Gebieten am Niederrhein haben die Menschen bereits frühzeitig Viehzucht und Ackerbau betrieben. Die genutzten Flächen lagen teilweise nur wenig über Mittelwasser. Um sie vor Hochwasser wenigstens teilweise zu sichern, wurden schon vor über 1.000 Jahren Sommerdeiche gebaut.

Hochwasserschutz und Vorflutbeschaffung stellten angesichts des veränderlichen Rheinbettes und der häufigen Hochwasser bereits im Mittelalter große Aufgaben, die nur von leistungsfähigen Trägern bewältigt werden konnten. Hierzu ist das genossenschaftliche Prinzip entwickelt worden, das heute noch vorherrscht. Am 12. Januar 1321 hat Reinald II., Herzog von Geldern, einen Deichbrief erteilt, der wohl den Beginn wasserverbandlicher Arbeit zum Hochwasserschutz und zum Polderbetrieb am Niederrhein zwischen Maas und Waal darstellt [Heiningen 1972].

Es erwies sich als Vorteil, daß der Strom von Duisburg bis vor Arnheim größtenteils zum Herzogtum Kleve gehörte, das 1614 an Brandenburg und damit später an Preußen fiel. So wurde in diesem Bereich ein abgestimmter Strombau erleichtert. Er fand seine erste Krönung in den Arbeiten des Wasserbaumeisters *Casimir Bilgen* während der Jahre 1750 bis 1780. Dieser hat Linienführung, Profil und Befestigung des Stromes bereits in durchgreifender Weise vereinheitlicht. Am 24. Februar 1767 erließ Friedrich der Große, König von Preußen, das »Erneute Deichschau-, Graben- und Schleusenreglement im Herzogtum Cleve«. Darin übertrug er die technische Aufsicht über alle Deichschau- im preußisch regierten Kleve »Unserem Oberdeichinspektor«, d.h. seinem staatlichen Strombaubeamten.

Dies war der bereits genannte Oberdeichinspektor Bilgen. Er hat entscheidende Leistungen vollbracht. Neunzehn von fünfundzwanzig Inseln im Niederrhein hat er durch Abdämmen von Rheinarmen mit dem Ufer verbunden, insbesondere, um das Fahrwasser im verbleibenden Strom für die Schifffahrt zu verbessern. Umfangreich waren die angeschlossenen Inseln bei Alsum, Buderich und Perrich, ferner Römerward und Gravinsel bei Flüren, die Hollardsward und der Dornicker Poll.

Schon vorher waren Durchstiche an der Basis von Mäandern und von Flußschleifen versucht worden. Den ersten, allerdings vergeblichen Durchstich hatten die Bürger von Emmerich 1588 unternommen. Danach glückte 1644 ein Durchstich im gleichen Bereich sowie 1654 am Reeser Eyland. Die Ufer wurden aber noch nicht hinreichend festgelegt. Erst in der Zeit von Bilgen und im Anschluß an seine Maßnahmen entstanden dauerhaft befestigte Durchstiche, so im niederländischen Waal 1775/76 durch den Bijlandsch-Kanal nach dem Vorschlag des Ingenieurs *Brunings*, ferner an der Budericher Insel um 1784, an der Bislicher Insel um 1788 und in Gestalt des Griether Kanals um 1819.

Bilgen schied 1781 als »Geheimer Kriegsrat und Generalinspekteur aller Wassersachen« aus preußischen Diensten. Er übernahm hundert Kilometer rheinaufwärts neue Aufgaben in bergisch-pfälzischen Diensten. Sein Nachfolger *Wiebeking* führte die Arbeiten auf preußischem Gebiet zügig weiter. Während der französischen Besetzung ab 1792 kamen Unterhaltung und Ausbau des Stromes vorübergehend zum Erliegen. Sie konnten erst 1820 in größerem Umfang wieder aufgenommen werden, nachdem viele wichtige Strombauten in der Zwischenzeit verfallen waren. Die einander gegenüberliegenden Truppen hatten die Faschinen der Uferdeckwerke zum Teil verheizt.

Die relativ geringe Höhe der Wasserscheide zwischen Rhein und Maas sowie

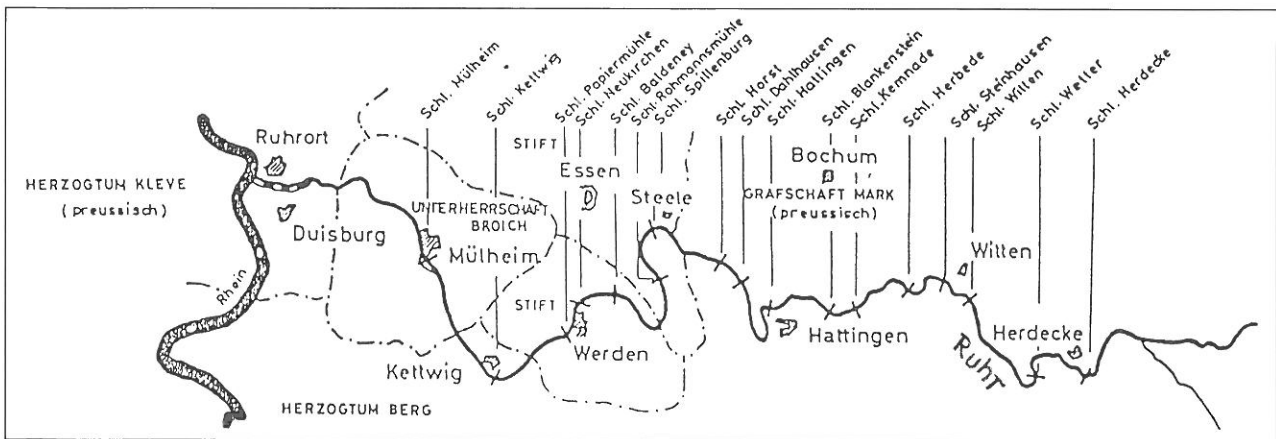


Bild 4.12  
Schleusen in der  
Ruhr um 1780

die politische Lage veranlaßten die Verwaltung der spanischen Niederlande im Jahre 1626, einen Kanalbau von Rheinberg, oberhalb Wesel, dann an Geldern vorbei bis nach Venlo an der Maas zu unternehmen. Mit der »Fossa Eugeni-ana«, dem nach der Generalstatthalterin Erzherzogin Isabella Clara Eugenia genannten Kanal, sollte der Rheinverkehr von den abtrünnigen nordniederländischen Provinzen abgeleitet und auf spanischem Gebiet zur Schelde nach Antwerpen geführt werden. Der Kanal wurde nahezu betriebsfertig gebaut, aber von den niederländischen Generalstaaten wiederholt angegriffen und 1628 unbrauchbar gemacht.

Ein weiterer alter Kanal ist dagegen bis heute in Betrieb. Es ist der »Spoykanal« zwischen Kleve und dem Griethauser Altrhein dicht oberhalb der niederländischen Grenze. Seine Linienführung entspricht einem älteren Kanal, der schon 1428 bestanden hat. Nach einem Vertrag von 1688 zwischen der Stadt Kleve und dem Kurfürsten Friedrich III. von Brandenburg ist er für 600 t-Schiffe ausgebaut worden [WSD West 1987].

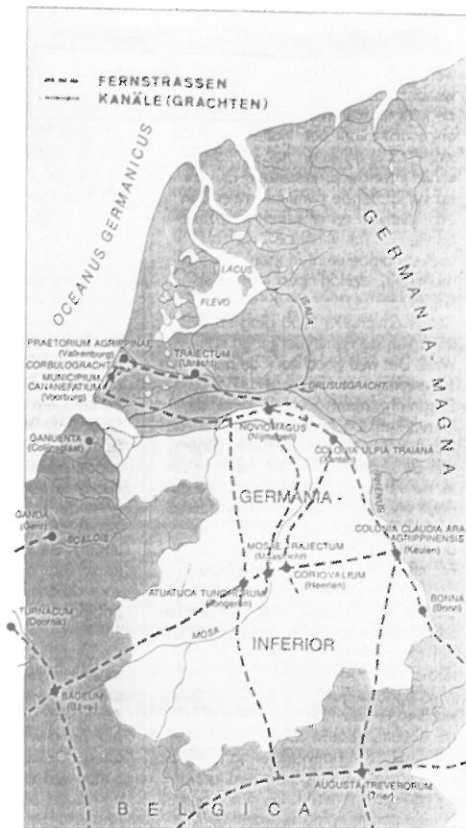
Rund hundert Jahre später wurde auf der Ruhr eine mit neunzehn Staustufen ausgestattete, 80 km lange Wasserstraße in Betrieb genommen [Bild 4.12]. Sie verband das aufblühende Industriegebiet des Hinterlandes mit dem Rhein. Ihre Schleusen sind heute zum Teil als technische Denkmale gestaltet, nachdem der Güterverkehr eingestellt worden ist.

#### 4.7 Bovenriijn und Verzweigungen

Die flache Landschaft, durch die der Niederrhein verläuft, setzt sich unterhalb der deutsch-niederländischen Grenze fort. Der niederländische Bovenriijn und seine Deltaarme fließen durch eine Zone von Mulden und Geländerücken. Im Osten begrenzen Stauchwälle aus der Saaleiszeit teilweise das Hochwasserbett. Im Westen des Landes durchqueren die Flüsse ein ehemaliges Lagunengebiet. Hier hat das Aufwachsen von Mooren, etwa ab 4000 vor der Zeitenwende bis in die geschichtliche Zeit, mit dem Anstieg des Meeresspiegels Schritt halten können. Der Anstieg der Mooroberfläche wurde zeitweise von Transgressionen des Meeres unterbrochen, während deren sich Mineralstoffe absetzen konnten. Die Flüsse mündeten, wie z.T. auch jetzt noch, in trichterförmige Meeresarme. Auf Bild 4.13 ist die Lage der hauptsächlichen Rheinarme um die Zeitenwende skizzenhaft dargestellt.

Um das Jahr 10 v. Chr. wurde die Verteilung des Rheinabflusses zum ersten Male von menschlicher Hand beeinflusst. Die Römer unter dem Befehl des Feldherrn Drusus führten Wasserbauten an Rheinarmen aus. Die genaue Lage ihrer Werke ist nicht mehr bekannt. Ein Drususdamm, d.h. eine Buhne oder ein Leitdamm, an der damaligen Gabelung des Bovenriijn beim heutigen Kleve hatte vermutlich den Zweck, die Schiffbarkeit des Nederriijn, eines der wichti-

Bild 4.13  
Hauptgewässer und  
Hauptstraßen im  
unteren Bereich des  
Rheingebietes zur  
Römerzeit



gen Glieder in den Routen nach Britannien, zu verbessern. Ein oder mehrere Kanäle (Drususgräben) dürften gebaut worden sein, um eine Expansion in nördlicher Richtung zu ermöglichen. Ein solcher Kanal verlief wahrscheinlich zwischen dem Nederrijn und der IJssel bei Arnheim. Systematische Eindeichungen gab es damals noch nicht. Die Blütezeit der römischen Herrschaft fiel in eine Regressionsperiode des Meeres. In der darauf folgenden Transgressionsperiode wurden große Teile der westlichen Niederlande unbewohnbar. Eine der Ausnahmen bildeten die Uferwälle entlang der Flüsse. Als Handelswege blieben die Wasserläufe von Bedeutung. So war Dorestad an der Stelle, wo sich der Nederrijn in Kromme Rijn und Lek teilte, vom frühen Mittelalter bis etwa zum Jahre 830 ein wichtiges Handelszentrum.

Im Laufe des Mittelalters wurden mehr und mehr tiefliegende Geländeflächen kultiviert. Dadurch wuchs der Bedarf an Hochwasserschutzmaßnahmen. Um hochwassergefährdete Siedlungen und Ackerflächen herum entstanden Ring-

deiche. Auch baute man Querdeiche senkrecht von höheren Uferstellen aus ins Hinterland, die dann abgewinkelt um Mulden herumgeführt wurden. Dadurch suchte man, von diesen das oberhalb ausufernde Hochwasser fernzuhalten. Es hatte seinen, wegen Düngewirkung erwünschten, Schlammgehalt bereits abgesetzt [Renes und Van de Ven 1988].

Etwa ab dem Jahre 1100 wurden auch längere Deichstrecken entlang von Flüssen geschaffen, welche die meist hochwasserfrei liegenden Siedlungen über tiefere Uferstrecken hinweg miteinander verbanden. Sie waren die Vorläufer der späteren Banndeiche und wirkten sich auf die Entwicklung der Abflussgerinne aus. Nach der Entwässerung und Kultivierung von Moorflächen, die ursprünglich über dem Hochwasserniveau gelegen hatten, entstanden Moorsackungen, die zum Deichbau zwangen. Fortschreitend von Westen nach Osten entstand ein System von Banndeichen, das bereits im 14. Jahrhundert weitgehend geschlossen war. Danach beschränkten sich die Schlammablagerungen bei Hochwasser auf Vorlandflächen. Sie waren so beträchtlich, daß die Vorländer trotz Tonentnahmen durch die Jahrhunderte hindurch bis zu vier Metern über das Hinterland aufwuchsen, wobei ihre relative Erhöhung außerdem dadurch bedingt war, daß hinterliegende Flächen sich infolge Entwässerung senkten.

Außer den Eindeichungen sind im Mittelalter auch andere Wasserbauwerke entstanden, allerdings meist nur mit örtlicher Bedeutung. So sind der Kromme Rijn und die Hollandsche IJssel, die ursprünglich vom Nederrijn gespeist wurden, in den Jahren 1122 (vermutlich) bzw. 1285 an ihren Zuläufen abgedämmt worden, vielleicht weil die Flüsse versandeten und bei großen Rheinabflüssen Überschwemmungen verursachten. Einen bedeutenden Einfluß auf den Abfluß des Lek haben die Abdämmungen wohl nicht gehabt. Seine Deiche blieben beträchtlichen

Hochwasserangriffen ausgesetzt (siehe Bild 4.14).

Bis ins 13. Jahrhundert mündete die Maas mit drei Armen in die Waal. Davon führte der zuletzt entstandene Zweig, der bei Woudrichem mündete, den größten Abfluß. Die beiden anderen Maasmündungen wurden in diesem Jahrhundert abgedämmt.

Im Einflußbereich der Nordsee haben Sturmfluten große Veränderungen verursacht. So hat das Flevomeer, in das die IJssel mündete, in einer Reihe von Sturmfluten, hauptsächlich zwischen 1170 und 1250, sprunghaft an Umfang zugenommen. Der frühere Binnensee hat sich als »Zuiderzee« in einen Teil des offenen Meeres verwandelt.

Am 18. November 1421 wurde bei der St. Elisabeth-Flut ein Gebiet südlich von Dordrecht, in dem sich die zwei abgedämmten Maasarme befanden, für lange Zeit überflutet (Bild 4.15). Die Deiche waren vernachlässigt, u.a. wegen politischer Auseinandersetzungen, und nicht entsprechend den durch Entwässerung und intensive Bodennutzung eingetretenen Geländesenkungen erhöht worden. Daher waren sie an zahlreichen Stellen gebrochen [Gottschalk 1975]. Aus dem überschwemmten Polderland wurde der Biesbosch, ein Gebiet mit Süßwasser unter Gezeitenwirkung. Heute besteht es aus einer Anzahl von Flächen, die zum größten Teil eingedeicht sind und die von Wasserläufen unterbrochen werden.

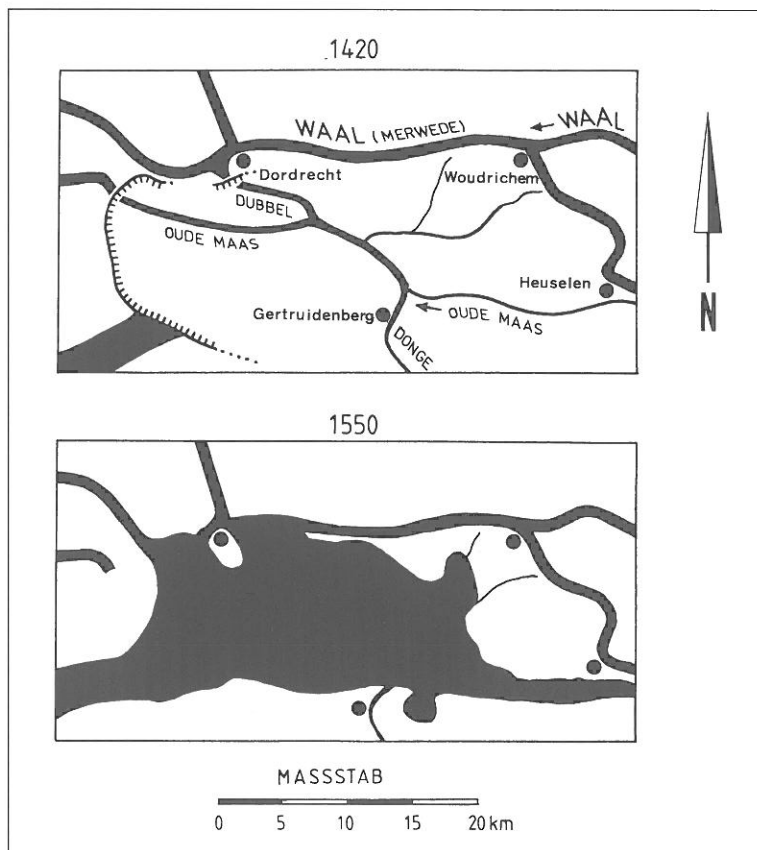
Die Flußbauarbeiten im 16. und 17. Jahrhundert dienten insbesondere der Schiffbarkeit der Rheinarme. Den Problemen an den Teilungspunkten wurde viel Aufmerksamkeit gewidmet. Hier waren einerseits die Rivalitäten der Hafenstädte von Bedeutung, andererseits aber auch ihre gemeinsamen Interessen. Im 16. und 17. Jahrhundert änderte sich die Abflußverteilung dermaßen, daß die Städte am Nederrijn und an der IJssel allmählich ihre günstige Handelslage verlorengehen sahen.



*Bild 4.14  
Wiederherstellungsarbeiten nach einem Bruch des Lekdeiches am 10.1.1624*

Ernsthafte Bemühungen um eine Verbesserung der Abflußverteilung fanden erst nach der Gründung der Republik der Vereinigten Niederlande statt. Dieser, aus der Utrechter Union von 1579 hervorgegangene, Staatenbund war vorrangig ein militärisches Bündnis gegen Spanien. Da man sich über die strategische Bedeutung der großen Flüsse einig war, wurde unter der Verantwortung der Republik Flußbau betrieben. Dies geschah im Einvernehmen mit den betroffenen Provinzen, die, außer im Bereich der Verteidigung, weitgehend

*Bild 4.15  
Veränderungen der Gewässer im Biesboschgebiet*



selbständig waren. Man versuchte mittels umfangreicher Bühnenbauten mehrere Male, einen größeren Anteil des Bovenrijnabflusses in Richtung des Nederrijn und der IJssel zu leiten. Jedoch blieben diese Versuche wegen technischer Probleme und wegen des Widerstandes einiger Städte an der Waal ohne dauernden Erfolg [Van de Ven 1976].

Als im Jahre 1671 ein Krieg mit Frankreich drohte, erteilten die Generalstaaten, denen der Zustand der Flüsse unter strategischen Gesichtspunkten Sorge machte, den Mathematikern *Hudde* und *Huygens* den Auftrag, Untersuchungen des Bovenrijn, des Nederrijn und der IJssel durchzuführen. Darauf entstand die erste wissenschaftliche Untersuchung eines großen Flußsystems in Europa. *Hudde* und *Huygens* schlugen nicht nur einige Maßnahmen an den Flußverzweigungen vor, sondern sie empfahlen auch, bestimmte Mindestbreiten der Flüsse anzustreben. Ihre Vorschläge konnten zunächst nicht ausgeführt werden; denn im nächsten Jahr überquerten französische Truppen den Nederrijn an einer durchwatbaren Stelle dicht unterhalb des Gabelungspunktes. Nachher veränderten Naturvorgänge die Wasserverteilung des Bovenrijn in der Weise, daß der Abfluß in der Waal immer mehr zunahm. Im Jahre 1696 gelangte schätzungsweise nur noch 1/24 des Bovenrijnabflusses in den Nederrijn.

Anfang des 18. Jahrhunderts stiegen die

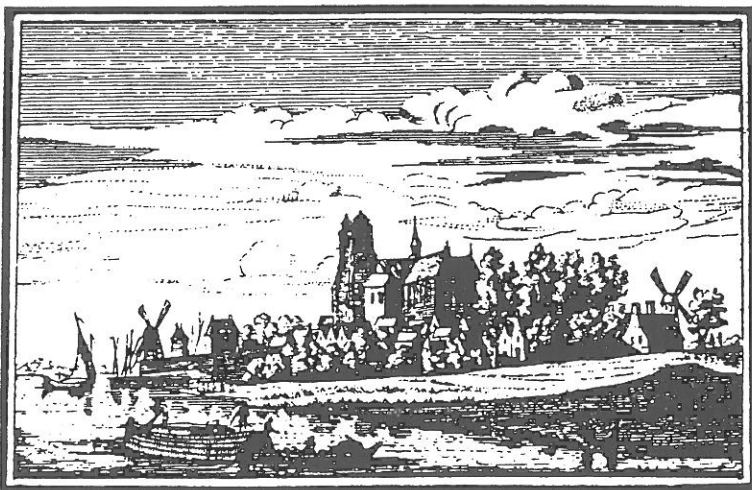
internationalen Spannungen erneut an. Da der Nederrijn und die IJssel zum größten Teil durchwatbar waren, baute man verschiedene Verteidigungswerke.

Dazu gehörte ein Wall zwischen der Waal und dem Nederrijn mit einem davorliegenden 45 m breiten Graben. Im Jahre 1706 einigten sich die Provinzen Gelderland, Overijssel und Utrecht, diesen Graben zum neuen Oberlauf des Nederrijn zu machen. Trotz Widerstandes von Dordrecht (Bild 4.16) konnte dieser, »Pannerdensch Kanaal« genannte, Wasserlauf schon 1707 eröffnet werden. Die abgeschnittene Flußstrecke des Nederrijn wird seither als »Oude Rijn« bezeichnet.

Änderungen der Strömung und des Sedimenttransportes, zweifellos von den Flußbauten verursacht, führten schon bald zu unvorhergesehenen und schwer beherrschbaren Veränderungen (Bild 4.17). Der Lauf des Bovenrijn verlagerte sich. Dadurch kam die zunächst in der Gabelungsspitze liegende Festung Schenkenschans auf das linke Ufer zu liegen. Infolge von Auskolkungen vergrößerte sich das Abführungsvermögen des Pannerdensch Kanaal, ebenso dasjenige des Zulaufs zum Oude Rijn. Der Abfluß des Nederrijn wurde dadurch zu groß. Im Streben nach einer geeigneten Abflußverteilung des Bovenrijn legte man in einer Konvention von 1745 folgende Werte fest: Für die Waal 6/9, für den ungeteilten Nederrijn 3/9.

Als bald aber versandete der Pannerdensch Kanaal infolge Stromverlegungen des Bovenrijn, und kam es auch im Oberlauf der IJssel zu Versandungen. Als Gegenmaßnahmen erfolgten Durchstiche des Bijlandsch Waard am Bovenrijn im Jahre 1776 und am Zulauf der IJssel. Ferner wurde der offene Zulauf vom Oude Rijn 1780 in einen Überlauf verwandelt. Mit der Gesamtheit dieser Wasserbauten strebte man die Verwirklichung folgender Wasserverteilung an: Waal 6/9, Nederrijn unterhalb Arnheim 2/9 und IJssel 1/9. Sie gilt näherungsweise auch heute noch für die

Bild 4.16  
Dordrecht an der  
Merwede (Fortsetzung  
der Waal) im  
Jahre 1650



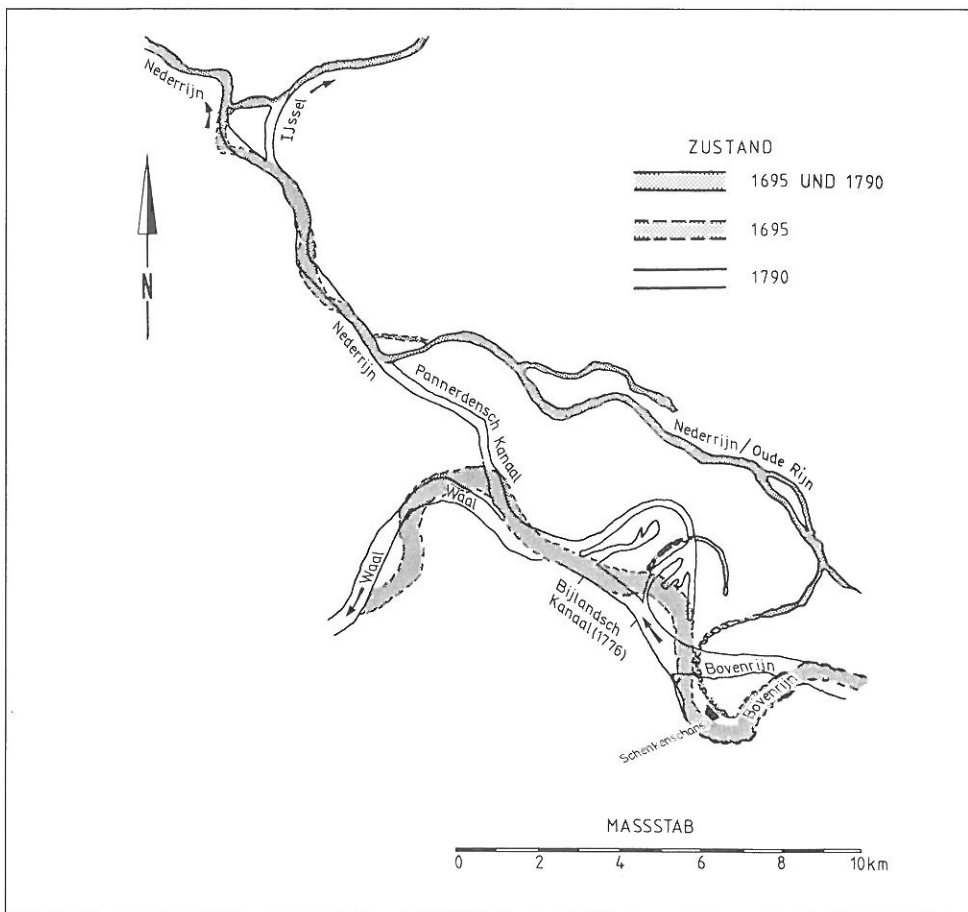


Bild 4.17  
Veränderungen im  
oberen Lauf der Waal  
und des Nederrijn

Verteilung bei mittleren und höheren Abflüssen [Van de Ven 1976].

Unterhalb der Verzweigung des Bovenrijn ergaben sich an zwei benachbarten Stellen große wasserwirtschaftliche Probleme. So floß an der Verbindungsstelle von Waal und Maas ein großer Teil des Abflusses der Waal bei Heerewaarden zur Maas ab. Bei tiefen Wasserständen erschwerte dies die Schifffahrt auf der Waal unterhalb. Im Jahre 1733 wurde der Nachteil dadurch behoben, daß man zwei der Flußverbindungen bei Heerewaarden abdämmte.

Ein Hochwasserrisiko bildeten an der gleichen Stelle Eisversetzungen und große Abflüsse der Waal. Sie belasteten die Maas bei Heerewaarden mit zusätzlichem Abfluß und bei Woudrichem mit Rückstau. Gegenmaßnahmen konnten erst kurz vor Ende des 19. Jahrhunderts in Angriff genommen werden [Bongaerts 1909].

Die Merwede und die Priele des Biesbosch besaßen zusammen einen zu großen Abflußquerschnitt. Dadurch war die Fließgeschwindigkeit zu gering. Der Biesbosch begann zu verlanden. Im Winter bildeten sich Eisversetzungen. Entlang der Merwede traten zahlreiche Überflutungen ein. Verschiedene Versuche zwischen 1581 und 1738, einzelne Priele abzdämmen, waren wenig erfolgreich. Die Arbeiten wurden nicht vollendet, zum Teil auch wieder rückgängig gemacht. Dieses Problem konnte ebenfalls erst im 19. Jahrhundert erfolgreich angegangen werden, nachdem sich die Flußbauwissenschaft höher entwickelt hatte. Die zentralisierte Staatsverwaltung nahm sich des Ausbaus der Flüsse an.

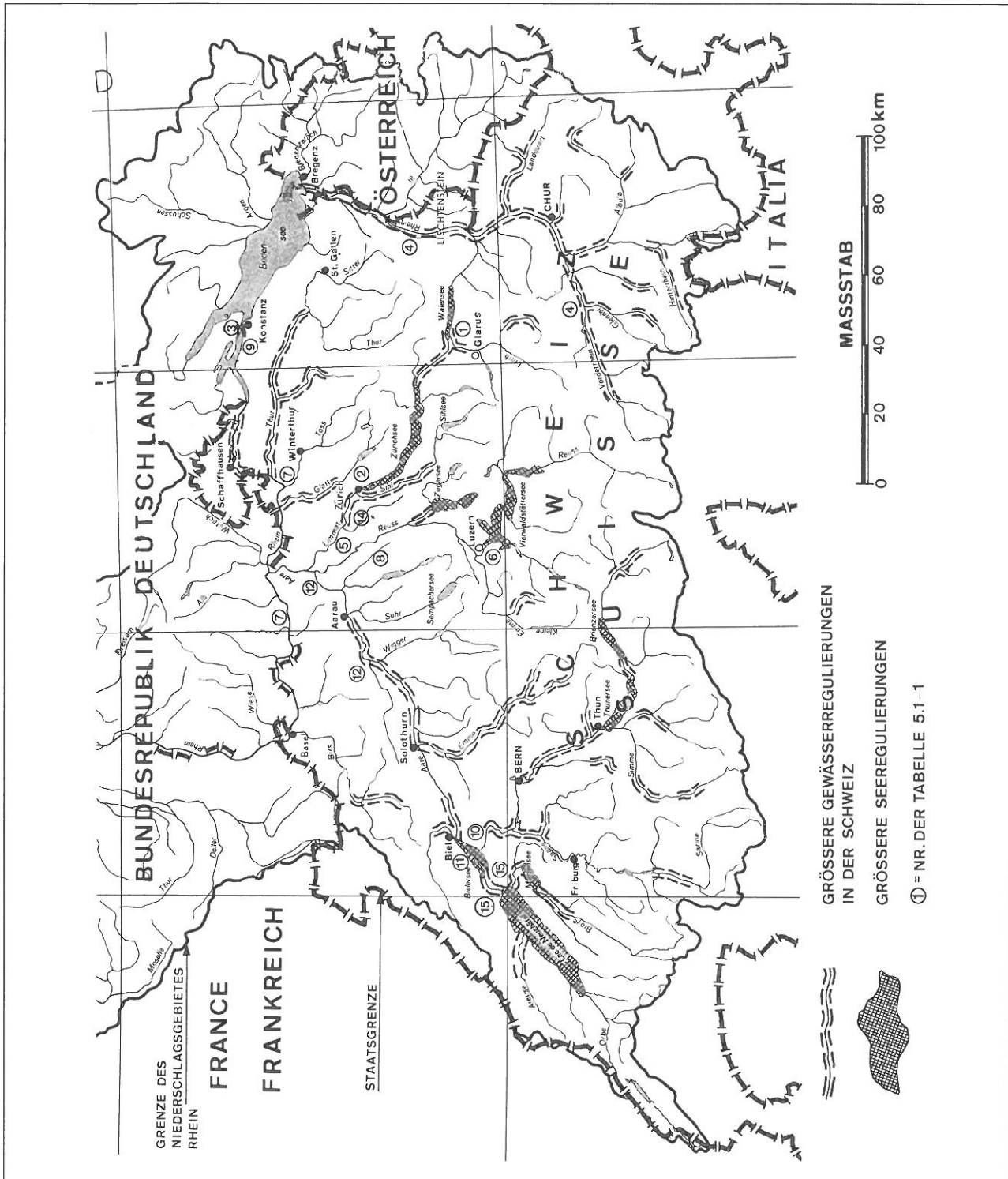


Bild 5.1-1  
Grössere Gewässer- und See-  
regulierungen im Al-  
penrhein- und Hoch-  
rheingebiet

## 5. Eingriffe und Ereignisse im 19. und 20. Jahrhundert

### 5.1 Alpenrhein, Bodensee und Hochrhein

Darin sind auch Kraftwerksausbauten an größeren Flüssen aufgeführt.

#### 5.1.1 Fluß- und Seeregulierungen

Seit Beginn des 19. Jahrhunderts sind die Ansprüche an die Nutzung der Flußtäler von Alpenrhein und Hochrhein gegenüber früheren Zeiten beträchtlich angestiegen. Ihnen haben vielfach unzureichende Vorflutverhältnisse und Hochwassergefährdungen gegenübergestanden. Teilweise sind sie von der zunehmenden Kultivierung des Geländes und der um sich greifenden Entwaldung in der Alpenregion verursacht worden. Die Bedürfnisse nach Festlegung der Gewässer, Hochwasserschutz und Geländeentwässerung gaben Anlaß zu ausgedehnten Gewässerausbauten und zur Regelung von Seen. Bild 5.1–1 enthält hierzu eine Übersichtskarte. Die Hauptmaßnahmen sind in Tabelle 5.1–1 mit Angabe der Ausführungsjahre genannt.

Mit dem Kanderdurchstich in den Thuner See (siehe Abschnitt 4.2) hatte man im 18. Jahrhundert die Erfahrung gewonnen, daß durch solche Maßnahmen Sinkstoffe ausgeschieden und Hochwasser gedämpft werden konnten. Ein entsprechendes Projekt wurde bald nach 1800 im Gebiet der Linth verwirklicht, welche dem Zürichsee zufließt. Im Tal oberhalb dieses Sees vermochte die Linth, die ihm damals vom Glarner Land unmittelbar zufloß, die durch Abholzungen angestiegenen Geschiebemenen wegen ihres geringen Sohlgefälles nicht mehr mitzunehmen. Bei der Ziegelbrücke erhöhte sich ihr Bett so stark, daß der oberhalb einmündende Ausfluß des Walensees zurückgestaut wurde und der Seespiegel anstieg. Es trat eine fortschreitende Versumpfung bis zum Zürichsee ein. Die Malaria nis-

lfd. Nr.	Jahre	Maßnahmen
1	1807–1827	Einleitung der Linth in den Walensee
2	1811–1890	Beseitigung oder Veränderung von Einbauten der Limmat in Zürich
3	1856–1857	Beseitigung der Mühleneinbauten im Rhein bei Konstanz
4	ab 1860	Korrektion des Alpenrheins
5	1860–1867	Kraftausbau am Limmatunterlauf
6	1861	Regulierung des Vierwaldstättersees mit Nadelwehr
7	1866–1966	Kraftausbau am Hochrhein
8	1873–1975	Kraftausbau am Reussunterlauf
9	1876/1892/1917	Baggerungen am Eschenzerhorn (Vergrößerung des Ausflußquerschnitts des Bodensees)
10	1868–1891	Einleitung der Aare in den Bielersee (I. Juragewässerkorrektion)
11	1888	Regulierung des Bielersees
12	1893–1970	Kraftausbau am Aareunterlauf
13	ab 1904	Bau zahlreicher Speicher
14	1948–1951	Beseitigung aller Einbauten in der Limmat in Zürich, Bau eines Dachwehres zur Regulierung des Zürichsees
15	1962–1973	Erweiterung der Kanäle zwischen Murten-, Neuenburger- und Bielersee zum Einheitssee, Vergrößerung der Ausflußkapazität des Bielersees (II. Juragewässerkorrektion)

*Tabelle 5.1–1  
Hauptsächliche wasserwirtschaftliche Maßnahmen oberhalb Basel [Hochwasserstudienkommission für den Rhein 1978]*



tete sich ein und zehrte an der Gesundheit der Umwohner. Das auf einem hohen Felsen stehende Schloß Gräplang bei Flums mußte wegen aufsteigender Fieberdünste aufgegeben werden. Der weite Talboden, früher ein Wiesengebiet mit eingestreuten Ackerstücken, wurde ertraglos [Vischer 1986].

Im Jahre 1805 erfolgte nach längeren Vorarbeiten der Beschluß zum Ausbau der Linth und die Einsetzung einer Kommission unter *Hans Conrad Escher* als Präsidenten. Der Baubeginn mußte wegen der internationalen Lage und wegen großer Hochwasser bis 1807 verschoben werden. Zu den Bauarbeiten wurde der bekannte badische Wasserbaufachmann Hauptmann *Johann Gottfried Tulla* als Gutachter herangezogen. Er erhielt dafür vom Großherzog von Baden zweimal Urlaub, zuerst vom September bis November 1807 und dann in 1808. In kurzer Zeit führte er aufgrund vorhandener geodätischer und eigens vorgenommener hydrologischer Messungen die flußbaulichen Berechnungen für die wesentlichen Korrekturteile aus. Aus heutiger Sicht ist es erstaunlich, wie gut Tulla schon damals den Geschlebetrieb der Flüsse berücksichtigte und sie entsprechend dimensionierte. Ab 1808 wurden die zügig voranschreitenden Bauarbeiten von Escher weitergeführt.

Der erste und wesentlichste Teil der Linthkorrektur war die Umleitung der Glarner Linth in den Walensee durch

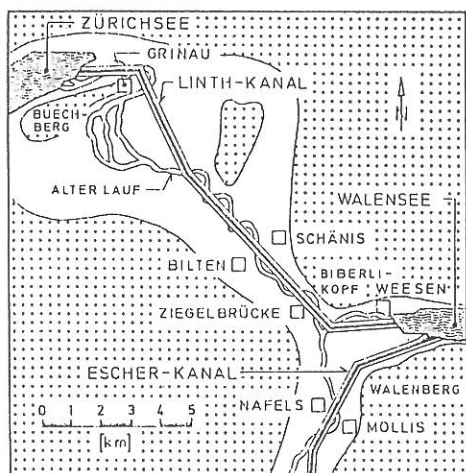


Bild 5.1–2  
Linthkorrektur  
1807 bis 1816

den Escher-Kanal. Das Werk bot erhebliche Schwierigkeiten; denn das ungleiche Geländegefälle erforderte zum Teil eine Erhöhung des Bettes und seitliche Dämme. Den rechten Damm, der am Fuß des Walenberges entlanggeführt wurde, bildete man niedriger als den linken aus, damit bei eventuellen Überflutungen das Wasser auf die rechte Seite überlaufe und das eigentliche Linththal geschützt bleibe (siehe Bild 5.1–2).

Außer der Schaffung des Escher-Kanals waren noch Sicherungen der Städte Walenstadt und Weesen sowie die Trockenlegung der Sümpfe zu verwirklichen. Dazu wurde der Spiegel des Walensees abgesenkt, in dem die alten Flußläufe zwischen Walensee und Zürichsee zu einem leistungsfähigen Gerinne erweitert wurden (Linthkanal). Die Maßnahmen waren 1816 im wesentlichen abgeschlossen. Sie erwiesen sich als erfolgreich und wurden später verfeinert. Hans Conrad Escher wurde noch nach seinem Tode 1823 geehrt, indem man ihm den Titel »von der Linth« verlieh und den neuen Lauf der Linth »Escher-Kanal« benannte.

Im *Hochrhein* wurden in den fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts stauende Einbauten unterhalb des Bodenseeaustritts beseitigt. Später sind noch Flußbaggerungen in diesem Bereich erfolgt. Sonst haben, trotz mancher Planungen zur Regelung der Wasserstände im Bodensee durch ein Stauwehr in Konstanz, keine Eingriffe stattgefunden, die sich auf das Abflußverhalten des Bodensees wesentlich ausgewirkt haben.

Dagegen sind am *Alpenrhein* vielfältige Ausbauten vorgenommen worden, um den Flußverlegungen zu begegnen und die Geschiebeablagerungen zu beseitigen. Diese haben im 19. Jahrhundert noch zu 21 Rheinausbrüchen geführt (Tabelle 4.1). Die Auflandungen hatten um 1800 ein solches Ausmaß erreicht, daß ein Durchbruch des Rheins über die Wasserscheide bei Mels in Richtung des Walensees befürchtet werden mußte. Nach unzureichenden örtlichen Festle-

gungsmaßnahmen versuchte man, dem Fluß in seiner vorhandenen Breite mittels paralleler Dämme ein gestrecktes Hochwasserbett zu geben. Man erwartete, daß die Schleppkraft dann genüge, um die Geschiebmassen weiterzutransportieren. Diese Erwartung wurde enttäuscht. Nun bemühte man sich, den Ablagerungen und Ausuferungen durch höhere Deiche (Wuhren) zu begegnen. Im Jahre 1827 wurde, nach vielen Hochwasserschäden, zwischen dem Kanton St. Gallen und dem Land Vorarlberg das »Wuhrprovisorium« vereinbart, das in der Hauptsache den Abstand zwischen einander gegenüberliegenden Wuhren auf 120 m festlegte. Aufgrund einer Bau-richtlinie aus dem Jahre 1830 begann ein stärkerer Wuhrbau auf dem rechten Rheinufer [Meyer-Peter und Lichtenhahn 1963].

Im Jahre 1860 einigten sich die Anliegerstaaten Schweiz, Liechtenstein und Österreich auf eine gestrecktere Linienführung des Alpenrheins. Von der st. gallisch-bündnerischen Grenze bis zur Illmündung wurde dem Fluß ein einfaches Hochwuhrprofil mit parallelen Dämmen in 135 m Kronenabstand gegeben. Bezüglich der Rheinstrecke zwischen Illmündung und Bodensee war man sich zwar klar, daß zum Hochwasserschutz eine Begradigung und Einengung des Flußbettes unabdingbar sei. Im einzelnen bestanden aber bedeutende Meinungsunterschiede, insbesondere über die Frage, wie die Rheinmündung in den Bodensee umgestaltet werden müsse.

Im Jahre 1792 hatte der österreichische Baudirektor *Baragas* ein erstes Regulierungsprojekt des Rheins von Brugg bis zum See vorgelegt. In der Folgezeit waren sowohl von österreichischer wie von schweizerischer Seite weitere Projekte vorgeschlagen und diskutiert worden, ohne daß man sich einigen konnte. Im Jahre 1865 hatte sich die Erkenntnis durchgesetzt, daß für eine ausreichende Absenkung der Rheinsohle zwei Durchstiche auszuführen seien und daß auf der Zwischenstrecke der Flußlauf zu nor-

malisieren sei. Der obere Durchstich müsse bei Diepoldsau und der untere rechts von Brugg und Fussach erfolgen, außerdem müsse die Verbauung der Wildbäche ergänzt werden.

Am 30. Dezember 1892 konnte hierzu endlich der erste Staatsvertrag zwischen dem Kaiser von Österreich und der Schweizerischen Eidgenossenschaft abgeschlossen werden. Darin wurde die Durchführung der nachfolgend angegebenen fünf Maßnahmen festgelegt (siehe Längsschnitt in Bild 5.1–3).

- Sofortige Ausführung des Fussacher Durchstiches von Brugg bis zum Bodensee mit einer Länge von rd. 5 km,
- Normalisierung der Zwischenstrecke des Rheins zwischen dem Fussacher und dem Diepoldsauer Durchstich,
- anschließende Ausführung des Diepoldsauer Durchstiches auf eine Länge von rd. 6 km,
- Normalisierung der Oberen Strecke bis zur Ill und
- Anpassung, ggf. Ausbau, der Nebengewässer, die der zuständige Staat vollständig auf eigene Kosten auszuführen hatte.

Ausführungsbeispiele für die Bauten an den Ufern des Alpenrheins gehen aus Bild 5.1–4 hervor.

Österreich nahm unverzüglich den Fussacher Durchstich in Angriff, der am 6. Mai des Jahres 1900 für den Durchfluß geöffnet werden konnte. Seither stellte die neue Mündung des Rheins in den Bodensee einen Festpunkt dar, von welchem das Längsprofil der internationalen Strecke bis zur Ill auszugehen hatte. Der Durchstich hatte nach vielen Diskussionen über die anzusetzende Breite ein Doppelprofil erhalten. An ein 110 m breites und 3,5 m tiefes Mittelgerinne schlossen sich beiderseits gegen die Hochwasserdämme leicht ansteigende Vorländer von je rund 75 m Breite an. Der Abstand zwischen den Hochwasserdämmen ergab sich somit zu 260 m. Für die flußaufwärts anschließende Zwischenstrecke und für die obere

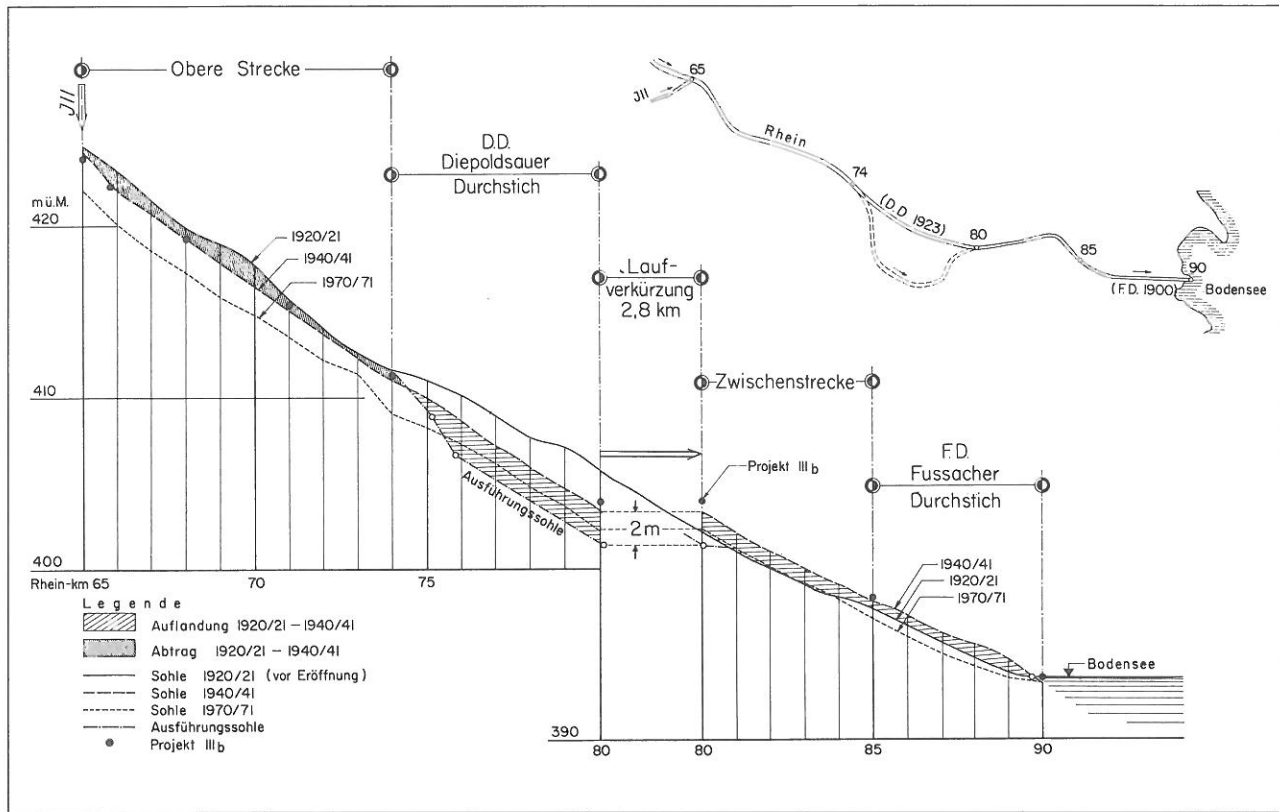
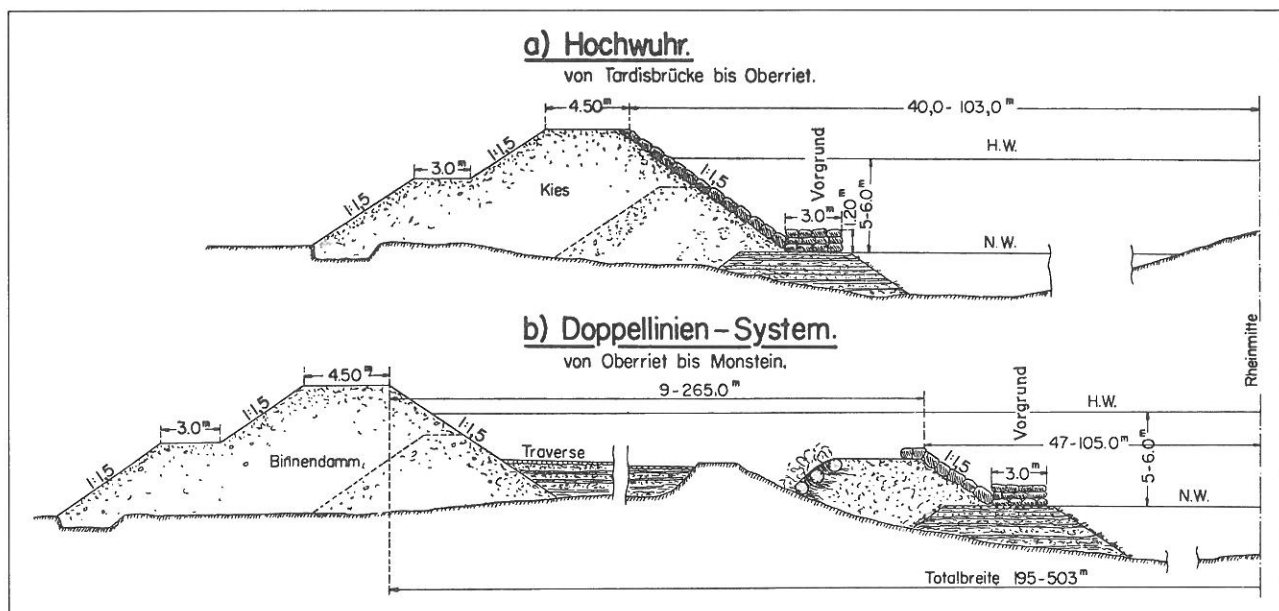


Bild 5.1-3  
Längsschnitt des Alpenrhein-Ausbaus von der III bis zum Bodensee

Bild 5.1-4  
Deiche und Leitwerke am unteren Alpenrhein



Strecke wurde eine Normalisierung der Mittelrinne auf die gleiche Breite vereinbart.

Im Jahre 1912 begann der Bau des Diepoldsauer Durchstiches. Infolge des Ersten Weltkrieges verzögerten sich die Bauarbeiten derart, daß der Rhein erst zehn Jahre später, am 18. April 1923, in sein neues Bett geleitet werden konnte. Zusammen mit dem Fussacher Durchstich war nunmehr eine Laufverkürzung um 10 km erreicht.

Im Jahre 1924 wurde das Werk nach dem Abschluß eines zweiten Staatsvertrages ergänzt. Als zusätzliche Maßnahme kam die Vorstreckung der Regulierungswerke auf dem Schuttkegel in den Bodensee hinzu.

Die Arbeiten nach den beiden Staatsverträgen hatten dem Alpenrhein zwar ein größeres Abführungsvermögen gegeben. Es zeigte sich aber, daß er wegen zu groß gewählter Breite des Mittelgerinnes von 110 m immer noch nicht imstande war, hinreichende Geschiebemengen bis in den Bodensee zu transportieren. Daher entschloß man sich zur Nachregelung.

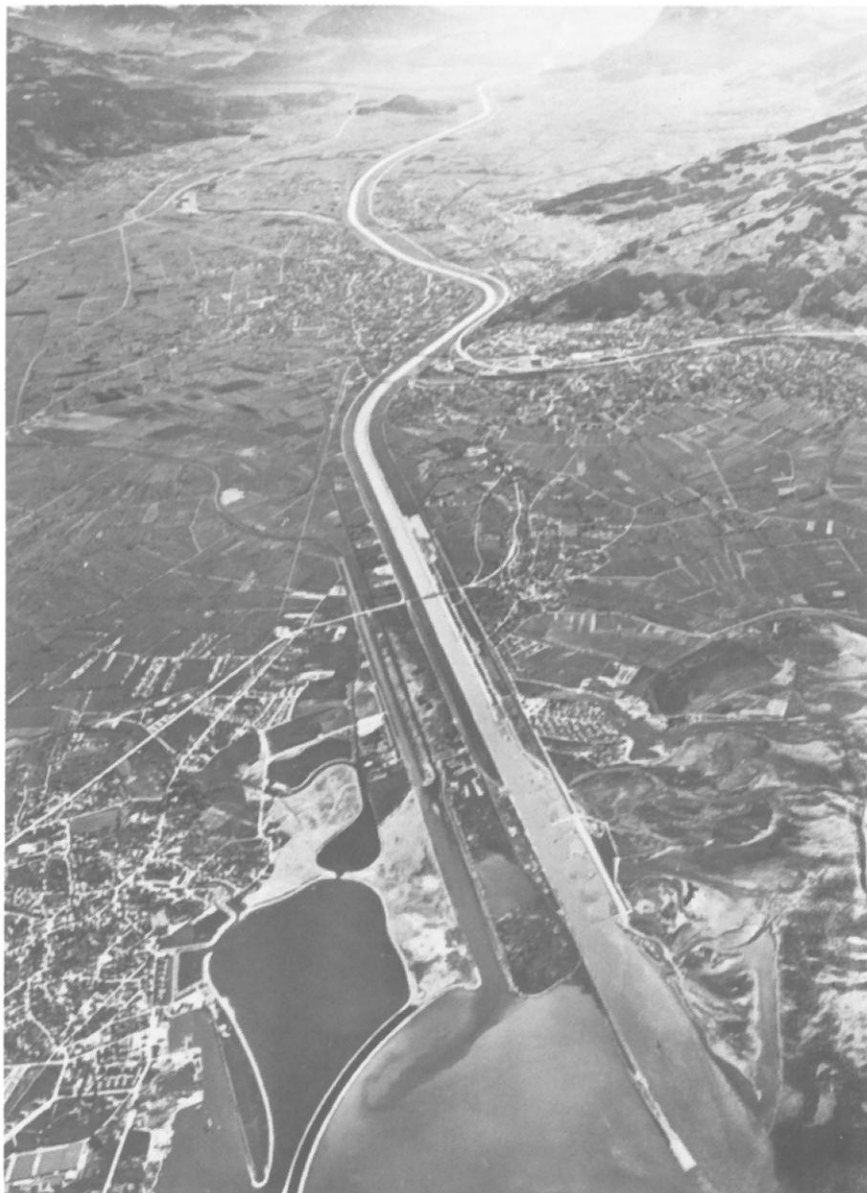
Im Jahre 1954 wurde ein dritter Staatsvertrag abgeschlossen. Er sah im wesentlichen folgendes vor:

- Verschmälerung des 110 m breiten Mittelgerinnes auf 90 m in einer oberen Strecke und auf 70 m in der Mündungsstrecke am Bodensee,
- Erhöhung der Wuhren am Mittelgerinne zur Steigerung ihres Abführungsvermögens auf 1.200 m<sup>3</sup>/s und
- Entfernung von Abflußhindernissen, wie Bäume, Sträucher usw., aus den Vorländern.

Die entsprechenden Bauarbeiten wurden bald nach 1970 abgeschlossen. Seither befindet sich der untere Alpenrhein nahezu in einem Gleichgewichtszustand. Auflandung und Abtrag halten sich die Waage.

Seit dem Ausbau der Mündung des Alpenrheins gelangen nicht nur die Abflüsse, sondern auch die Feststoffe des Flusses von jährlich rund 3 Millionen Kubikmeter in die Fussacher Bucht. Dadurch vergrößert sich das Mündungsdelta im Jahre um rund 230 m in der Länge und 3,3 ha in der Fläche. Durch die hinzukommenden Ablagerungen könnte es zu einer Verlandung der Brengener und Fussacher Bucht kommen. Um dies zu verhindern, hat die Gemeinsame Rheinkommission veranlaßt, daß im Bereich des Deltas Seitendämme angelegt werden. Dadurch wird das Rheingerinne selbst allmählich bis an den Rand der großen Tiefe des Bodensees bei Rhein-km 95 vorgestreckt. Das bestehende Doppelprofil im Fussacher Durchstich wird unter Einschaltung einer Übergangsstrecke von km 90 bis 91,8 in ein einfaches Trapezprofil mit 180 m Sohlbreite überführt (Bild 5.1–5).

*Bild 5.1–5  
Mündung des Rheins  
in den Bodensee.  
Aufnahme vom  
11.5.1969, seither ist  
der Rheindamm mit  
nordwestlicher Ab-  
biegung weiter in  
den Bodensee vorge-  
baut worden (2. Kor-  
rektur)*



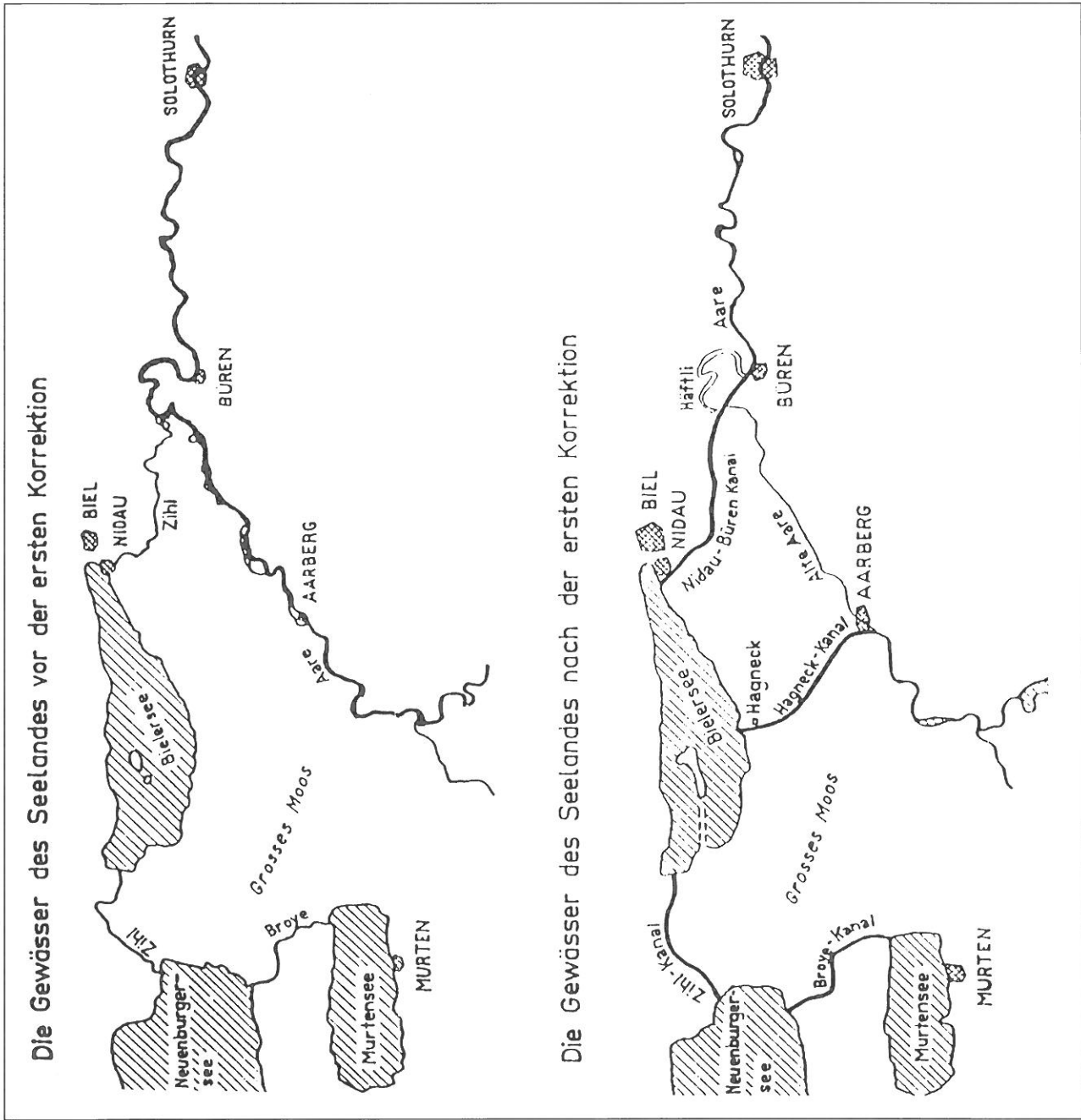


Bild 5.1-6  
Übersichtskarte zur  
Juragewässerkor-  
rektion

Die Vorstreckungsarbeiten waren 1988 zu etwa einem Drittel verwirklicht. Wenn im bisherigen Umfang weitergearbeitet wird, kann mit ihrem Abschluß um die Jahrtausendwende gerechnet werden [Götz 1986].

Im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts haben große wasserwirtschaftliche Ausbaumaßnahmen im *Gebiet der Aare*, des bedeutendsten Zuflusses des Rheins aus dem Alpengebiet, begonnen. Sie sind unter dem Namen »Juragewässerkorrektion« bekannt geworden. Nicht nur auf die Aare haben sie sich ausgewirkt, sondern auch weit darüber hinaus stromabwärts im Rhein. Dies geschah insbesondere durch eine Abminderung der Hochwasserscheitel [Eidgenössisches Amt für Straßen- und Flußbau 1975].

Geschiebeablagerungen der Aare im flachen Gebiet unterhalb von Aarberg, insbesondere bei Meienried, wo die aus dem Bielersee fließende Zihl in die Aare mündete, und der Emme bei ihrer Mündung in die Aare unterhalb Solothurn, ließen einst die Wasserstände immer höher steigen. Dies führte zu Überschwemmungen und Versumpfungen in den Ebenen zwischen Yverdon im Südwesten des Neuenburger Sees und Solo-

thurn an der Aare. Nach manchen unzureichenden Abhilferversuchen, die bis ins 17. Jahrhundert zurückreichten, entschloß man sich 1867 zur durchgreifenden Verbesserung, der Ersten Juragewässerkorrektion nach dem Entwurf von *Richard La Nicca*. (Bild 5.1–6).

Als hauptsächliche Abhilfemaßnahme wurde 1878 der Hagneck-Kanal geschaffen und durch ihn die Aare in den Bielersee umgeleitet. Ihr Geschiebe lagerte sich danach im See ab. Im Zuge der Einleitung mußte für den Lauf der Zihl unterhalb des Bielersees der Nidau-Büren-Kanal hergestellt werden. Er folgt dem früheren Flußlauf. Die Verbindung zwischen Murtensee (Lac de Morat) und Neuenburgersee (Lac de Neuchâtel) wurde zum Broyekanal ausgebaut; die zwischen Neuenburgersee und Bielersee zum Zihlkanal. Um die Wasserstände in den Seen nicht zu tief absinken zu lassen, kam am Ausfluß des Bielersees ein Regulierungswehr hinzu. In den Jahren 1936 bis 1939 wurde es umgebaut (Bild 5.1–7).

Ein Ergebnis der Ersten Juragewässerkorrektion war die Absenkung der mittleren Seewasserstände um rd. 2,5 m. Die Aarehochwasser wurden durch Speicherung in den Seen abgemindert, wodurch



Bild 5.1–7  
Das Wehr im Nidau-Büren-Kanal bei Nidau-Port zur Regulierung der Wasserstände in den drei Seen

die Überschwemmungsgefahr gebannt werden konnte. Die früher versumpften Gebiete um die drei Seen und im Aaretal konnten in fruchtbares Agrarland umgewandelt werden.

Im Laufe der Zeit verringerte sich die Wirkung der Ersten Juragewässerkorrektur. Das Geländenniveau ausgedehnter Flächen mit Torfböden im Gebiet der Seen war im Laufe der Zeit gesunken (Drainage, Oxydation), so daß neuerdings wieder bewirtschaftetes Land überschwemmt wurde. Da die Senkung der Torfböden weiter fortschritt, mußte man befürchten, daß entwässerte landwirtschaftliche Nutzflächen wieder in Ödland zurückfallen würden. Zudem waren viele neue Bauten unterhalb der seinerzeit festgelegten Hochwasserkote erstellt worden. Man erkannte, daß die Hochwasserkote gesenkt werden mußte. Dazu waren erweiterte Regulierungsmaßnahmen erforderlich.

Eine Zweite Juragewässerkorrektur wurde erforderlich. Ihr Ziel bestand darin, die nach der Ersten Korrektur kultivierten Landflächen von etwa 120 km<sup>2</sup> Umfang vor künftigen Vernässungen und Überschwemmungen zu schützen. Unter Leitung von *Professor*

*Robert Müller* wurde in den Jahren 1957 bis 1961 ein Entwurf ausgearbeitet. Er ist von 1962 bis 1973 ausgeführt worden. Damit wurden die höchsten Seewasserstände um rd. 1 m abgesenkt, die früheren mittleren Spiegellagen aber beibehalten. Dies erreichte man durch eine Vergrößerung des Abflußvermögens im Nidau-Büren-Kanal, Broye- und Zihlkanal [Müller 1963]. Die Abflußquerschnitte aller drei Kanäle wurden wesentlich vergrößert (Bild 5.1–8).

Da das Abflußvermögen der Aare zwischen Solothurn und der Emmemündung ungenügend war, wurde die Aare auf dieser Strecke vertieft. Dadurch wurden die Hochwasserstände flußaufwärts abgesenkt und das Abflußvermögen des Nidau-Büren-Kanals vergrößert.

Die Vertiefung der Aare unterhalb Solothurn ließ eine Erosion des sandigen Flußbettes zwischen Büren und Solothurn erwarten, die eine weitere Absenkung der Hochwasserstände in der Aare und im Nidau-Büren-Kanal bewirken mußte. Der Hochwasserschutz des Aaretals und der Niederungen an den Seen wurde dadurch vergrößert. Unterhalb Solothurn sollte nach dem Entwurf zur Zweiten Juragewässerkorrektur

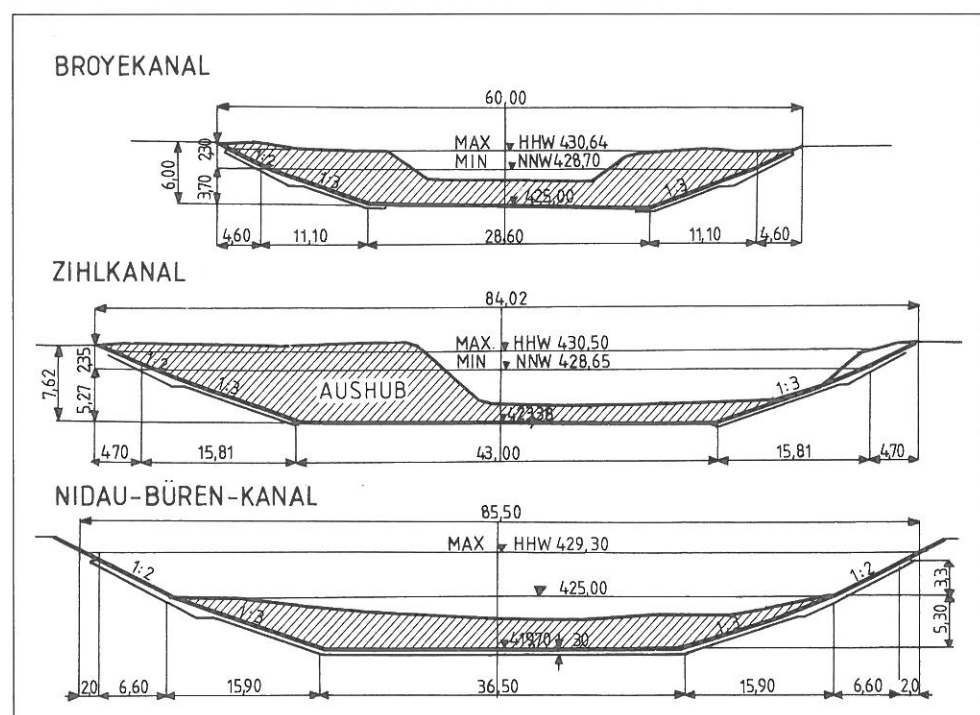


Bild 5.1–8  
Erweiterung der Verbindungskanäle bei der Zweiten Juragewässerkorrektur

ein Wehr gebaut werden, um die Wasserstände der Aare bei kleinen Abflüssen aufhöhen zu können und das Grundwasser zu heben. Anstelle dieses Wehres ist dann aber unterhalb der Emmemündung das Flußkraftwerk Flumenthal errichtet worden, welches die Aufgabe der Niedrigwasseraufhöhung mit übernommen hat.

Nicht nur die Flüsse, sondern auch die *Seen* in den Alpen und im Alpenvorland haben Regulierungen erfahren, um sie den wachsenden Ansprüchen der Bevölkerung anzupassen. Außer der Nutzung zum Hochwasserausgleich können sie der Trinkwassergewinnung dienen. Als reizvolle Landschaftselemente sind sie besonders anziehend für Sport und Erholung.

Um die Nutzungsmöglichkeiten der Seen voll zu entwickeln und Wasserschäden bei Anliegern und Unterliegern abzuwenden, sind zahlreiche Eingriffe erfolgt. Von den 19 natürlichen Seen mit mehr als einem Quadratkilometer Oberfläche im schweizerischen Rheingebiet sind 11 mittels Stauwehr am Seeauslauf reguliert worden [Götz und Spreafico 1989]. Die größeren Seeregulierungen sind aus Bild 5.1–1 ersichtlich. Sie wurden z.T. in mehreren Schritten vorgenommen, wie beispielsweise für die Jurarandseen oben ausgeführt. Nur der Bodensee wird als einziger großer See nicht reguliert.

### 5.1.2 Wasserkraft- und Speicher- ausbau

Der *Hochrhein* zwischen Schaffhausen und Basel bietet sich mit seinem Gefälle von 150 m und dem schmalen Tal für die Wasserkraftnutzung an, zumal die Wasserführung durch die Seen und die Speicherbecken im Hinterland ausgeglichen ist. Im Jahre 1866 wurde die Wasserkraft zuerst bei Schaffhausen in größerem Umfang nutzbar gemacht. Am linken Ufer wurde ein Wasserkraftwerk mit 500 PS installierter Leistung an dem nach seinem Erbauer »Moser-Damm« genannten Wehr in Betrieb genommen.

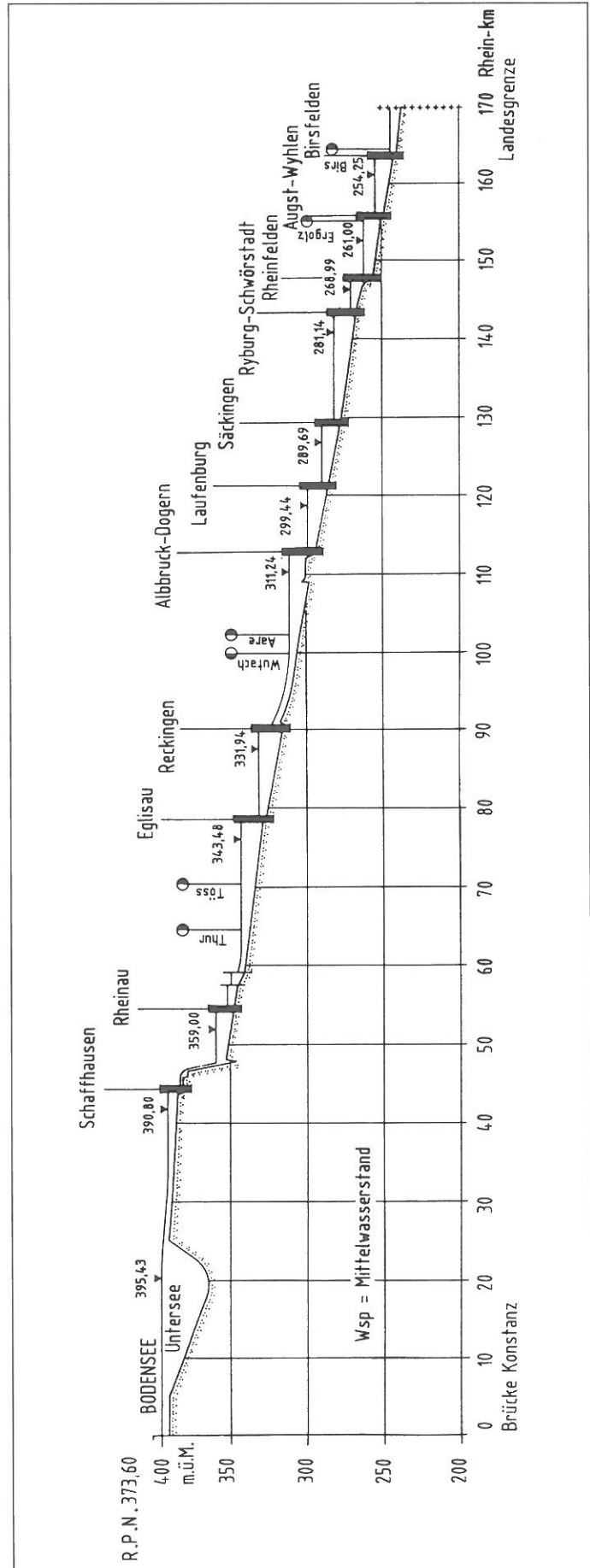
Die gewonnene Energie wurde mittels Drahtseil-Transmissionen quer über den Rhein und 500 m weit aufwärts bis in die Stadt übertragen. Dort wurde sie für 120 Franken je PS und Jahr an Gewerbebetriebe abgegeben.

Der steigende Bedarf führte bald zum Bau eines zweiten Kraftwerkes, welches ebenfalls die Staustufe des Moser-Dammes nutzte. Es kam 1889 in Betrieb und hatte 1.500 PS Leistung, die mittels Transmissionen an die Bedarfsstellen übertragen wurde. Die beiden Werke wurden von 1891 an auf die Erzeugung elektrischer Energie umgestellt. Um vorhandene Überschußenergie zu verwerten, errichtete man 1906/07 in unmittelbarer Nähe der Laufkraftwerke eines der ersten Pumpspeicherwerke. Als Unterbecken diente der Rhein unterhalb des Moser-Dammes. Das Oberbecken wurde künstlich geschaffen. Bei vorhandenem Überschuß an Energie wird Wasser aus dem Unterbecken in das höher gelegene Oberbecken gepumpt und dort zunächst gespeichert. Wenn dann ein Spitzenbedarf an Energie aus der Laufwasserkraft nicht gedeckt werden kann, wird das gespeicherte Wasser wieder abgelassen. Dabei wird der größte Teil der Pumpenergie mittels Turbinen zurückgewonnen und durch Generatoren in elektrischen Strom verwandelt.

Der Ausbau der Wasserkraftstufen am Hochrhein ging weiter (siehe Bild 5.1–9). Im Jahre 1898 wurde das Kraftwerk Rheinfelden in Betrieb genommen. Es war das erste Großkraftwerk am Rhein. Im Jahre 1912 kam als zweites Großkraftwerk am Hochrhein das aus zwei Werkeinheiten bestehende Kraftwerk Augst-Wyhlen hinzu. Dort steht an jedem Rheinufer eine Maschinenhalle in Längsrichtung des Flusses mit je 10 Turbinen-Generatoren-Sätzen und zusätzlich zwei Turbinen zum Antrieb der Erregermotoren. Im Jahre 1914 begann das Kraftwerk Laufenburg seinen Betrieb. Hier wurde das Maschinenhaus mit zehn Francis-Turbinen zum ersten Male quer zur Strömungsrichtung an-



Bild 5.1-9  
 Längsschnitt der  
 Wasserkraftstufen  
 am Hochrhein





geordnet. Mit dem in etwa gleicher Achse anschließenden Stauwehr wurde der Typ des Buchtenkraftwerkes am Hochrhein verwirklicht, eine Bauart, die mehrere Nachfolger fand.

Um 1920 ging das Kraftwerk Eglisau mit sieben vertikalachsigen Francis-Turbinen in Betrieb. Das leistungsstärkste Kraftwerk am Hochrhein, Ryburg-Schwörstadt, wurde 1931 eingeschaltet. Hier sind erstmals vier große Kaplan-Turbinen eingebaut worden. Sie können in einem weiten Abfließbereich geregelt werden und besitzen einen hohen Wirkungsgrad. Auch in den sechs danach erbauten Kraftwerken am Hochrhein wurden Kaplan-Turbinen verwendet. Seit 1954 ist das Kraftwerk Birsfelden hinzugekommen, das ebenso wie das Kraftwerk Augst-Wyhlen mit einer Schiffsschleuse verbunden ist. Die Großschiffahrt endet in der Stauhaltung des Kraftwerkes Augst-Wyhlen.

Anstelle der alten Kraftwerke am Moser-Damm wurde 1963 das Kraftwerk

Schaffhausen in Betrieb genommen. Als erstes Werk am Hochrhein hat es keine aufragenden Aufbauten mehr, damit es sich dem Landschaftsbild anpaßt. Entsprechend ist das kurz danach fertiggestellte Kraftwerk Säckingen gestaltet (Bild 5.1–10). Die Energieabgabe der bestehenden Hochrheinkraftwerke beträgt zusammen rund 4 Milliarden Kilowattstunden im Jahresdurchschnitt. Einige Daten der Werke sind in Tabelle 5.1–2 aufgeführt. In entsprechender Weise sind Wasserkraftstufen an der Aare gebaut worden. Sie haben, mit Ausnahme von drei älteren Anlagen, Schluckfähigkeiten von 350 bis über 400 m<sup>3</sup>/s.

Eine bedeutende Gruppe von Wasserkraftwerken liegt auf deutschem Gebiet im Schwarzwald südlich des Feldberges. Sie ist nach dem Schluchsee benannt, der zu einem großen Speicherbecken aufgestaut wurde (Bild 5.1–11). Von ihm führt eine Leitungstreppe in drei Stufen zum Rhein in die Stauhaltung Albruck-Dogern. Die darin angeordneten

*Bild 5.1–10  
Kraftwerk Säckingen  
im Hochrhein*

Nr.	Name	Lage	Stauziel	instal-	Schluck-	Bauzeit
		Rhein-km	(MW)	lierte	fähigkeit	von – bis
			NN + m	Leistung	(m <sup>3</sup> /s)	
				(MW)		
1	Schaffhausen	WK 44,5	390,80	29	500	1960–1963
2	Rheinau	WK 54,6	359,00	37	400	1951–1956
3	Eglisau	WK 78,7	343,48	34	400	1914–1919
4	Reckingen	WK 90,1	331,94	39	560	1939–1941
5	Albbruck-	W 109,1	311,24	85	1.100	1929–1934
	Dogern*	K 113,0				
6	Laufenburg	WK 122,1	299,44	99	1.030	1908–1914
7	Säckingen*	WK 129,4	289,69	74	1.450	1961–1966
8	Ryburg-	WK 143,5	281,14	120	1.450	1928–1931
	Schwörstadt*					
9	Rheinfelden	W 146,8	268,99	27	600	1894–1898
		K 147,7				
10	Augst-	WKS 155,7	261,00	45	840	1907–1912
	Wyhlen	155,9				
11	Birsfelden	WK 163,8	254,25	88	1.500	1950–1954
		S 163,6				

Tabelle 5.1–2

Wasserkraftwerke  
am Hochrhein [Götz  
1989]

W = Wehr, K = Kraftwerk, S = Schleuse

\* Bei den Kraftwerken Albbruck-Dogern, Säckingen und Ryburg-Schwörstadt wird der Stauraum zwischen dem Normalstau und dem Höherstau bewirtschaftet.

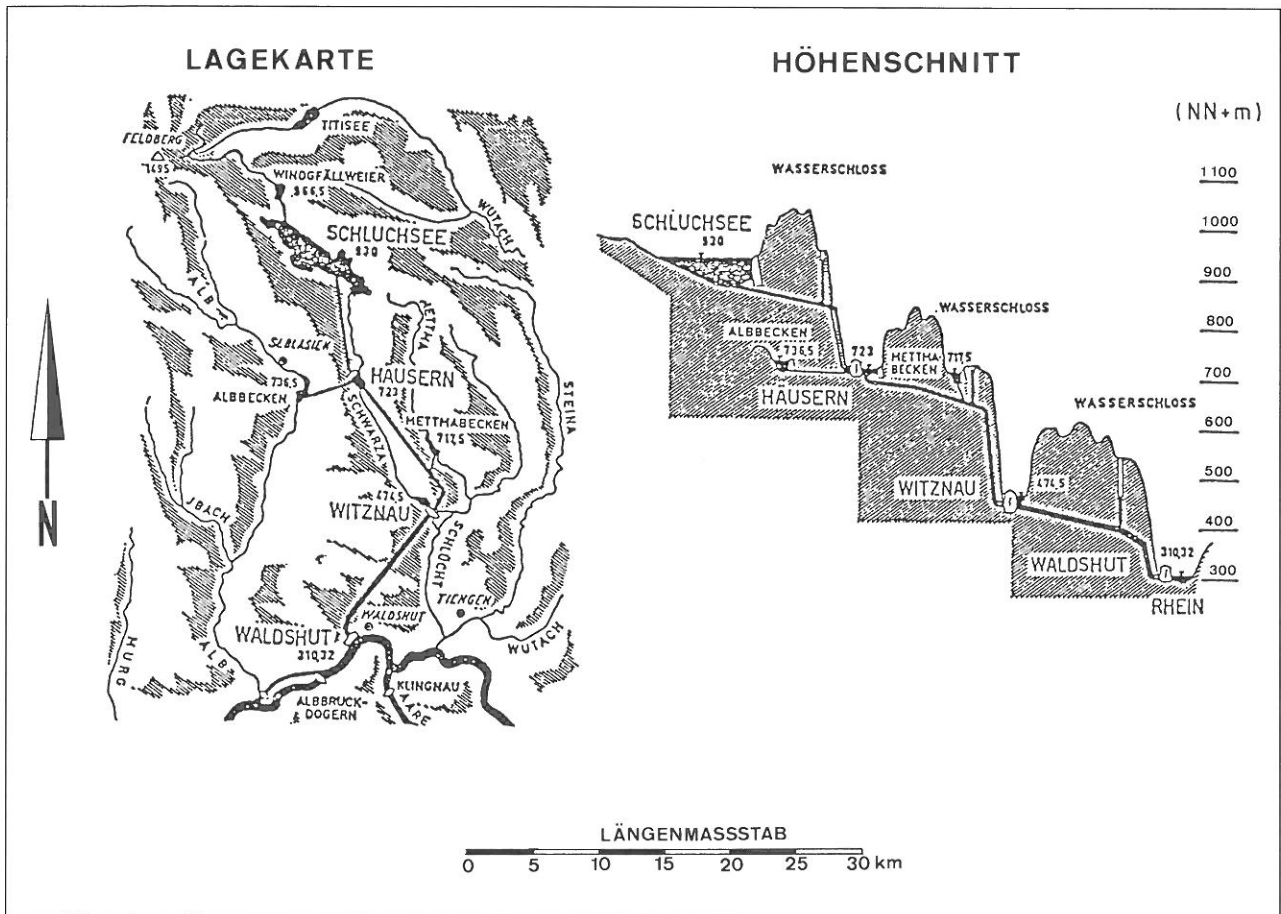
Kraftwerke dienen in erster Linie dazu, im Verbund mit den Hochrheinkraftwerken den zeitweise über die Leistung dieser Laufkraftwerke hinausgehenden Spitzenbedarf zu decken. Um in Schwachlastzeiten den überschüssigen Laufstrom nutzen zu können, wurde eine Pumpspeicherung eingerichtet. Eine weitere, benachbarte Kraftwerksgruppe, das Hotzenwaldwerk, verfügt im Stausee Lindau ebenfalls über ein großes Oberbecken. Zum Rhein hin sind zwei Kraftstufen mit zusammen 640 m Fallhöhe angeordnet. Die Staustufe Säckingen dient als Unterbecken.

Mit dem Ausbau der Wasserkraftwerke ist in den schweizerischen und österreichischen Alpen der *Talsperrenbau* eng verbunden. Veranlaßt wurde er durch das Bestreben, große Fallhöhen nutzbar zu machen und das schwankende Wasserdargebot weitmöglichst zu verwenden. Einem erhöhten Energiebedarf im Winter steht ein geringerer natürlicher Abfluß als im Sommer gegenüber; denn die Winterniederschläge werden meist als Schnee gespeichert und sind auch be-

trächtlich kleiner als die Sommerniederschläge [Schnitter 1983].

Die erste größere Talsperre entstand an der Sarine oberhalb Fribourg für das Wasserkraftwerk Maignage. Seine mit Seilen übertragene Energie diente einem Grundwasserpumpwerk für die städtische Wasserversorgung und verschiedenen Industriebetrieben. Guillaume Ritter war der Erbauer der 1872 fertiggestellten Talsperre (Pérolles), einer 21 m hohen und 195 m langen, leicht gekrümmten Gewichtstaumauer. Ihr beidseitig geböschter, trapezförmiger Querschnitt mit einer Fußbreite von 123% der Höhe war übervorsichtig bemessen. Im Gegensatz dazu war ihre Herstellung aus Beton modern und eine Neuheit in Europa.

Fast eine Generation später erfolgte 1894/95 ein Dammbau am Teufenbach im Kanton Zürich für die hydroelektrische Nutzung der Sihl. Damals gab es noch keine wissenschaftliche Bodenmechanik. Ihr Fehlen zeigte sich beim kurz darauf erfolgten Bau des westlichen



Gübsensee-Abschlußdammes für das Wasserkraftwerk Kubel bei St. Gallen. Bereits bei geringer Höhe der Aufschüttung schob der Dammkörper den Untergrund vor sich her. Erst die Aufbringung von luft- und wasserseitigen Stein- und Kiesauflasten brachte ihn zum Stehen. Von Anfang an mit einem solchen Querschnitt gebaut wurde 1908/1910 der 30 m hohe und 217 m lange Damm zum Aufstau des Klöntalersees [Wasser- und Energiewirtschaft 9, 1970].

Außer den genannten und einigen kleineren Dammbauten wurden auch mehrere Gewichtstaumauern gebaut, so 1892 die 19 m hohe Buchholzsperr bei Gossau, danach 1900 die 24 m hohe Ostmauer am Gübsensee, 1901 die 13 m hohe Listmauer bei Heiden, 1909 die 21 m hohe Muslensperre bei Amden und 1912 die 23 m bzw. 12 m hohen Staumauern der Berninaseen. Trotz der frühen Verwendung von Beton für die Talsperre Maigrauge (Pérolles) wurden diese Sperren meist in hergebrachter

Weise aus Bruchsteinmauerwerk hergestellt.

Die erste Anwendung des neuen Typs der Bogenstaumauer von Jorgensen in der Schweiz erfolgte 1919/20. Gußbeton gelangte erstmals bei der 1921/25 gebauten, 79 m hohen Staumauer Barberine zur Anwendung. Fast gleichzeitig wurden die Sperren Schräh und Rempfen im Wägital betoniert. Die 1924 fertiggestellte Staumauer Schräh hielt mit einer Höhe von 112 m für einige Jahre den Weltrekord als höchste Talsperre.

Im Zweiten Weltkrieg war der Bedarf der Schweiz an Wasserenergie, z.T. wegen Einschränkung des Importes fossiler Brennstoffe, beträchtlich gestiegen. Während der Nachkriegsjahre entwickelte sich im Talsperrenbau ein regelrechter Boom. Bild 5.1–12 zeigt die in den Sechziger Jahren erbaute Talsperre Göschenalp oberhalb des Vierwaldstätter Sees.

Bild 5.1–11  
Lage- und Höhenplan  
des Schluchseewerkes



Bild 5.1–12  
Talsperre Göschenental  
(1.792 m) am Gott-  
hardmassiv

Nr.	Name	Inhalt Mio. m <sup>3</sup>	Staubeginn
<i>Schweiz</i>			
1	Marmorera	60,0	1954
2	Zervreila	100,0	1957
3	Valle di Lei	197,0	1961
4	Nalps	44,5	1962
5	Sufers	18,3	1962
6	Curnera	40,8	1966
7	Sta. Maria	67,0	1968
8	Gigerwald	33,2	1976
9	Mapragg	2,7	1976
	Zwischensumme	563,5	
<i>Österreich</i>			
10	Spullersee	15,7	1925
11	Vermunt	5,0	1931
12	Silvretta	38,6	1949
13	Lünersee	76,0	1958
14	Kops	44,0	1965
	Zwischensumme	179,3	
	Gesamtsumme	742,8	

Tabelle 5.1–3  
Talsperren im Rhein-  
gebiet oberhalb des  
Bodensees

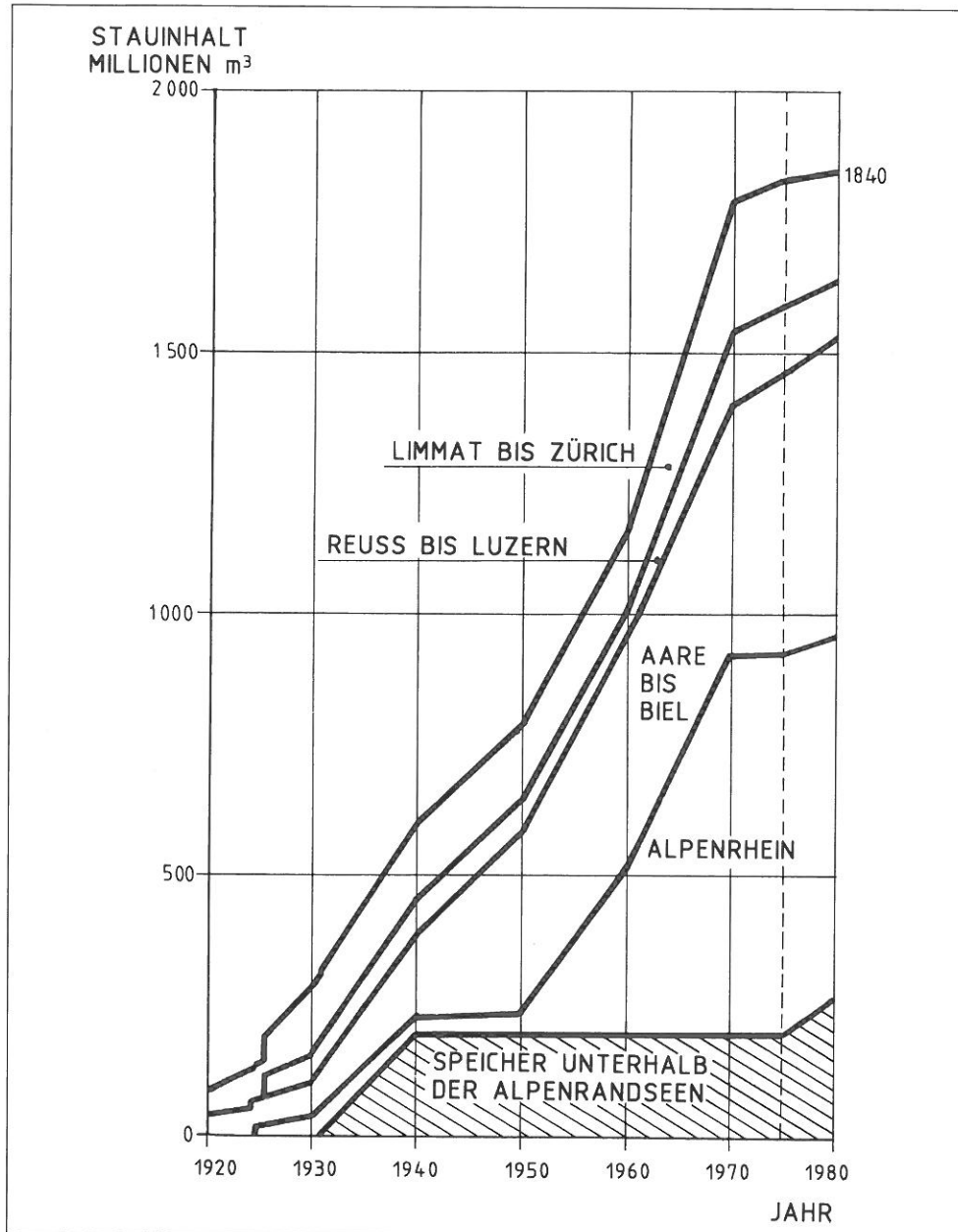
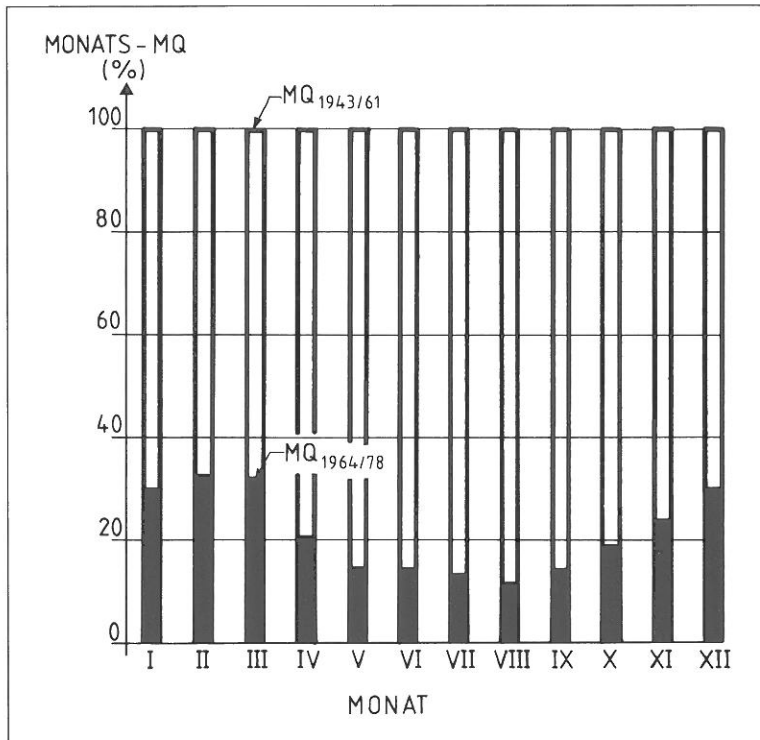


Bild 5.1-13  
Entwicklung der Tal-  
sperreninhalte ober-  
halb Basel

Im Gebiet des Alpenrheins ist der Inhalt der Talsperren seit den Zwanzigerjahren auf rund 750 Millionen m<sup>3</sup> angewachsen. Diese Speicher sind in Tabelle 5.1-3 chronologisch aufgeführt [Götz und Spreafico 1989]. Der Inhalt aller Talsperren im Rheingebiet oberhalb Basel hat 1980 insgesamt 1.840 Millionen m<sup>3</sup> erreicht (Bild 5.1-13).

Durch die Wasserspeicherung in den Talsperren und durch die mit ihnen verbundenen Beileitungen von Nachbargewässern sind erhebliche Veränderungen in der Wasserführung von Bächen und Flüssen eingetreten. Dies ist nicht nur

bei Hochwasser der Fall, worauf im Zusammenhang mit den Seeregulierungen bereits oben hingewiesen wurde, sondern gilt auch für geringere Abflüsse. Neben der jahreszeitlichen Verschiebung von Abflußanteilen kommt bei kleineren Gewässern auch ein Abflußentzug vor, weil Überleitungen in benachbarte Talsperren oder Wasserkraftwerke vorgenommen worden sind. Bild 5.1-14 zeigt dies am Beispiel des Pegels Disentis im Vorderrhein. In seinem Einzugsgebiet liegen die Talsperren Nalps, Curnera und Sta. Maria. Das Triebwasser der Turbinen wird erst unterhalb des Pegels in den Vorderrhein



**Bild 5.1-14**  
Veränderungen der mittleren monatlichen Abflüsse am Pegel Disentis/Vorderrhein infolge Ableitungen oberhalb zur Kraftnutzung

zurückgegeben [Spreafico 1980].

Die Wasserstände des Bodensees werden durch die Bewirtschaftung der Talsperren in seinem Einzugsgebiet beeinflusst. Im Sommer werden die Seewasserstände infolge des Talsperrenrückhaltes i.A. abgesenkt. Dies ist für die Speicherung auftretender Hochwasser vorteilhaft, kann in trockenen Jahren allerdings auch unerwünscht sein. Die Talsperren vermögen sich bei Niedrigwasser im See auch positiv auszuwirken. So haben die Speicherezuschüsse beim extremen Niedrigwasser im März 1972 verhindert, daß der Seespiegel unter das bisherige Minimum absank, was ohne Speicher im Umfang von etwa 23 cm der Fall gewesen wäre [Götz und Spreafico 1989]. Andererseits können die Speicherrückhalte in Hochwasserzeiten eine Absenkung des Seespiegels unter die natürlichen Hochwasserstände in gleicher Größenordnung bewirken.

## 5.2 Oberrhein bis zum Neckar

### 5.2.1 Naturräumliche Gegebenheiten

Von Basel bis Bingen verläuft der Rhein als »Oberrhein« vorwiegend in nördlicher Richtung und durchfließt auf 300 km Länge das Oberrheinische Tiefland. Seine Fließstrecke beträgt rund 380 km. Bis in die Höhe von Karlsruhe bildet er die deutsch-französische Grenze.

Das Tal des Oberrheins hat eine mittlere Breite von 40 km. Es liegt bei Basel auf 250 m und bei Mainz auf 90 m über Normalnull. Das mittlere Geländegefälle beträgt 0,53 m/km. Im Westen ist das Tal durch Vogesen und Haardt bzw. Pfälzerwald, im Osten durch Schwarzwald und Odenwald begrenzt.

Der Oberrheingraben ist als geologischer Grabenbruch entstanden. Durch jüngere Meeresablagerungen und Flußschotter ist er bis zu einer Mächtigkeit von 300 m aufgefüllt worden. Alluviale Schichten bilden die Taloberfläche.

Vor der Durchführung durchgreifender Flußbaumaßnahmen war der Rhein ein Wildstrom, dessen Ausbildung vom Gefälle bestimmt war. Im südlichen Teil zwischen Basel und der Murgmündung ist das mittlere Gefälle mit 0,87 m/km mehr als dreimal so groß wie nördlich davon bis Mainz mit 0,25 m/km. Während der Rhein im Süden eine Furkationszone, d.h. ein System sich verzweigender, miteinander verflochtener Rinnen, entwickelte (Bild 5.2-1), schloß sich nördlich eine Mäanderzone mit weit ausschwingenden Flußkrümmungen an (Bild 5.2-2). Der Rhein verlagerte sich im Laufe der Jahrhunderte sehr oft innerhalb der heutigen Niederung. Seiner Erosionskraft steht ein Geschiebedefizit gegenüber, bedingt insbesondere durch den als Geschiebefalle wirkenden Bodensee und das widerstandsfähige Flußbett des Hochrheins.

Der Rheingraben ist morphologisch zu meist rheinparallel gegliedert. Auf die

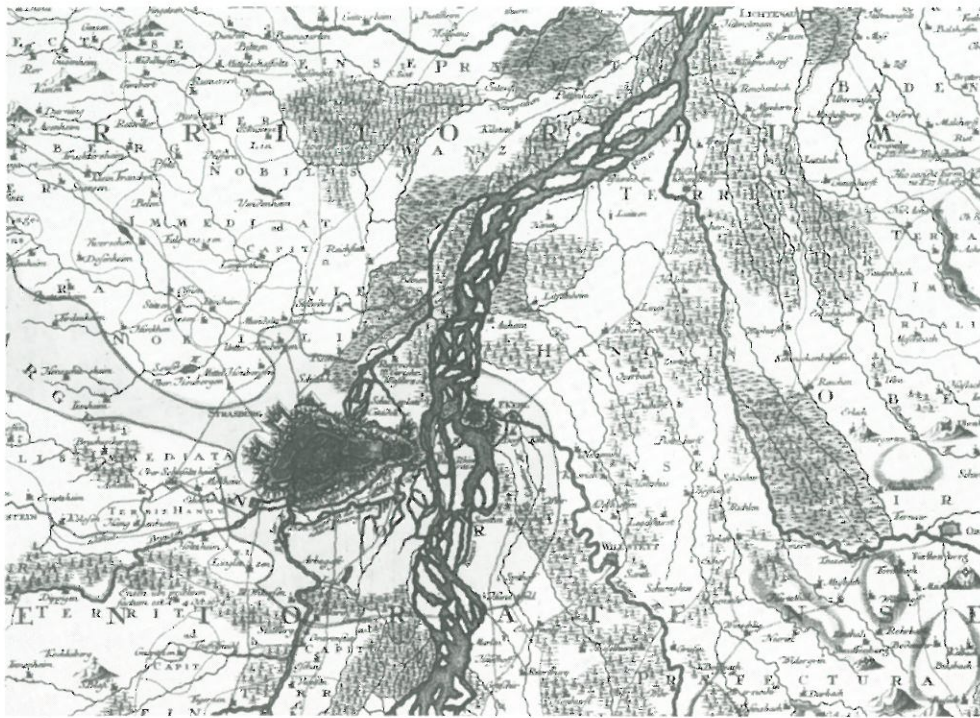


Bild 5.2-1  
Furkationszone des  
Rheins bei Straßburg  
um 1700. Karte von  
M. Seutter

Bild 5.2-2  
Mäanderzone des  
Rheins bei Karlsruhe  
um 1800, Karte von  
C. C. Schwenck





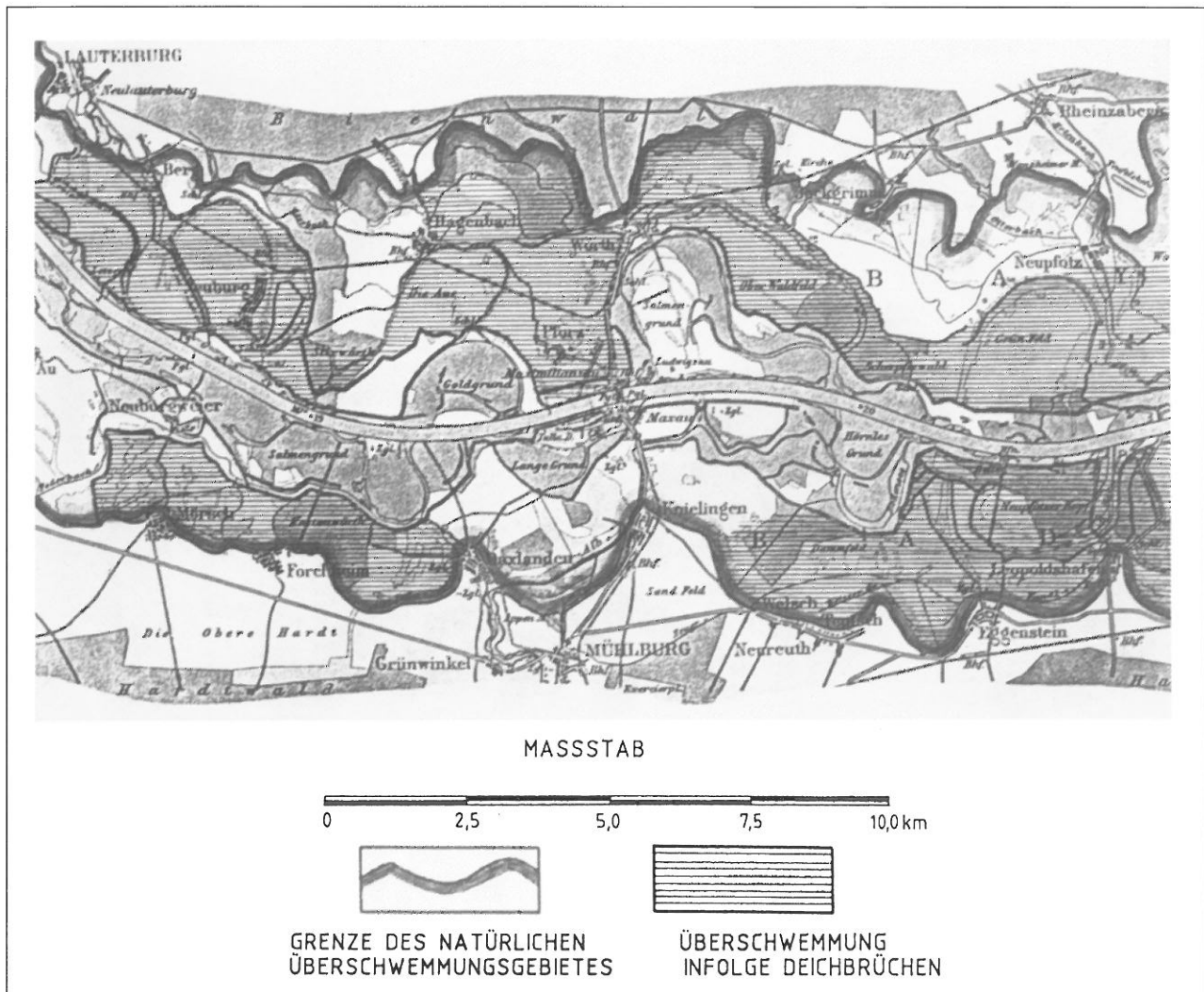
zwei bis vier Kilometer breite Flußaue (Rheinniederung) folgt die bis zu zwanzig Kilometer breite und mit einem bis zu vierzehn Meter aufragenden Hochgestade gegen die Aue abgesetzte Niederterrasse. An den Gebirgsrändern sind teilweise mehrere Kilometer breite Randniederungen ausgebildet (Kinzig-Murg-Rinne, Bergstraßen-Neckar-Rinne).

Das Oberrheinische Tiefland ist aufgrund seiner naturräumlichen Gegebenheiten, zu denen insbesondere die günstigen Klima- und Bodenverhältnisse sowie die Verfügbarkeit von Grund- und Oberflächenwasser zu zählen sind, intensiv landwirtschaftlich genutzt. Es weist ein engmaschiges Verkehrsnetz auf und ist stark besiedelt. Sehr dichte Bebauung findet sich vor allem um Basel, auf französischem Gebiet um Mühl-

hausen und Straßburg, auf deutschem Ufer um Freiburg, Karlsruhe, Mannheim und Ludwigshafen.

Ein katastrophales Rheinhochwasser, das heute noch bei Ausbauplanungen als wichtige Bemessungsgrundlage berücksichtigt wird, trat um die Jahreswende 1882/83 ein. Ende 1882 fielen im Einzugsgebiet des Oberrheins äußerst hohe Niederschläge auf gefrorenen Boden. Das Maximum der Niederschläge lag im Schweizer Jura, im Alpenvorland und im südlichen Schwarzwald. Vom 25. bis 27. Dezember 1882 wurden beispielsweise an den schweizerischen Stationen Altdorf, Zürich und Baden 102, 78 und 148 mm Niederschlag gemessen. In Höchenschwand im Schwarzwald wurden sogar 213 mm registriert. Das anschließend im Oberrhein ablaufende Hochwasser war so groß, daß die Dei-

**Bild 5.2–3**  
Der Rhein im Bereich Karlsruhe mit Überschwemmungsflächen als Folge von Deichbrüchen im Dezember 1882



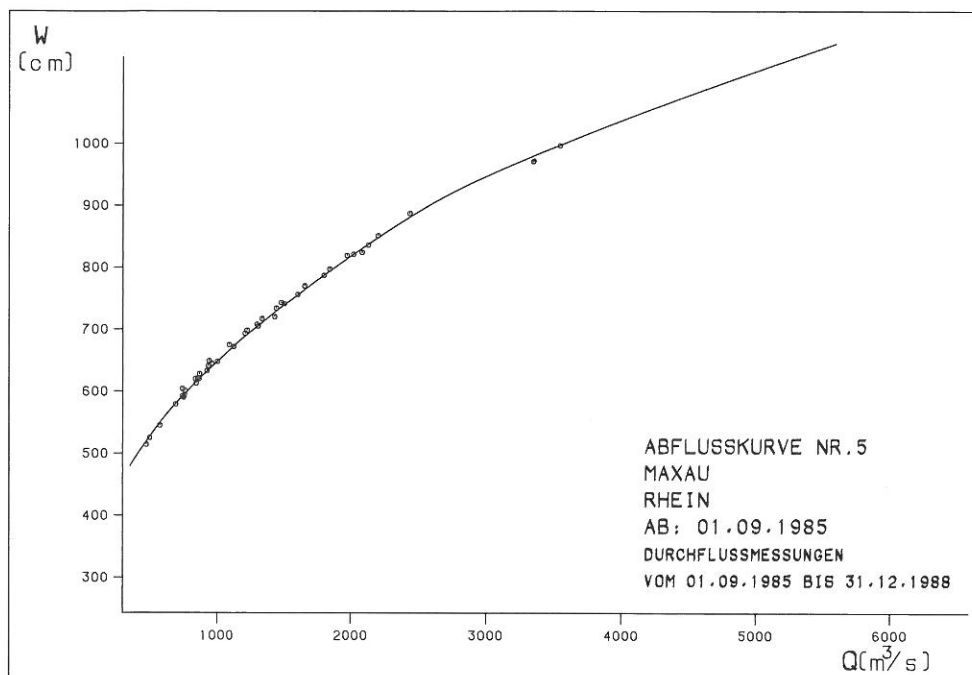


Bild 5.2-4  
Abflußkurve für den  
Pegel Maxau.  
 $W$  = Pegelstand in  
cm,  $Q$  = Abfluß in  
 $m^3/s$ .

che an zahlreichen Stellen brachen (Bild 5.2-3). Die ebenfalls bedeutende Hochwasserwelle des Neckars erreichte die Mündung drei Tage früher als die Welle des Oberrheins. Sie verursachte unterhalb der Mündung höhere Wasserstände als die von oberhalb zufließende Rheinwelle [Honsell 1883, Gerhard 1985].

Weitere große Hochwasser ereigneten sich im Oberrheingebiet im Dezember 1919, im Dezember 1944, im Januar 1955, im Februar 1970 und zuletzt im März 1988. Sie brachten jeweils Scheitelabflüsse von mehr als  $4.000 m^3/s$  am Pegel Maxau.

Langfristig beobachtete Pegel, an denen der Wasserstand kontinuierlich aufgezeichnet wird (Schreibpegel), befinden sich am Oberrhein u.a. bei Basel, Straßburg/Kehl, Maxau und Worms. So verfügt der Pegel bei Karlsruhe-Maxau über eine mehr als 100jährige Beobachtungsreihe. Am 31.12.1882 wurde ein Wasserstand registriert, aus dem sich mit Hilfe einer Wasserstand-Abfluß-Beziehung (Abflußkurve entsprechend Bild 5.2-4) ein Scheitelabfluß von  $4.550 m^3/s$  ergibt. Der mittlere Abfluß (MQ) im Zeitraum 1931-85 betrug dort lt. Gewässerkundlichem Jahrbuch  $1.250 m^3/s$ , der höchste Abfluß (HQ)

wurde am 25.2.1970 mit  $4.400 m^3/s$  verzeichnet. Die entsprechenden Werte für Rheinfeldern am Hochrhein oberhalb Basel sind  $MQ = 1.030 m^3/s$  und  $HQ = 3.850 m^3/s$  (am 8.8.1978) und für Worms  $MQ = 1.410 m^3/s$  und  $HQ = 5.600 m^3/s$  (am 17.1.1955).

Die Abflußkurve eines Pegels mit beweglicher Flußsohle muß laufend durch Abflußmessungen möglichst in dem gesamten Bereich der auftretenden Wasserstände überprüft und korrigiert werden. Während der Pegel Maxau eine Tendenz zur Auflandung zeigt, tieft sich die Rheinsohle am Pegel Worms seit Beginn der Beobachtungen kontinuierlich ein. Ein Abfluß von  $5.000 m^3/s$  weist dort einen um etwa einen Meter niedrigeren Wasserstand als vor 100 Jahren auf.

Der Abfluß  $Q$  in  $m^3/s$  wird am Rhein normalerweise aus den in mehreren Meßlotrechten ermittelten Fließgeschwindigkeiten  $v$  in  $m/s$  und der durchflossenen Querschnittsfläche  $A$  in  $m^2$  nach der Beziehung

$$Q = A \cdot v_m$$

bestimmt.  $v_m$  ist die über den Fließquerschnitt  $A$  gemittelte Strömungsgeschwindigkeit. Für die Messung wird

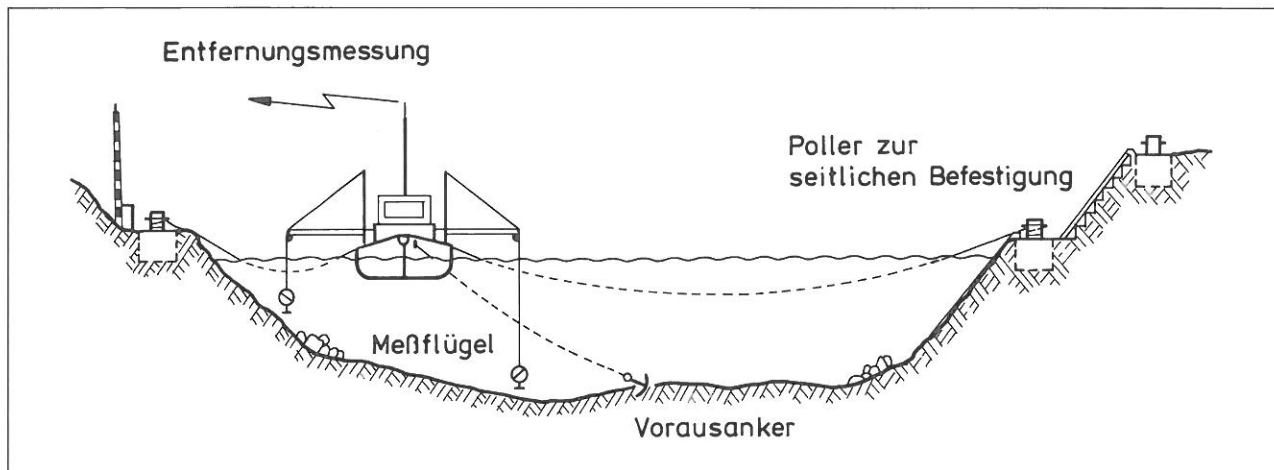


Bild 5.2–5  
Abflußmessung mit  
Meßschiff, System-  
skizze

ein entsprechend ausgerüstetes Schiff eingesetzt (Bild 5.2–5). Von diesem aus wird an einem Ausleger ein Meßflügel in der Meßlotrechten mit einer bestimmten Geschwindigkeit zwischen Wasseroberfläche und Flußsohle bewegt. Er dreht sich entsprechend der Strömungsgeschwindigkeit. Umfassende Angaben über ausgewertete Meßergebnisse sind der Hydrologischen Monographie »Das Rheingebiet« [KHR 1978] zu entnehmen.

### 5.2.2 Ausbaumaßnahmen am Rhein

Im folgenden werden die Baumaßnahmen am Oberrhein behandelt, die seit Beginn des 19. Jahrhunderts bis herunter zum Neckar ausgeführt worden sind [u.a. Kissel 1987, Kunz, 1975, 1978, Viesser 1985a, b].

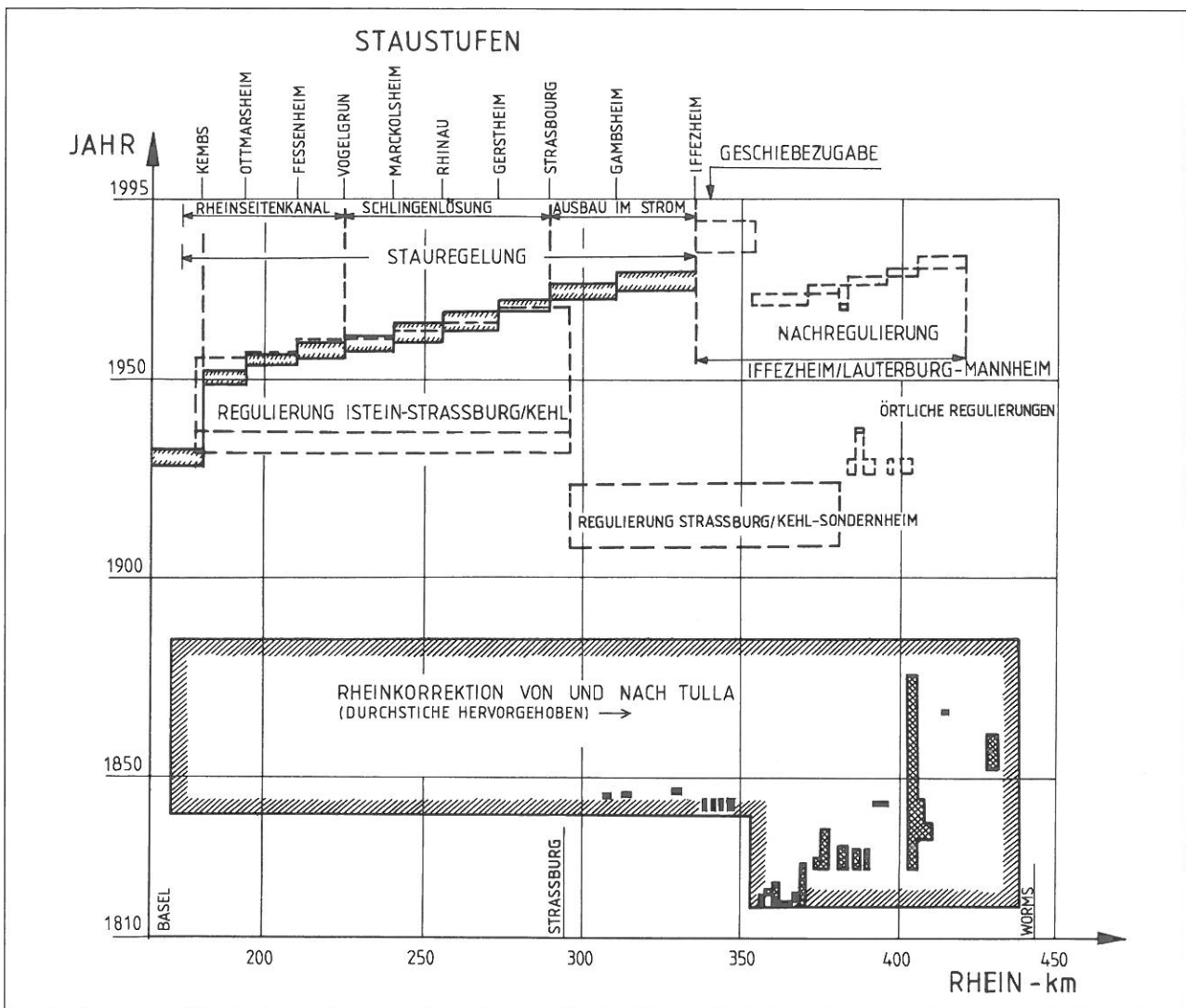
Die Bauperioden der zahlreichen wasserbaulichen Maßnahmen sind für die jeweiligen Flußstrecken in Bild 5.2–6 graphisch dargestellt. Aus Tabelle 5.2–1 sind zusätzlich der Hauptzweck sowie die positiven und negativen Auswirkungen zu entnehmen.

Wie in Abschnitt 4.3 dargestellt, brachte der Wildstrom Oberrhein für die Anlieger und Nutzer eine Reihe schwerwiegender Probleme mit sich, die nicht durch lokale Maßnahmen gelöst werden konnten.

Im Jahre 1800 wurde dem erst 30jährigen *Johann Gottfried Tulla* vom Großherzog Karl-Friedrich von Baden die Aufgabe übertragen, ein einheitliches Hochwasserschutzprogramm für den Rhein auszuarbeiten und für eine Absenkung der hohen Grundwasserstände zu sorgen. Davor hatte Tulla bereits als Großherzoglicher Geometer seine besonderen Fähigkeiten bei der Anfertigung von Rheinstromkarten bewiesen. Tullas Prinzip der »Rektifikation« bzw. »Korrektion« des Rheins bestand darin, den Fluß durch Leitgerinne und Einbauten vom Ufer her in ein erodierendes Abflußbett zu zwingen, dessen Ufer nach Erreichen der angestrebten Breite befestigt wurden. Mit langgezogenen flachen Bögen legte er ein neues Flußbett mit 200 m Breite auf der Strecke Basel-Straßburg und mit 250 m Breite unterhalb fest.

In den ersten 20 Jahren mußten, vom Hochgestade ausgehend, Quer- und Längswerke aus Faschinen in Kombination mit Steinen durch die Rheinanwohner in Fronarbeit hergestellt werden. Die Arbeiten konnten zumeist nur in Niedrigwasserzeiten ausgeführt werden. In der Mäanderzone wurde vorwiegend mit Durchstichen gearbeitet. Nach 40 Jahren war das neue Rheinbett zwischen Basel und Karlsruhe geschaffen. Es konnte einen Abfluß von 2.000 m<sup>3</sup>/s abführen.

Allein im Abschnitt Basel-Straßburg wurden auf rund 120 km Stromlänge



240 km Rheinuferdämme mit 5 Mio m<sup>3</sup> Dammmaterial sowie 200 km Querriegel und Leitbauwerke mit 4 Mio m<sup>3</sup> Material von Menschenhand errichtet. Der Strom selbst hat in der gleichen Zeit 12 Mio m<sup>2</sup> Insel- und Halbinselflächen abgetragen oder durchgerissen und rund 30 Mio m<sup>3</sup> Boden durch Erosion verlagert.

Die Streckung der Linienführung hatte im Furkationsbereich eine Verkürzung der Lauflänge von 219 auf 188 km zur Folge, d.h. um 13%. In der Mäanderzone wurde die Fließlänge von 135 auf 85 km reduziert, entsprechend 37%. Bild 5.2-7 zeigt in den beiden oberen Darstellungen den Naturzustand und die Korrektur von Tulla, darunter den heutigen Zustand nach dem Staustufenbau. In Bild 5.2-8 sind frühere Rhein-

läufe und die Linienführung der Korrektur von Tulla im Bereich westlich und nördlich von Karlsruhe zusammen dargestellt.

Anfangs hatte Tulla mit den Rheinwohnern große Schwierigkeiten. Sie glaubten nicht an sein Werk. Deshalb mußten in den ersten Jahren die zu Frondiensten zusammengetriebenen Rheinwohner unter militärischer Aufsicht arbeiten. Die Chronik berichtet, daß mehrfach 30 bis 50 Mann starke Truppenteile von aufgebrachtten Arbeitern in die Flucht geschlagen wurden. Allein für die Anlage eines Durchstiches mußten 3.000 bis 5.000 Arbeitskräfte und zusätzlich eine beträchtliche Anzahl Soldaten eingesetzt werden.

Bei der Würdigung der Leistungen Tul-

Bild 5.2-6  
Hauptmaßnahmen  
zum Oberrheinaus-  
bau seit Beginn des  
19. Jahrhunderts

Zeit	Stromabschnitt	Maßnahmen	Hauptzweck(e)	Auswirkungen
ab 1817	Basel/ Mannheim	Korrektion nach Plänen von Tulla (Dämme, Querriegel, Parallelbauwerke in der Furkationszone, Durchstiche in der Mäanderzone)	Verbesserungen: – Hochwasserschutz – Schifffahrt – Landwirtschaft – Lebensbedingungen, Vorflut für Binnenland – festes Rheinbett (Grenze zu Frankreich)	Sohlenerosion, Wasserstands- und Grundwasserabsenkung bereits ab 1850
ab 1906	Basel/ Mannheim	Regulierung durch Honsell (Buhnen, Leitwerke)	ganzjährige Großschifffahrt	künstliche Auflandungen
ab 1927	Basel/Breisach	Rheinseitenkanal (Grand Canal d'Alsace) mit Staustufen: – Kembs – Ottmarsheim – Fessenheim – Vogelgrün	Wasserkraftnutzung durch die »Electricité de France« (EdF)	weitere Wasserstands- und Grundwasserabsenkungen, Zerstörung des Auenwaldes, Verschärfung des Hochwasserabflusses infolge Wegfalls natürlicher Retentionsflächen
1932				
1952				
1956				
1959				
1961/70	Breisach/ Straßburg	Schlingenlösung mit Staustufen: – Marckolsheim – Rhinau – Gerstheim – Strasbourg	modifizierter Ausbau für Schifffahrt und Wasserkraftnutzung zur Erhaltung der natürlichen Wasser- und Grundwasserstände	weitgehende Erhaltung der Rheinaue in diesem Stromabschnitt, Verschärfung des Hochwasserabflusses
1961				
1963				
1965				
1967				
ab 1970	Straßburg/ Iffezheim	Ausbau im Strom (Vollkanalisierung) mit Staustufen: – Gamsheim – Iffezheim	– Erosionsbekämpfung – Wasserkraftnutzung	Verschärfung des Hochwasserabflusses, Abtrennung der Seitengewässer, Änderung des Grundwasserregimes in der Rheinaue
1974				
1977				

Tabelle 5.2–1  
Abfolge und Wirkungen der Hauptmaßnahmen zum Oberreinausbau

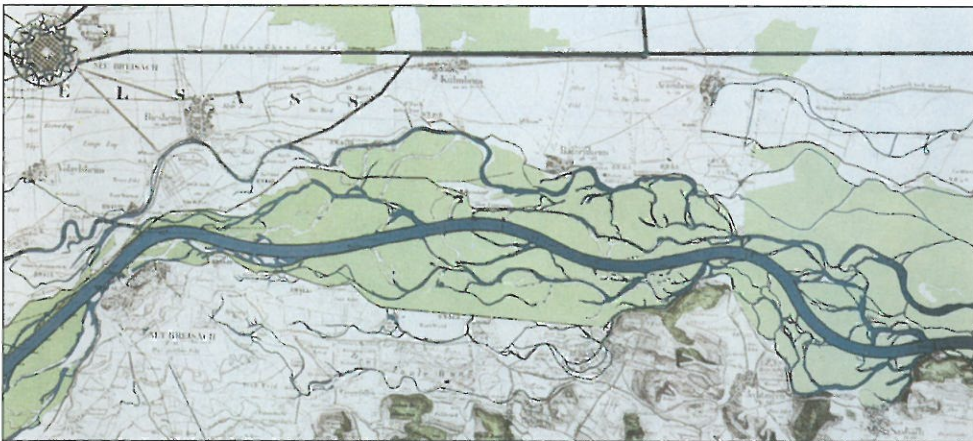
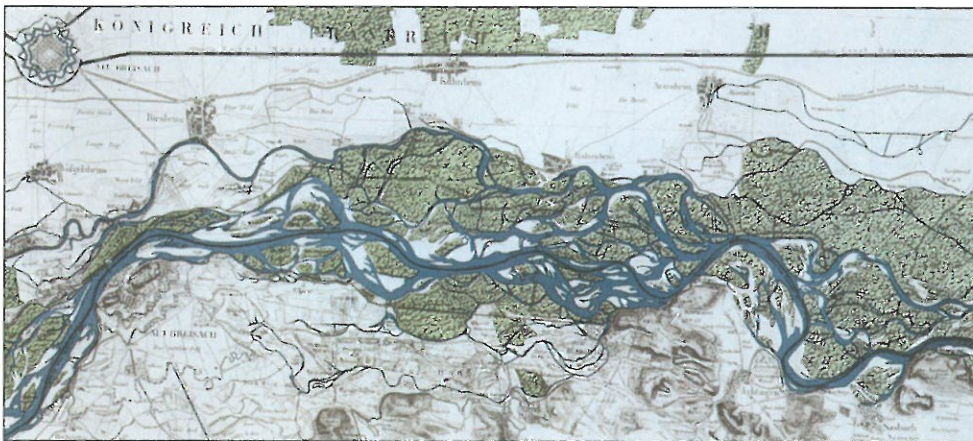


Bild 5.2–7  
Der Oberrhein bei  
Breisach/Kaiserstuhl  
– vor der Korrektur  
(1828): oben  
– nach der Korrektur  
(1872): Mitte  
– nach dem Staustufenbau  
(1963): unten

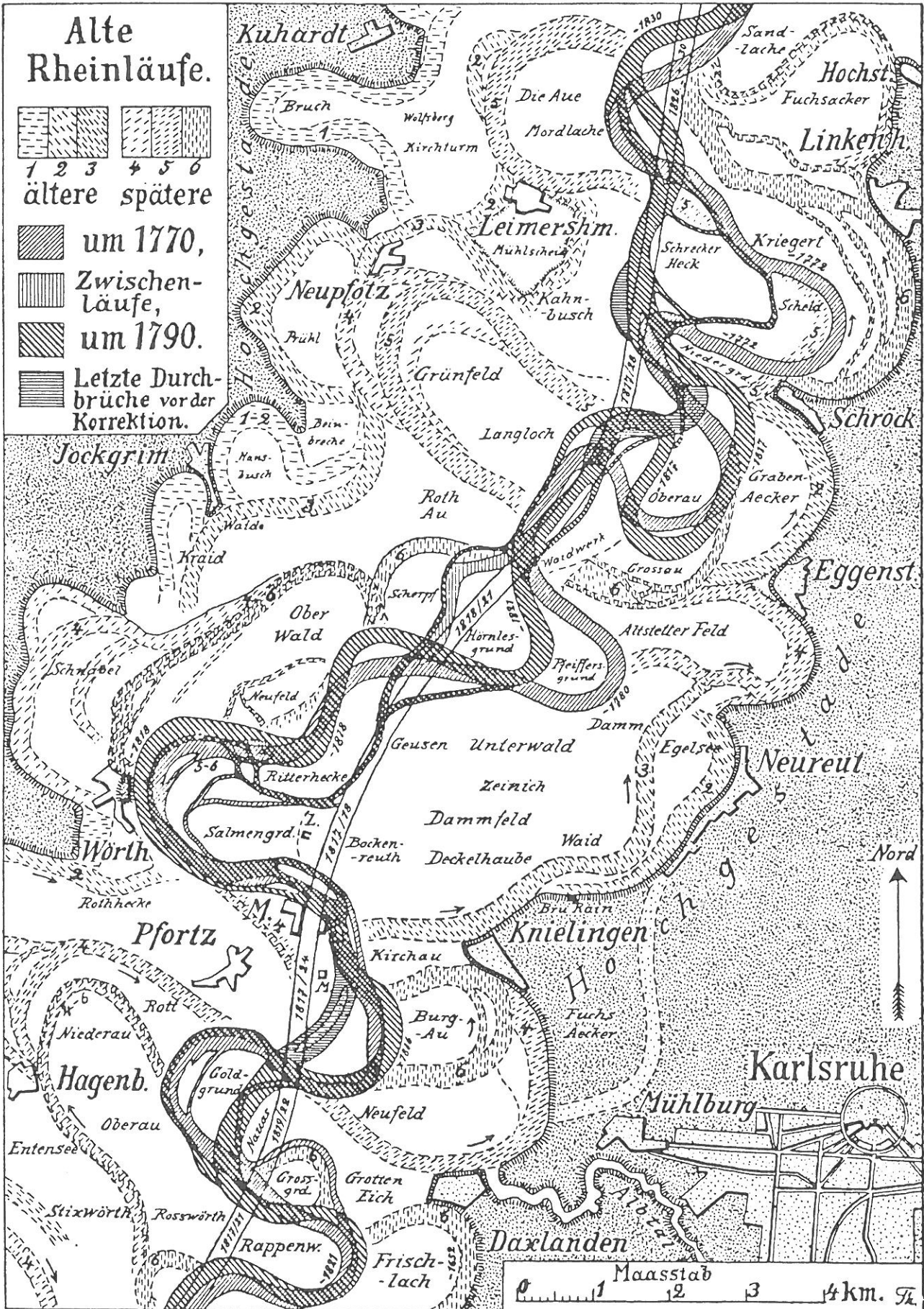


Bild 5.2-8 Rheinläufe bei Karlsruhe vor und nach der Korrektion

las (Bild 5.2–9) ist auch zu berücksichtigen, daß er sein grenzüberschreitendes Projekt nicht nur mit Frankreich abstimmen mußte, sondern auf der deutschen Seite mit zahlreichen souveränen Ländern ein einheitliches Maßsystem zu vereinbaren hatte, weil zuvor in diesem Rheinabschnitt 20 verschiedene Maßeinheiten galten. Vor allen Dingen aber hatte er die Grenze zwischen Deutschland und Frankreich festzulegen. Auch die heutige Grenze regelt sich noch nach dem von Tulla im Jahre 1801 festgelegten Talweg, der tiefsten Stelle des Rheinbettes.

Tulla schätzte den Erfolg seiner Maßnahmen vorausschauend folgendermaßen ein: »Wird aber der Rhein rektifiziert sein, so wird alles längs dieses Stromes anders werden. Der Mut und die Tätigkeit der Rheinuferbewohner wird in dem Verhältnis steigen, in welchem ihre Wohnungen, ihre Güter und deren Ertrag mehr geschützt sein werden! Das Klima längs des Rheins wird durch Verminderung der Wasserflächen auf beinahe ein Drittel, durch das Verschwinden der Sümpfe und die damit im Verhältnis stehende Verminderung der Nebel wärmer und angenehmer und die Luft reiner sein!«

Aus einer Bekanntmachung des Gemeinderates von Eggenstein bei Karlsruhe vom 20.1.1819 ist zu entnehmen, mit welcher großen Freude, Anerkennung und Genugtuung die Rheinanoher nach dem erfolgten Durchstich Tullas Werk priesen. Der Bürgermeister dieser Gemeinde hatte seine damalige Bekanntmachung folgendermaßen formuliert: »Seiner hochedelgeborenen Herrn Ingenieur Obrist Lieutenant der Freude des Rheindurchschnitts bei Ekenstein, den 20. Januar 1819 nachmittags um 3 $\frac{1}{2}$  Uhr und zugleich reiner Herzens Dank, vom Gericht und Rath, sämtlicher Innwohner des Orts, wegen Besorgung des Durchschnittes soll dieses Rheinfest gefeiert werden... In allen Häusern hiesigen Orts hört man reine lautere Freude. Greise riefen Jubel aus. Alte ließen die Stimme von sich hören:



Bild 5.2–9  
Johann Gottfried  
Tulla (1770–1828)

Vivat! Es lebe noch lange Herr Obrist Lieutenant Tulla! Kinder hüpfen zur Freude – wie junge Lämmer zur Frühlingszeit. Dank, Dank, innigen Dank, ...«

Aus der sumpfigen Rheinniederung wurde ein land- und forstwirtschaftlich genutztes Gebiet. Die Hochwassergefahren wurden bedeutend verringert, ebenso die Seuchenplage. Die Fischerei erlebte einen großen Aufschwung.

Aber bereits wenige Jahre nach Abschluß der Korrektur, nachdem der Rhein sich nicht mehr seitlich austoben konnte, grub er sich stärker als geplant in den Untergrund ein. Die Erosion erreichte bei Rheinweiler im Maximum 7 m, bei Neuenburg 5 m und bei Breisach 2 m, während es unterhalb zu Auflandungen kam (Bild 5.2–10).

Die Tiefenerosion wurde noch dadurch verstärkt, daß in den Jahren 1890 bis 1900 aufgrund der Überschwemmungen von 1876 und 1882/83 beiderseits des Rheins von Basel bis Karlsruhe größere Deiche in gestreckter Linienführung errichtet wurden. Dadurch wurde der Hochwasserabflußquerschnitt um 50% verringert und die Schleppspannung des Wassers entsprechend erhöht. Einen Beitrag zur vermehrten Erosion lieferte auch die Erfül-



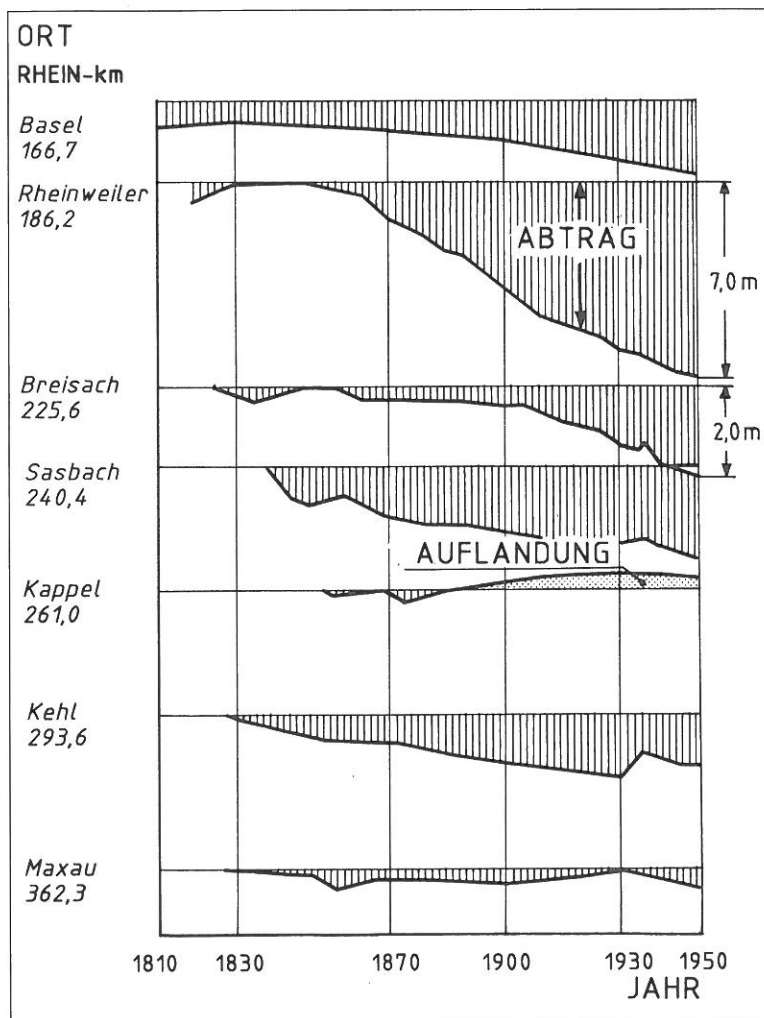


Bild 5.2-10  
Veränderung der  
Rheinsohle nach der  
Korrektur

lung von Forderungen der Anwohner, die nach Tullas Plänen offenzuhaltenden Einläufe in die Altrheine zuzuschütten, um auch diese Gebiete landwirtschaftlich nutzbar zu machen. Dadurch setzte die Erosion bereits bei kleineren Abflüssen als früher ein.

An die Rheinausbauten Tullas und seiner unmittelbaren Nachfolger mußten weitere Maßnahmen anschließen. Sie sind insbesondere mit dem Namen *Max Honsell* verbunden, der der Großherzoglichen Baudirektion in Karlsruhe Ende des 19. Jahrhunderts vorstand. Weil in dem Korrektionsbett große Geschiebemengen wanderten, die sich zeitweise als Bänke und Inseln ablagerten, konnte der aufkommenden Dampfschiffahrt keine einheitliche Fahrrinne mit der erforderlichen Mindesttiefe von 2 m garantiert werden. Daher hatte man einen Schiffahrtskanal mit 40 m Wasser-

spiegelbreite und 2 m Wassertiefe auf der linken, damals elsässisch-deutschen Rheinseite projektiert. Zur Speisung war eine Wasserentnahme von  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  aus dem Rhein unterhalb von Basel vorgesehen.

Diesem Plan wurde von Honsell eine Regulierung des Rheins durch Anlage einer bei Niedrigwasser etwa 2 m tiefen und 80 m breiten Schiffahrtsrinne entgegengestellt. Diese Rinne sollte sich der Rhein selbst schaffen, nachdem der Fließquerschnitt vom Ufer her durch Buhnen und Leitwerke eingeschnürt war. Die Schiffahrtsrinne pendelt entsprechend der geschwungenen Linienführung des Korrektionsbettes im Abstand einiger Kilometer von einem Ufer zum anderen (Bild 5.2-11).

Die Rheinregulierung wurde im Jahre 1906 mit dem Abschnitt Sondernheim/Speyer-Straßburg begonnen und fand 1956 ihren Abschluß. Durch die Baumaßnahmen wurde es möglich, auch mit größeren Schiffen fast ganzjährig die Häfen in Basel und Weil zu erreichen. Allerdings trat auf weiten Strecken eine zusätzliche Tiefenerosion ein, die zu einer Absenkung des Niedrigwassers im Rhein und im seitlich anschließenden Grundwasser führte.

Nach dem Ersten Weltkrieg erhielt Frankreich im Versailler Vertrag das Recht zur alleinigen Nutzung der Wasserkräfte des Rheins entlang der deutsch-französischen Grenze. Die Voraussetzungen zur Wasserkraftnutzung sind am südlichen Oberrhein nicht ungünstig. Zum einen ist das Gefälle erheblich und zum anderen hat der Oberrhein ein ausgeglichenes Abflußregime. Die Unterschiede zwischen dem Abflußverhalten des Oberrheins und eines größeren Mittelgebirgsflusses zeigen die Zahlen in Tabelle 5.2-2.

Frankreich plante den Bau eines linksrheinischen Seitenkanals (Grand Canal d'Alsace) von Märkt bei Basel bis Straßburg mit insgesamt 8 Stauhaltungen und je einem Wasserkraftwerk. In den Jah-

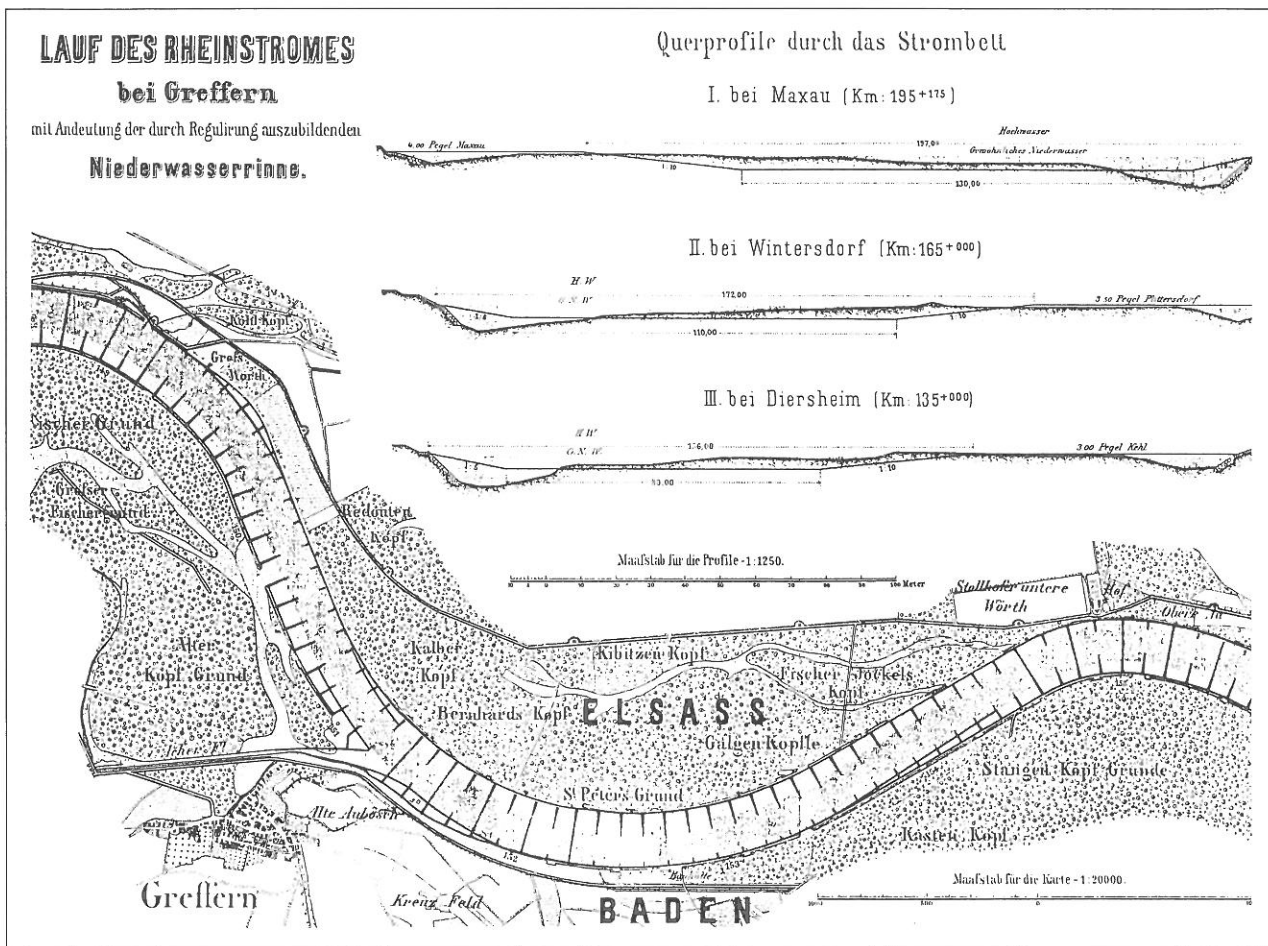


Bild 5.2-11  
 Regulierungsmaßnahmen nach  
 Honsell

	Abflußspende in l/s km <sup>2</sup>	
	Rhein Pegel Maxau (50.196 km <sup>2</sup> )	Neckar Pegel Rockenau (12.676 km <sup>2</sup> )
Mittlere Niedrigwasserabflußspende MNq	11,5	2,65
Mittlere Abflußspende Mq	25,0	10,4
Mittlere Hochwasserabflußspende MHq	59,4	87,1
MNq/Mq	0,46	0,25
MHq/Mq	2,4	8,4
MHq/MNq	5,2	32,9

Tabelle 5.2-2  
 Hauptwerte der Abflußspenden in Rhein  
 und Neckar für den  
 Zeitraum 1931-85

Tabelle 5.2–3  
Staustufen im Rhein-  
seitenkanal

Staustufe	Lage Rhein- km	Ausbau- durchfluß (m <sup>3</sup> /s)	Fall- höhe (m)	installierte Leistung (MW)	Inbetrieb- nahme Jahr
Kembs	179,5	1.160	13,3	186	1932
Ottmarsheim	194	1.160	14,7	156	1952
Fessenheim	211	1.160	15,15	180	1956
Vogelgrün	225	1.160	11,6	156	1959

ren 1928 bis 1959 wurden, unterbrochen durch den Zweiten Weltkrieg, 4 Staustufen gebaut (Tabelle 5.2–3, siehe auch Bild 5.2–12).

Durch den Kanal wird dem Rhein ein Durchfluß von bis zu 1.160 m<sup>3</sup> entzogen. Bei geringerer Gesamtwasserführung muß im Restrhein ein Mindestabfluß von 15 bis 20 m<sup>3</sup>/s verbleiben, was im Mittel an 150 Tagen des Jahres der Fall ist.

Der Kanal (Bild 5.2–12) verfügt über eine Sohlenbreite von 80 m, eine Wasserspiegelbreite von 130 m und eine einheitliche Wassertiefe von 9 m. Er ist damit größer als Suez- und Panamakanal. Die Schleusenanlage, die zusammen mit dem Kraftwerk am unteren Ende jeder Stauhaltung liegt, besteht aus zwei Schleusenammern mit den Abmessungen 12 × 185 m und 24 × 185 m. Die

Stauhaltungen liegen im oberen Teil im Einschnitt. Im unteren Teil ragen seitliche Dämme bis zu 13 m über das Gelände hinaus. Auf der wasserseitigen Böschung sind sie mit einer Betonplattenabdeckung versehen.

Der Rheinseitenkanal brachte für die Schifffahrt und die Energiegewinnung erhebliche Vorteile, dagegen für die deutsche Seite nachteilige Auswirkungen, wie:

- Der Wasserstand im alten Rheinbett wurde im Mittel um 2–3 m abgesenkt, was ein entsprechendes Absinken des Grundwasserspiegels zur Folge hatte. Dadurch kam es auf der Strecke Märkt – Breisach zu erheblichen Trockenschäden.
- Durch die geringe Wasserführung des Restrheins wurde dessen Eignung als Vorfluter stark beeinträchtigt, da



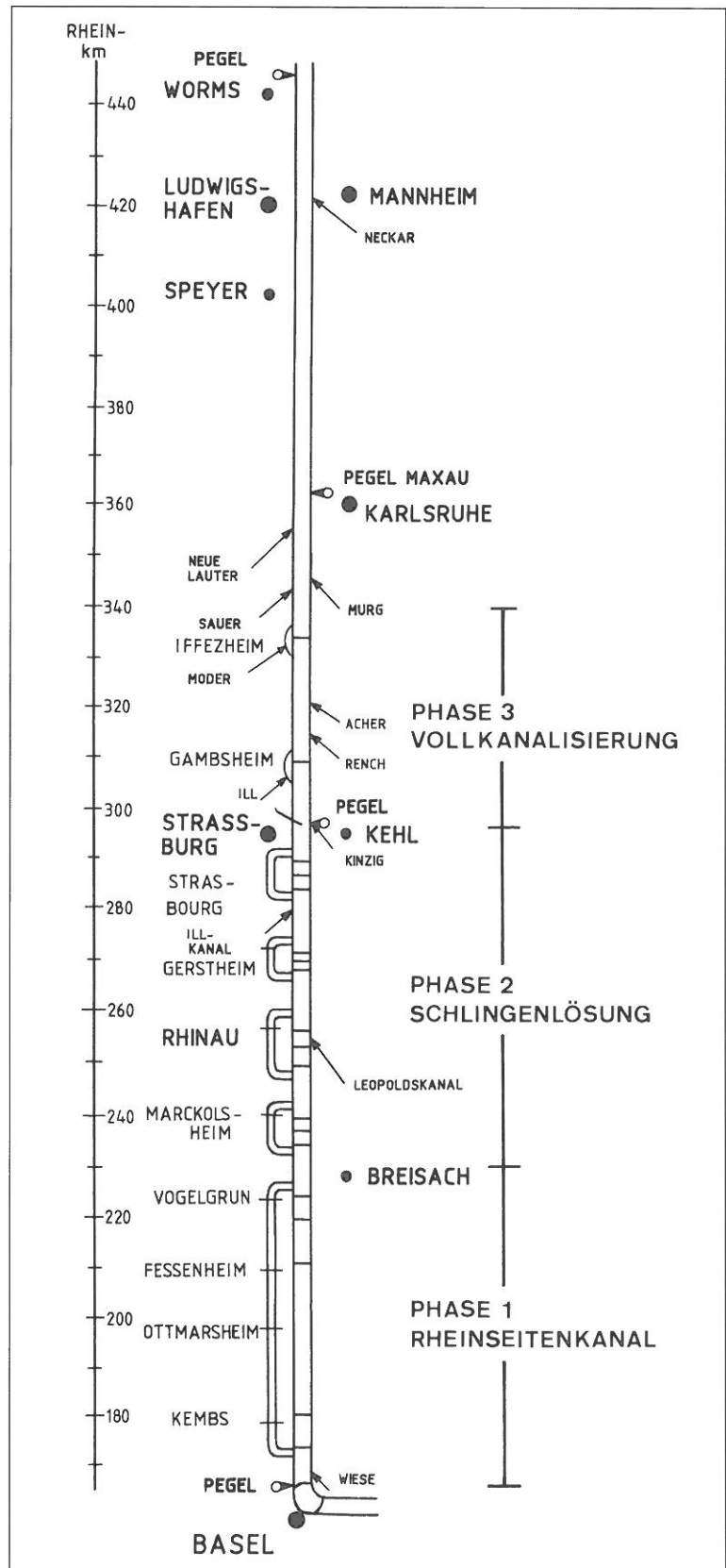
Bild 5.2–12  
Luftbild des Rheintals von Breisach aufwärts. Im Vordergrund das Kulturwehr Breisach (links) und die Staustufe Vogelgrün (rechts).

für die schadlose Abführung der gereinigten Abwässer aus den Ortschaften längs der kanalisierten Strecke die erforderliche Mindestwasserführung nicht gewährleistet war.

Eingehende wasser-, land- und forstwirtschaftliche Untersuchungen ergaben, daß bei planmäßigem Ausbau des Rheinseitenkanals über Breisach hinaus bis Straßburg unabsehbare und nicht wiedergutzumachende Schäden entstehen würden. Daher wurde in dem »Vertrag über den Ausbau des Oberrheins zwischen Basel und Straßburg«, dem sog. Luxemburger Vertrag vom Oktober 1956, zwischen Frankreich und der Bundesrepublik Deutschland vereinbart statt der Weiterführung des Seitenkanals die »Schlingenlösung« zu verwirklichen. Bei dieser auch an der Rhône praktizierten Ausbauphase behält das Flußbett weitgehend seine ursprüngliche Funktion.

Zwischen Breisach und Straßburg wurden 4 Stauhaltungen wie folgt ausgebaut (Bild 5.2–13):

- Im mittleren Teil jeder Haltung wird der Fluß durch ein Wehr aufgestaut. Das an den Deichen binnenseitig anfallende Sicker- und Grundwasser wird durch rheinparallele Sickerkanäle in das Unterwasser abgeführt. Die Zuströmung von Sickerwasser aus der Stauhaltung nimmt infolge Selbstdichtung durch Schwebstoffe (Kolmation) im Laufe der Zeit ab.
- Das Wehr wird durch einen Schiffsfahrts- und Wasserkraftkanal, die Schlinge, umgangen, an der am unteren Ende wie bei den Staustufen im Rheinseitenkanal eine Schleuse und ein Kraftwerk stehen. Daraus wird das Wasser über einen kurzen Verbindungskanal wieder dem alten Rheinbett zugeführt.
- Durch den Einbau fester Schwellen im Rheinbett unterhalb des Wehres wird gewährleistet, daß der Grundwasserstand der Rheinebene nicht dauerhaft absinkt. Die Amplituden der jahreszeitlichen Schwankungen



sind geringer als früher. Im Sommer liegen die Grundwasserstände tiefer, im Winter höher als vor dem Ausbau.

Bild 5.2–13  
Übersichtsplan zur  
Staurreglung des  
Oberrheins

Tabelle 5.2–4  
Staustufen mit  
Schlingenlösung

Staustufe	Lage Rhein- km	Ausbau- durchfluß (m <sup>3</sup> /s)	Fall- höhe (m)	installierte Leistung (MW)	Inbetrieb- nahme Jahr
Marckolsheim	204,5	1.400	12,5	168	1961
Rhinau	256,5	1.400	12,3	168	1964
Gerstheim	272,5	1.400	10,6	145	1967
Strasbourg	288	1.400	10,9	150	1970

Technische Daten der bis 1970 nach der Schlingenlösung gebauten Staustufen sind in Tabelle 5.2–4 genannt.

Zusätzlich zu der Anlage fester Schwellen im Rhein und von Sickerkanälen landseitig der Deiche wurden weitere Einrichtungen im Interesse der Landeskultur geschaffen. Entsprechend dem Vertrag von 1956 wurde in den Jahren 1962–65 das Kulturwehr Breisach mit einer Stauhöhe von 8 m erstellt (Bild 5.2–12). Der Stau bewirkt, daß auf weiten Strecken ein Grundwasserspiegel im Bereich der Pflanzenwurzeln gehalten wird.

Durch eine abflußabhängige Wasserentnahme aus dem Rhein zwischen Breisach und Kehl besteht die Möglichkeit, die Altrheinarme wieder zu speisen. Heute durchzieht auf dieser Strecke ein durchgehender Altrheinzug von rd. 120 km Länge die Rheinniederung. Auch besteht die Möglichkeit, die alte Flußbaue durch Querriegel mit Stauvorrichtungen abschnittsweise zu überfluten.

Die Schlingenlösung brachte gegenüber dem Rheinseitenkanal wesentliche Vorteile, denn sie hatte keine dauerhafte Absenkung des bisherigen Wasserspiegels im Rhein und im Grundwasser zur Folge. Mindestens die Hälfte des deutschen Rheinufer erhielt eine unmittelbare Verbindung mit dem internationalen Schifffahrtsweg. Die Einleitung der Kläranlagenabläufe wurde wesentlich erleichtert.

Sowohl beim Bau des Rheinseitenkanals als auch bei den Staustufen der Schlingenlösung hatte sich aber gezeigt, daß an der Wiedereinmündungsstelle des Unterwasserkanals der jeweils

untersten Staustufe nach Inbetriebnahme ein erheblicher Abtransport von Sohlenmaterial durch den Rhein einsetzte. So wurde unterhalb der Staustufe Gerstheim bereits 15 Monate nach deren Inbetriebnahme eine Eintiefung der Rheinsohle bis zu 2,50 m festgestellt, wobei sich der keilförmige Erosionsraum auf rd. 2,5 km Länge erstreckte. Das in dieser Zeit abtransportierte Volumen betrug rd. 370.000 m<sup>3</sup>.

Ausgeprägte Sohlenerosionen müssen unterbunden werden, denn sie senken die Rhein- und Grundwasserspiegel schädlich ab. Auch bedeuten sie eine Gefahr für die Standsicherheit der Bauwerke. Die Erosion läßt sich weitgehend vermeiden, wenn das Unterwasser einer Staustufe von unten her eingestaut wird. Daher wurde die Stauregelung des Oberrheins nicht mit der Staustufe Straßburg abgeschlossen. Hätte man hier der Erosion freien Lauf gelassen, dann wäre der Betrieb der Häfen Straßburg und Kehl sowie die weitergehende Schifffahrt in Schwierigkeiten geraten. Auch hätten sich unzulässige Absenkungen der Rhein- und Grundwasserspiegel ergeben.

Gemeinsame deutsch-französische Studien erwiesen die Notwendigkeit, mindestens zwei weitere Staustufen unterhalb Straßburg zu bauen, um dem Erosionsproblem zu begegnen und in den Bereich geringeren Sohlgefälles zu kommen, in dem die natürliche Eintiefungstendenz abnimmt. Darüber wurde im Juli 1969 ein deutsch-französischer Staatsvertrag abgeschlossen (Pariser Vertrag). Nach den getroffenen Vereinbarungen bauten die Bundesrepublik Deutschland und Frankreich

1970 bis 1974 die Staustufe Gamsheim mit einem Querdamm im Strombett, einem beweglichen Wehr auf dem deutschen Ufer, einer Schleusengruppe und einem Kraftwerk auf dem französischen Ufer sowie mit Seitendämmen, Seitengräben und den erforderlichen Nebenanlagen;

1972 bis 1977 die Staustufe Iffezheim. Hier wurden die Hauptbauwerke in spiegelbildlicher Lage zur Staustufe Gamsheim angeordnet.

Die Staustufe Gamsheim wurde von Frankreich, die Stauanlage Iffezheim von der Bundesrepublik Deutschland gebaut. Technische Daten sind in Tabelle 5.2–5 zusammengestellt.

Gegenüber einer installierten Kraftwerksleistung von 186 MW an der obersten Staustufe Kembs werden von den untersten Stufen nur je 100 MW erbracht. Die Gesamtleistung der 10 Wasserkraftwerke beträgt rund 1.500 MW, das mittlere jährliche Arbeitsvermögen 4,5 Milliarden kWh.

Die beiden unteren Staustufen liegen vollständig im Rheinbett (»Vollkanalisierung«). Ihre Seitendämme sind an den alten Rheinufern errichtet worden. Dadurch ist ein Flußschlauch entstanden, dessen Breite ungefähr der des ehemaligen Mittelwasserbettes entspricht. Die seitlichen Hochwasserretentionsflächen sind weitgehend entfallen. Bild 5.2–14 zeigt den Lageplan der Sperrstelle Iffezheim.

Auch unterhalb der Staustufe Iffezheim

besteht, trotz geringeren Gefälles, gleichfalls das Problem der Sohlenerosion. Im deutsch-französischen Vertrag von 1969 war zur Verhinderung der Erosion eine Abdeckung der Sohle mit Grobkies (Sohlpanzerung) vorgesehen. Nach eingehenden Untersuchungen mußte diese Lösung wegen ihrer Nachteile für die Schifffahrt jedoch aufgegeben werden. In der Zusatzvereinbarung zum deutsch-französischen Vertrag wurde im Juli 1975 festgelegt, eine weitere Staustufe bei Neuburgweier – später Au/Neuburg genannt – zu bauen.

Von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes wurden alternative Lösungen untersucht, um das Erosionsproblem zu beherrschen. Der Bau von Grundswellen auf der unterhalb der letzten Staustufe liegenden Flußstrecke in Form von massiven Querbauten im Sohlenbereich wurde untersucht, wegen der möglichen Gefährdung der Schifffahrt aber verworfen [Felkel 1969].

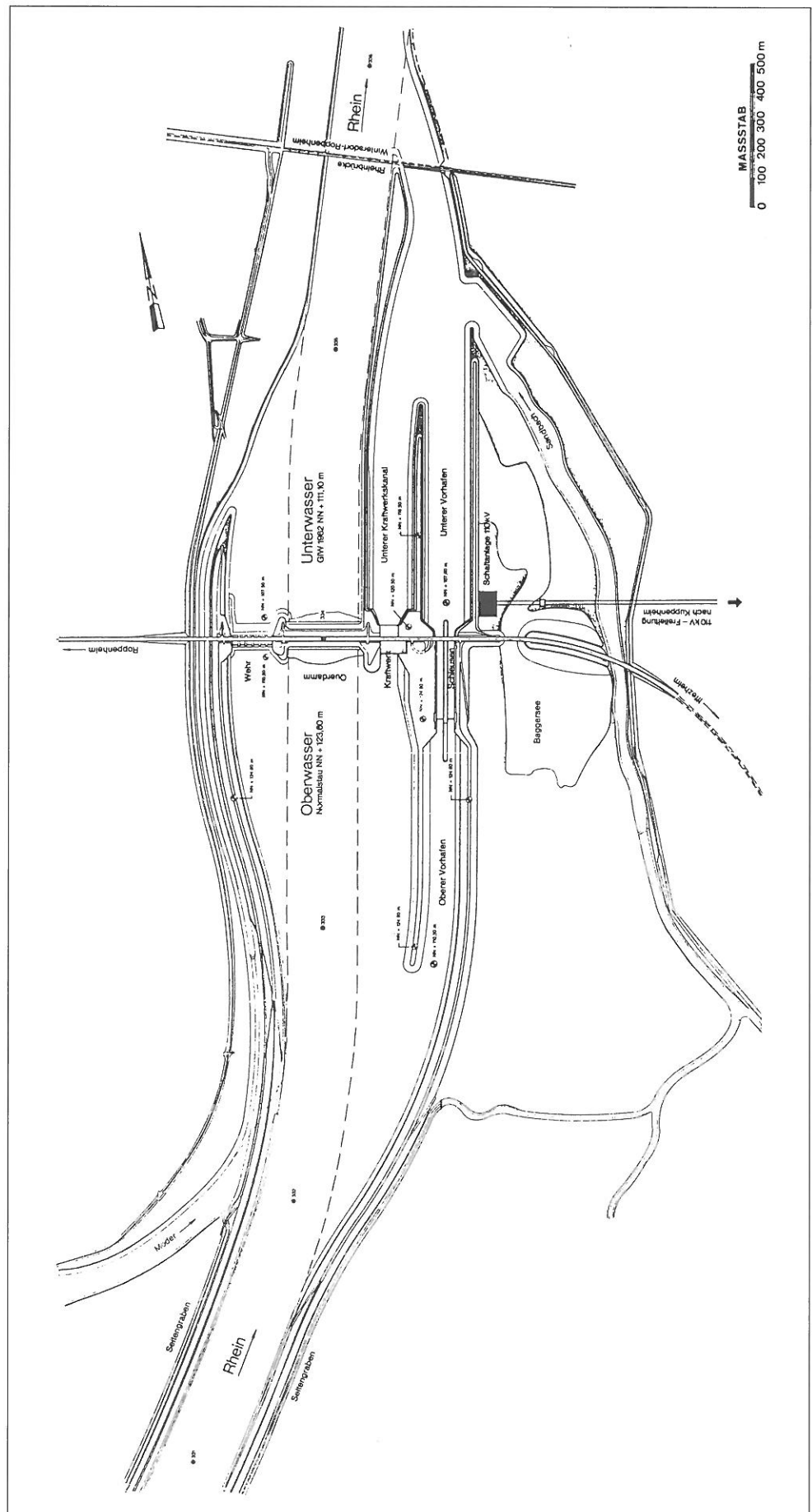
Karl Felkel hat 1970 vorgeschlagen, die Erosion durch Geschiebezugabe auszugleichen [Felkel 1970]. Sie soll unterhalb der letzten Staustufe das erodierte Sohlenmaterial laufend durch die Zugabe von Kies mit einer Kornzusammensetzung entsprechend der des Rheinbettes ersetzen. Das Verfahren wurde in Berechnungen, Großversuchen im Unterwasser der Staustufen Gamsheim und Iffezheim und in Laborversuchen geprüft und praxisreif entwickelt [Felkel 1980, BMV 1981, 1987] (Bilder 5.2–15 und 5.2–16).

Die Geschiebezugabe weist gegenüber dem Bau von Staustufen erhebliche Vorteile auf. Sie verursacht geringere Baukosten und nimmt weniger Bodenfläche in Anspruch. Durch die Geschiebezu-

Staustufe	Lage Rhein-km	Ausbau-durchfluß (m <sup>3</sup> /s)	Fall-höhe (m)	installierte Leistung (MW)	Inbetrieb-nahme Jahr
Gamsheim	309	1.100	10,25	100	1974
Iffezheim	334	1.100	10,25	100	1977

Tabelle 5.2–5  
Staustufen mit Vollkanalisierung

Bild 5.2-14  
 Hauptbauwerke der  
 Staustufe Iffezheim



gabe werden die Grundwasserstände und die Stromlandschaft mit ihren selten gewordenen Auenwäldern, außer im Bereich der Kiesgewinnung, nicht beeinträchtigt. Die Hochwasserretention wird nicht verändert. Allerdings muß auf die Vorteile eines Staustufenbaus, u.a. die Wasserkraftnutzung, die Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse und die kostengünstige Schaffung eines Straßenüberganges über den Rhein, verzichtet werden.

Aufgrund der positiven Untersuchungsergebnisse wurde im Dezember 1982 eine weitere deutsch-französische Vereinbarung geschlossen. Darin ist festgelegt, daß der Bau der Staustufe Au/Neuburg zurückgestellt wird und daß die Bundesrepublik unterhalb der Staustufe Iffezheim eine Geschiebezugabe durchführt. Wenn allerdings der Wasserspiegel bei einem Abfluß von  $570 \text{ m}^3/\text{s}$  über einen Zeitraum von 6 Monaten um 0,30 m oder mehr absinkt, dann soll der Bau einer weiteren Staustufe erfolgen.

Der Querdamm der Staustufe Iffezheim, der das ursprüngliche Rheinbett absperrt, wurde im März 1977 geschlossen. Die Geschiebezugabe im Unterwasser begann im April 1978. In der Zwischenzeit hatte sich bereits ein etwa 2 km langer, bis zu 0,5 m tiefer Erosionskeil gebildet. Am Beginn des Keils wurde ein 760 m langer Abschnitt mit Hilfe von Klappschuten (Bilder 5.2-15 und 5.2-16) mit Kies bis in Höhe der alten Sohle verfüllt. Mit dieser Maßnahme konnte die Sohlenerosion zum Stillstand gebracht werden [Felkel 1987]. In den Jahren 1978-88 wurden ca. 1,8 Mio  $\text{m}^3$  Kies eingebracht, was in etwa dem Prognosewert von 175.000  $\text{m}^3$  pro Jahr entspricht.

Im Gegensatz zum Erosionsproblem, für das eine Lösung gefunden wurde, besteht das Problem der Hochwassergefährdung am Oberrhein weiterhin. Durch den Wegfall von Überflutungsflächen als Folge des Rheinausbaus (Bild 5.2-17) haben sich die Abflußverhält-



Bild 5.2-15  
Entleeren der Klappschute zur Geschiebezugabe

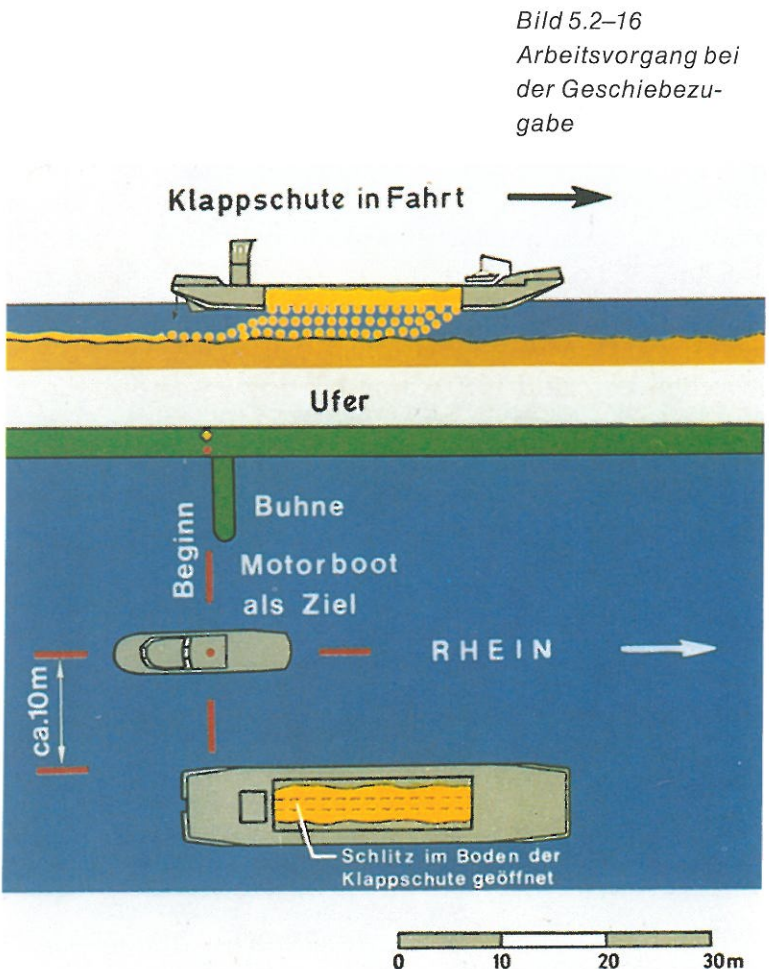
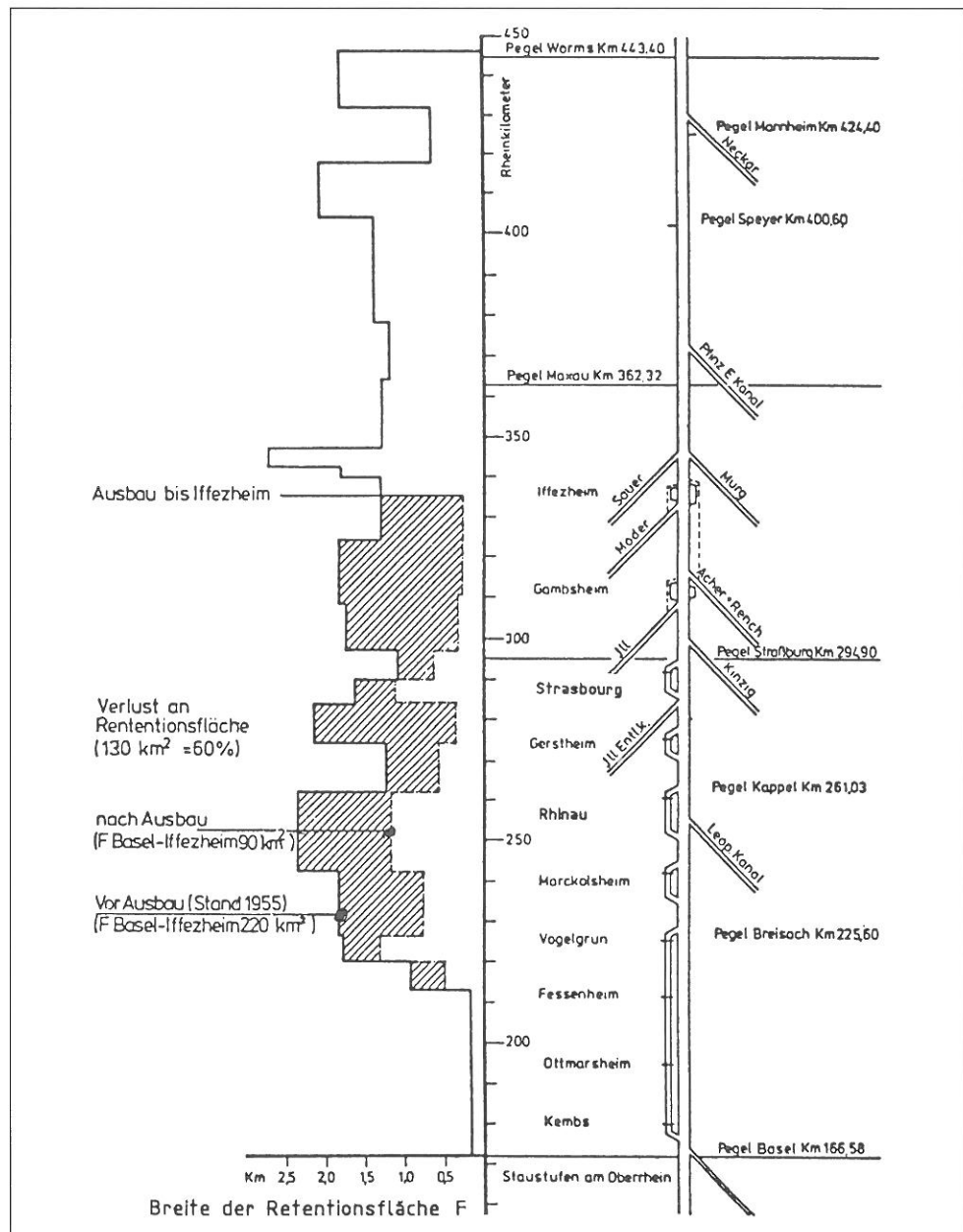


Bild 5.2-16  
Arbeitsvorgang bei der Geschiebezugabe



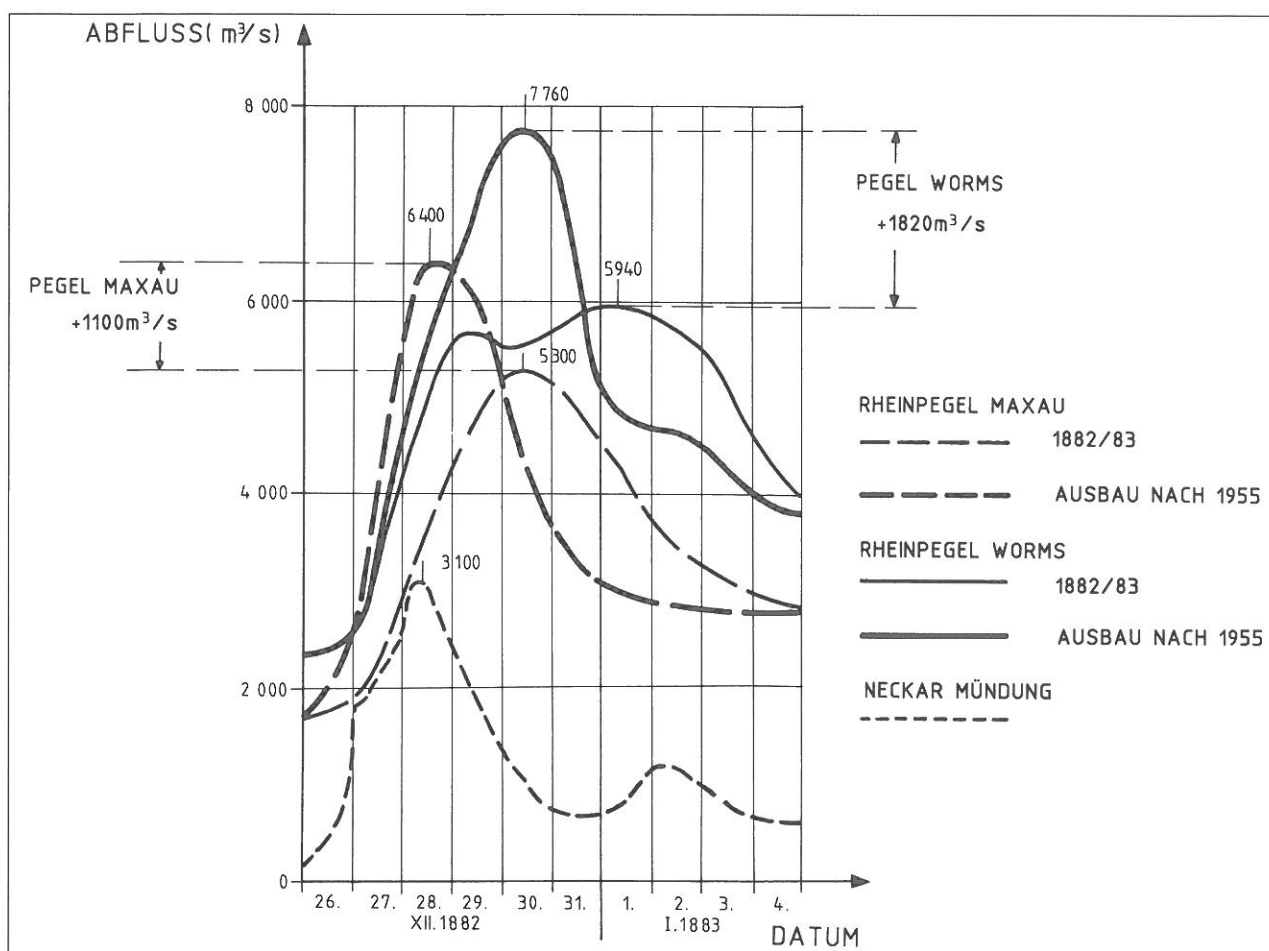
Bild 5.2–17  
Schematische Darstellung der Überschwemmungsflächen des Oberrheins vor und nach der Stauregelung



nisse bei Hochwasser verschärft. Bei den Ausbauten bis Iffezheim gingen rd.  $130 \text{ km}^2$ , das sind 60% der in diesem Bereich liegenden Retentionsgebiete nach der Tullaschen Rheinkorrektur, verloren. Infolgedessen kommen die in Basel zufließenden Rheinwellen unterhalb der Ausbaustrecke schneller an und haben höhere Scheitelabflüsse als früher. Die Beschleunigung erhöht die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens der Rheinwelle und der Neckarwelle im Scheitelbereich. Die Laufzeit größerer Rheinwellen hat sich zwischen Basel und Maxau im Mittel von 64 auf 23 Stunden verringert. Von Basel bis

Worms beträgt die Fließzeit jetzt durchschnittlich 59 statt 99 Stunden.

Bild 5.2–18 zeigt die Veränderung der Abflußverhältnisse für das extreme Hochwasser vom Dezember 1882/Januar 1883. Während sich bei einem Ausbau bis Iffezheim bzw. Neuburgweier für Maxau eine Erhöhung um  $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$  ergeben würde, betrüge die Abflußerhöhung für Worms infolge des Zusammentreffens von Rhein- und Neckarwelle sogar  $1.820 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dabei ist vorausgesetzt, daß die Deiche über den Hochwasserspiegel des Rheins erhöht werden.



Eine solche Abflußverschärfung bedeutet, daß unterhalb der Ausbaustrecke statt des früheren Schutzgrades, der etwa einem 200 jährlichen Ereignis entsprach, ohne weitere Schutzmaßnahmen nur noch ein etwa 50jähriger Hochwasserschutz bestände. Um dieser beträchtlichen Verringerung der Sicherheit entgegenzutreten, wurde im Jahre 1968 die »Hochwasser-Studienkommission für den Rhein« gebildet. Sie setzte sich aus Vertretern Frankreichs, der Bundesrepublik Deutschland – vertreten durch den Bund und die Länder Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Hessen und Bayern –, der Schweiz und Österreichs zusammen.

Die Kommission untersuchte für die Oberrheinstrecke zwischen den Pegeln Basel und Worms den Umfang der Hochwasserverschärfung in eingehenden Studien und Modellrechnungen. Im Jahre 1978 legte sie die Ergebnisse mit Vorschlägen für die Verbesserung des

Hochwasserschutzes vor. Sie fußte auf früheren Untersuchungsergebnisse, nach denen die baulichen Veränderungen im 19. Jahrhundert insgesamt keine wesentliche Verschärfung der Hochwasser mit sich gebracht haben. Während sie für die Ausbauten im 20. Jahrhundert vor 1955 zu einem entsprechenden Ergebnis kam, wies sie nach, daß die Ausbauten nach 1955 ab Breisach zur Erhöhung der Hochwasser in einem solchen Maße geführt haben, daß ihnen durch umfangreiche künstliche Retentionsmaßnahmen begegnet werden muß.

Als Ziel der Hochwasserschutzmaßnahmen wurde die Wiederherstellung des Schutzgrades bestimmt, der vorhanden war, bevor durch den Rheinausbau nach 1955 große Retentionsflächen verlorengegangen waren. Dementsprechend sollte der Scheitelabfluß eines 200 jährlichen Hochwassers bei Maxau wieder auf 5.000  $\text{m}^3/\text{s}$  und bei Worms auf

Bild 5.2–18  
Rechnerische Veränderungen der Hochwasserwelle 1882/83 durch den Ausbau des Oberrheins nach 1955

5.900 m<sup>3</sup>/s durch Rückhaltmaßnahmen reduziert werden. Außerdem sollte das Hochwasserereignis 1882/83 mit seiner gewaltigen Abflußsumme durch entsprechend große Speicherräume beherrscht werden. Einer Erhöhung der Rheindämme wurde aus städtebaulichen, landschaftsplanerischen und wirtschaftlichen Gründen nur in geringem Umfange zugestimmt, zumal da durch umfassende Erhöhungen die Steigerung

der Hochwasserscheitel an den Mittel- und Niederrhein weitergegeben würde.

Die Hochwasserstudienkommission legte einen Katalog von »denkbaren Hochwasserschutzmaßnahmen« vor. Er enthielt die Hochwasserrückhaltungen, die in Bild 5.2–19 schematisch dargestellt sind. Die vorgeschlagenen Maßnahmen erstreckten sich auf drei Bereiche:

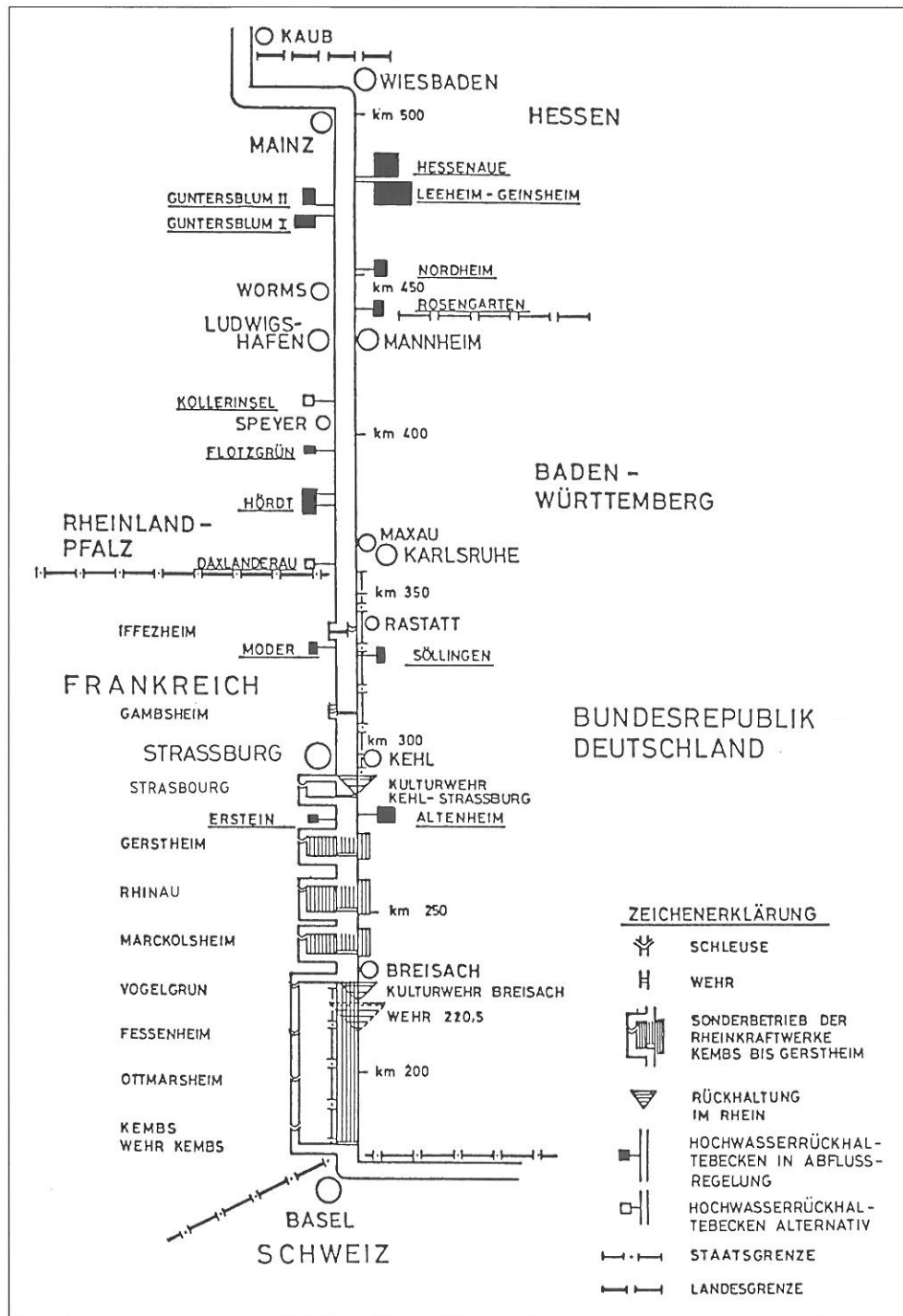


Bild 5.2–19  
Vorgeschlagene Rückhaltmaßnahmen bis Speyer zum Ausgleich der Hochwasserverstärkung durch den Oberrheinausbau nach 1955

- a) Sonderbetrieb der Wasserkraftwerke am Oberrhein

Durch eine Drosselung des Turbindurchflusses der Rheinkraftwerke zwischen Kembs und Straßburg soll ein Retentionsvolumen von 45 Mio m<sup>3</sup> mittels Aufstau verfügbar gemacht werden.

- b) Retentionswehre

Mit Retentionswehren im Rheinbett soll durch Aufstau zusätzlicher Rückhalteraum geschaffen werden. Möglichkeiten hierzu bieten sich bei Breisach und bei Kehl/Straßburg mit einem Stauraum von zusammen 47 Mio m<sup>3</sup>.

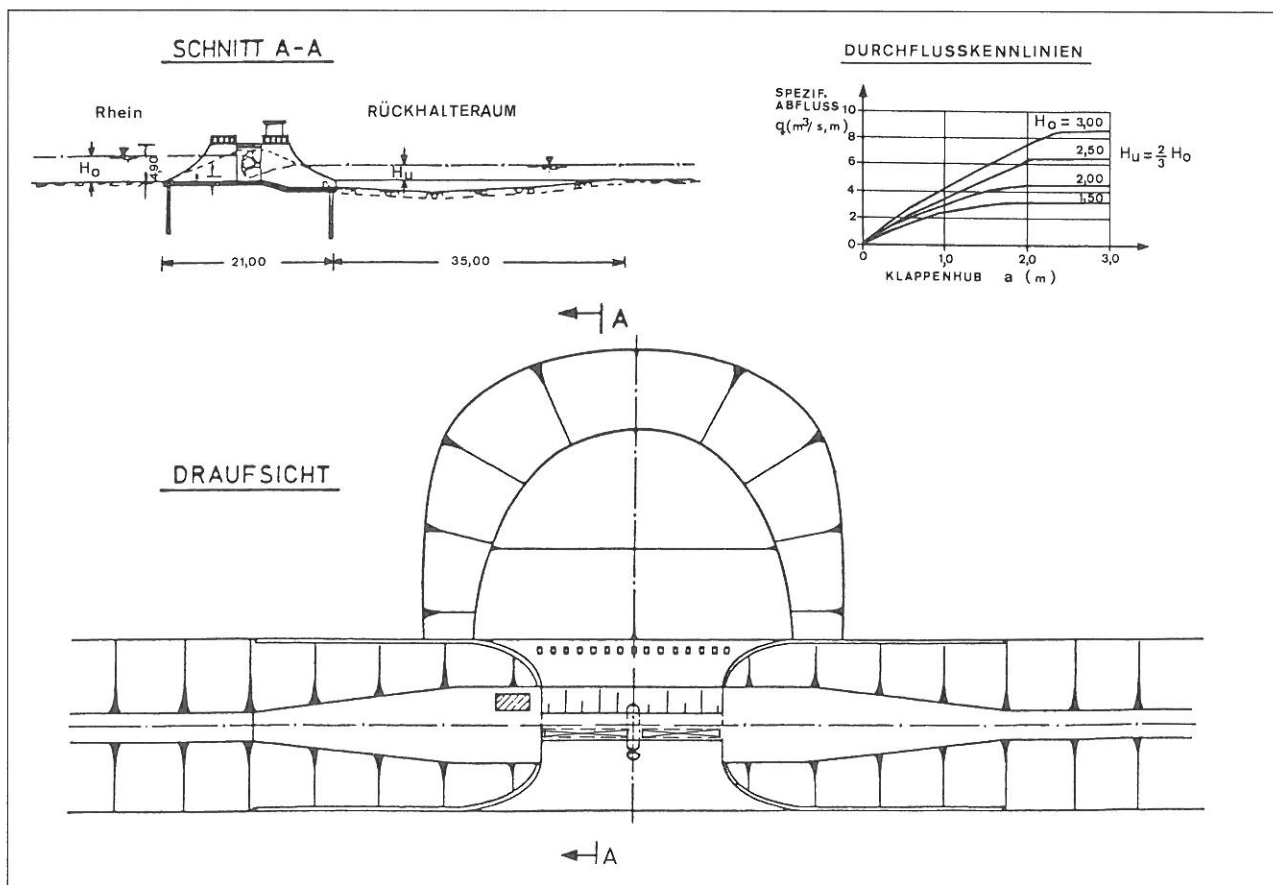
- c) Hochwasserrückhaltebecken (HRB)

Weiterer Hochwasserstauraum soll in Hochwasserrückhaltebecken rechts und links des Rheins geschaffen werden. Im staugeregelten Bereich werden die Becken zwischen den Haltungsdämmen und den früheren Hochwasserschutzdämmen angeordnet. Unterhalb der letzten Staustufe liegen sie im vorhandenen Überschwemmungsgebiet und werden

durch Deiche umfaßt. Die Vorschläge der Kommission enthielten 14 Hochwasserrückhaltebecken mit insgesamt 127 Mio m<sup>3</sup> Speicherraum. Bild 5.2-20 zeigt den Typentwurf von Prof. Dr. E. Mosonyi, Karlsruhe, für das Ein- und Auslaufbauwerk eines Rückhaltebeckens.

Zur Zeit können der Sonderbetrieb der Rheinkraftwerke und das Retentionswehr Breisach eingesetzt werden. Das Retentionswehr Kehl-Straßburg und das HRB Altenheim sind erst nach zusätzlichen Maßnahmen voll einsatzfähig. Umfang und Fertigstellungstermine der restlichen Schutzanlagen zur Begrenzung der Hochwasserscheitel im Oberrhein auf den Zustand vor 1955 sind im Jahre 1988 noch offen. An besonders gefährdeten Stellen sind zwischenzeitlich Deicherhöhungen vorgenommen worden. Die Stadt Ludwigs-hafen hat ihren Hochwasserschutz durch transportable Sperreinrichtungen ergänzt. Das Land Baden-Württemberg will in einem »integrierten Rheinpro-

Bild 5.2-20  
Ein- und Auslaufbauwerk für Hochwasserrückhaltebecken am Oberrhein



gramm« neben dem Ziel des Hochwasserschutzes verstärkt ökologische Gesichtspunkte zur Geltung kommen lassen [MU B.-W. 1988]. So sollen u.a. durchströmte Rückhalteräume sowie eine Rückverlegung von Deichen zur Vergrößerung der Retentionsflächen untersucht werden. Aufgrund dieser neueren Entwicklungen ist derzeit eine Gesamtlösung nicht abzusehen.

Ein weiteres gravierendes Problem im Rheintal wirft der Abbau der hier anstehenden Kies- und Sandvorkommen auf. Allein aus der Region Mittlerer Oberrhein, die sich rechtsrheinisch von Karlsruhe 30 km nach Norden und 45 km nach Süden erstreckt, wird fast 10% des bundesdeutschen Kies- und Sandbedarfs gedeckt. Etwa 200 Gewinnungsstellen, überwiegend mit Naßbaggerbetrieb, nehmen rd. 400 ha vorher meist land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen in Anspruch. Aber auch andere Belange, wie die der Wasserwirtschaft (Grundwassergewinnung) sowie des Natur- und Landschaftsschutzes, sind betroffen.

Der Regionalverband Mittlerer Oberrhein hat die »Kieskonzeption 2000« verabschiedet [RVMO 1987]. Darin sind Abbaubereiche ausgewiesen, aus denen die für 30 Jahre erwartete Förderung von Kies und Sand, durchschnittlich etwa 16 Mio t/Jahr, sichergestellt werden soll. Tabelle 5.2–6 gibt die Aufgliederung der Abbauf Flächen an.

Die nach dem Baggerbetrieb verbleibenden Restlöcher werden durch entsprechende Formung und Bepflanzung in die Landschaft eingebunden. Sie bilden in vielen Fällen Ziele der Naherholung am Wasser oder auch ökologisch

wertvolle Biotop. Bei der Erholungsnutzung ergeben sich aber, ebenso wie während des Abbaubetriebes, besondere Aufgaben für den Grundwasserschutz. Die Grundwasserblänken in den Baggerlöchern sind gegen Verunreinigung gefährdeter als das Grundwasser, das unter einer Bodendecke geschützt liegt.

Die Trinkwasserversorgung der Gemeinden im Rheintal und zahlreicher Orte im Hinterland wird aus dem sehr bedeutenden, örtlich aber auch durch Nitrate, Chloride und Chlorkohlenwasserstoffe in seiner Qualität beeinträchtigten Grundwasservorkommen der Niederung gedeckt. Große Flächen sind als Wasserschutz- und Vorranggebiete gesichert worden. Auch Fernwasserversorgungen beginnen, sich auf die Grundwasservorkommen im Rheintal zu stützen.

Die Wasserversorgung steht in Konkurrenz zur Entnahme von Beregnungswasser für die Landwirtschaft. Daher benutzt der große Beregnungsverband für die Vorderpfalz mit ca. 10.000 ha Verbandsfläche hauptsächlich Oberflächenwasser aus dem Otterstädter Altrhein südlich Ludwigshafen, um einer Übernutzung des örtlichen Grundwassers vorzubeugen [Wasser- und Bodenverband Vorderpfalz 1980].

### 5.2.3 Maßnahmen an kleineren Nebefläüssen und am Neckar

Die von Tulla konzipierte Rheinkorrektion war die Voraussetzung für den Schutz der Niederungen gegen Rheinhochwasser. Sie wurde ergänzt durch

Tabelle 5.2–6  
Vorgesehener Kies- und Sandabbau nach der »Kieskonzeption 2000«

Art der Entnahmeflächen	Vorräte (Mio t)
Reserven in bestehenden Konzessionen	185
Erweiterungen bestehender Konzessionen in die Tiefe	70
Vorgeschlagene neue Konzessionsflächen	214
Summe	469

Maßnahmen an den Nebenflüssen, die im wesentlichen bis in die sechziger Jahre dieses Jahrhunderts erfolgt sind. Die Flüsse aus dem Schwarzwald und dem nördlich anschließenden Kraichgau haben beim Austritt aus dem Gebirge in die flache Rheinniederung immer wieder Überflutungen und Vernäsungen verursacht. Bild 5.2-21 zeigt oben diese Verhältnisse im Acher-Rench-Gebiet zwischen Offenburg und Rastatt [Riegelsberger 1969].

Als Beispiel für die zahlreich durchgeführten Verbesserungsmaßnahmen sind die Ausbauten in dem früher von Hochwassern und für die Landwirtschaft zu hohen Vorflutwasserständen heimgesuchten Gebiet in Bild 5.2-21 unten dargestellt. Entwurfsbearbeitung und Bauausführung erstreckten sich über Jahrzehnte. Ihre Ziele waren:

- ausreichender Hochwasserschutz
- sichere Vorflut für alle Flächen
- Erhaltung des Zuflusses zu den Wassertriebwerken
- Bereitstellung von Bewässerungswasser

Die Ziele wurden u.a. durch getrennte Wasserläufe erreicht. Mangels ausreichender Rückhaltmöglichkeiten in der Vorgebirgszone bzw. im Hügelland wurden zur Hochwasserentlastung Flutkanäle gebaut. Sie verlaufen teilweise zwischen Deichen und sind in gestreckter Linienführung mit nordwestlicher Richtung auf den Rhein zugeführt. An den Flutkanälen wurden zur Ergänzung des Hochwasserschutzes drei Rückhaltebecken mit zusammen 8,4 Mio m<sup>3</sup> Stauraum geschaffen.

Durch die wasserwirtschaftlichen Baumaßnahmen konnten Siedlungen und landwirtschaftliche Nutzflächen weitgehend vor Überschwemmungen geschützt werden. Der zu hohe Grund-

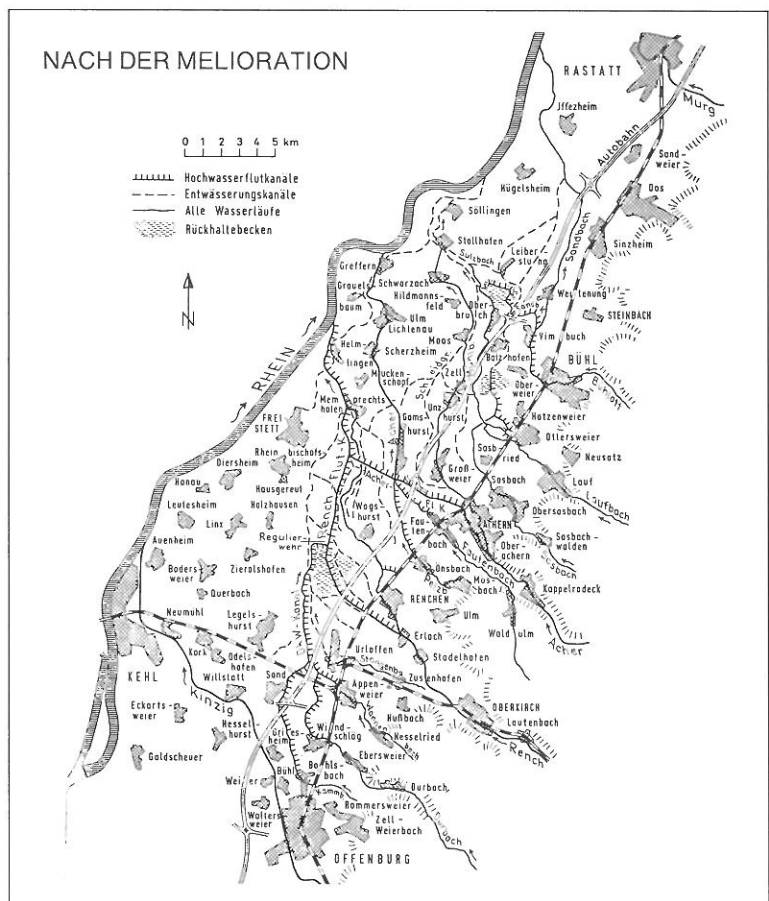
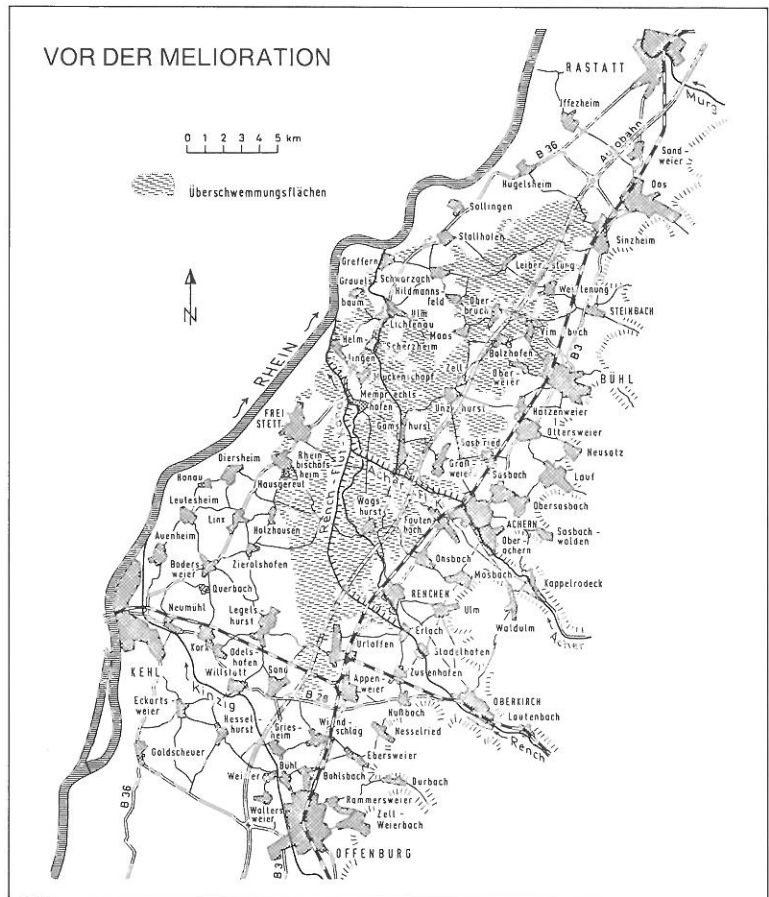


Bild 5.2-21  
Melioration des  
Acher-Rench-Gebietes

wasserstand in tiefliegenden, teilweise sumpfigen Gebieten wurde gesenkt, eine ausreichende Vorflut sichergestellt. An die Gewässerausbauten schlossen sich Zusammenlegungen der landwirtschaftlichen Grundstücke und Wirtschaftswegebauten im Zuge von Flurbereinigungen an. Sie ermöglichten Produktionssteigerungen und Verbesserungen der Agrarstruktur. Auch ergaben sich Vorteile für den Bau der Autobahn und weiterer Straßen. Ohne die Acher-Rench-Korrektion wären höhere Dämme und aufwendige Flutdurchlässe nötig gewesen. Für die Wasserversorgung und die Ortsentwässerung wurden günstigere Voraussetzungen geschaffen und die Anlage neuer Bebauungen ermöglicht.

In ähnlicher Weise sind Verbesserungen im Pfinz-Saalbach-Gebiet nördlich Karlsruhe und in den Gebieten anderer Nebenflüsse erzielt worden. Auch an dem größten Nebenfluß auf elsässischen Gebiet, der Ill, wurden bereits weitreichende Hochwasserschutz- und Entwässerungsmaßnahmen durchgeführt und sind noch geplant. Die Ill begleitet den Oberrhein von Mühlhausen bis Straßburg auf etwa 140 km Länge.

Die Korrekturen der Nebengewässer in Verbindung mit flächenhaften Ent- und Bewässerungsmaßnahmen haben die Wohn- und Wirtschaftsverhältnisse in der Rheinebene entscheidend verbessert. Andererseits haben sie aber auch, ebenso wie der Rheinausbau, für die Natur beträchtliche Nachteile mit sich gebracht. Daher werden insbesondere bei der Unterhaltung der Wasserläufe verstärkt die Belange des Natur- und Landschaftschutzes beachtet und in Teilbereichen Renaturierungen angestrebt.

Am tiefsten Punkt der hier betrachteten Oberrheinstrecke fließt ihr von rechts der Neckar zu. Er hat rund 14.000 km<sup>2</sup> Einzugsgebiet und das schroffe Abflußregime eines Gebirgsflusses, wodurch er selbst die Wasserführung des Rheines erheblich beeinflussen kann. Das Verhältnis von Niedrigwas-

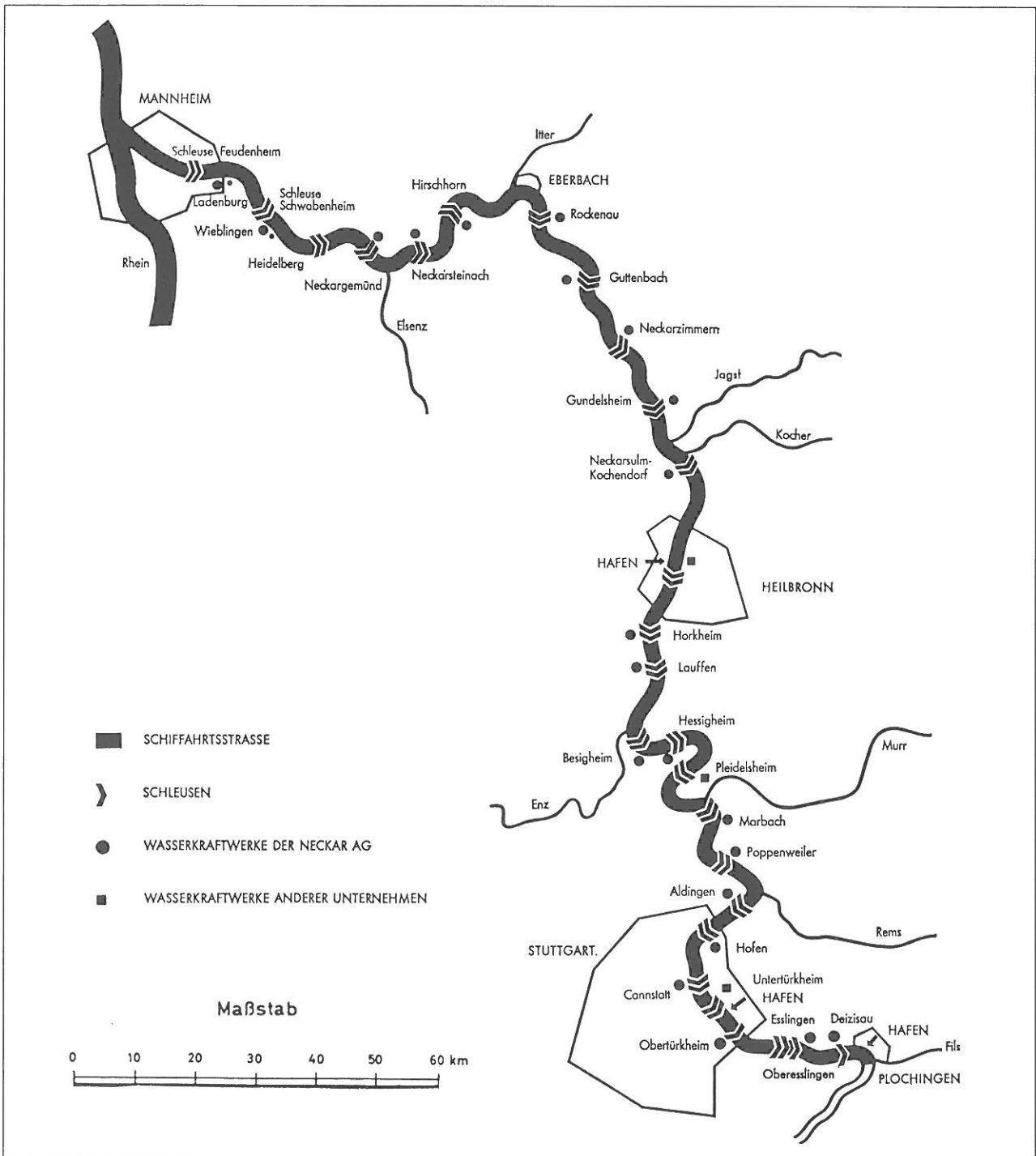
ser zu Hochwasser beträgt im Mittelabschnitt über 1:300.

Die unteren 210 km des 370 km langen Neckars sind zur Schifffahrtsstraße ausgebaut worden. Diese weist zwischen der Mündung und dem Ende bei Plochingen 27 Staustufen auf, mit denen 161 m Höhenunterschied überwunden werden (Bild 5.2–22). Die Staustufen bestehen in der Regel aus einem Wehr, einer Doppelschleuse mit den Kammerabmessungen 110 × 12 m und einem Wasserkraftwerk. Die Anlagen zwischen Mannheim und Heilbronn bei km 113 wurden bis 1935 erstellt, während die anschließende Strecke bis Plochingen zusammen mit dem Stuttgarter Hafen 1958 fertiggestellt wurde [Neckar AG 1971].

Wer heute den staugeregelten Fluß sieht, kann es sich kaum vorstellen, daß der Neckar früher der wildeste schiffbare Nebenfluß des Rheins war. Das starke Gefälle und die extremen Flußkrümmungen, Stromschnellen und Untiefen sowie die schnell wechselnden Wasserstände machten einst den Schiffern das Leben schwer. Hochwasser und Eisgang legten die Schifffahrt jedes Jahr über Wochen hinaus still. Diese Verhältnisse sind entscheidend verbessert worden [Brundiers u.a. 1984].

Im dicht besiedelten und wirtschaftlich intensiv genutzten Neckartal gibt es aber auch heute noch Wasserprobleme in Hoch- und Niedrigwasserzeiten. Bei extrem niedriger Wasserführung bereitet die Reinhaltung Schwierigkeiten und müssen Wasserentnahmen, insbesondere für Kühlzwecke, eingeschränkt werden. Daher wurden in den letzten Jahren verschiedene Möglichkeiten untersucht, um Abhilfe zu schaffen.

Es handelt sich um eine zusätzliche Einspeisung von Bodenseewasser in das Neckargebiet, um den Bau von Talsperren im Neckareinzugsgebiet, um die Überleitung aus der Talsperre Kleine Kinzig bei Freudenstadt und die Zuleitung von Grundwasser aus dem Rheintal. Verwirklicht worden ist bisher die



Überleitung von  $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$  Trinkwasser aus dem Bodensee bei Sipplingen. Das daraus entstehende Abwasser, etwa  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ , erhöht den Abfluß im Neckar. Es macht bei mittlerem Niedrigwasser rund ein Viertel des Neckarabflusses am Pegel Lauffen unterhalb Stuttgart aus. Zum Schutz der von Hochwasser bedrohten Täler des Neckars und seiner Nebengewässer sind vielfältige bauliche Maßnahmen ergriffen worden. Am obern

Neckar bestehen sie aus Eindeichungen, Hochwasserrückhaltebecken, Schöpfwerken und einzelnen Objektschutzbauten. Wenn irgend möglich, sind die natürlichen Retentionsgebiete erhalten worden. Zur Abminderung von Hochwassern in den Nebengewässern wurden in deren Einzugsgebieten beträchtliche Anstrengungen unternommen. Viele Gemeinden und Landkreise haben sich dazu in Wasserverbän-

*Bild 5.2-22  
Übersichtskarte der  
Kraftwasserstraße  
Mannheim - Plochingen*



Tabelle 5.2–7  
Wasserverbände im  
Neckargebiet mit  
Hochwasserschutz-  
aufgaben

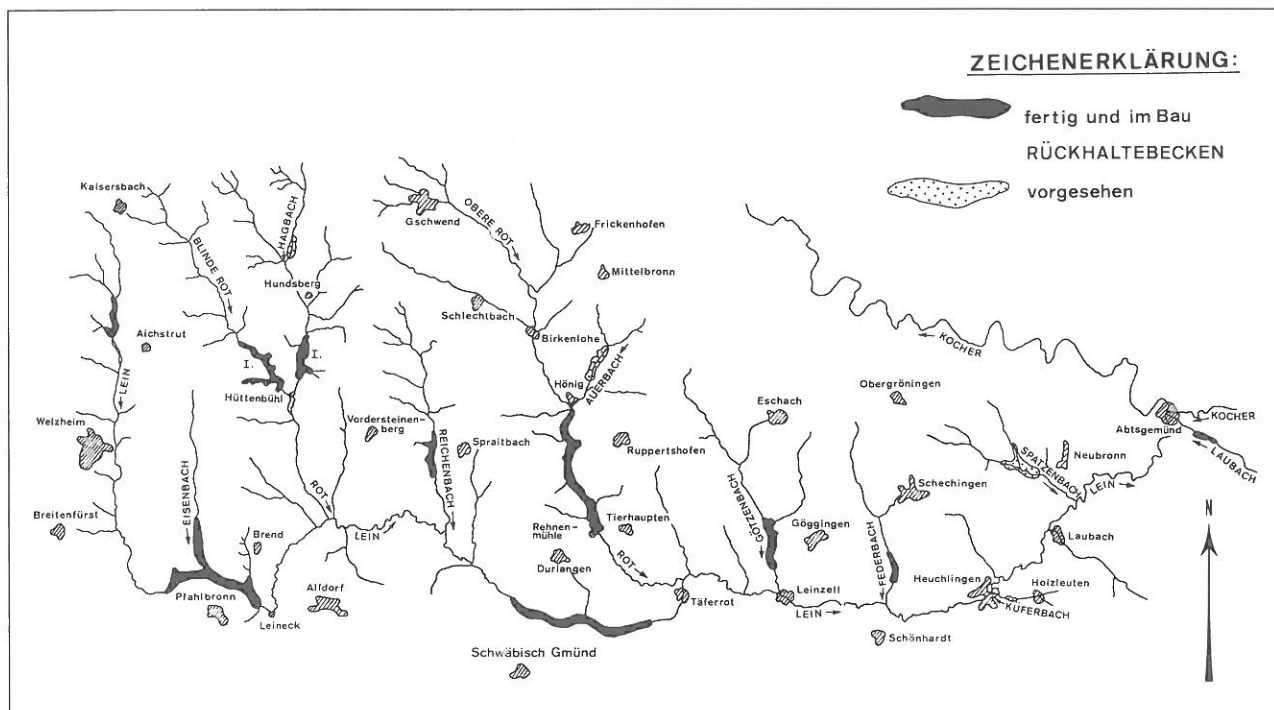
Verband	Sitz
Kocher-Lein	Schwäbisch Gmünd
Fils	Göppingen
Schwippe	Böblingen
Aich	Böblingen
Fichtenberger Roth	Schwäbisch Hall
Obere Jagst	Ellwangen
Brettach	Rot an See
Sulm	Weinsberg
Zaber	Brackenheim
Westliches Hohenlohe	Kupferzell

den zusammengeschlossen. Tabelle 5.2–7 gibt eine Zusammenstellung. Bis 1988 wurden von den Verbänden insgesamt rund 60 Rückhaltebecken mit einem Gesamtvolumen von etwa 60 Mio m<sup>3</sup> Hochwasserschutzraum gebaut.

Bild 5.2–23 gibt eine Übersicht über die im Lein-Gebiet vorhandenen und geplanten Hochwasserrückhaltebecken. Sie sind mit Dauerstauen ausgestattet und dienen zugleich der Naherholung und der Landschaftsgestaltung. Bild 5.2–24 zeigt einen Blick in den Staubeereich des Hochwasserrückhaltebeckens Reichenbach.

Die Hochwasserrückhaltebecken können in den kleinen Einzugsgebieten bedeutende Abflußminderungen bewirken. Auf den Hochwasserabfluß im Neckar haben die Becken in den Nebenläufen allerdings keinen wesentlichen Einfluß. An der Mündung des Neckars besteht nach Entzug großer natürlicher Retentionsräume am Oberrhein und der dadurch verursachten Vergrößerung und Beschleunigung der Rheinhochwasser die Gefahr, daß extreme Scheitelabflüsse von Rhein und Neckar aufeinander treffen. Dadurch sind besondere Hochwasserschutzaufgaben für Wohngebiete und Industrieflächen in Mannheim und Ludwigshafen entstanden.

Bild 5.2–23  
Übersichtsplan der  
Hochwasserrückhalte-  
becken im Leinge-  
biet





*Bild 5.2–24  
Ansicht des Hoch-  
wasserrückhaltebek-  
kens Reichenbach im  
Leingebiet*

### 5.3 Oberrhein zwischen Neckar und Nahe

#### 5.3.1 Entwicklungen und Ereignis- se im Rheintal

Unterhalb der Neckarmündung breitet sich das von quartären Ablagerungen überdeckte Tal links des Rheines bis zu 10 km Breite aus. Ab Oppenheim geht es dann bis Mainz auf wesentlich geringere Breiten zurück. Hier schieben sich Geländerrücken der Rotliegenden-Formation und des Tertiärs bis an das Rheinufer vor, mit teilweise felsigen Ausläufern auch bis in das Strombett. Rechtsrheinisch erstrecken sich dagegen quartäre Ablagerungen im ganzen Rheintal bis zur Mainmündung auf Breiten von 10 bis 15 km. Unterhalb davon bis zum Ende der Oberrheinstrecke am Zufluß der Nahe in Bingen liegt der Rheingau. Hier treten in den Randhöhen des Taunus hohe Geländeflächen bis dicht an den Strom heran, während die Randhöhen linksseitig teilweise bis über 1,5 km vom Ufer entfernt liegen. Die Taloberfläche besteht auch im Rheingau weitgehend aus quartären Ablagerungen. Stellenweise stehen nahe am Strom und unterhalb desselben auch

ältere Formationen bis zur Oberfläche an.

Von alters her wird das Rheintal durch die Landwirtschaft genutzt. Sie treibt Ackerbau, Gemüsebau, Obstbau und Grünlandwirtschaft. Auf Randhöhen und in Tallagen, abgesehen vom Hessischen Ried, ist Weinbau vorhanden (Bild 5.3–1).

*Bild 5.3–1  
Rheingau bei Eltville*



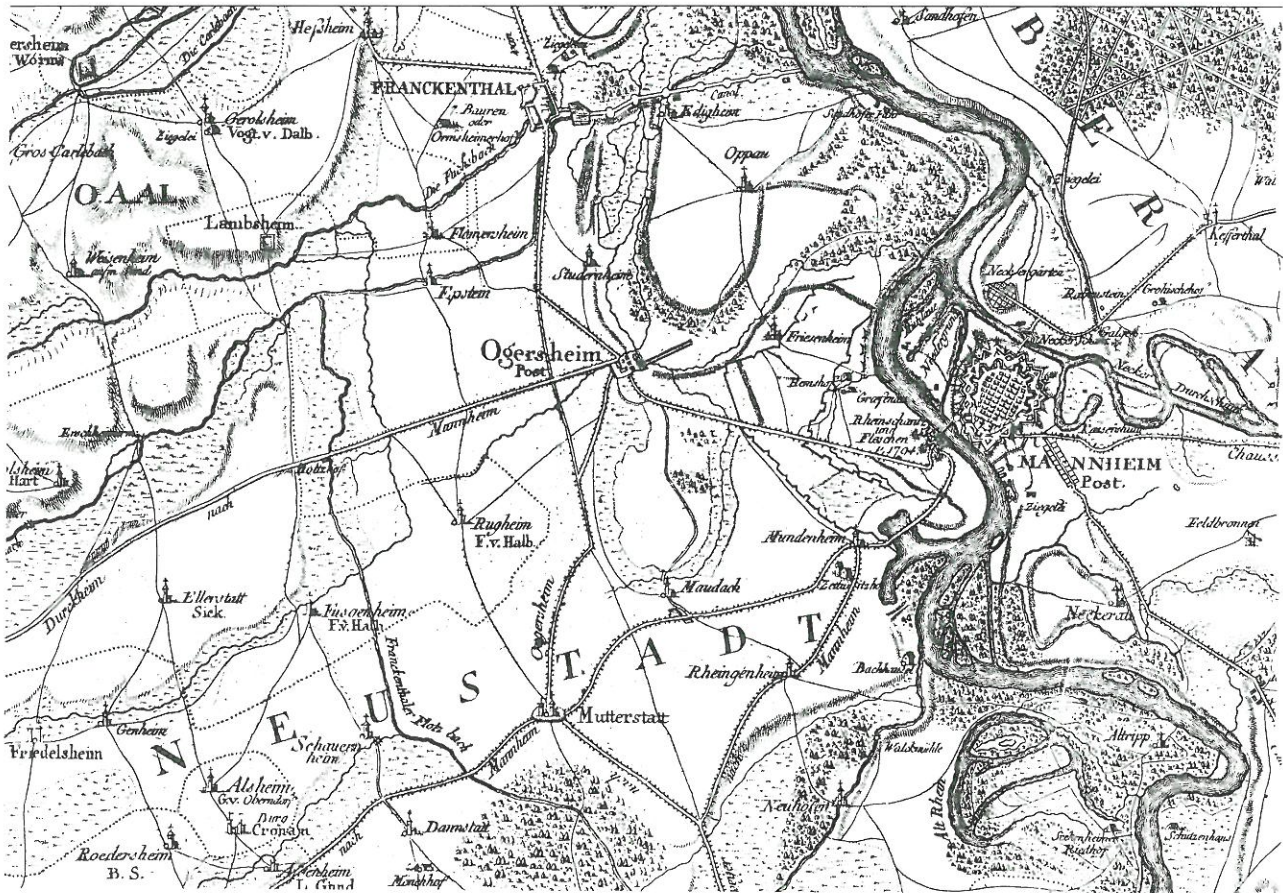


Bild 5.3-2 Veränderung der Rheinlandschaft an der Neckarmündung, oben Zustand um 1795, unten um 1970

Talbereiche unter dem Niveau häufiger Hochwasser sind weitgehend durch Deiche geschützt. Streckenweise sind den Winterdeichen niedrigere Sommerdeiche vorgelagert. Ursprünglich nasse Gebiete wurden, bis auf kleine Restflächen, durch Überflutungssicherung und durch Vorflutbeschaffung entwässert. Von den einstmals weit verbreiteten Auenwäldern blieb ein größerer zusammenhängender Bestand im wesentlichen nur bei Erfelden (Riedstadt) erhalten. Am östlichen Talrand ziehen sich Laub- und Nadelwälder entlang.

Politisch war das Gebiet westlich des Rheines gegen Ende des 18. Jahrhunderts im Frieden von Campo Formio an Frankreich gefallen und dem Department Mon-Tonnerre zugeschlagen worden. Rechtsrheinisch blieb es oberhalb des Maines beim Großherzogtum Hessen, unterhalb im wesentlichen bei Nassau. Durch den Wiener Kongreß 1815 kam auch das linksrheinische Gebiet zu Hessen, während Nassau unterhalb des Maines in vollem Umfang zuständig wurde. Seine politische Hoheit ging 1866 an Preußen über. Seit dem Jahre 1945 sind die Bundesländer Hessen auf der rechten und Rheinland-Pfalz auf der linken Rheinseite zuständig. Die Grenzlinie verläuft etwa in Strommitte.

Als Beispiel der Siedlungsentwicklung in neuerer Zeit zeigt Bild 5.3-2 den Raum um die Neckarmündung. Für das Wachstum der Bevölkerung ist ihr Anstieg in Mainz kennzeichnend. Hier betrug die Einwohnerzahl um 1800 rd. 27.000, während 1985 rd. 190.000 Einwohner vorhanden waren. Auf Bild 5.3-3 ist das Mainzer Rheinufer zu sehen. Ein relativ noch stärkeres Wachstum zeigten zahlreiche andere Orte. Neugründungen von Dörfern erfolgten bis in das 20. Jahrhundert im Zuge der Entwässerung des Hessischen Riedes.

Dank tatkräftiger Bürger und günstiger Verkehrslage entwickelten sich Gewerbe und Handel zu bedeutendem Umfang. Große Industrien entstanden mit Schwerpunkten in Ludwigshafen,



Worms, Darmstadt und Mainz-Wiesbaden. Als neueste Großindustrie kam in Biblis ein Kernkraftwerk mit 2.400 MW Ausbauleistung hinzu.

Wie bereits im Abschnitt 5.2.1 ausgeführt, wurde das an Wirtschafts- und Kulturgütern reiche Rheintal um die Jahreswende 1882/83 von einem Katastrophenhochwasser verwüstet. An Größe und Dauer übertraf es alle Hochfluten, an die sich die Bewohner erinnern und zu deren Abwehr sie Deiche gebaut hatten. Die vorhandenen Schutzdämme brachen an zahlreichen Stellen. Die gesamten rechts- und linksrheinischen Niederungen kamen unter Wasser. Zahlreiche Menschen ertranken. Ein großer Teil des Viehs ging verloren. Die Zahl der zerstörten oder schwer be-

*Bild 5.3-3  
Mainzer Rheinufer  
um 1980*

Bild 5.3–4  
Rheinhochwasser  
vom Dezember 1882  
in Ludwigshafen



Reffertsogasse, Gemahhof bei Ludwigshafen 1882.

schädigten Gebäude betrug mehrere Tausend (Bild 5.3–4).

Mainz konnte durch rasch errichtete provisorische Erddämme und Sandsackmauern unter großen Anstrengungen vor der Überschwemmung der Innenstadt bewahrt werden und kam mit dem Schrecken davon. In einem zeitgenössischen Bericht ist folgende erschütternde Beobachtung verzeichnet:

»Am 3. Jan. sahen Leute auf der Brücke Leichen im Rhein heruntertreiben, so eine ertrunkene Mutter mit ihrem Kinde im Arme (es waren dies Opfer der Oppauer Katastrophe), so daß sie sich thränenden Blickes von diesem herzzerreißenden Bilde abwenden mußten« [Klausner 1883]. Erst von der Mainmündung abwärts verursachte das Hochwasser 1882/83 geringere Schäden. Die oberhalb erfolgten Deichbrüche und Überflutungen hatten die Hochwasserspitzen für die Unterlieger erheblich abgemindert.

Die ausgedehnten Schäden und Verluste durch das Katastrophenhochwasser 1882/83 gaben Veranlassung dazu, die Hochwassersicherung am Rhein entscheidend zu verbessern und sie einheitlich zu gestalten. Bevor hierauf eingegangen wird, sei der Ausbau des Rheines selbst geschildert, der für die Hochwasserabführung bedeutungsvoll ist.

### 5.3.2 Ausbau des Rheins

Vom Neckar bis zum Main behält der Rhein die oberhalb bestehende nördliche Hauptrichtung bei. Er hat ein Gefälle von  $0,093\text{‰}$ , das ziemlich gleichmäßig ausgebildet ist. Das Flußbett weist überwiegend flache, langgezogene Krümmungen und wenig Verzweigungen auf. Zu Anfang des vorigen Jahrhunderts bestanden allerdings bei Mannheim-Friesenheim, Lampertheim und Erfelden noch ausgeprägte Stromschleifen. In Höhe von Worms befanden sich Bettverengungen, die die Hochwassergefährdung der Stadt erhöhten. Es gab eine Reihe von Schiffahrtshindernissen durch Sandbänke, durch Stromspaltungen an Inseln, durch enge Krümmungen und auch durch Felsrücken in der Flußsohle (Bild 5.3–5). Die Hindernisse stauten die Hochwasser und bildeten Ansatzpunkte für Eisversetzungen.

Im Rheingau hatte der Strom von Natur aus eine gestreckte Richtung, mäanderte aber unregelmäßig zwischen Inseln. An einigen Stellen erreichte er bis 1000 m Breite, gegenüber 300 bis 400 m Breite oberhalb Mainz. Das feinsandige Material der Sohle verlagerte sich bei größerer Wasserführung und bildete durch Sandbänke wechselnde Schiffahrtshindernisse. Zwar war das Gefälle mit rd.  $0,11\text{‰}$  zwischen Mainz und Bingen



*Bild 5.3–5  
Rheinlandschaft an  
der Nackenheimer  
Schwelle südlich  
Mainz*

noch etwas größer als oberhalb. Wegen der bedeutend größeren Strombreite reichte die Räumkraft des Abflusses aber nicht aus, um durchgehend ein genügend tiefes und breites Fahrwasser für die Schifffahrt zu gewährleisten. Hinzu kam, daß die Sohlenerosion des Rheines zwischen Mainz und Bingen abklang.

Die Abfluß- und Schifffahrtshindernisse forderten Ausbaumaßnahmen heraus. Sie begannen bei Lampertheim. Hier war der Rhein im Winter 1801/02 durch die Stromschleife gebrochen. Das neue, gestreckte Bett bildete zunächst nur einen Stromarm, der sich selbst überlassen blieb. Über seinen Ausbau konnten sich die Anliegerstaaten nicht einigen. Erst nach wiederholten Anträgen der überstaatlichen Technischen Strombefahrungskommission wurde der Ausbau 1879 begonnen. Unter Ausnutzung der Räumkraft des Rheines wurde der Durchbruch binnen 10 Jahren auf 300 m verbreitert. Seine Ufer wurden befestigt. Die abgeschnittene Flußschleife blieb größtenteils als Altrhein erhalten. Heute bildet dieser mit dem Zwischengelände zum Rhein ein wertvolles Naturschutzgebiet und weist ein reiches Tierleben auf. Die Stillwasserfläche wird von Zugvögeln in Schwärmen angenommen.

Das enge Durchflußprofil vor Worms

hatte das Hochwasser 1882/83 bis weit in die Stadt hinein ausufern lassen. Es wurde in den Jahren 1909 bis 1913 erweitert. Abflußhindernisse und hohe Vorländer auf der rechten Rheinseite wurden abgetragen, der Hochwasserdeich auf dieser Seite zurückgenommen und verstärkt wiederhergestellt. Unterhalb waren schon vorher Erweiterungs- und Regelungsbauten im Rheinbett ausgeführt worden. Hinter einem 1893 fertiggestellten Leitwerk entstand der Wormser Beckenhafen.

Die Fahrwasserverhältnisse und die Beständigkeit der Ufer wurden auch stromabwärts durch Baggerungen, Bühnenbauten und Befestigungen verbessert. Bei Gernsheim bereitete die enge Stromkrümmung unterhalb des Hafens, der durch einen Steindamm vom Rhein getrennt ist, den immer größer werdenden Schleppzügen und Selbstfahrern zunehmende Schwierigkeiten. Es kam zu Havarien. Bei Eisabgang in strengen Wintern staute sich in der Krümmung das Treibeis. Es führte zu Versetzungen bis über Worms hinaus. Um die Gefahrenstelle zu beseitigen, waren schon im vorigen Jahrhundert Entwürfe aufgestellt worden. Sie konnten wegen Fehlens der Mittel lange Zeit nicht verwirklicht werden. Erst nachdem die Reichswasserstraßenverwaltung zuständig geworden war, er-

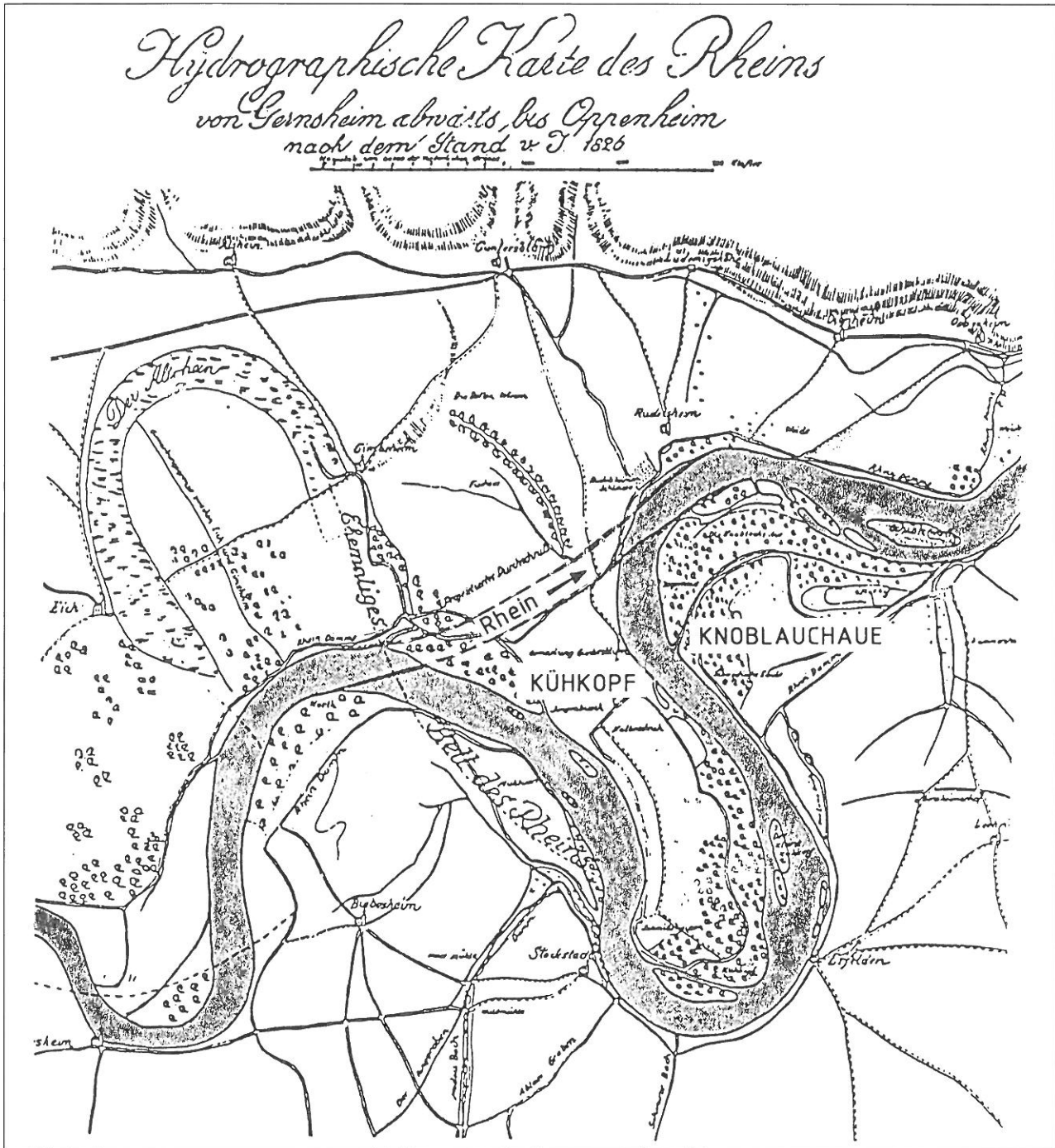


Bild 5.3–6  
Rheindurchstich am  
Kühkopf

folgte der Ausbau im Jahre 1932 durch Baggerung, Abflachung der Krümmung und Bühnenbau.

Im Bereich von Erfelden behinderte eine enge Rheinschleife die Schifffahrt in starkem Maße. Auch vergrößerte sie die Hochwassergefahr und führte zu Entwässerungsschwierigkeiten in der angrenzenden Tallandschaft. Hier schuf der hessische Oberbaudirektor *Dr. Claus Kroencke* (1771 bis 1843) mit dem

Durchstich »Am Geyer« in den Jahren 1828/1829 grundlegenden Wandel. Er verkürzte den Stromlauf um 10,5 km und stellte ein gestrecktes, für die Schifffahrt günstigen Flußbett her (Bild 5.3–6). Danach sanken die Hochwasserspiegel. Die Geländeentwässerung konnte, dank des Gewinnes von fast einem Meter Gefälle am oberen Ende des Durchstiches, weitgehend verbessert werden. Bisher nasses Grünland ließ sich in gutes Ackerland verwandeln.



Bild 5.3–7  
Oberer Anschlußbereich des Stockstädter Altrheins bei Hochwasser

Bild 5.3–8  
Denkmal für Dr. Claus Kroencke auf dem Rheindeich bei Groß-Rohrheim

Der frühere Lauf des Rheines blieb als durchflossenes Altgewässer erhalten. Zwischen ihm und dem Durchstich ergab sich die Insel »Kühkopf«. Ebenso wie die nördlich gelegene Knoblauchau ist sie unter Naturschutz gestellt worden. Sie zeichnet sich durch eine artenreiche Vegetation und Tierwelt aus. Der obere Bereich des Kühkopfes ist auf der Hochwasseraufnahme in Bild 5.3–7 zu sehen.

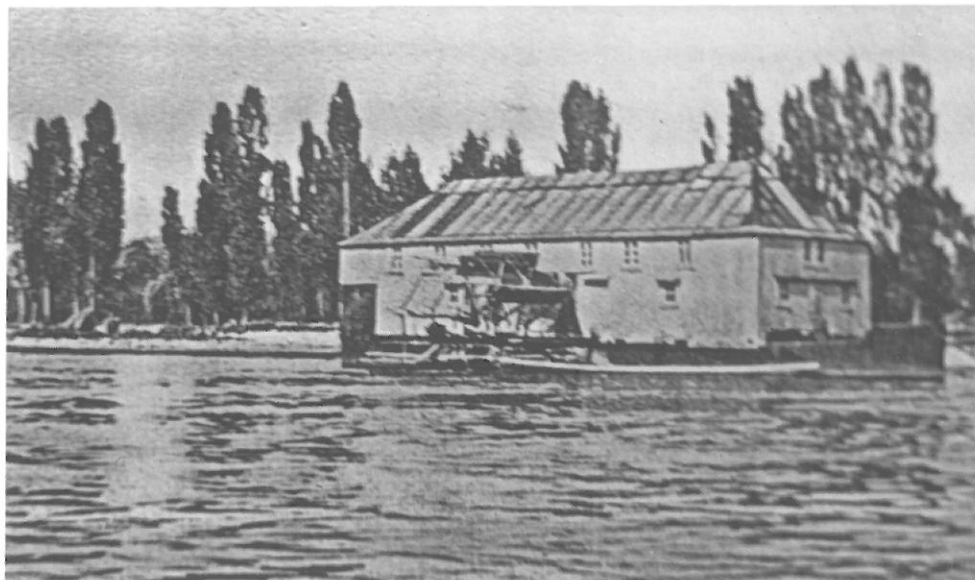
Kroencke ist vielseitig für den Hochwasserschutz und die Geländeentwässerung tätig gewesen, außerdem für Berufsausbildung, Kataster- und Steuerwesen. Er hat sich bei der Verbesserung der hessischen Rheinstrecke ähnliche Verdienste erworben wie *Johann Gottfried Tulla* auf der badischen Strecke [Schulz 1972]. Beide Ingenieure haben zusammengearbeitet und waren miteinander befreundet. Die dankbare Gemeinde Groß-Rohrheim, die durch Kroenckes erfolgreiche Tätigkeit vor Hochwasser geschützt worden ist, hat ihm noch zu Lebzeiten 1836 ein Denkmal errichtet (Bild 5.3–8).

Während die Schiffsmühlen auf dem Rhein allmählich verschwanden (Bild 5.3–9), nahmen die Anforderungen der Schifffahrt und die Bedürfnisse nach Flußunterhaltung immer weiter zu und





Bild 5.3–9  
Eine der letzten  
'Rheinmühlen'



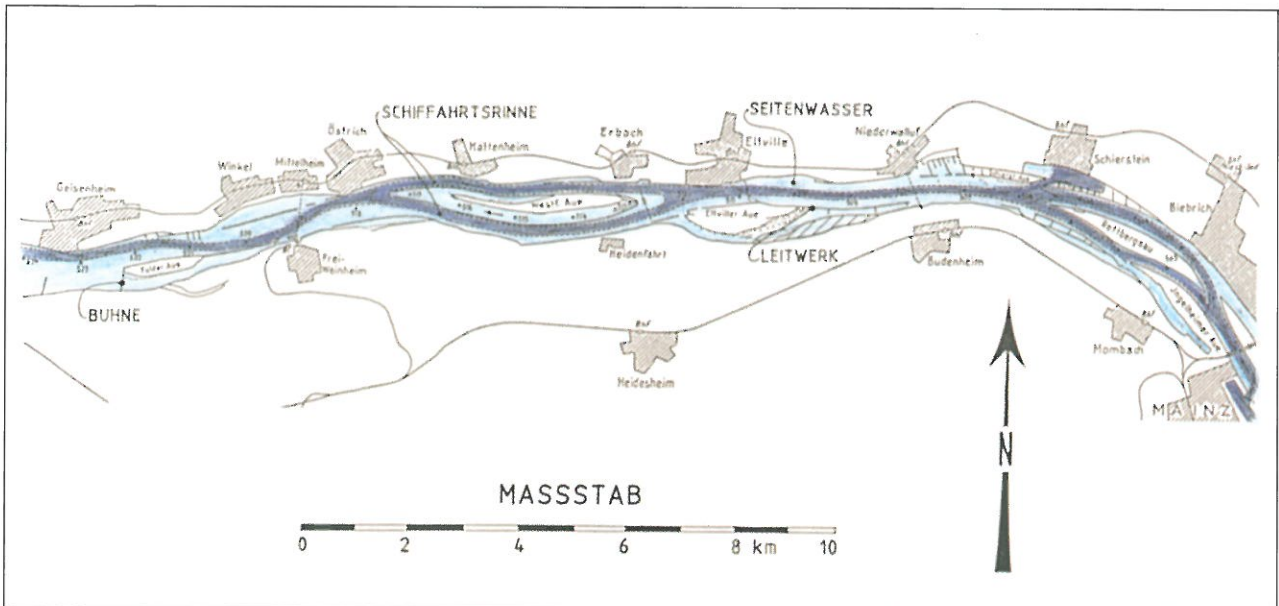
führten zu umfangreichen Baumaßnahmen im Rhein. So wurden an der Nakenheimer Schwelle in jahrzehntelanger Arbeit Felsen im Strombett beseitigt, Ausläufer der Rotliegenden-Formation des linken Ufers. Bis 1910 war eine 80 m breite Fahrrinne ohne Untiefen geschaffen worden. Sie wurde 1926 auf 130 m erweitert und nach 1970 nochmals aufgeweitet. Die ursprünglichen Inseln waren bereits Ende des vorigen Jahrhunderts zusammengefaßt worden. Heute bestehen zwei Rheinarme, rechts der 300 m breite Stromrhein und links ein 75 m breiter Nebenarm (Bild 5.3–5). Er hat Bedeutung für den Wassersport gewonnen. Der an der rechten Seite abzweigende Ginsheimer Altrhein wurde am Zulauf mit einer Schwelle versehen, um den erforderlichen Abflußanteil in der Schifffahrtsrinne des Strombettes zu halten.

In Höhe von Mainz wurden 1882/83 die Pfeilerreste der alten Römerbrücke aus dem Rhein entfernt. Außer dem Bau des Winterhafens wurde später auch eine durchgehende Ufermauer ausgeführt. Daran verläuft vom Winterhafen bis zum 2 km unterhalb gelegenen Zollhafen eine Promenade. Die Anlagen sind nach 1960 ergänzt worden (Bild 5.3–3). Auf der gegenüberliegenden Rheinseite wurde die Mainmündung für die Großschifffahrt ausgebaut. Der Kostheimer

Mündungsarm blieb zur Hochwasserentlastung erhalten.

Die von den Anliegerstaaten des Rheines gebildete Zentralkommission für die Rheinschifffahrt hatte schon 1849 beanstandet, daß die Rheingautrecke besonders hinderlich für die Schifffahrt sei. Sie drang auf einen Ausbau. Die beiden anliegenden Länder konnten sich darüber aber nur teilweise einigen. Sie verbesserten bis 1860 die Strecke von Mainz bis unterhalb Schierstein und setzten 1863 die Arbeiten stromabwärts fort. Während des preußisch-österreichischen Krieges, an dem sich Nassau beteiligte, kamen sie zum Erliegen. Nassau wurde Preußen einverleibt. Die preußische Rheinstrombauverwaltung unter *Eduard Adolph Nobiling* wurde für den Rheinausbau zuständig. Sie stellte Pläne für den Stromausbau im gesamten Rheingau auf und fand das Einvernehmen mit Hessen, das auf dem linken Ufer zuständig war. Eine durchgehende Schifffahrtsrinne mit 450 m Breite und einheitlicher Mindesttiefe wurde vereinbart [WSD Duisburg 1951].

Die Baumaßnahmen erfolgten in enger Anpassung an die örtlichen Besonderheiten. Ihre Konzeption stellt den Planern ein ehrenvolles Zeugnis aus für die wirtschaftliche Erreichung des technischen Zieles bei Rücksichtnahme auf



den Naturcharakter (Bild 5.3–10). Die ursprünglichen Mittelwasserbreiten mit ihren ausgedehnten durchflossenen Bereichen wurden beibehalten und nicht, wie unter anderen Bedingungen im höheren Lauf des Oberrheins, in verlandende Altwasser umgewandelt. Wesentlich dabei war die Mitsprache der Bevölkerung, die den Flußcharakter gewahrt wissen wollte. Insbesondere erhoben die Winzer ihre Stimme, weil sie die guten Weinqualitäten zum Teil auf mikroklimatische Auswirkungen der breiten Wasserflächen zurückführten.

Nachdem 1884 zwischen Hessen und Preußen ein Staatsvertrag über den Ausbau geschlossen war, kamen die Arbeiten zügig voran. Auf der linken Seite wurde bei Mainz die Insel Ingelheimer Aue an das Ufer angeschlossen. Am oberen Ende entstand der Mainzer Umschlaghafen. Der untere Abschnitt des Mombacher Rheinarmes blieb als Wasserfläche erhalten. Aus der Umgestaltung anderer benachbarter Inseln ging die große, vom Rhein umflossene Insel Rettbergsaue hervor. Unterhalb wurde der Schiersteiner Hafen geschaffen [Gelinsky in WSD Duisburg 1951]. Die Überbreiten bei Niederwalluf wurden durch Buhnen verbaut, wobei sich Gelegenheit zur Anlage eines Hafens ergab. Mit Buhnen und Längswerken parallel zum Rhein wurden auch die unterhalb

vorhandenen Überbreiten des Stromes eingengt, um sichere Schifffahrtsverhältnisse zu gewinnen. Mehrfache Änderungen erforderte der Ausbau der beiden Rheinarme um die Insel Westfälische Aue oberhalb Hattenheim, die beide der Schifffahrt dienen.

Ein Schifffahrts- und Abflußhindernis bildete sich wiederkehrend in dem relativ breiten Rheinbett unterhalb der Nahemündung (Bild 5.3–11). Die Nahe vermehrt mit rd. 4.000 Quadratkilometern das Einzugsgebiet des Rheins um 4%. Mit einem Abflußverhältnis von 1:1.200 zwischen den kleinsten und den größten Abflüssen hat sie den Charakter eines Gebirgsflusses. Ihre groben Geschiebe werden bei Nahehochwasser in das Rheinbett eingetragen und lagern sich hier teilweise ab. Um den Baggeraufwand in der Schifffahrtsrinne einzuschränken und einer Absenkung des Niedrigwasserspiegels infolge der Erweiterung des Binger Loches entgegenzuwirken (siehe Abschnitt 5.4.4), hat die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung umfangreiche Ausbauten in mehreren Phasen durchgeführt.

Im Rheingau wurden die Kronen der Buhnen und Längswerke höchstens bis zum Mittelwasser geführt, so daß sie bei größeren Abflüssen überströmt werden konnten. In den Längswerken wurden

*Bild 5.3–10  
Stromausbau im  
Rheingau zwischen  
Mainz und Geisen-  
heim*

planmäßig Lücken gelassen, um die Durchströmung der seitlichen Wasserkörper sicherzustellen. Die Regulierungsarbeiten wurden durch Grundschwelen ergänzt, um Übertiefen zu verbauen. Hinzu kamen Baggerungen an Stellen, die der Strom nicht selbsttätig auf Schifffahrtstiefe ausräumte. Oberhalb von Bingen und Rudesheim wurden in den beiden parallelen Schifffahrtsrinnen Felsarbeiten erforderlich. In diesem Bereich sind auf der linken und der rechten Rheinseite Häfen geschaffen worden.

*Bild 5.3–11  
Rhein mit Nahemündung (rechts oben) bei Niedrigwasser*



Beim Bau der Bühnen, der Leitwerke und der Uferdeckwerke wurden und

werden fast ausschließlich natürliche Baustoffe verwendet, zumeist Steinschüttungen auf Faschinenbettungen mit Oberflächensicherung durch Steinsatz oder Pflaster (Bild 5.3–12). Sie müssen den beträchtlichen Angriffen des Hochwassers und den ständigen Beanspruchungen durch die Wellen standhalten, die von den Schiffen und vom Wind verursacht werden. Die Naturbauweisen haben sich bei geeigneter Bemessung bewährt. Sie sind dauerhaft und passen zum natürlichen Bild des Rheinstromes.

Durch die geschilderten Maßnahmen und ergänzende Bauten, die bis in die Gegenwart andauern, ist seit dem ersten Drittel des Neunzehnten Jahrhunderts der Rhein schrittweise zum Großschifffahrtsweg mit 120 m Fahrwasserbreite zwischen Neckar und Nahe festgelegt und gesichert worden. Der zeitliche Verlauf der gesamten Ausbauarbeiten von Worms bis in den Mittelrhein bei St. Goar geht aus Bild 5.3–13 hervor. Anhaltende Beobachtungen, Messungen und Nacharbeiten am Rhein bleiben allerdings unentbehrlich. Sie dienen dazu, die erreichte Nutzbarkeit und Sicherheit zu erhalten, den Strom an künftige Anforderungen anzupassen und die Schönheit der Kulturlandschaft zu bewahren.

### 5.3.3 Wasserwirtschaft seitlich des Rheins

Die Ausbauten des Rheins waren und sind vornehmlich bedingt von den Bedürfnissen der Schifffahrt. Sie waren aber auch wesentliche Voraussetzungen für die Verbesserung des Hochwasserschutzes und für die Entwässerung im Rheintal. Die alten Deichsysteme wurden auf der Strecke vom Neckar bis zum Main nach dem Katastrophenhochwasser 1882/83 erhöht, verstärkt und vereinheitlicht (Bild 5.3–14). Ihre Kronen wurden auf einen reichlichen Freibord über dem zweihundertjährigen Hochwasserspiegel gehoben. Ergänzungen haben bis in die jüngste Vergangenheit

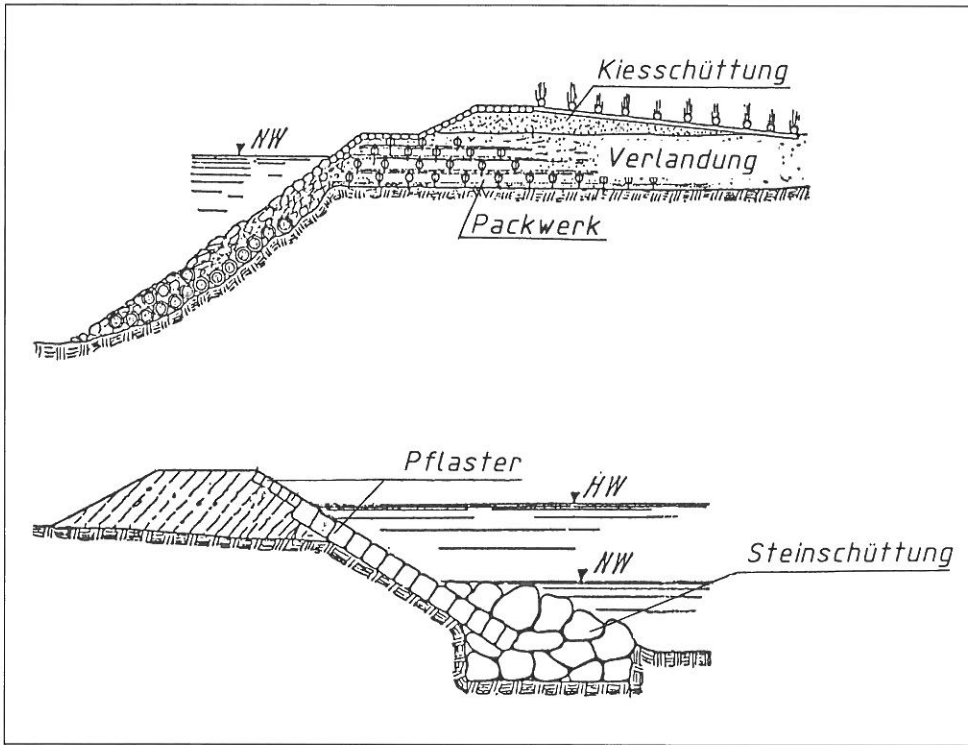


Bild 5.3-12  
Bauweisen von Uferdeckwerken mit Naturbaustoffen

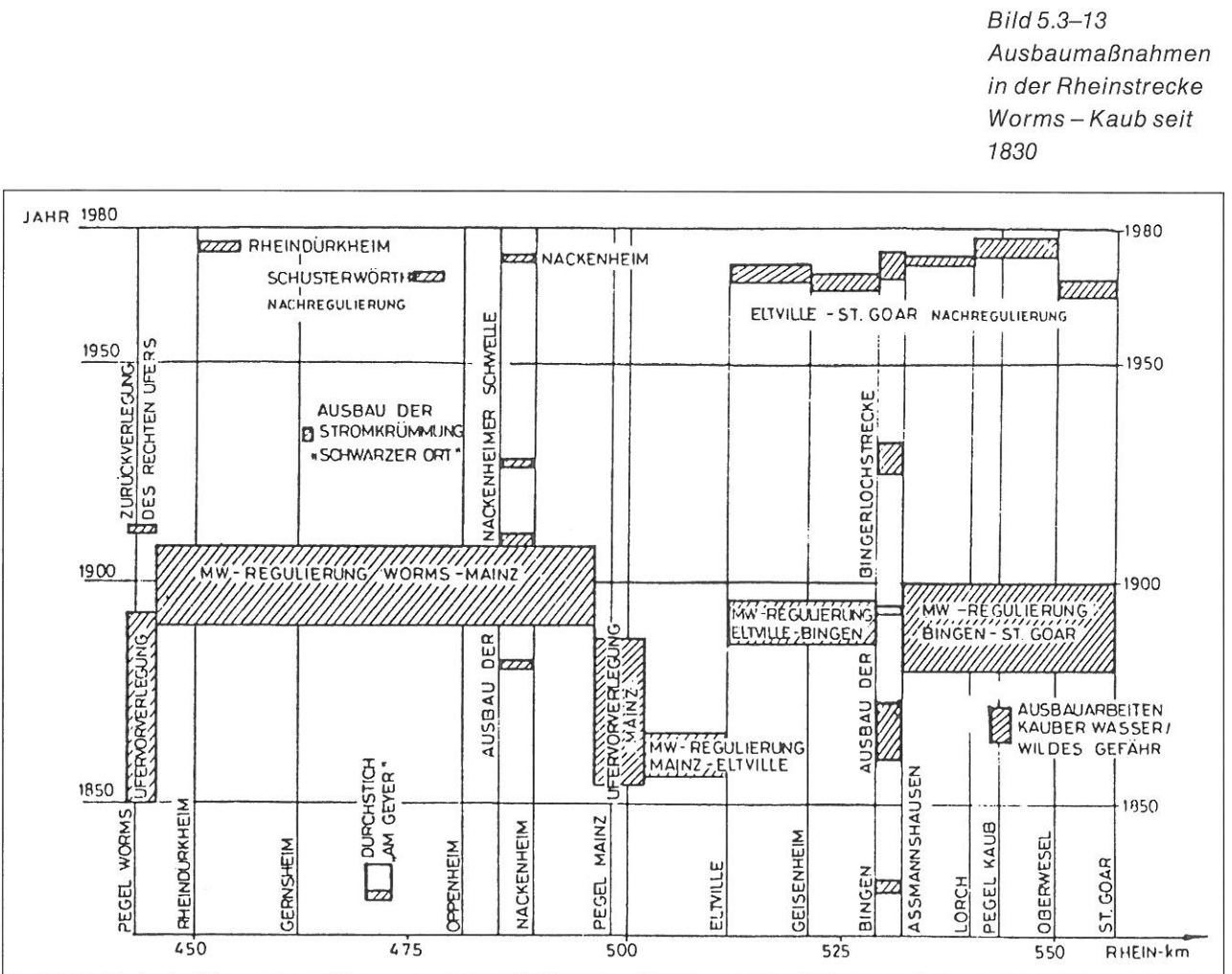


Bild 5.3-13  
Ausbaumaßnahmen in der Rheinstrecke Worms – Kaub seit 1830

*Bild 5.3–14  
Winterdeich bei Er-  
felden im Hessischen  
Ried*



stattgefunden und werden weiterhin geplant.

Eine örtliche Besonderheit bilden die, insbesondere rechtsrheinisch vorhandenen, Sommerdeiche. Sie dienen dem Schutz von tiefgelegenen landwirtschaftlichen Nutzflächen rheinseitig der Winterdeiche vor häufigen Überschwemmungen, hauptsächlich vor den Hochwassern in der Wachstumszeit. Oberhalb der Mainmündung bestehen 13 Sommerpolder mit zusammen 3.600 ha geschützter Fläche. Ihre Deichkronen befinden sich im allgemeinen etwa 1 m tiefer als die Kronen der Winterdeiche. Die Sommerdeiche tragen zum Hochwasserschutz der Unterlieger bei. Wenn sie überströmt werden, wirken die hinter ihnen liegenden Polder wie Hochwasserrückhaltebecken. Sie können Wassermengen bis über 50 Millionen Kubikmeter speichern. Dadurch vermindern sie die Scheitelabflüsse mittlerer Rheinhochwasser um etwa 10%. Große Hochwasser füllen die Sommerpolder bereits bei ihrem Anlauf auf, so daß diese auf die Spitzenabflüsse dabei keinen Einfluß haben.

Unterhalb der Mainmündung schützen linksrheinisch vorhandene Sommerdeiche 350 ha landwirtschaftlicher Nutzflä-

chen. Das linke Rheinufer wird auf längeren Strecken von Winterdeichen begleitet, die allerdings nicht überall über den Wasserspiegel des hundertjährigen Hochwassers ragen. Rechtsrheinisch sind hier keine Deiche vorhanden. Die Anlieger in tiefer Lage werden von großen Hochwassern betroffen (Bild 5.3–15).

Durch die Stauregelung des Oberrheins sind die Hochwasserabflüsse vergrößert worden. Sie können durch das stromaufwärts von Worms im Ausbau befindliche Speichersystem nicht vollständig auf das natürliche Niveau zurückgeführt werden, als welches der Zustand des Rheins 1955 angesehen wird. Dies wirkt sich insbesondere unterhalb der Mainmündung aus, weil sich die verformten Rheinhochwasser ungünstiger mit den künstlich nicht veränderten Mainhochwassern überlagern und kein entsprechender Deichschutz gegeben ist. Im Interesse der Unterlieger sind daher an der Rheinstrecke Worms – Mainz sechs weitere Hochwasserrückhaltebecken mit zusammen rund 150 Millionen Kubikmeter Inhalt vorgeschlagen worden [Hochwasserstudien-Gruppe Worms – Kaub 1985]. Die Maßnahmen befinden sich im Stadium von Voruntersuchungen. Ihre Hochwasserschutzräume wür-



Bild 5.3–15  
Winterhochwasser  
1970 in Wiesbaden-  
Biebrich

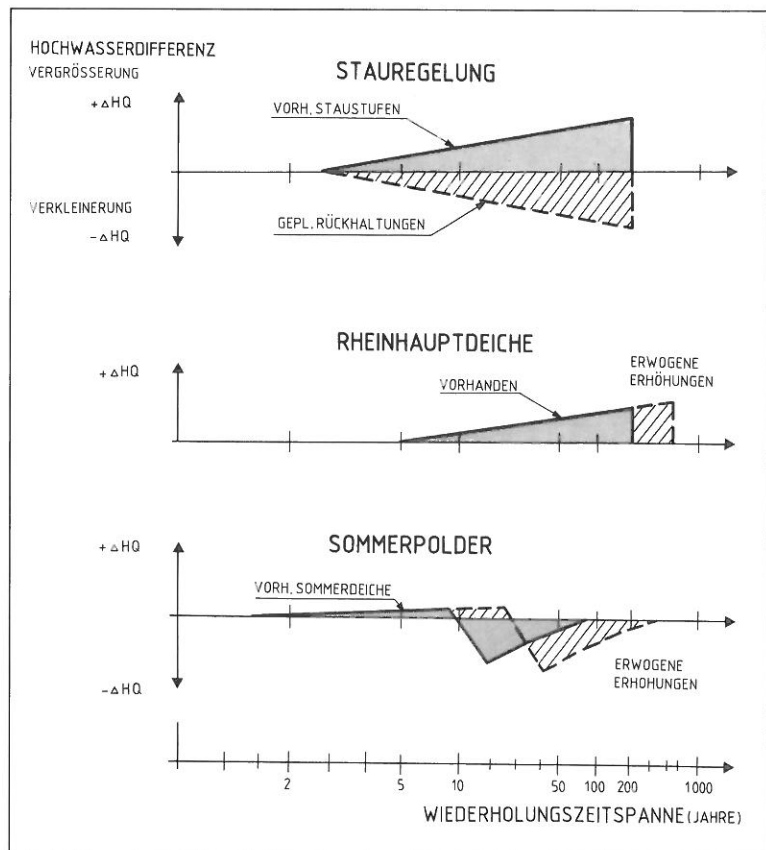
den nicht ohne schwerwiegende Nachteile durch Deich- oder Flußbauten ersetzt werden können.

In der abschließenden Oberrheinstrecke summieren sich die oberhalb vorhandenen oder geplanten anthropogenen Einflüsse auf das Hochwasser. Auswirkungen von Staustufen, Deichbau und kompensierenden Maßnahmen sind in Bild 5.3–16 qualitativ in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit der Hochwasser veranschaulicht [Worreschk 1990]. Zu ihnen kommen noch Folgen einer teilweisen Eintiefung des Rheins und der zunehmenden Versiegelung der Landschaften hinzu, die allerdings nur im Bereich kleiner Hochwasser spürbar werden.

Der Hochwasserschutz mittels durchgehender Deiche entlang der Rheinufer war die Voraussetzung dafür, daß seitliche Naßflächen durch Entwässerung melioriert werden konnten. Ohne diesen Schutz waren sie vom Rhein her vernäßt, litten oft aber auch unter einem Überschuß an Binnenwasser.

Nachdem vernäbte Flächen in der Vergangenheit nur durch örtliche Einzelmaßnahmen melioriert worden waren, begann 1929 mit dem »Generalkultur-

Bild 5.3–16  
Schema von Hochwasser-  
veränderungen im unteren Be-  
reich des Oberrheins



plan für das Hessische Ried« [Heyl 1929] die systematische Entwässerung der verbreiteten Sümpfe und Naßflächen (Bild 5.3–17). Die beteiligten Flächen umfaßten insgesamt 29.700 ha, meistens Land, das vorher nicht landwirtschaftlich genutzt werden konnte. Für die Bewirtschaftung wurden mehrere neue Dörfer gebaut.

Die erfolgreichen Entwässerungsarbeiten haben allerdings ausgedehnte Naßbiotope beseitigt und der Natur viel von

ihrem früheren Reichtum an Pflanzen und Tieren genommen. Entsprachen die Meliorationen auch den Bedürfnissen und dem Geist ihrer Entstehungszeit, so sind sie heute doch teilweise mit anderen Augen anzusehen. Es wird danach gestrebt, Teilflächen zu »renaturieren« und als Naßbiotope wiederherzustellen. Maßnahmen mit entsprechender Zielrichtung haben bereits an mehreren Altarmen des Rheins stattgefunden [Regierungspräsident Darmstadt 1985].

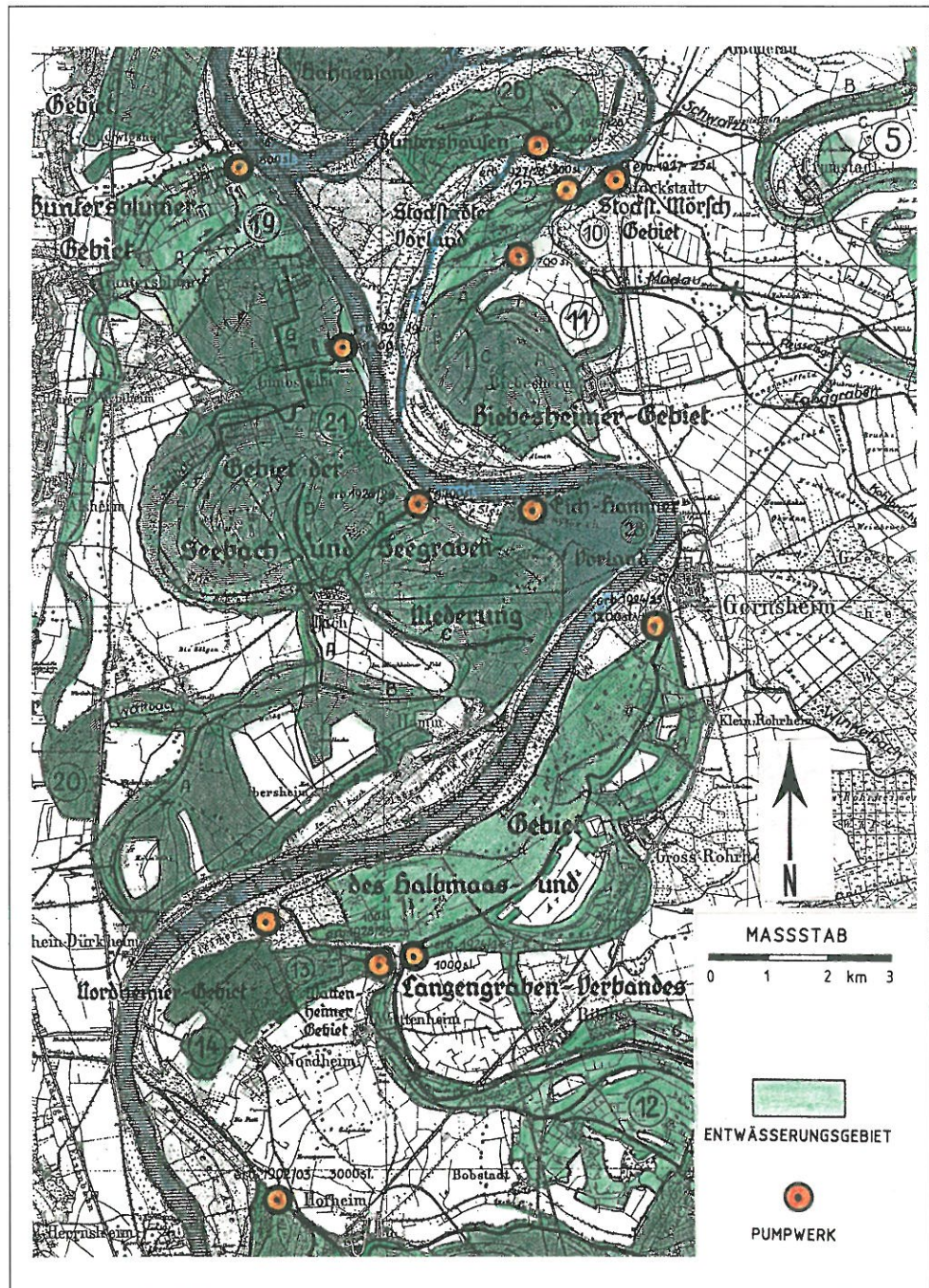


Bild 5.3–17  
Generalkulturplan  
für das Hessische  
Ried, Kartenaus-  
schnitt südlich Op-  
penheim, Beteili-  
gungsflächen farbig  
hervorgehoben

An den Ausmündungen der natürlichen und künstlichen Vorfluter in den Rhein sind im Zuge der Deiche nach Bedarf Stauanlagen und Schöpfwerke angeordnet worden. Sie halten das Rheinhochwasser ab und schaffen die Möglichkeit, die Binnenwasserstände durch Überpumpen der Zuflüsse in den Rhein auf geeigneter Tiefenlage zu halten. Eine Ansicht des 1979 neu errichteten Schöpfwerkes nahe der Schwarzbachmündung bei Ginsheim ist aus Bild 5.3–18 zu ersehen. Seine Fördermenge beträgt bis zu 12 Kubikmeter in der Sekunde.

Die klimatischen Verhältnisse bedingen es, daß die Landwirtschaft im Rheintal, auch auf vorher entwässerten Flächen, ihren Wasserbedarf durch Bewässerung ergänzen muß. Die alten Bewässerungsmethoden mit Einstau in Gräben und Überrieselung der Flächen sind aus arbeitswirtschaftlichen Gründen durch Beregnung ersetzt worden. Heute kann mit genossenschaftlichen und privaten Anlagen der weitausgrößte Teil der Nutzflächen beregnet werden.

Zur Beregnung diente zunächst fast ausschließlich das Grundwasser, das in den meisten Gebietsteilen in wenigen Metern Tiefe gewonnen werden kann. Die Grundwasserentnahmen wuchsen so stark an, daß im Dürresommer 1976 der

Grundwasserspiegel großflächig um mehrere Meter abgesenkt wurde. Dabei wurden die Saughöhen der Schlepperpumpen vielerorts überschritten, so daß die Landwirte kein Beregnungswasser aus ihren Brunnen mehr fördern konnten. Auch fielen Löschwasserbrunnen in den Gemeinden trocken.

Der Hauptbetrag der Absenkung war durch die Trinkwasserwerke verursacht, die überwiegend rechtsrheinisch südlich des Maines liegen. Sie versorgen auch Gemeinden, Städte und Industriezentren außerhalb des Rheintales mit Trinkwasser. Ihre Brunnenreihen erstrecken sich in 5 bis 10 Kilometer Entfernung vom Rheinufer nahezu lückenlos vom Neckar bis an den Main. Um die Wasseransprüche aller Bedarfsträger sicherzustellen, hat die hessische Wasserwirtschaftsverwaltung zusätzlich bei Biebesheim ein Rheinwasserwerk bauen lassen (Bild 5.3–19). Es entnimmt 1,5 m<sup>3</sup>/s aus dem Rhein und bereitet es auf Trinkwassergüte auf. Das gereinigte Wasser ist zum Teil in Beregnungsleitungen abzugeben. Größtenteils soll es zwischen Gernsheim und Groß-Gerau versickert werden, um die Grundwasserbilanz auszugleichen.

Die Grundwasserentnahmen vermindern den natürlichen Zufluß zum Rhein



Bild 5.3–18  
Schwarzbachschöpfwerk bei Ginsheim





*Bild 5.3–19  
Rheinwasser-Aufbe-  
reitungsanlage Bie-  
besheim im Bau*

und zu manchen seiner Nebenläufe. Der Abflußverlust im Rhein, der auch durch die Direktentnahmen des Wasserwerkes Biebesheim, des Kernkraftwerkes Biblis und anderer Oberflächenwassernutzer bedingt wird, kann allein auf der Strecke vom Neckar bis zum Main im Sommer mehrere Kubikmeter in der Sekunde betragen. Dies wird bei Niedrigwasser für die Schifffahrt und die Abwasserwirtschaft spürbar, zumal dem Rhein auf anderen Strecken ebenfalls erhebliche Abflußbeträge entzogen werden. Andererseits findet ein gewisser Zuschuß dadurch statt, daß mit dem Abwasser aus der Trink- und Brauchwassernutzung Zuflüsse in den Rhein gelangen, die von Natur aus nicht bei Niedrigwasser abfließen würden. Sie werden aus dem Grundwasser unterhalb des Vorflutniveaus gefördert. Es ist beabsichtigt, auf diesen Fragenkomplex in einer anschließenden Veröffentlichung über anthropogene Einflüsse auf die Hydrologie des Rheines einzugehen.

Als besondere wasserwirtschaftliche

Anlage im Rheingau sei erwähnt, daß bei Schierstein seit der Mitte der Zwanzigerjahre dieses Jahrhunderts eines der wenigen Trinkwasserwerke betrieben wird, das sein Versorgungswasser unmittelbar aus dem Rhein entnimmt. Das Rohwasser wird nach Voraufbereitung in der eingedeichten Talaue infiltriert, nach Bodenpassage zurückgewonnen und nachgereinigt. In einer Menge von rd. 6 Millionen Kubikmeter jährlich wird es für die Wasserversorgung von Wiesbaden eingesetzt, die es zu einem Drittel deckt.

Die großen Kieslager im Untergrund des Rheintals, der örtliche Bedarf an Baustoffen und die günstige Verkehrslage haben zu einem bedeutenden Kiesabbau geführt. Er hinterläßt Restlöcher, die unter den Grundwasserspiegel reichen. Auf diese Weise ist z.B. der Eicher See unterhalb Worms entstanden. Für den Schiffstransport des Kieses hat er eine offene Verbindung zum Rhein (Bild 5.3–20). Er ist in zweiter Nutzung zu einer stark benutzten Wassersportflä-



*Bild 5.3–20  
Baggerloch Eicher  
See, im Hintergrund  
der Rhein*

che geworden und wird von zahlreichen Wochenendhäusern umgeben.

Viele weitere Baggerseen sind im Schutz der Winterdeiche oder im rückwärtigen Rheintal mit größerem Abstand vom Strom entstanden. Sobald ihr Kiesabbau, zumindest in Teilen, abgeschlossen ist, werden sie in Bade- und Erholungsgewässer verwandelt. Sie bieten wertvolle Ergänzungen zu den Wassersportmöglichkeiten auf dem Rhein. Ihre Reaktivierung und Pflege erfordern beträchtliche Aufwendungen. Sie erfolgen unter behördlicher Aufsicht.

### 5.3.4 Ausbau des Mains

Der Main hat mit 27.200 Quadratkilometern das zweitgrößte Einzugsgebiet der Nebenflüsse des Rheins und wird nur von der Mosel um 3,3% übertroffen. Im Jahre 1846 haben die Anliegerländer des Mains eine Übereinkunft zur Regulierung des Flusses unterzeichnet, um die Schiffbarkeit und den Hochwasserschutz zu verbessern. Die Arbeiten begannen 1850 und gaben dem bis dahin in einem sehr wechselhaften Bett verlaufenden Fluß ein gleichmäßiges Gerinne. Seine Breite nahm von 49 m bei Bamberg auf 150 m an der Mündung zu.

Gegen ausufernde Hochwasser wurden streckenweise Deiche errichtet.

Um den steigenden Anforderungen der Schifffahrt gerecht zu werden und um die Wasserkraft nutzbar zu machen, wurden ab 1883 von der Mündung aufwärts Staustufen gebaut (Bild 5.3–21). Die Stauregelung war 1921 bis Aschaffenburg vorgeschritten. In diesem Jahr wurde der weitere Ausbau an die Rhein-Main-Donau AG übertragen. Sie hat einen Großschiffahrtsweg bis zur Donau zu schaffen. Dem Main folgt er bis Bamberg. Dann verläuft er als Kanal im Regnitztal bis Nürnberg, setzt sich nach Südosten fort und überwindet die Hauptwasserscheide des Rheins.

Die Scheitelhaltung liegt rd. 325 m höher als der Rhein an der Mainmündung. Danach erreicht der Kanal das Altmühltal und steigt darin um rd. 70 m zur Donau bei Kelheim ab. Die Ausbaustrecke endet in der Donau unterhalb Passau bei Jochenstein (Bild 5.3–22).

Die alten Staustufen im Main wurden umgebaut bzw. zusammengelegt, um sie den Anforderungen des Schiffsverkehrs mit Schubverbänden anzupassen. Bis Bamberg war der Mainausbau 1962 fertiggestellt. Im Jahre 1972 wurde die Ka-



*Bild 5.3–21  
Die unterste Main-  
schleuse Kostheim*

nalstrecke bis Nürnberg freigegeben. Im Altmühltal ist der Kanalbau aus Gründen des Natur- und Landschaftsschutzes auf starke Kritik gestoßen. Er wird unter umfassenden ökologischen Schutzmaßnahmen verwirklicht [Rhein-Main-Donau AG 1987].

Das Betriebswasser der Schleusen wird südlich der Scheitelhaltung aus der Donau ergänzt. Dazu dienen fünf Schleusenpumpwerke. Sie haben zugleich die Aufgabe, einen allgemeinen wasserwirtschaftlichen Fehlbedarf im bayerischen Maingebiet mit Überschußwasser aus der Donau zu decken.

Die genannten Ausbaupläne im Maingebiet haben ihre Ziele nahezu erreicht. Neben der Schaffung einer Großwasserstraße ist auch der Hochwasserschutz der Täler durch Flußbauten und Deiche weiter verbessert worden. Im Bereich der Wasserscheide zur Donau ist ein umfangreiches Talsperrensystem entstanden. Es deckt Defizite in der Wasserbilanz und bietet wertvolle, von der Bevölkerung stark genutzte Wassersport-

möglichkeiten. Auf den Abfluß in der Mainmündung wirken sich die verschiedenartigen Baumaßnahmen kaum verändernd aus. Insbesondere sind die Hochwasserzuflüsse zum Rhein nicht nennenswert vergrößert oder zeitlich verschoben worden.

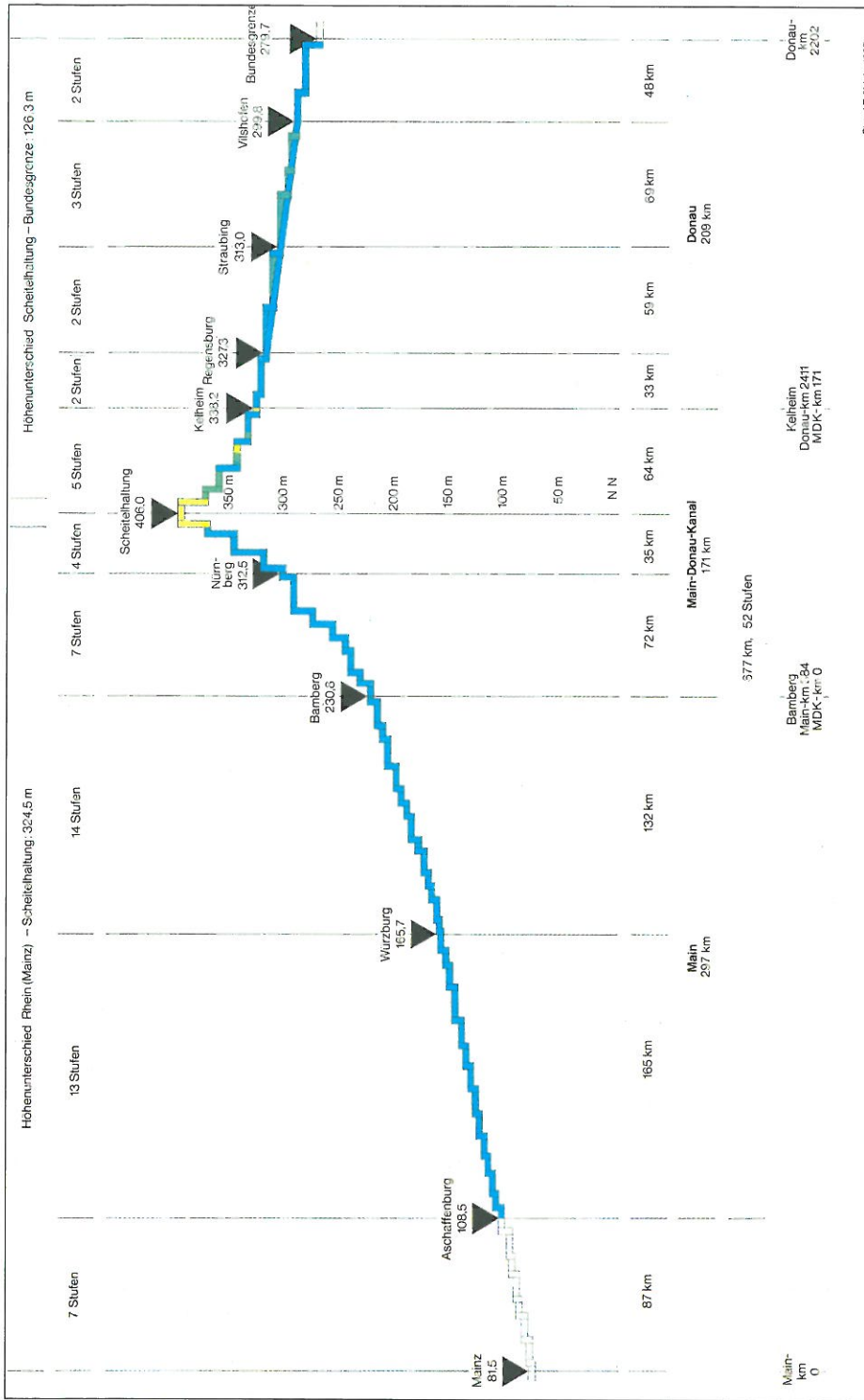


Bild 5.3-22  
 Höhenplan der  
 Main – Donau –  
 Wasserstraße

## 5.4 Mittelrhein

### 5.4.1 Natürliche Gegebenheiten

Bei Bingen verläßt der Strom das Mainzer Becken und gelangt, nun »Mittelrhein« genannt, in das Paläozoikum des Rheinischen Schiefergebirges. Hier fließt er in einem tief eingeschnittenen Erosionstal mit vergleichsweise geringfügigen Schotterbildungen (Bild 5.4–1). Im eingeschalteten Neuwieder Tertiärbecken ist das Gebirgstal verflacht und geweitet; aber erst bei Bonn tritt der, von nun an als »Niederrhein« bezeichnete, Strom endgültig in flaches Gelände ein.

Beim Eindringen in das Schiefergebirge ändert der Strom seine Richtung und seinen Charakter. Die Wasserspiegellbreite geht stellenweise auf weniger als 200 m zurück. Das Gefälle vergrößert sich erheblich und wechselt entsprechend der felsigen Sohle häufig. Es beträgt auf der 27 km langen Gebirgsstrecke zwischen Bingen und St. Goar im Durchschnitt rd.  $0,4\text{‰}$ , doch treten stellenweise erheblich stärkere örtliche Gefälle auf. In der Gebirgsstrecke bilden, sieht man von den Schottern des Nahgrundes ab, die devonischen Schiefer und Quarzite den Untergrund des

Strombettes, aus dem mehrfach Riffe und kleine Felsinseln herausragen. Ablagerungen werden nur an strömungsgeschützten Stellen angetroffen. Unterhalb von St. Goar vermindert sich das Gefälle, und es erheben sich im Rheinbett kaum noch bedeutende Felsen. Dafür treten im Strombett spaltende oder verengende Bänke aus festgelagerten Geröllen auf. Die Strombreiten wechseln hier überwiegend zwischen 230 und 600 m.

Die Stromufer der Gebirgsstrecke sind im allgemeinen steil. Der Ufersaum ist schmal oder fehlt mancherorts ganz, so daß hier der Raum für Straßen und Eisenbahnen neben dem Rhein den Abhängen teilweise durch Einschnitte und Durchtunnelungen abgewonnen werden mußte. Auf langen Strecken sind die Ufer als Mauern ausgebildet oder steil befestigt worden. Ein Überschwemmungsgebiet von erheblicher Ausdehnung ist nicht vorhanden.

Erst in der mittelrheinischen Beckenlandschaft talwärts von Niederlahnstein und Koblenz hat sich eine breitere Niederterrassenflur entwickelt (Bild 5.4–2). Sie begleitet den Strom durchgehend links, teilweise auch rechts. Unterhalb Andernach verläuft der Rhein zunächst

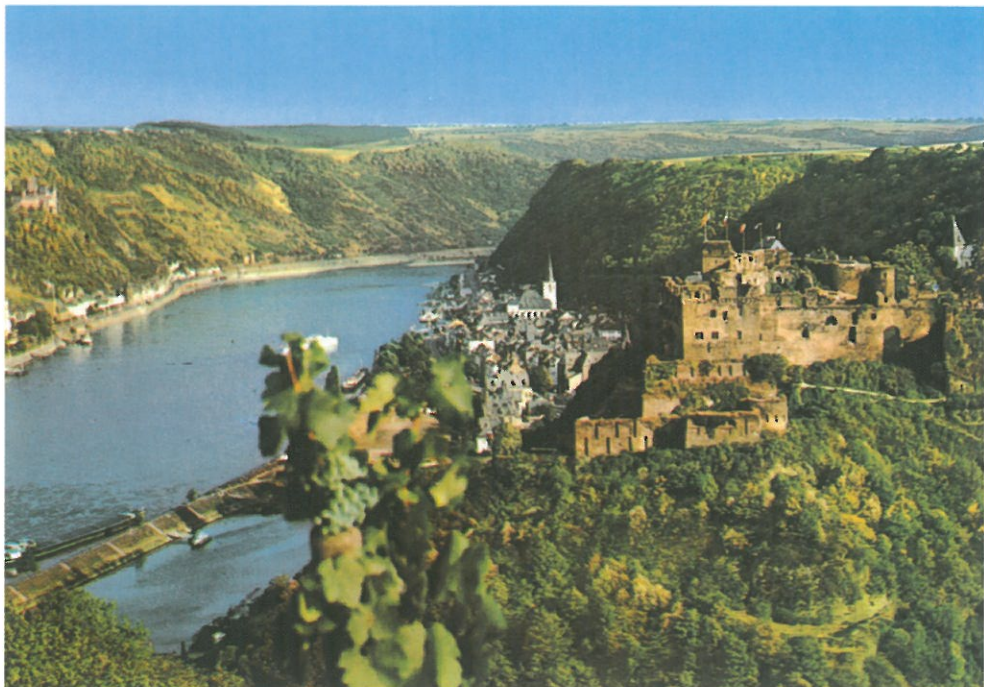


Bild 5.4–1  
Mittelrheinlandschaft  
mit St. Goar

auffallend geradlinig in einem engeren Tal.

Ein weiteres Charakteristikum des nördlichen Mittelrheins sind die häufigen Inselbildungen mit Stromspaltungen. Allein im Neuwieder Becken finden sich sechs Rheininseln. Unter Einbeziehung des 1951 durch einen Damm mit dem Ufer verbundenen Oberwerth in Koblenz sind es die Inseln Niederwerth, Graswerth, Ketsch, Urmitzer Werth und Weißenthurmer Werth. Betrachtet man die Inseln als Bestandteil des Strombettes, so erreicht der Rhein mit seinen drei Stromarmen bei Niederwerth, Rhein-km 596,5, die stattliche Breite von fast 1.200 m.

Auf die Talenge unterhalb der Andernacher Pforte folgen mit Krummenwerth, Hammersteiner Werth, Grafenwerth und Nonnenwerth weitere Inseln. Ihre Schotterkörper sind als holozäne Fluß-

ablagerungen Bestandteil des Hochwasserbereiches bzw. der unteren Stufe der Niederterrasse, die deshalb auch die Bezeichnung »Inselterrasse« erhielt. Im Unterschied zur Auenvegetation der Inseln ist die natürliche Vegetation der Uferauen zwischen Bingen und Bonn bis auf wenige Reste von anderen Flächennutzungen verdrängt worden.

Das Tal des Mittelrheins ist stark besiedelt. Eisenbahnstrecken und Bundesstraßen begleiten den Rhein auf beiden Seiten. Die Industrieansiedlung konzentriert sich auf das Neuwieder Becken, in dem bei Mülheim auch ein Kernkraftwerk errichtet worden ist. In diesem Gebiet und in der anschließenden Vorder-eifel werden die Bodenschätze an Bims, Schaumlava und Vulkangestein in großem Umfange abgebaut und verarbeitet. Der größte Teil der Produktion wird auf dem Wasserwege zu den Verbrauchsorten versandt.



*Bild 5.4-2  
Neuwieder Becken  
von Vallendar aus  
gesehen*

Viele Ortslagen ragen mit tiefgelegenen Teilen in das Überschwemmungsgebiet großer Hochwasser hinein. Das gleiche gilt in beträchtlichem Umfange für die rechtsrheinisch geführte Bundesstraße 42, während tiefgelegene Teile der linksrheinischen Bundesstraße 9 in neuerer Zeit hochwasserfrei gelegt worden sind. Der erwünschte Hochwasserschutz der Ortslagen stößt auf beträchtliche örtliche Gestaltungsprobleme. Er ist nur in Neuwied durch eine hohe Ufermauer mit anschließenden Deichen und mit Schöpfwerken zur Tiefhaltung des Binnenwassers vollkommen verwirklicht worden (Bild 5.4–3).

Für die landwirtschaftliche Bodennutzung bietet das Mittelrheintal auf den meisten Strecken nur kleine Flächen an. Sie dienen, ebenso wie die Hänge, großenteils dem Weinbau. Unterhalb von Koblenz, besonders auf der Insel Niederwerth, wird Gemüsebau betrieben.

*Bild 5.4–3  
Hochwasserschutz-  
mauer in Neuwied*

#### 5.4.2 Entwicklung der Rheinschifffahrt

Den Strombau in der Gebirgsstrecke bedingten überwiegend die Belange der Schifffahrt, zum Unterschied von demjenigen an Oberrhein und Niederrhein, wo die Festlegung des Strombettes, die Erhaltung der Ufer und der Hochwasserschutz zunächst die größere Rolle spielten. Infolge des engen und von steilen Hängen eingefassten Flußtales der Gebirgsstrecke zerfaserte und mäandrierte der Strom hier nicht.

Da der Strombau sich dem jeweiligen Stand der Schifffahrtstechnik anpassen mußte, sei hier ein Blick auf diese eingeschaltet, der auch über den Bereich des Mittelrheins hinausführt.

Vor der Erfindung der Dampfmaschine ließen sich die Schiffe mit der Strömung talwärts treiben, zuweilen unterstützt durch Segel. Für die Bergfahrt nahm man in der Regel Pferde zum Treideln, wobei der Schifffahrtsweg in Ufernähe



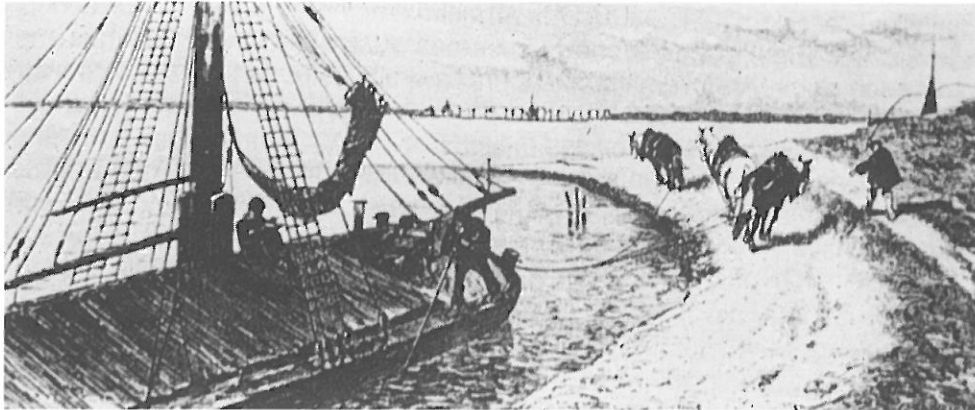


Bild 5.4-4  
Treidelschiff in der  
Bergfahrt

verlaufen mußte (Bild 5.4-4). Die »Leinenreiter oder Halfterer« waren in Zünften vereinigt. Von besonderer Bedeutung war der Leinpfad, der jedoch nicht überall am Rhein unterhalten werden konnte. Besonders auf weiten Strecken des Oberrheins, wo der Fluß in viele Arme, die sich bei jedem Hochwasser verändern, aufgeteilt war, wurde mit Menschenkraft getreidelt oder gerudert [Weber 1987].

Die Rheinschiffe haben sich daher im Mittelalter am Ober- und Niederrhein auch in verschiedener Weise entwickelt, zum Teil deshalb, weil die Felsbarriere im Binger Loch, die Stapelrechte und Zölle sowie das Zunftwesen einen durchgehenden Verkehr sehr erschwerten. Die Schiffsgrößen waren bescheiden. Bei der Zollkonferenz zu Bacharach im Jahre 1717 wurden die nachstehend in Tabelle 5.4-1 angegebenen Schiffsgrößen festgelegt. Die genannte Bespannung bezieht sich auf den Regelfall. In schwierigen Flußabschnitten, vor allem im Binger Loch, mußten zusätzlich bis zu 40 Pferde Vorspann genommen werden.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts nahm die Größe der Schiffe zu, so daß zwischen Köln und Mainz ausnahmsweise

schon Schiffe bis 150 Tonnen verkehrten.

Im Jahre 1819 wurden bei 815 Rheinschiffen 1.043 Fahrzeuge gezählt. Dazu kamen auf den Nebenflüssen 802 Schiffer mit zusammen 1.428 Fahrzeugen, so daß im Rheingebiet rund 2.500 Schiffe vorhanden waren, von denen die Mehrzahl jedoch nur eine Tragfähigkeit bis zu 15 t hatte. Die Bergfahrt eines Lastschiffes von Mainz bis Straßburg dauerte 20 bis 30 Tage.

Im Jahre 1782 erfand *James Watt* die erste Dampfmaschine mit Drehbewegung. Seit dieser Zeit wurden zahlreiche Versuche unternommen, ein brauchbares Dampfschiff zu bauen. Nachdem *Robert Fulton* im Jahre 1807 in New York erfolgreiche Fahrten durchgeführt hatte, erzielte in Europa zuerst der Schotte *Henry Bell* im Jahre 1812 mit seinem Dampfschiff »Comet« dauernden Erfolg. Einen kurzen Überblick über die Entwicklung der Dampfschiffahrt auf dem Rhein enthält die Tabelle 5.4-2.

Gleichlaufend nahmen auch die Schiffsgrößen zu. Der erste deutsche Rheindampfer »Stadt Mainz« war 45 m lang, 5,7 m breit und hatte 0,9 m Tauchtiefe. Der erste eiserne Rheinschleppkahn war

Tragfähigkeit (t)	25	50	100
Länge (m)	24	28	33
Breite (m)	2	2,5	3,1
Bespannung (Pferde)	1	2	4

Tabelle 5.4-1  
Maße der Rheinschiffe, festgelegt bei der Zollkonferenz zu Bacharach 1717



Tabelle 5.4–2  
Die ersten Dampfschiffe auf dem Rhein

Jahr	Ereignis
1816	(12. Juni) Fährt erstmalig ein englisches Dampfschiff bis Köln
1817	Ein anderes bis Koblenz
1824	(3. November) Das niederländische Dampfboot 'De Zeeuw' unter G. M. Roentgen dringt bis zum »Wilden Gefähr« bei Bacharach vor
1825	Der niederländische Dampfer »De Rijn« erreicht Kehl
1827	(1. Mai) Beginn des regelmäßigen Personen- und Eilgüterdienstes zwischen Köln und Mainz durch den Dampfer »Concordia« der 1826 gegründeten Preußischen Rheinischen Dampfschiffahrts-Gesellschaft
1830	Indienststellung des ersten auf einer deutschen Werft gebauten Rheindampfers (»Stadt Mainz«)
1838	Der erste eiserne Dampfer (»Graf von Paris«)
1841	In Köln und Mainz bilden sich die ersten Dampfschleppschiffahrtsgesellschaften (Massengut)

55 m lang und 7,3 m breit. Er hatte 1,14 m Tauchtiefe und eine Tragfähigkeit von 244 t. Es ergab sich die dringende Notwendigkeit, das Fahrwasser im Binger Loch, entsprechend dem in der Folgezeit stattfindenden Anwachsen sowohl der Schiffsgrößen als auch des Verkehrsumfanges, zu erweitern (Bild 5.4–5).

Die »Zentral-Aktiengesellschaft für Tauerei« verlegte im Rhein zwischen Emmerich und Bingen ein Drahtseil von 43 mm Durchmesser und nahm im Jahre 1874 den Schleppbetrieb an ihm auf. Schon nach wenigen Jahren zeigte es sich, daß unterhalb von Bonn dieser Betrieb nicht lohnend und infolge des wechselnden Talweges schwierig war. Er wurde hier bald aufgegeben. Auf der 121 km langen Strecke Bonn (Oberkassel) bis Bingen hingegen ist die Seilschiffahrt bis 1905 neben dem Schleppen mit freien Dampfern beibehalten worden. Im Jahre 1889 waren auf dieser Strecke 7 am Tau schleppende Zug-

dampfschiffe (Tauer) der genannten Gesellschaft eingesetzt. Näheres über die Tauschiffahrt siehe *Teichmann* [1870].

Das Treideln mit Pferden erhielt sich am Binger Loch noch lange Zeit. *Teubert* schreibt hierüber im Jahre 1912: »...selbst heute kommt es noch oft vor, daß zur Überwindung der Stromschnelle im Binger Loch selbst Schnell-dampfer einen Vorspann von Pferden benutzen, wenn sie nicht sicher sind, daß sie ihren Zug mit eigener Kraft nach Bingen bringen können«.

Von kaum geringerem Einfluß als die Fortschritte im Schiffs- und Maschinenbau war für den Aufschwung des Schiffsverkehrs die 1831 zwischen den sieben damaligen Rheinuferstaaten Frankreich, Baden, Bayern (Pfalz), Hessen, Nassau, Preußen und Niederlande abgeschlossene Konvention, auch »Rheinschiffahrtsakte« (Mainzer Akte) genannt. Sie schaffte alle Stapel- und Umschlagrechte auf dem sogenannten

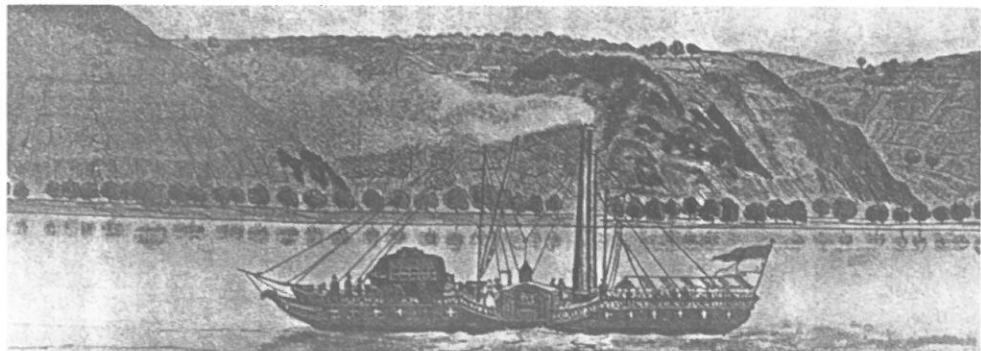


Bild 5.4–5  
Dampfer auf dem Rhein um 1830

»konventionellen« Rhein zwischen Basel und der Nordsee ab. Den ganzen schiffbaren Strom erklärte sie als eine gemeinsame freie Wasserstraße. Sie hob ferner sämtliche Schifferzünfte am Rhein mit all ihren Vorrechten auf. An die Stelle der alten Zunftsatzen wurden einheitliche Polizeivorschriften für die Sicherheit und Stetigkeit von Handel und Schifffahrt gesetzt. Für den richtigen Vollzug der Konvention und zur Verhinderung von Zuwiderhandlungen wurden ein Ober- und vier Distriktspektoren bestellt und eine jährlich zusammentretende Rheinschiffahrtskommission vorgesehen. Als Folge der Konvention machte sich alsbald eine wesentliche Beschleunigung der Güterbeförderung und eine Verringerung der Frachtkosten durch freien Wettbewerb bemerkbar.

Nach dem endgültigen Wegfall der Wasserzölle wurde die Rheinschiffahrtsakte im Jahre 1868 revidiert (Mannheimer Akte), wobei die den Rheinuferstaaten hinsichtlich der Wasserstraße obliegenden Pflichten genauer gefaßt wurden. So hieß es z.B.: »Die vertragenden Theile machen sich, wie bisher, verbindlich, innerhalb der Grenzen ihres Gebietes das Fahrwasser des Rheins und die vorhandenen Leinpfade in guten Stand zu setzen und darin zu erhalten.«

Die Leinpfade verloren in dem Maße an Bedeutung, in dem die Dampfschifffahrt das Treideln ablöste. Sie beseitigte den Zwang, die Schifffahrtsstraße nahe dem Ufer zu führen, erforderte aber andererseits größere Fahrwassertiefen. So wurde aus einem Uferbau der Strombau.

Um die Arbeiten zu koordinieren, unternahmen Fachvertreter der im Rahmen der Rheinkonvention zusammenarbeitenden Staaten wiederholt gemeinsame Strombefahrungen des Rheins, um den jeweiligen Zustand des Fahrwassers festzustellen und in Protokollen zu beschreiben sowie Empfehlungen für den weiteren Ausbau zu erteilen. Solche sich über jeweils mehrere Wochen erstreckenden, gemeinsamen Strombefahrungen

fanden im vorigen Jahrhundert in den Jahren 1849, 1861, 1874, 1885 und 1896/97 statt [Schneider 1966].

Vor dem Ersten Weltkrieg stellte die Ruhrkohle den Hauptanteil der auf dem Rhein transportierten Ware. Daneben wurden als Massengüter Erze, Steine, Getreide, Holz, Baustoffe und Grundstoffe der Chemieindustrie befördert. Die Transporte vollzogen sich in der Form der Schleppschifffahrt, d.h. die Ware wurde in Schleppkähne geladen, deren Tragfähigkeit von etwa 200 t bis zu 2.000 t reichte. Die beladenen Kähne, die keinen eigenen Antrieb hatten, wurden von Schleppdampfern gezogen (Bild 5.4–6). Während die Schleppkähne die Grundform ihrer Bauweise kaum änderten, gab es bei den Schleppdampfern viele Bauvarianten.

Am stärksten, leistungsfähigsten und wirtschaftlichsten waren die Radschleppdampfer. Ihre Dampfmaschinen leisteten bereits in den Jahren vor dem Ersten Weltkrieg bis zu 1.800 PS bei einem Kohlenverbrauch von 6 bis 7 dz/h. Sie beförderten bei normalem Wasserstand (2,50 m am Kölner Pegel) zwischen Duisburg und St. Goar 4 t je PS, das waren bei 1.800 PS Leistung 7.200 t, die auf 5 bis 6 geschleppte eiserner Kähne verteilt waren.

Neben den Radschleppdampfern gab es eine Vielzahl großer und kleiner Schraubendampfer. Ihr Vorteil lag in einer gedrungenen Bauweise, die sich günstig auf den Herstellungspreis und die Manövrierfähigkeit auswirkte. Um einen optimalen Wirkungsgrad zu erreichen, benötigten große Schraubenschlepper jedoch einen größeren Tiefgang, nämlich bis zu 2,50 m, während Radschlepper gleicher Leistung nur etwa 1,50 m tief gingen. Wassertiefen von 2,50 m waren auf weiten Strecken des Mittel- und Oberrheins bei Niedrigwasser nicht vorhanden.

In ansehnlichem Umfang entwickelten sich auch der Stückgutverkehr und die Personenschifffahrt. Die schöne Land-



Bild 5.4–6  
Schleppzug aus Rad-  
schlepper und sechs  
Anhangkähnen

Schiffstyp	Länge (m)	Breite (m)	Tragfähigkeit (t) bei Tiefgang (m)			Laderaum	
			1,50	2,00	2,50	Länge (m)	Breite (m)
»Johann Welker« (verl.)	85,00	9,50	570	930	1.300	59,00	7,45
»Johann Welker«	80,00	9,50	600	940	1.280	54,00	7,45
»Gustav Koenigs« (verl.)	80,00	8,20	500	800	1.100	54,00	6,20
»Gustav Koenigs«	67,00	8,20	420	670	930	47,50	6,20
»Karl Vortisch«	57,00	7,04	285	460	560	38,00	5,50
»Oskar Teubert«	53,00	6,29	240	390	550	35,00	4,80
»Theodor Bayer« (verl.)	48,00	5,05	190	300	370	33,50	3,50
»Theodor Bayer«	38,50	5,05	130	220	270 <sup>1</sup>	24,00	3,50

Tabelle 5.4–3  
Typen und Abmes-  
sungen von Motor-  
schiffen auf  
westdeutschen Was-  
serstraßen

<sup>1</sup> nur 2,30 m

schaft des Mittelrheins wirkte besonders fördernd auf die Vergnügungs- und Ausflugsfahrten.

Zwischen den beiden Weltkriegen trat der Dieselmotor seinen Siegeszug in der Binnenschifffahrt an. Ab Mitte der Dreißiger Jahre wurde kein Dampfschiff mehr für den Rhein gebaut. In dieser Zeit vollzog sich auch ein immer stärkerer Übergang vom Einzelschiffer, dem sogenannten Partikulier, zum Reedereibetrieb. Besonders die Großreedereien begannen damit, die bisherigen Schleppkähne zu motorisieren und neue Selbstfahrer zu bauen. Infolge der Motorisierung, nicht nur zu Wasser, sondern vor allem zu Lande, kam ein neues Massengut auf den Rhein: Mineralöl in jeder Verarbeitungsstufe, und mit ihm der Schiffstyp des Tankers als Kahn und als Selbstfahrer (Bild 5.4–7).

Nach dem Zweiten Weltkrieg war das erste Jahrzehnt geprägt vom Wiederaufbau der im Kriege weitgehend zerstörten Binnenflotte. Dabei wurde die Schleppschifffahrt immer mehr durch Selbstfahrer abgelöst, was wesentlich zur Beschleunigung der Transportabwicklung führte. Durch Typisierung wurde der Schiffsbau rationalisiert. Dies war auch im Hinblick auf die Wasserstraßen und für die Abmessungen der Schleusen von Bedeutung. Die Tendenz zu immer größeren Schiffen führte seit den Sechziger Jahren dazu, daß vor allem die am häufigsten anzutreffenden Schiffe der Typen »Gustav Koenigs« und »Johann Welker« verlängert wurden (Tabelle 5.4–3).

Seit im November 1957 eine Schubeinheit mit dem Schubboot »Wasserbüffel« ihre erste Fahrt von Rotterdam nach Duisburg erfolgreich bestand, war der Weg für die Schubschifffahrt auf dem Rhein frei. Während beim Schleppen die Kähne, die keinen eigenen Antrieb haben, von Schleppern über Trossen gezogen werden, schiebt das Schubboot die vor ihm angeordneten, starr verbundenen Leichter (Bild 5.4–8). Dies hat zur Folge, daß die Kähne nicht mehr geson-



dert gesteuert werden müssen und somit kein Deckpersonal und auch keine Schifferwohnung benötigen, was zu mehr Laderaum und zu geringeren Bau- und Betriebskosten führt.

Die Schubleichter, die üblicherweise zu zweit, zu viert oder am Niederrhein zu sechst vor das Schubmotorboot gekoppelt werden, sind inzwischen ebenfalls typisiert worden (Tabelle 5.4–4). Zur Bewegung der Kähne und Schubleichter stehen Schlepper und Schubboote zwischen 2.000 und 6.000 PS zur Verfügung.

Näheres über die technische Entwicklung der deutschen Binnenschifffahrt nach dem Zweiten Weltkrieg siehe z.B. bei *Beyen* [1985] und *Trapp* [1985].

Bild 5.4–9 zeigt die rasche Entwicklung der Schiffszahlen im Schubverkehr für

Bild 5.4–7  
Moderner Selbstfahrer (Tankschiff)

Bild 5.4–8  
Schubboot mit vier  
Leichtern



Schiffstyp	Länge (m)	Breite (m)	Tiefgang (m)	Tragfähigkeit (feste Massengüter) (t)
Europa Typ I	70,00	9,50	3,20 bei 2,50	1.680 1.240
Europa Typ II	76,50	11,40	3,20 bei 2,50	2.215 1.640
Europa Typ IIa	76,50	11,40	3,70 bei 2,50	2.540 1.520
BACAT-Leichter	16,76	4,57		140
Lash-Leichter	18,75	9,50	2,73	376
Seabee	29,72	10,67	3,22	860

Tabelle 5.4–4  
Schubleichter

den Bereich der Bundesrepublik von 1960 bis 1985. Im Jahre 1985 betrug die gesamte Tragfähigkeit der Güterschubleichter rd. 544.000 t, der Tankschubleichter rd. 49.700 t, der Schubkähne (umgebaut) rd. 27.100 t und der Schubmotorschiffe rd. 92.800 t.

Der Gesamtbestand an Binnengüterschiffen in der Bundesrepublik ist in Tabelle 5.4-5 zusammengestellt. Sie enthält die Vergleichszahlen für 1936 und darunter Angaben zu den Jahren 1950 bis 1985 [Bundesverband der deutschen Binnenschifffahrt e.V. und Verein für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e.V. 1985].

Nach Höchstwerten gegen 1970 sind Anzahl und Frachtraum der Schiffe, von denen der weitaus größte Teil auf den Rhein entfällt, zurückgegangen. Die mittleren Schiffsgrößen und Motorleistungen sind aber gestiegen, so daß etwa die gleichen oder steigende Fracht-

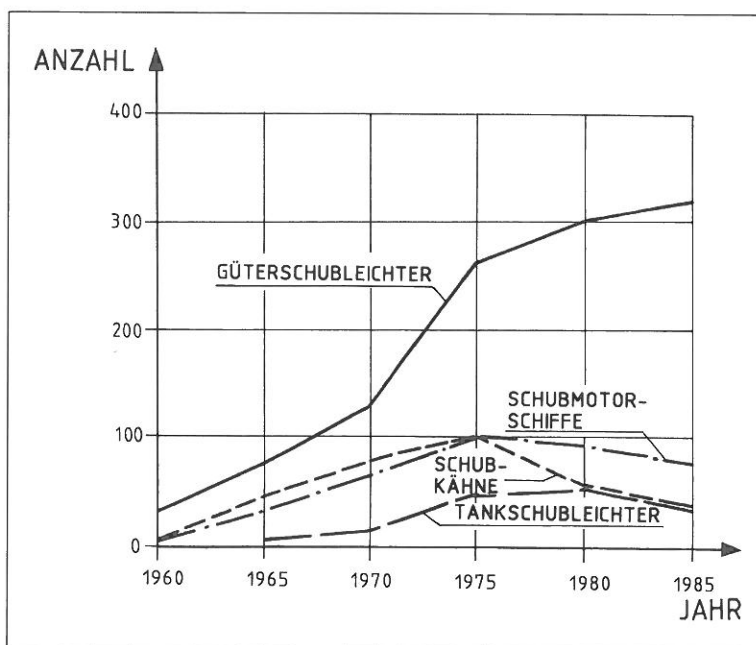


Bild 5.4-9 Bestand an Schubleichtern, Schubkähnen und schiebenden Motorschiffen im Bundesgebiet

Stand	Motorschiffe				Schubl./Kähne			Gesamtfrachtraum	
	Anzahl	t	v.H. <sup>2</sup>	PS	Anzahl	t	v.H. <sup>2</sup>	Anzahl	t
1. Jan. 1936		326.000	6,9	138.000		4.392.000	93,1		4.718.000
1950	1.661	484.959	16,2	238.736	3.470	2.503.550	83,8	5.131	2.988.509
1955	2.706	1.141.772	30,1	607.611	3.618	2.652.198	69,9	6.324	3.793.970
1960	4.372	2.215.726	45,9	1.257.278	3.501	2.606.722	54,1	7.873	4.822.448
1965	5.554	3.249.726	65,1	1.837.748	2.058	1.745.761	34,9	7.612	4.995.487
1969	5.586	3.431.532	73,2	1.936.186	1.480	1.252.818	26,8	7.066	4.684.350
1970	5.442	3.450.023	74,6	1.952.116	1.323	1.177.188	25,4	6.765	4.627.211
1975	4.061	3.307.712	76,7	1.921.506	876	1.004.482	23,3	4.937	4.312.194
1976	3.976	3.245.463	76,9	1.889.824	819	976.349	23,1	4.786	4.221.812
1977	3.800	3.145.685	76,1	1.829.285	813	989.664	23,9	4.613	4.135.349
1978	3.658	3.057.851	76,1	1.783.266	774	962.329	23,9	4.432	4.020.180
1979	3.506	2.957.940	76,7	1.723.394	724	900.622	23,3	4.230	3.858.562
1980	3.367	2.890.114	76,2	1.681.136	711	900.975	23,8	4.078	3.791.089
1981	3.190	2.824.890	76,9	1.645.685	622	847.073	23,1	3.812	3.671.963
1982	3.032	2.742.911	77,3	1.599.954	577	804.896	22,7	3.609	3.547.807
1983	2.928	2.672.318	77,2	1.559.207	568	787.054	22,8	3.496	3.459.372
1984	2.839	2.635.884	77,0	1.538.461	572	786.614	23,0	3.411	3.422.498
1985	2.697	2.579.558	78,3	1.504.287	525	715.909	21,7	3.222	3.295.467

<sup>1</sup> einschl. Tankschiffe und Schubleichter, ohne Lashleichter, Hamburger Schuten und Leichter; ab 1960 einschl. Saarland, ab 1956 ohne behördeneigene Schiffe, die nicht der gewerblichen Binnenschifffahrt dienen; ab 1.1.1974 ohne Bunkerboote; ab 1.1.1966 einschl. Berlin-West

<sup>2</sup> Anteil am Gesamtfrachtraum

Tabelle 5.4-5 Bestand an Binnengüterschiffen im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland<sup>1</sup>

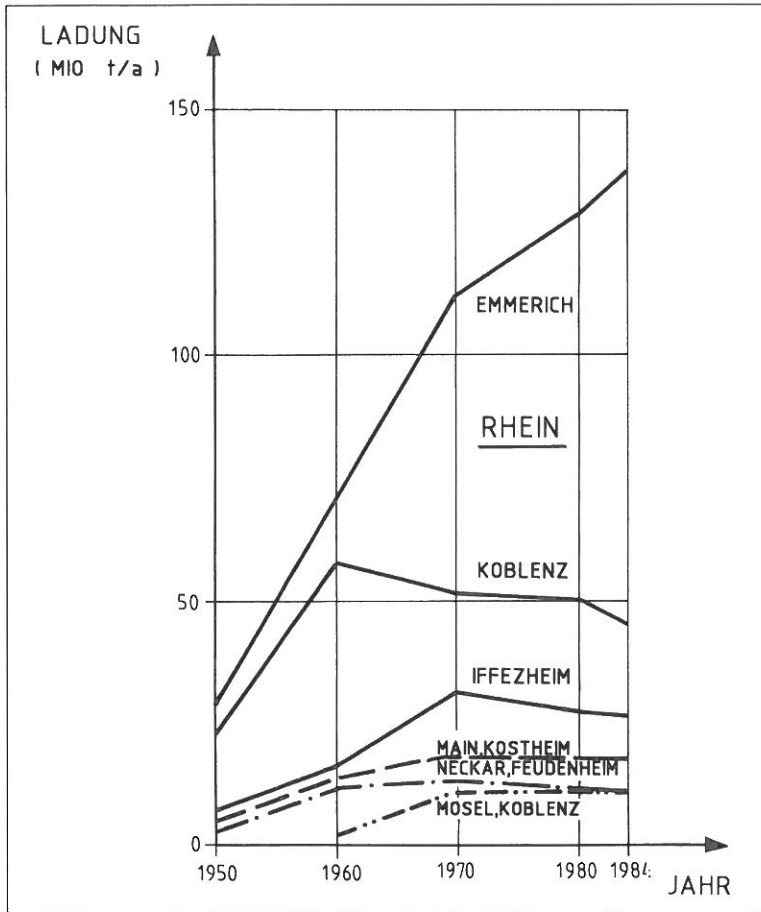


Bild 5.4-10  
Schiffstransport im  
Rheingebiet 1950 bis  
1984

mengen befördert werden konnten, wie Bild 5.4-10 belegt. Hierzu hat beigetragen, daß das Fahrwasser im Mittel- und Oberrhein vertieft worden ist und daß der Schiffsumlauf im ganzen beschleunigt werden konnte.

Bei Emmerich sind die Transportmengen bis 1984 angestiegen. An den anderen Beobachtungsorten sind sie nach 1970 etwas zurückgegangen. Im gesamten Bundesgebiet hatte die Binnenschifffahrt 1984 einen Anteil von 25 Prozent an der Güterbeförderung, wovon über

Dreiviertel auf den Rhein entfielen [WSD Südwest 1985].

Der Schiffsverkehr wurde nicht allein von deutschen, sondern auch von ausländischen Schiffen durchgeführt. Tabelle 5.4-6 enthält hierzu Zahlenangaben.

Die anhaltende Bedeutung der Wasserstraße Rhein kommt darin zum Ausdruck, daß in neuester Zeit Güterschiffe mit jährlich 180 bis 200 Millionen t Fracht den Bereich der deutsch-niederländischen Grenze passieren, davon mehr als 50% unter nichtdeutschen Flaggen [WSD Südwest 1988].

### 5.4.3 Stromausbau im 19. Jahrhundert

Nach den Napoleonischen Kriegen, während denen der Stromausbau praktisch ruhte, kam Preußen 1815 in den Besitz der Rheinprovinz. Am linken Rheinufer erstreckte sie sich von der niederländischen Grenze bis zur Nahemündung, am rechten Rheinufer bis in die Nähe der Lahnmündung. Im Deutschen Krieg von 1866 erwarb Preußen die Länder Kurhessen und Herzogtum Nassau hinzu, woraus die Provinz Hessen-Nassau gebildet wurde. Dadurch wurde das rechte Ufer bis zur Mainmündung preußisch. Nunmehr war am Mittel- und Niederrhein die Jahrhunderte währende staatliche Zersplitterung beendet, die einen erfolgreichen, einheitlichen Stromausbau behindert hatte.

Für den Rheinausbau wurden den neu

Tabelle 5.4-6  
Aufteilung des  
Schiffsverkehrs 1984  
nach Flaggen in Prozent  
des Gesamtverkehrs [WSD Südwest  
1985]

Fluß	Ort	Deutschland	Niederlande	Belgien	Frankreich	Schweiz	Übrige
Rhein	Emmerich	29,9	51,9	6,8	1,7	8,5	1,2
Rhein	Koblenz	46,9	29,4	4,8	4,2	14,6	0,1
Rhein	Iffezheim	46,8	21,6	4,3	5,3	21,9	0,0
Neckar	Feudenheim	84,8	12,6	1,8	0,1	1,3	0,1
Main	Kostheim	71,2	17,3	2,8	0,3	8,3	1,8
Mosel	Koblenz	45,1	27,1	8,9	10,7	6,3	0,0

eingeschickten Regierungen in Koblenz, Köln und Düsseldorf zunächst Wasserbauinspektoren beigegeben. Mit Wirkung vom 1. Januar 1851 wurden sie der neu eingerichteten »Rheinstrom-Bauverwaltung« beim Oberpräsidium der Rheinprovinz in Koblenz unterstellt. Große Aufgaben standen vor ihnen, vor allem, um den Hochwasserschutz am Niederrhein zu verbessern und im Mittelrhein eine sichere Schifffahrt zu ermöglichen. Diese unterlag großen Risiken. Bild 5.4–11 zeigt eine Schiffshavarie bei Bingen.

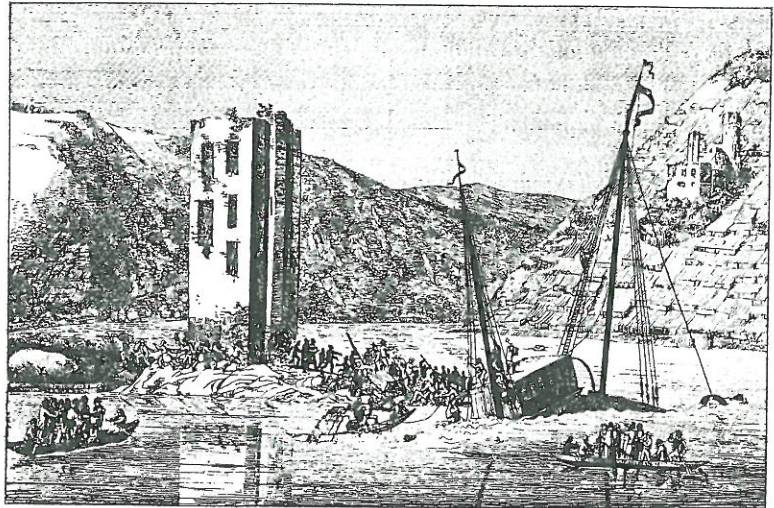


Bild 5.4–11  
Originalunterschrift:  
»Abbildung des am  
14. Februar 1831 am  
Mausthurm ohnweit  
dem Binger-Loch ge-  
scheiterten Schiffes  
mit 2.000 Malter  
Fracht beladen«.

Zu den wichtigsten Zielen des Strombaus am Mittelrhein gehörte die Erweiterung des Fahrwassers am Binger Quarzitriff. Das etwa 4 bis 9 m breite, in der Nähe des rechten Ufers gelegene »Binger Loch« wurde links von dem sogenannten »Großen Lochstein« begrenzt. Durch Entfernen des Lochsteins sollte das Fahrwasser auf 23 m verbreitert werden. Eine Vertiefung des Binger Loches wurde zunächst nicht für nötig gehalten, da die Wassertiefen oberhalb von Bingen an vielen Stellen auch nicht größer waren. Van den Bergh, der die Ausführungen der Felsensprengungen leitete und beschrieb, beschränkte sich auf den Hinweis, daß »zur Sommerzeit und im Herbst die Fahrwassertiefe im Binger Loch zwischen 5 und 6 Fuß«, das sind etwa 1,50 bis 1,90 m, betrug [Van den Bergh 1834].

Da die Arbeiten in reißender Strömung ausgeführt werden mußten, wurde ein schwimmfähiger hölzerner Kasten von dreieckförmigem Grundriß oberhalb der Arbeitsstelle durch Füllen mit Steinen und Fluten abgesenkt (Bild 5.4–12). In seinem Strömungsschatten befestigte man an ihm ein Arbeitsfloß, auf dem ein Mann einen langen Meißel hielt, auf den drei andere mit Handfeisteln schlugen. Auf diese Weise wurden bis etwa 3/4 m tiefe Bohrlöcher in der Felssohle hergestellt. In sie wurden bis über den Wasserspiegel reichende Blechrohre eingeführt, in denen Schwarzpulver mittels einer Zündschnur zur Explosion gebracht wurde. Große Schwierigkeiten

bereitete das Räumen der Sprengtrümmer unter Wasser mittels Rechen und Zangen.

In angestrenzter Arbeit gelang es in den Jahren 1830/32, das Binger Loch auf etwa 23 m Breite zu erweitern. Bei der raschen Zunahme der Schiffstransporte und der Schiffsgrößen in den folgenden Jahren erwies sich die erzielte Fahrwasserbreite aber als nicht ausreichend. Sie gestatte kein Begegnen oder Überholen von Schiffen.

Erst in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurden bei der Beseitigung von Riffen Taucherschächte (siehe Bild 5.4–13), Fallmeißel und später Dampf- und Preßluftbohrer eingesetzt. Als Folge der technischen Entwicklung, z.B. durch den Einsatz von Dynamit und Greifbaggern (Einführung des Greifbaggers im Jahre 1885), wurden die Arbeitsfortschritte vervielfacht.

Auftragende Klippen erschwerten auch

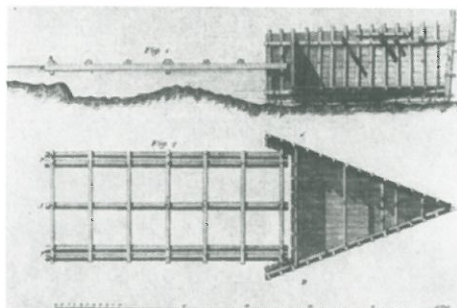
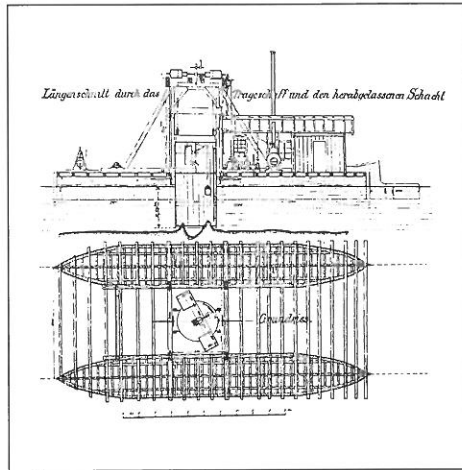


Bild 5.4–12  
Strömungsabweiser  
mit Arbeitsfloß zur  
Erweiterung des Bin-  
ger Loches um 1830



Bild 5.4–13  
Erster Taucherschacht im Rhein  
(1857)



unterhalb des Binger Loches die Schifffahrt erheblich. Eine technische Befahrungskommission führt in ihrem Protokoll vom Jahre 1849 zwischen Bingen und St. Goar 44 verschiedene Felspartien auf, die in der Nähe des Fahrwassers lagen und über die damals erstrebte Sohle von Null am Binger Pegel emporragten. Um die Tiefe des Fahrwassers markant zu kennzeichnen, war der Nullpunkt des seit dem Jahre 1848 beobachteten Binger Pegels mit der damaligen Binger-Loch-Sohle gleich hoch gelegt worden (NN + 76,18 m), so daß z.B. beim Wasserstande von + 2,0 m am Binger Pegel 2 m Fahrwassertiefe im Binger Loch vorhanden waren. Durch fortgesetzte Peilungen und Untersuchungen wurden immer mehr Riffe festgestellt, so daß Pläne von 1876 auf dieser Strecke bereits 85 Felsgruppen enthielten.

Als Ausbauziel für die Felsenstrecke wurde aufgrund einer Vereinbarung zwischen Preußen und Nassau aus dem Jahre 1850 für die Bergfahrt eine Breite von 15 Ruthen (56,3 m) und für die Talfahrt von 20 Ruthen (75,3 m) angestrebt. Für diejenigen Stellen, an denen Berg- und Talweg zusammenfielen, sollte die geringste Breite 30 Ruthen (113 m) betragen. Im Jahre 1861 wurde dann mit Genehmigung aller beteiligten Regierungen die Normaltiefe des Fahrwassers auf der Strecke Mannheim-Koblenz, wie auch im Binger Loch, bei gemittelten niedrigsten Wasserständen zu 2,0 m bestimmt.

Der gemittelte niedrigste Wasserstand betrug am Pegel Bingen nur + 1,24 m. Hiernach hätte die Sohle im Binger Loch um 0,76 m tiefer gelegt werden müssen. Die große Schwierigkeit der Felsensprengung in einem so engen und lebhaft benutzten Fahrwasser gab Veranlassung, eine Teilung desselben für Berg- und Talfahrt vorzunehmen. Da befürchtet wurde, daß jede Profilerweiterung des Binger Loches eine Senkung des Wasserspiegels im Rheingau zur Folge haben könne, begann man bereits im Jahre 1851 damit, den Stromquerschnitt am linken Ufer zwischen der Nahemündung und Trechtinghausen mittels Buhnen einzuengen. Mit den Sprengungen zur Herstellung des am linken Ufer verlaufenden »Zweiten Fahrwassers« wurde 1860 begonnen. Vier Jahre später wurden die Buhnenköpfe zwischen dem kurz vorher errichteten Hafen Bingerbrück und dem Possbacher Grund durch ein 1.500 m langes Längswerk verbunden. Im Jahre 1867 wurde auch das rechtsseitige Ufer des Zweiten Fahrwassers durch ein Parallelwerk festgelegt.

Der Erfolg dieser Arbeiten zur Einrichtung des Zweiten Fahrwassers war anfangs nur sehr gering, und die Schifffahrt zum Bingerbrücker Hafen nahm ihren Weg lieber durch das Binger Loch und nicht durch das 94 m breite, bei Niedrigwasser 1,50 m tiefe Zweite Fahrwasser. Dafür waren nicht nur die Bedenken, ob auch wirklich alle Felsen beseitigt seien, maßgebend, sondern es war vor allem kein gleichmäßiges Gefälle im Zweiten Fahrwasser erreicht worden.

In den Jahren 1893 und 1894 wurde das Binger Loch um 48 m<sup>2</sup> vergrößert, dabei auf 30 m verbreitert und auf -0,82 m am Binger Pegel vertieft. Diese Vertiefung hatte knapp oberhalb ein Fallen des Wasserspiegels um 25 cm und an dem etwa 2 km oberhalb gelegenen Binger Pegel von etwa 10 cm gegen den früheren Normalwasserspiegel bei +1,20 m an diesem Pegel zu Folge.

Die bereits genannten Felspartien im Schifffahrtsbereich unterhalb des Binger

Loches gaben Veranlassung, daß in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auch zwischen Bingen und St. Goar fast unablässig an der Beseitigung von Felsenhindernissen gearbeitet wurde. Dabei wurden zwischen 1851 und 1879 insgesamt 23.367 Bohrlöcher mit 35.717 lfd. m gebohrt und 33.369 m<sup>3</sup> Felsen unter Wasser gesprengt und abgeräumt, obwohl man sich darauf beschränkte, nur die unterhalb der Fahrrinne liegenden Klippen zu beseitigen (Bild 5.4–14).

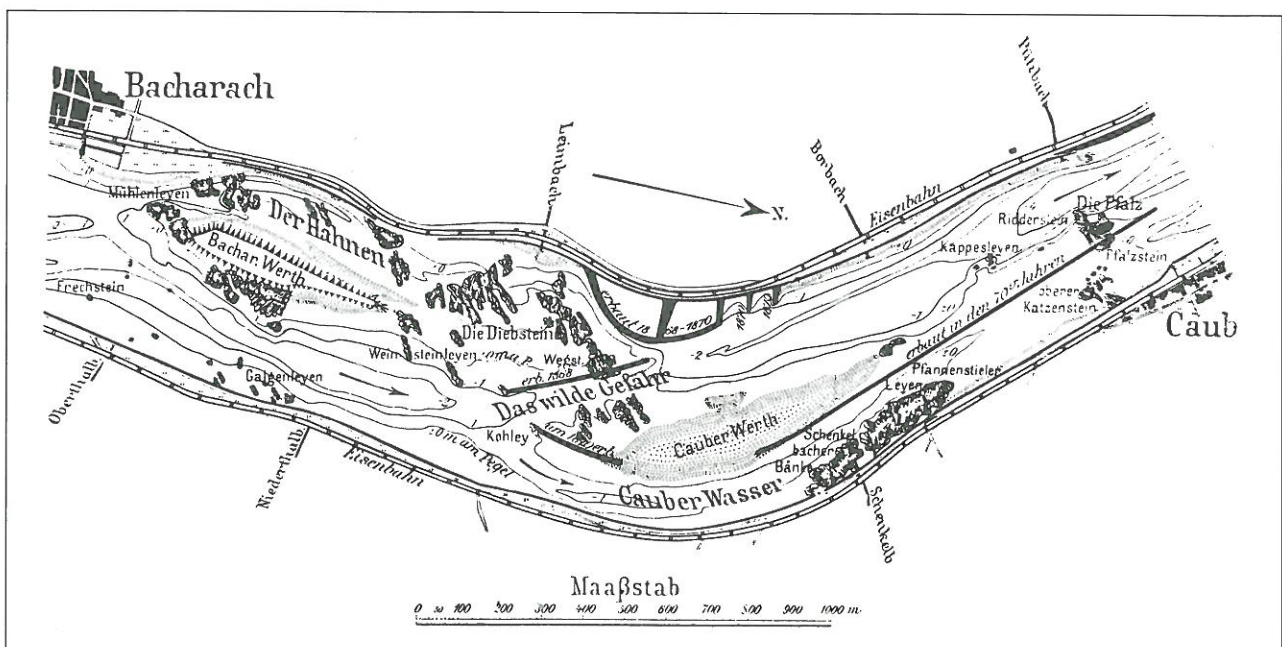
Außer den Sprengarbeiten zur Vertiefung der Felssohle wurde im Abschnitt zwischen dem Binger Loch und St. Goar bis zum Jahre 1900 eine Reihe von Regulierungsarbeiten ausgeführt, so u.a. die Errichtung von Bühnen zwischen Aßmannshausen und Bacharach zur Anhebung des Niedrigwasserspiegels, die Verbindung des Kleinen Lorcher Werths mit dem Großen Lorcher Werth durch ein Leitwerk, die Vorverlegung des Ufers vor Bacharach zur Herstellung einer Anlegestelle für Dampfschiffe sowie die Errichtung eines 700 m langen, 2 m über dem Hochwasserspiegel liegenden Parallelwerks vor dem rechten Ufer im Anschluß an den Loreleyfelsen. Die dabei zwischen Damm und Ufer verbliebene Fläche wird seither als Schutz- und Sicherheitshafen benutzt.



Bild 5.4–14  
Rhein bei Kaub, in  
Strommitte die Pfalz

Im Wilden Gefähr zwischen Bacharach und Kaub (Bild 5.4–15) wurde zunächst durch Sprengung von Teilen des Wegsteines und des Weinsteinleyen eine ausreichende Fahrrinne geschaffen und links durch ein Längswerk begrenzt, welches später bis zum Bacharacher Werth verlängert wurde. Am rechten Ufer wurde eine zusätzliche Schifffahrtsrinne, das sogenannte Kauber Wasser, hergestellt, indem neben umfangreichen Felssprengungen und Baggerungen vor

Bild 5.4–15  
Das Wilde Gefähr  
zwischen Bacharach  
und Kaub mit Tiefen-  
linien von 1860



allein ein von der Kohlley zum Kauber Werth und von hier aus bis zur Pfalz reichendes Parallelwerk angeordnet wurde. Während im 60 m breiten Kauber Wasser ein gleichmäßiges Längsgefälle von 1:2.260 erreicht wurde, mußte im Wilden Gefähr ein Gefälle von 1:700 beibehalten werden.

In der Stromstrecke von St. Goar bis Koblenz waren im allgemeinen ausreichende Fahrwassertiefen und -breiten vorhanden, so daß sich in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts die Arbeiten hier auf die Herstellung und Unterhaltung geeigneter Leinpfade beschränkten. Nach der Jahrhundertmitte wurden zusätzlich zur Verbesserung des Fahrwassers an mehreren Stellen Regulierungsarbeiten ausgeführt. Sie bestanden größtenteils in der Errichtung von Buhnen und Längswerken, so bei Wellmich, an der Stromspaltung bei Ehrenthal, an der Schottel zwischen Osterspai und Oberspai, bei Braubach, sowie zwischen Rhens und Oberlahnstein. In der Nähe von Koblenz geschahen die wichtigsten Veränderungen am Rhein im Zusammenhang mit Brücken- und Hafengebäuden. Ende der Siebziger

Jahre wurde beim Bau der Horchheimer Eisenbahnbrücke die Insel Oberwerth durch einen hochwasserfreien Damm an das linke Ufer angeschlossen, der Hauptstrom entsprechend erweitert und vertieft. Im Jahre 1893 gab die Errichtung des Kaiserdenkmals am Deutschen Eck den Anlaß, das rechte Moselufer von der alten Moselbrücke ab bis zur Korrektionslinie des Rheins durchweg vorzuverlegen und als Schiffsanlegeplatz zu gestalten (Bild 5.4–16).

Unterhalb Koblenz bis Bonn bewirkten die von den Inseln hervorgerufenen Stromspaltungen Untiefen im Schiffsahrtsweg. Hier wurde Abhilfe geschaffen, indem die Abflußverteilung mit Hilfe von Strombauwerken so verändert wurde, daß dem jeweiligen Hauptarm mehr Wasser auf Kosten des bzw. der Nebenarme zugeführt wurde. Zur Erzielung größerer Wassertiefen wurde das Fahrwasser streckenweise durch Buhnen verengt. In der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts erfolgten die wichtigsten Regulierungen im Bereich der Vallendarer Stromspaltung unterhalb von Koblenz, in der Strecke bei Bendorf und Engers, am Urmitzer

*Bild 5.4–16  
Zusammenfluß von  
Rhein und Mosel am  
Deutschen Eck*



Werth und am Weißenthurmer Werth. Zwischen Andernach und Bonn betrafen sie die Stromspaltungen am Krumpfen Werth, am Hammersteiner Werth sowie im Bereich der eine Dreiteilung des Stromes bewirkenden Inseln Nonnenwerth und Gravenwerth bei Honnef. Weiter stromabwärts bis Bonn waren keine größeren Arbeiten erforderlich.

Eine zusammenfassende Darstellung der in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts am Mittel- und Niederrhein durchgeführten Strombaumaßnahmen enthält die Denkschrift von *Jasmund* »Die Arbeiten der Rheinstrom-Bauverwaltung 1851–1900« [Jasmund 1901]. Einzelheiten der Strombaugeschichte der Binger-Loch-Strecke sind einem Aufsatz von *Felkel* [1961] zu entnehmen (zitiert im Abschnitt 4.5).

#### 5.4.4 Stromausbau zwischen 1901 und 1985

Der Beschreibung des Stromausbau seit der Jahrhundertwende seien einige Angaben zur Trägerschaft dieser Maßnahmen im deutschen Hoheitsbereich am Rhein vorausgeschickt. Bis zum Ende des Ersten Weltkrieges oblagen Verwaltung, Unterhaltung und Ausbau des Rheins dem jeweils anliegenden deutschen Land. Danach wurde in der Reichsverfassung vom 11.8.1919, Artikel 97, das Eigentum an den dem allgemeinen Verkehr dienenden Wasserstraßen von den Ländern auf das Deutsche Reich übertragen. Die zuständigen Verwaltungen der Länder gingen auf das Reich über.

Die Regelung wurde in der Bundesrepublik Deutschland beibehalten. Artikel 89 des Grundgesetzes vom 23.5.1949 bestimmt:

- (1) Der Bund ist Eigentümer der bisherigen Reichswasserstraßen.
- (2) Der Bund verwaltet die Bundeswasserstraßen mit eigenen Behörden...
- (3) Bei der Verwaltung, dem Ausbau und dem Neubau von Wasser-

straßen sind die Bedürfnisse der Landeskultur und der Wasserwirtschaft im Einvernehmen mit den Ländern zu wahren.

Hierzu regelt das Bundeswasserstraßengesetz vom 2.4.1968 das Weitere. Als ausführende Behörde ist dem Bundesminister für Verkehr die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes nachgeordnet. Von ihren sechs Wasser- und Schifffahrtsdirektionen (WSD) ist die WSD Südwest in Mainz für die Bundeswasserstraße Rhein von Basel bis Bad Honnef zuständig, die WSD West in Münster unterhalb für den Rhein bis zur deutsch-niederländischen Grenze.

Zur WSV im weiteren Sinne gehören die Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe und die Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz. Sie sind ebenfalls mit dem Rheinausbau befaßt. Die wasserwirtschaftlichen und landeskulturellen Aufgaben sowie der Natur- und Landschaftsschutz am Rhein fallen in die Zuständigkeit der Bundesländer. Soweit die Hinweise auf die Verwaltung.

Durch die bis zur Jahrhundertwende ausgeführten Arbeiten war eine Mindestfahrwassertiefe erreicht worden, die beim gemittelten Niedrigwasser zwischen der Mainmündung und St. Goar 2,0 m, von hier ab bis Köln 2,5 m betrug. Auf der letztgenannten Strecke erreichte die Wasserstraße eine Breite von 150 m oder mehr, in der Felsenstrecke von 90 m oder mehr. Im Übergang von der Felsenstrecke zum Rheingau war hingegen noch keine entsprechende Fahrwasserbreite hergestellt worden.

Das Binger Loch hatte nur eine Breite von 30 m. Hier stand der Schifffahrt zwar daneben das zweite Fahrwasser mit einer damaligen Breite von 94 m zur Verfügung. Beim gemittelten Niedrigwasser hatte es aber nur eine Tiefe von 1,50 m, so daß es im wesentlichen nur von den nicht voll beladenen Talfahrern benutzt wurde.

Bis zum Jahre 1910 hatte sich die Zahl der stählernen Kähne mit mehr als 1.000 t Tragfähigkeit und einem Tiefgang bis zu 2,50 m im Rheingebiet auf 1.229 vermehrt. Die dafür erforderliche Wassertiefe war im trockenen Jahr 1911 oberhalb von St. Goar nur an 156 Tagen vorhanden. Die Fahrwasserverhältnisse im Binger Loch entsprachen keineswegs den gewachsenen Verkehrsbedürfnissen.

Daher hatte die preußische Wasserbauverwaltung mehrere Verbesserungsvorschläge ausarbeiten lassen, so z.B. für eine Schleppzugschleuse im Binger Loch. Dieses Projekt gelangte nicht zur Ausführung, ebenso wie einige weitere. Ausgeführt wurden vielmehr in den Jahren 1925 bis 1931 Arbeiten zur Verbesserung des zweiten Fahrwassers. Nachdem Untersuchungen mit Hilfe eines Tauschschachtes erwiesen hatten, daß die Untiefen am Einlauf nicht von einer durchgehenden Felsenbank, vor deren Tieferlegung man sich scheute, sondern aus einer Reihe von Felsspitzen bestanden, war eine erhebliche Beeinflussung des Wasserspiegels oberhalb durch deren Abtrag nicht zu befürchten. Die Maßnahmen umfaßten die Beseitigung der Felsspitzen bis auf  $-1,02$  m am Pegel Bingen, die Verbauung der Übertiefen im unteren Abschnitt des Fahrwassers durch das Anlegen von 7 Grundschwel-

len mit Kronenhöhen auf  $-1,32$  m am Pegel Bingen sowie eine Einschränkung der Fahrwasserbreite von 94 m auf 60 m (Bild 5.4–17).

Die Grundschwellen hatten Abstände von 50 m. Einbauten längs des Leitwerks bewirkten die Verschmälerung auf 60 m. Um die Schifffahrt möglichst wenig zu stören, wurde nur nachts gearbeitet. In den übrigen Abschnitten des Mittelrheins brauchten in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts nur wenige größere Strombauarbeiten ausgeführt zu werden.

Von grundlegender Bedeutung für die einheitlichen Ausbauziele der Flußbauarbeiten war die Festlegung gleichwertiger Wasserstände. Im Jahre 1849 hatte man nach einer amtlichen Strombefahrung die Spiegelhöhe 1,50 m am Pegel Köln als diejenige gewählt, die künftig mit den ihr entsprechenden Wasserständen an anderen Pegeln für die Fahrwassertiefe maßgebend sein sollte. Sie wurde als »gemittelter Niedrigwasserstand« bezeichnet. Im Jahre 1885 wurde sie neu festgelegt. Nachdem 1908 am Pegel Köln eine inzwischen eingetretene bleibende Niedrigwassersenkung von 28 cm festgestellt worden war, bestimmte man den sogenannten »Gleichwertigen Wasserstand 1908 (GIW 1908)«, der die mit dem Ausgangswas-

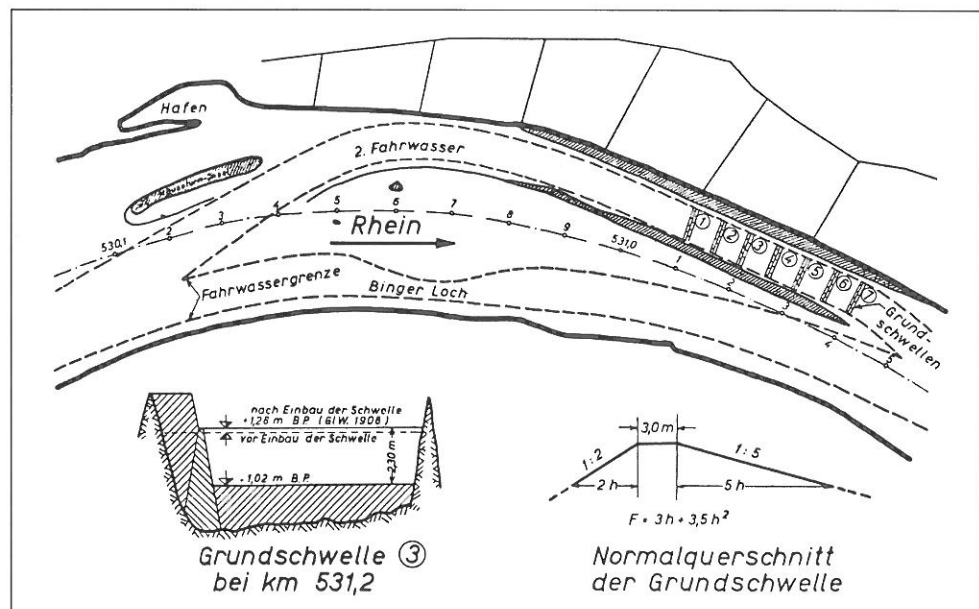


Bild 5.4–17  
In den Jahren 1925  
bis 1931 ausgeführte  
Baumaßnahmen zur  
Verbesserung des  
Zweiten Fahrwasser-  
sers der Binger-  
Loch-Strecke

serspiegel 1,50 m am Pegel Köln gleichwertigen Wasserstände an den übrigen Hauptpegeln neu bezeichnete. Er entsprach einer 47tägigen Unterschreitungsdauer während der Jahresreihe 1901/1905. Der Pegelstand 1,22 m in Köln wurde dabei an 20 Tagen unterschritten. Die mit letzterem korrespondierenden Wasserstände an den übrigen Hauptpegeln bezeichnete man mit GIW 1908 (1,22 Köln).

Die gleichwertigen Wasserstände wurden in den Jahren 1923, 1932, 1946, 1952 und hierauf alle 10 Jahre neu festgelegt. Während vorher bei der Festlegung der GIW von den Wasserständen ausgegangen worden war, bestimmte man im Jahre 1932 erstmals die gleichwertigen Abflüsse  $Q_{GIW}$ , die in den Jahren 1905 bis 1930 jährlich im Durchschnitt an 20 eisfreien Tagen unterschritten wurden, so daß von da ab der GIW definiert ist als derjenige Pegelstand, bei dem das Pegelprofil von der gleichwertigen Abflußmenge  $Q_{GIW}$  durchflossen wird. Die zahlenmäßige Entwicklung von GIW geht aus Tabelle 5.4–7 hervor.

Im Jahre 1965 wurde mit der Ausführung des umfangreichen Projektes einer generellen Vertiefung und Verbesse-

rung der Rheinstrecke von Neuburgweier/Lauterburg bis St. Goar begonnen. Zu diesem Zeitpunkt wies das Fahrwasser zwischen der kanalisierten Oberrheinstrecke, welche damals bis zur Staustufe Gamsheim reichte, und St. Goar eine Mindesttiefe von 1,70 m, von hier bis Köln von 2,10 m und unterhalb Köln von 2,50 auf [Felkel 1965]. Die Mehrzahl der den Rhein befahrenden Schiffe hatte bei voller Abladung eine Tauchtiefe von 2,50 m, die wegen der geringeren Fahrrinntiefe im langjährigen Durchschnitt zwischen der untersten Staustufe am Oberrhein und St. Goar jährlich an 187 Tagen und zwischen St. Goar und Köln an 105 Tagen nicht voll ausgenutzt werden konnte. In Niedrigwasserzeiten mußten zusätzliche Schiffe eingesetzt werden, um die Transportanforderungen zu erfüllen, was den Wirkungsgrad des Schiffstransports und die Leistungsfähigkeit der Wasserstraße herabsetzte.

Die vorgesehene Nachregulierung sollte zunächst die Mindestfahrwassertiefe auf 2,10 m unter GIW vergrößern und verschiedene Engpässe beseitigen. Unterhalb von St. Goar waren Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der Schiffsverkehrsverhältnisse und zur Anpas-

Bezeichnung des Wasserstandes	Wasserstand GIW am Pegel (cm)			jährliche Unterschreitungsdauer		
	Köln	Kaub	Bingen	Jahresreihe	Tage	bezogen auf
Gemittelt NW 1849	+ 1,50			1839/1848	10	Wasserstände aus Beharrungswasserständen ermittelt
Gemittelt NW 1885	+ 1,50	+ 1,30	+ 1,25			
GIW 1908	+ 1,50	+ 1,43	+ 1,28	1901/1905	47	Wasserstände
GIW 1908 (1,22 Köln)	+ 1,22	+ 1,24	+ 1,11	1901/1905	20	Wasserstände
GIW 1923	+ 0,78	+ 1,12	+ 1,05	1916/1920	20	Wasserstände
GIW 1932	+ 0,61	+ 1,08	+ 1,03	1906/1930	20	Abflüsse
GIW 1946	+ 0,55	+ 1,08	+ 1,03		20	Abflüsse
GIW 1952	+ 0,55	+ 1,05	+ 1,00	1945/1950	20	Abflüsse
GIW 1962	+ 0,40	+ 1,05	+ 1,00		20	Abflüsse
GIW 1972 <sup>1</sup>	+ 1,55	+ 1,00	+ 0,70	1951/1970	20	Abflüsse
GIW 1982	+ 1,50	+ 0,85	+ 0,60		20	Abflüsse

<sup>1</sup> Anhebung des Pegelnullpunktes Köln um 1,00 m

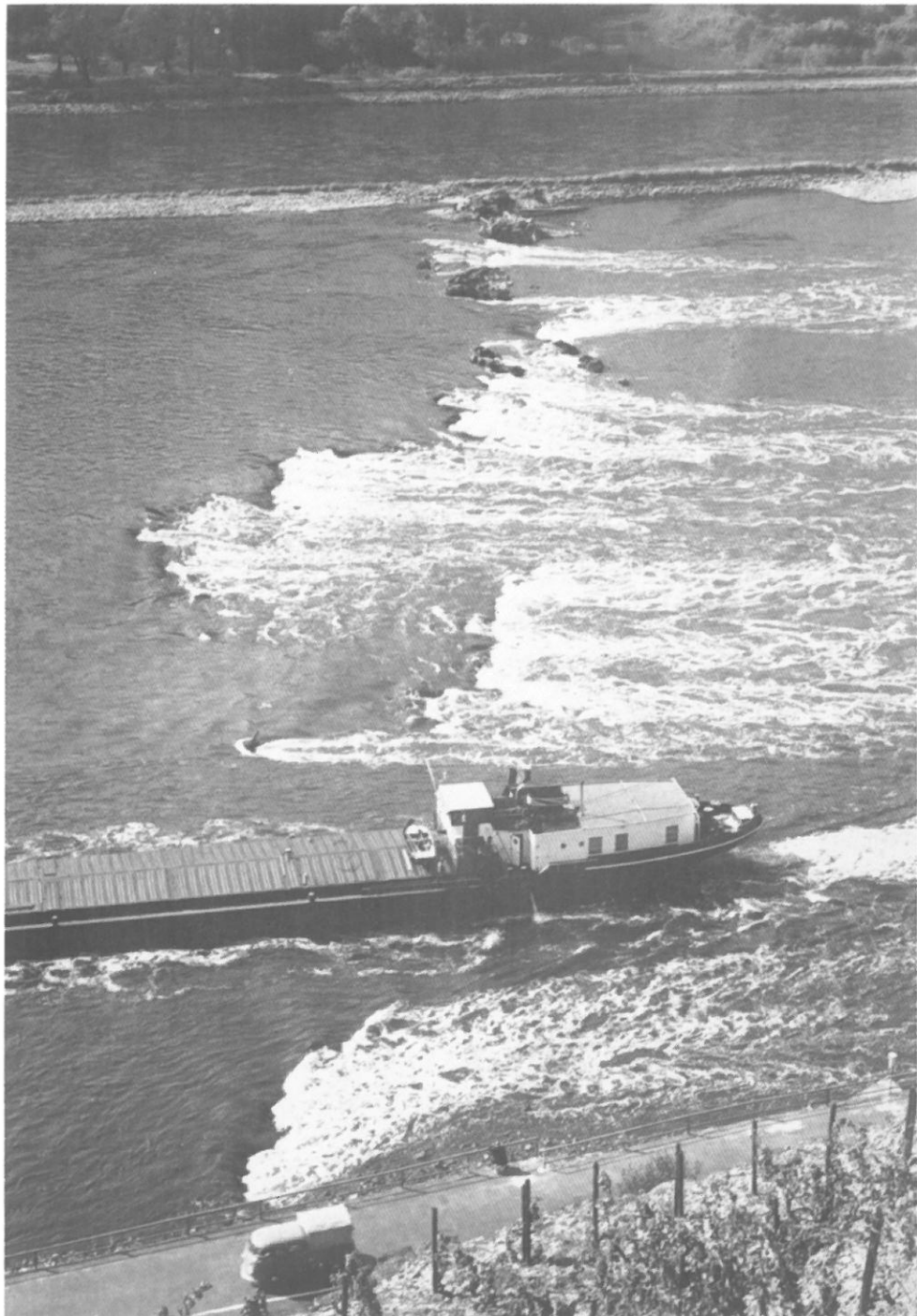
Tabelle 5.4–7  
Entwicklung des Gleichwertigen Wasserstandes GIW

sung der Deckwerke an die gestiegenen Beanspruchungen durch den vermehrten und in seiner Struktur veränderten Schiffsverkehr vorgesehen.

Nach wie vor stellte der für die Schifffahrt schwierigste Ausbauabschnitt im Bereich des Binger Loches zwischen Rüdesheim und Aßmannshausen das Kernstück des Rheinausbaus unterhalb von Neuburgweier/Lauterburg dar (Bild

5.4–18). Hier traten vor allem folgende Beeinträchtigungen der Schifffahrt auf:

- Die extreme Enge der Schifffahrtsrinnen mit 30 bzw. 60 m Breite,
- die starke Krümmung der Fahrrinne der bei der Mäuseturminsel gelegenen Einfahrt ins Zweite Fahrwasser,
- die geringe Mindestwassertiefe von nur 1,70 m bei GIW in beiden Fahrwassern,
- das starke örtliche Gefälle mit ent-



*Bild 5.4–18  
Motorgüterschiff im  
Binger Loch, Auf-  
nahme vor 1965, im  
Hintergrund das  
linksrheinische  
Zweite Fahrwasser*

sprechend hohen Fließgeschwindigkeiten. Letztere betragen bei GlW im Binger Loch rd. 3,0 m/s. Viele Schiffe mußten durch das Binger Loch zusätzlich Vorspannboote in Anspruch nehmen, die extra für diesen Zweck bereitstanden.

- U.U. lange Wartezeiten, besonders wenn, was keineswegs selten der Fall war, eines der beiden Fahrwasser durch Havarie, Ankerverlust oder ein sonstiges Hindernis gesperrt war; denn die Binger-Loch-Strecke war vor dem Ausbau die unfallreichste Stelle aller deutschen Wasserstraßen.

Die Verbesserung dieser Verhältnisse war ein Projekt von überregionaler europäischer Bedeutung. Da die Auswirkungen der verschiedenen möglichen Alternativlösungen in hydraulischer, schiffahrtstechnischer und flußmorphologischer Hinsicht nur durch Modellversuche verlässlich beurteilt werden konnten, entschloß sich die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, die Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe mit der Durchführung entsprechender Modell-

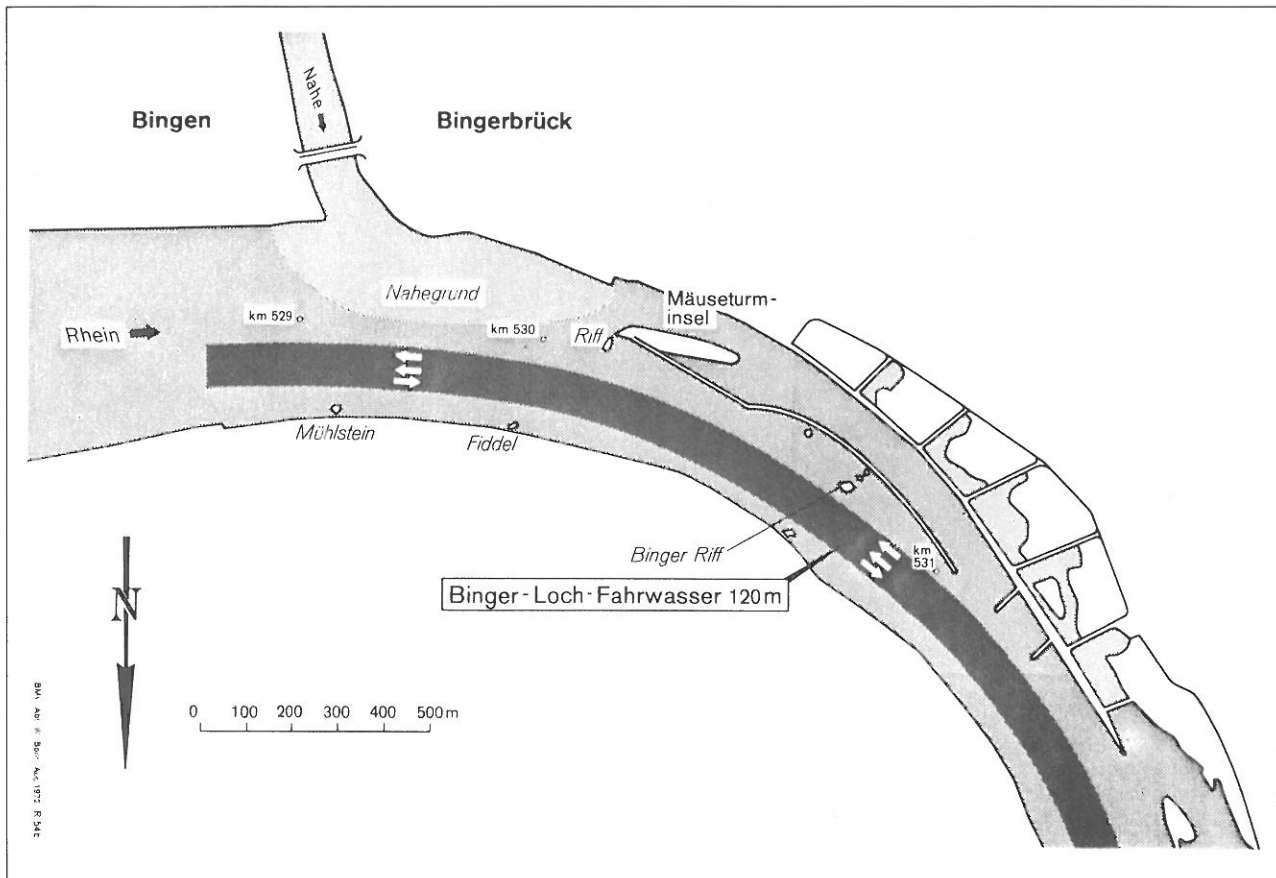
untersuchungen zu beauftragen. Das im Maßstab 1:66  $\frac{2}{3}$  aufgebaute Modell (siehe Bild 5.4–19) erstreckte sich vom Rhein-km 525,8 bei Rüdesheim bis km 532,6 bei Aßmannshausen. Mit der Durchführung der Versuche wurde Anfang des Jahres 1961 begonnen [Felkel 1962].

Aufgrund der Ergebnisse aus den bis 1963 durchgeführten Modellversuchen war zunächst vorgeschlagen worden, zwischen den beiden zu vertiefenden Fahrwassern aus dem Riff ein mittleres Fahrwasser herauszusprennen [Felkel 1963]. Inzwischen hatte die Schubschifffahrt auf dem Rhein aber immer größere Bedeutung gewonnen. Versuchsfahrten mit 4-Leichter-Schubverbänden durch die Binger-Loch-Strecke zeigten, daß die Talfahrt solcher Verbände durch die drei schmalen Fahrrinnen nicht ohne weiteres möglich sein würde. Es mußte eine Ausbaulösung gesucht werden, die für alle Schiffe, auch für 4-Leichter-Schubverbände, geeignete Verhältnisse bot.

*Bild 5.4–19  
Aufbau des Modells  
der Binger-Loch-  
Strecke mit Hilfe von  
Tiefenschichtlinien*







**Bild 5.4-20**  
Schiffahrtsweg in der  
Binger-Loch-Strecke  
nach dem Ausbau  
1974

Die hierfür erarbeitete und anschließend verwirklichte Ausbaulösung ist in Bild 5.4-20 dargestellt. Die beiden früheren Fahrrinnen wurden durch eine einzige, mindestens 120 m breite Fahrrinne ersetzt. Ein entsprechender Teil der Riffe mußte beseitigt und das Trennwerk zum Zweiten Fahrwasser verkürzt werden. Um trotz der vergrößerten Fahrwasserbreite ausreichende Wassertiefen zu erreichen, waren verschiedene Zusatzmaßnahmen erforderlich, so Sohlenaufhöhungen im unterstromigen Bereich und eine Überlaufschwelle zwischen der Mäuseturminsel und dem oberen Trennwerkkopf, welche bei Niedrigwasser eine Vergrößerung des Durchflusses im Hauptarm bewirkte. Sie unterband die Großschiffahrt durch das Zweite Fahrwasser [Felkel 1974].

Das 120 m breite Fahrwasser wurde am 5.9.1974 für den Verkehr freigegeben (Bild 5.4-21). Die Vorteile, die der neue Ausbau gegenüber dem vorhergehenden Zustand gebracht hat, sind eindrucksvoll. Sie beziehen sich einerseits

auf die Erhöhung der Verkehrssicherheit durch den Fortfall von Kurskreuzungen, auf geringere und gleichmäßigere Fließgeschwindigkeiten des Wassers bei ausgeglichenem Wasserspiegelgefälle, auf bessere Krümmungsverhältnisse und auf Reserven in der Fahrwasserbreite. Die Leistungsfähigkeit des Fahrwassers ist erhöht, da die 120 m breite Fahrrinne Platz für 3 bis 4 Fahrspuren bietet und die Möglichkeit gegeben ist, daß nach Abschluß aller Ausbaurbeiten in der Gebirgsstrecke Schubverbände mit 4 statt bisher mit 2 Europaleichtern verkehren können. Ferner ist nunmehr eine wichtige Voraussetzung für die Einführung der Talfahrt bei Nacht in der Gebirgsstrecke des Rheins gegeben [Berger und Schmitt 1974].

In der Binger-Loch-Strecke wurden zwischen 1966 und 1974 auf einer Sohlenfläche von 520.000 m<sup>2</sup> rd. 600.000 m<sup>3</sup> Fels gelöst und gebaggert. Zur Sohlenaufhöhung wurden 76.000 m<sup>3</sup> Wasserbausteine eingebaut. Die Kosten für

diese Ausbaurbeiten betragen 44 Mio. DM [Langschied 1985].

Auch im gesamten an die Binger-Loch-Strecke talwärts anschließenden, 17 km langen Ausbauabschnitt Lorch – St. Goar besteht die Stromsohle überwiegend aus Fels. Der Tonschiefer mit eingelagerten Grauwacke- und Quarzitbändern ist teilweise sehr hart, unregelmäßig geschichtet und klüftig. Um eine Vertiefung der Fahrrinne von 1,70 m auf 2,10 m zu erreichen, mußte ein Teil der ungleichförmigen Stromsohle abgetragen werden. Die mittleren Abtragungshöhen betragen in der vorhandenen Fahrrinne 0,20 m bis 0,40 m und in Bereichen, in denen die Fahrrinne verbreitert wurde, bis 1,30 m, vereinzelt auch mehr. Bei Abtragungstärken bis zu 50 cm konnte der Fels vorwiegend durch Meißeln gelöst werden. Bei größeren Tiefen wurde in der Regel gesprengt. Zur Herstellung der Bohrlöcher für die Sprengung wurden Bohrschiffe eingesetzt, die speziell für die schwierigen Verhältnisse im Rhein konstruiert waren. Das gelöste Material wurde mit Eimerkettenbaggern auf Schuten verladen und an tiefen Stellen des Stroms oder an Land eingebaut.

Nach dem Binger Loch war die Teilstrecke Lorch – Oberwesel der schwierigste Regulierungsabschnitt. Wie im vorangegangenen näher ausgeführt, waren hier zwischen den Jahren 1880 und 1900 das Kauber Wasser und das Wilde Gefähr ausgebaut worden. Das letztere hatte eine Breite von 60 m. Es war zwar bei normalen Wasserständen in beiden Richtungen befahrbar; bei Niedrigwasser bildete sich aber eine starke Gefällstufe aus, die ohne Vorspannhilfe nahezu unpassierbar war.

Auch für diesen Rheinabschnitt wurde in der Bundesanstalt für Wasserbau ein Modell im Maßstab 1:66  $\frac{2}{3}$  erstellt, um in ihm die Auswirkung verschiedener Bauvarianten zu studieren. Wie Naturmessungen im Jahre 1971 zeigten, gestaltete sich die probeweise Fahrt eines Schubverbandes mit 4 Leichtern durch



das enge Kauber Wasser schwierig, wobei besonders das Einsinken des Verbandes im Bereich der schnellsten Fließgeschwindigkeit um rd. 60 cm bedenklich war. Im Hinblick auf das Anwachsen der Schubschiffahrt und auf die Nachteile eines engen Fahrwassers wurde von K. Felkel eine Lösung mit einer einzigen, durchgehend 120 m breiten Schiffahrtsrinne vorgeschlagen, wobei das Kauber Wasser für die durchgehende Schifffahrt aufzugeben war [Felkel 1973]. Diese Lösung gelangte in den Jahren 1974 bis 1978 zur Ausführung (Bild 5.4–22).

Im Abschnitt Oberwesel – St. Goar wurde mit dem Ausbau bereits 1964 begonnen. Hier machte der Schifffahrt vor allem die unterhalb Oberwesel in einer scharfen Krümmung gelegene Durchfahrt zwischen dem Tauberwerth und dem Jungferngrund Schwierigkeiten. Auch am Kammereck (Rhein-km 553,0) und am Betteck (Rhein-km 553,5) oberstrom der Loreley waren die Fahrwasserhältnisse durch die in den Fluß vorspringenden Felsriffe sehr ungünstig. Die Krümmungen wurden abgeflacht und die Fahrrinne in den Kurven von 120 m auf 140 m verbreitert. Insgesamt wurden in diesem rd. 5,5 km langen Teilabschnitt 143.000 m<sup>2</sup> felsige Sohle vertieft.

Unterhalb von St. Goar hatten sich am Weißenthurmer Werth die für Stromspaltungen typischen Merkmale gebildet: Der Strom war oberhalb und unter-

*Bild 5.4–21  
Schiffsverkehr bei  
der Eröffnung der  
ausgebauten Binger-  
Loch-Strecke am  
5.9.1974, Kamera-  
standort wie Bild  
5.4–18*

Bild 5.4–22  
Bauarbeiten im Wilden Gefähr oberhalb  
Kaub, Sommer 1976



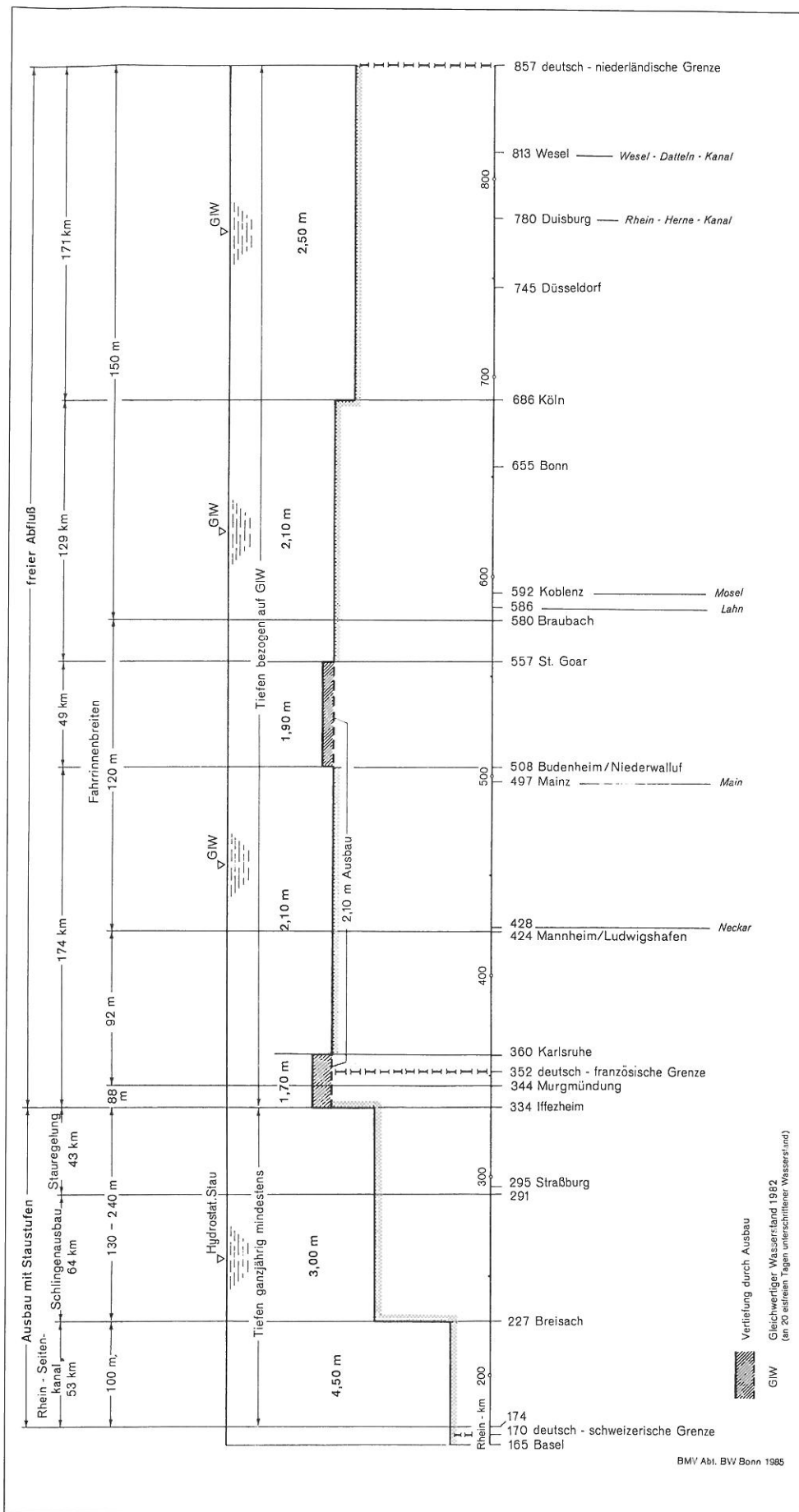


Bild 5.4-23  
Ausbaumaße des  
Rheins für die Schiff-  
fahrt

halb zu breit und neigte zu Verlandungen. Der GIW sank ab und verminderte die Fahrrinntiefen weiter, während sich die Sohle nur ungleichmäßig eintiefte. Durch die Errichtung von Mittelwasserbuhnen und den Vorbau der oberstromigen Inselspitze wurde in den Jahren 1969 und 1970 erreicht, daß im linksrheinischen Arm die auf GIW bezogene Tiefe von 2,10 m auf der vollen Breite von 120 m erreicht wurde und daß der rechte Arm mit nunmehr 60 m Fahrrinnenbreite voll schiffbar blieb.

Der Rheinausbau wurde 1980 stromabwärts bis Kestert fortgesetzt, wobei die Fahrrinne durchgehend auf 120 m verbreitert wurde. In der Stromspaltung des Ehrentaler Werthes wurde der rechte Stromarm vertieft, so daß das ehemalige linksrheinische Prinzensteiner Fahrwasser entfallen konnte. Die Bauleistungen in diesem rd. 4 km langen Abschnitt bestanden aus Felslöse- und Baggerarbeiten auf rd. 120.000 m<sup>2</sup> Sohlfläche sowie aus dem Bau eines Parallelwerkes [Krajewski 1981].

Nach Beseitigung der Schiffahrtshindernisse im Mittelrhein und Nachregelung in der Strecke Iffezheim-Karlsruhe weist die Rheinstrecke unterhalb der Stauregelung folgende auf GIW bezogene Fahrwassertiefen auf:

- 2,10 m von Iffezheim bis Mainz,
- 1,90 m von Mainz bis St. Goar,
- 2,10 m von St. Goar bis Köln und
- 2,50 m von Köln bis zur Mündung.

**Bild 5.4–24**  
Einsatz des Eisbrechers »Nobiling« unterhalb Bingen im Februar 1956



Ab Mitte der Achtziger Jahre waren noch einige Nachregulierungsarbeiten im Rheingau und in der Gebirgsstrecke erforderlich, um die Fahrwassertiefe von 2,10 m unter GIW allgemein zu gewährleisten [Langschiad 1985]. In Bild 5.4–23 sind die gesamten Fahrwassertiefen und -breiten für den Rhein von Basel bis zur niederländischen Grenze nach dem Stand vom 1.1.1985 zeichnerisch dargestellt [WSD Südwest 1988].

Die früher ausgedehnten Vereisungen (Bild 5.4–24), die zu Eisbrechereinsatz, Eissprengungen und Glättung der Stromufer Anlaß gegeben haben, sind in den letzten Jahren nicht aufgetreten. Mit sehr kalten Wintern und entsprechenden Vereisungen muß aber weiterhin gerechnet werden, so daß Vorsorge für Gegenmaßnahmen erforderlich bleibt.

#### 5.4.5 Lahn

Bei Niederlahnstein mündet die Lahn von rechts in den Rhein. Heute ist sie vor allem als Hauptgewässer einer Landschaft mit hohem Freizeitwert und zahlreichen Baudenkmalen bekannt. Früher wies sie eine bedeutende Schifffahrt auf [Eckoldt 1980] und ist noch unterhalb Wetzlar als Bundeswasserstraße klassifiziert. Bild 5.4–25 zeigt ihren Längsschnitt zwischen Lahnstein und Gießen.

Der Ausbau zur Wasserstraße ist schrittweise erfolgt. Die wichtigsten Schritte waren:

- 1808–10 Ausbau für 18 t-Schiffe von Lahnstein bis Weilburg
- 1846–59 Ausbau für 100 t-Schiffe von Lahnstein bis Gießen mit 20 Kammerschleusen. Es verblieben noch ungestaute Abschnitte, und die angestrebte Mindesttiefe von 95 cm konnte nicht überall erreicht werden,
- 1925–28 Ausbau für 180 t-Schiffe mit 160 cm Tiefgang von Lahnstein bis Steeden auf 67 km.

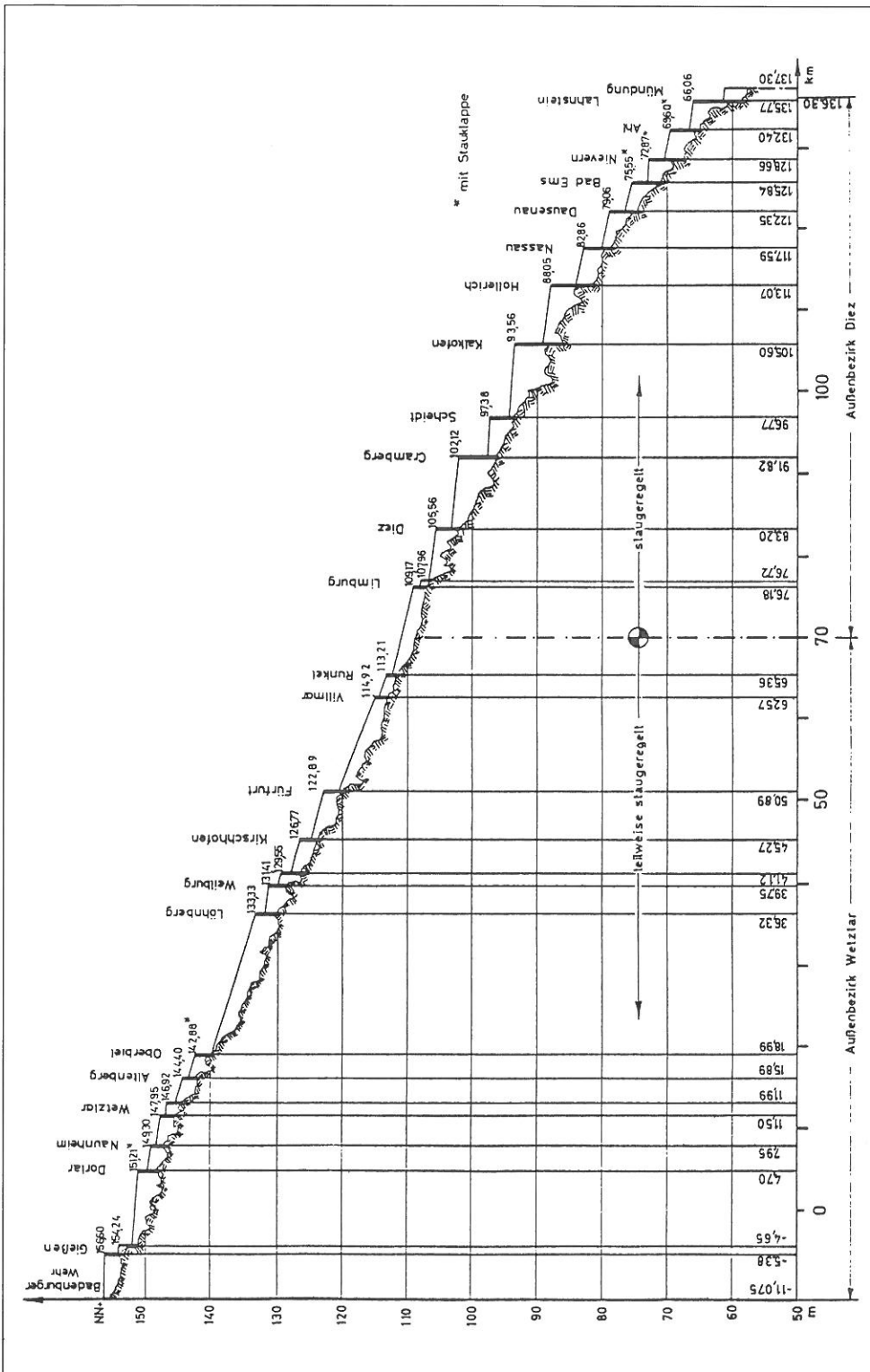


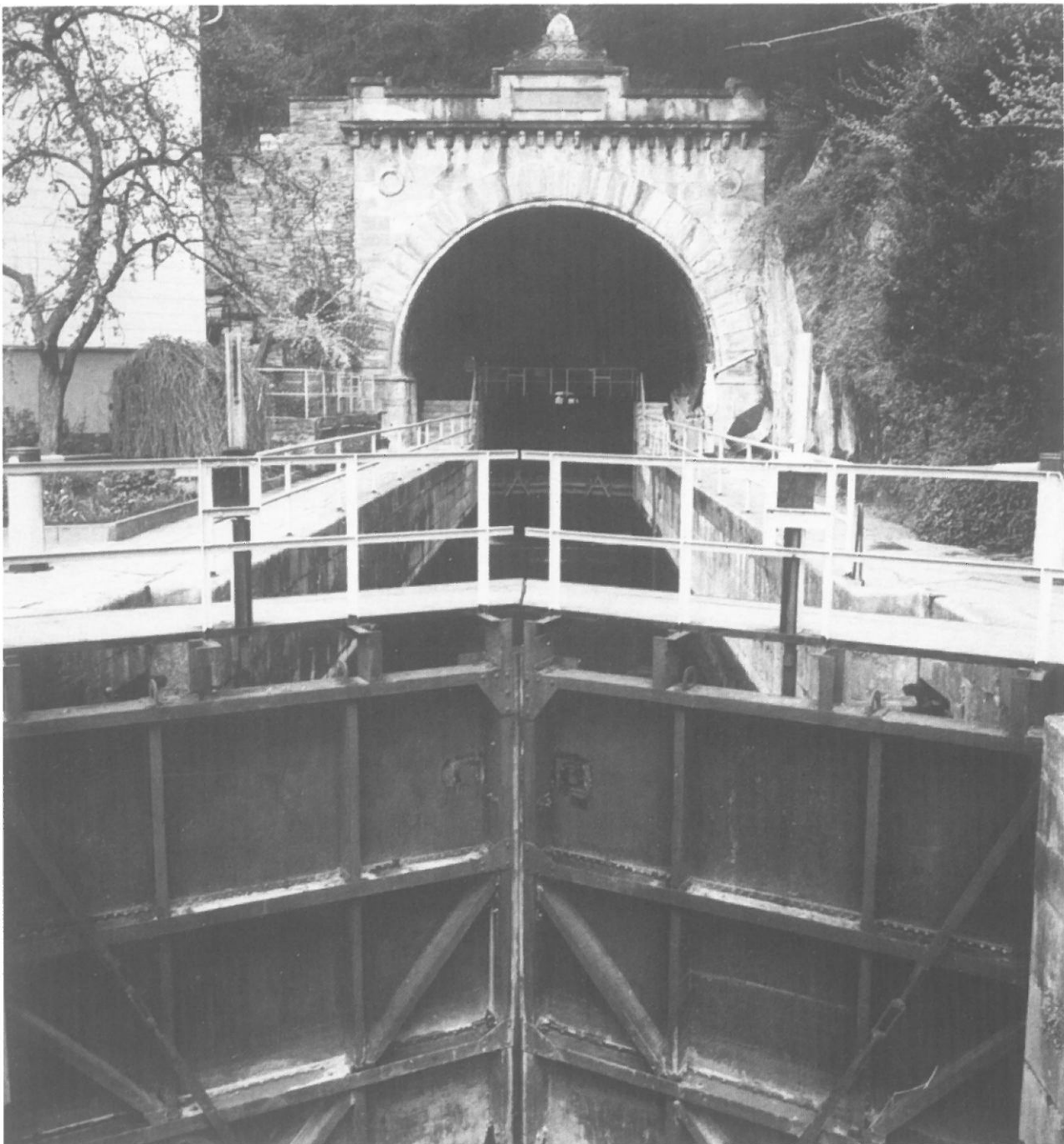
Bild 5.4-25  
Längsschnitt der  
unteren Lahn

Außer in der Mündungsstrecke, wo bis zur Schleuse Lahnstein die Fahrrinnentiefe derjenigen des Rheines entspricht, ist seit etwa 1980 der Verkehr von Güterschiffen zum Erliegen gekommen. Dagegen hat eine lebhafte Sportschiffahrt eingesetzt. Die Ausbaustrecke enthält bei Weilburg ein interessantes Sonderbauwerk in Gestalt eines Schiffahrtstunnels. Er ist um 1850 gebaut worden. Auf Bild 5.4–26 ist seine Einfahrt zu sehen. Die Wasserstraße führt in dem 200 m langen Tunnel unter der Stadt

Weilburg hindurch und schneidet eine 2 km lange Lahnschleife ab. Es handelt sich um den einzigen Schiffahrtstunnel in Deutschland.

Das Lahntal ist häufig von Hochwassern heimgesucht worden, die Siedlungen und landwirtschaftliche Kulturen geschädigt haben. Von den geplanten Gegenmaßnahmen sind außer Flußausbauten bisher zwei Hochwasserrückhaltebecken in den Nebenflüssen Ohm und Wohra verwirklicht worden. Sie er-

*Bild 5.4–26  
Lahnschleuse Weilburg mit Einfahrt in den Schiffahrtstunnel*



füllen die gestellten Hochwasserschutzaufgaben, insbesondere in ihren eigenen Tälern sowie an der Lahn in Marburg und Gießen, sollen aber durch weitere Maßnahmen ergänzt werden.

#### 5.4.6 Mosel

Die Mosel ist der größte Nebenfluß des Rheins. Ihre Quelle liegt in den Vogesen beim Col de Bussange auf NN + 735 m. Der Fluß erreicht bei Koblenz den Rhein, wo die Geländehöhe etwa NN + 65 m beträgt.

Die Mosel fließt zunächst 278 km weit durch Frankreich, bildet sodann auf 36 km die deutsch-luxemburgische Grenze und befindet sich anschließend bis zur Mündung nach 206 km auf deutschem Staatsgebiet. Oberhalb von Trier nimmt sie ihre größten Nebenflüsse Sauer und Saar auf, unterhalb davon nur noch kleinere Zuflüsse. Das Einzugsgebiet umfaßt rd. 28.000 km<sup>2</sup>. Im deutschen Bereich fließt die Mosel in einem engen Tal mit zahlreichen Krümmungen (Bild 5.4–27). Nur bei Trier weitet sich das Tal in etwa 10 km Länge auf.

Die Mosel konnte zu Anfang des 19. Jahrhunderts ihre hergebrachte Funktion als Wasserstraße wegen Auseinandersetzungen der Anliegerstaaten nur beschränkt erfüllen. Nach dem Aufkommen der Dampfschiffahrt wurden zur Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse in den Jahren 1839 bis 1870 in der deutschen und deutsch-luxemburgischen Strecke Regulierungsarbeiten ausgeführt. Sie bestanden in der Befestigung von Uferstrecken, in der Beseitigung vorhandener Flußspaltungen durch Verbau von Altarmen und Anschluß von Inseln an die Ufer sowie im Bau von Bühnen in Flachstellen, um hier die Wasserspiegel zu heben.

Regulierungsziel war, bei MW = 31 cm am Pegel Trier und 47 cm am Pegel Cochem eine Fahrwassertiefe von 70 cm oberhalb Trier, 83 cm zwischen Trier und Traben sowie 94 cm unterhalb da-

von bis zur Mündung herzustellen. Es wurde durch den Ausbau nicht erreicht und wäre ohnehin für eine leistungsfähige Schifffahrt nicht ausreichend gewesen. Nach der Inbetriebnahme der Eisenbahnstrecken von Trier nach Köln im Jahre 1871 und von Trier nach Koblenz 1876 nahm die Schifffahrt auf der Mosel ab. Der Frachtverkehr betrug in den Dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts nur noch wenig über 10.000 t jährlich, Berg- und Talfahrt zusammengenommen.

In Frankreich wurden im Jahre 1867 nach der Inbetriebnahme des Rhein-Marne-Kanals die ersten Maßnahmen zur Kanalisierung der Mosel im Abschnitt Frouard bei Nancy bis Metz in Angriff genommen. Der Krieg von 1870/71 unterbrach diese Arbeiten. Danach fiel der untere Teil des Ausbaubereiches nördlich von Pont-à-Mousson an das Deutsche Reich. Der Ausbau wurde fortgesetzt und war auf der gesamten Strecke 1876 beendet. Er ermöglichte den Verkehr von Penischen mit 38,5 m Länge und 5 m Breite, die bei einem Tiefgang von 1,80 m eine Ladung von 250 t befördern konnten.

Nach dem Ersten Weltkrieg wurde, zum Teil als deutsche Reparationsleistung, im nunmehr wieder französischen Nordlothringen während der Jahre

*Bild 5.4–27  
Tallandschaft der  
Mittelmosel im heu-  
tigen Zustand*





1929 bis 1932 der von Metz nach Thionville (Diedenhofen) führende Moselerzkanal (Canal des mines de fer de la Moselle) geschaffen. Er verlief westlich der Mosel und war geeignet für den Verkehr von Penischen mit einer Tragfähigkeit bis zu 350 t [Bailly 1986].

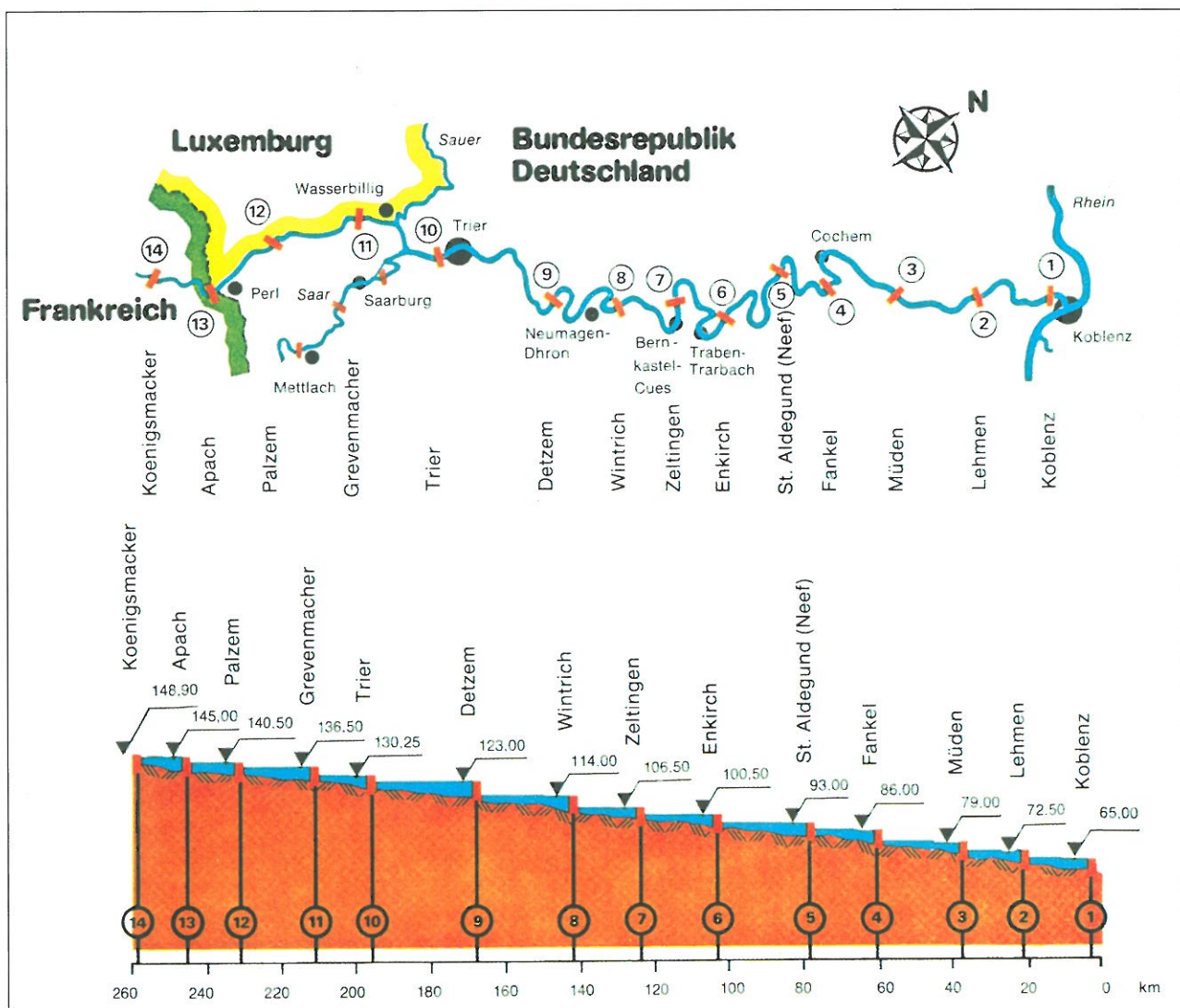
um zusammen die Mosel von Thionville (Diedenhofen) bis zur Mündung auf einer Strecke von 270 km als Großschiffahrtsstraße auszubauen. Die Errichtung von Wasserkraftwerken blieb den Vertragsstaaten auf ihren Gebieten überlassen.

Das Interesse am Ausbau der Mosel für eine leistungsfähige Schifffahrt blieb aber bestehen. Er konnte nur durch Stauregelung verwirklicht werden. Bereits während des letzten Krieges wurde mit dem Bau der Staustufe Koblenz begonnen, die 1951 in Betrieb kam. Zur systematischen Fortsetzung verpflichteten sich die Bundesrepublik Deutschland, das Großherzogtum Luxemburg und die Französische Republik im Staatsvertrag über die Schiffbarmachung der Mosel vom 27. Oktober 1956,

Das große Ausbauprojekt wurde mit Elan angegriffen. Für die Planung, Prüfung und Ausführung standen nur 7 Jahre zur Verfügung, eine Frist, wie sie bei vergleichbaren deutschen Projekten noch nie eingehalten worden war. Trotz des Zeitdruckes konnten die Ausbauziele erreicht und bei sparsamer Konstruktionsweise eine Reihe von technischen Fortschritten verwirklicht werden [Felkel 1963].

Bereits am 26. Mai 1964 wurde die

Bild 5.4–28  
Lagekarte und  
Längsschnitt der Moselwasserstraße



Großschiffahrt auf der Mosel durch die Staatsoberhäupter der drei Staaten eröffnet. Das von der Internationalen Moselgesellschaft 1966 herausgegebene Buch gibt ein anschauliches Bild von diesem ersten Gemeinschaftswerk der Anliegerstaaten an der Mosel.

Im Staatsvertrag von 1956 wurde die Wasserstraße zwischen Koblenz und Metz auf 298 km einem internationalen Schiffsregime, entsprechend demjenigen des Rheins, unterworfen. Es erstreckt sich auf folgende Abschnitte (Bild 5.4–28):

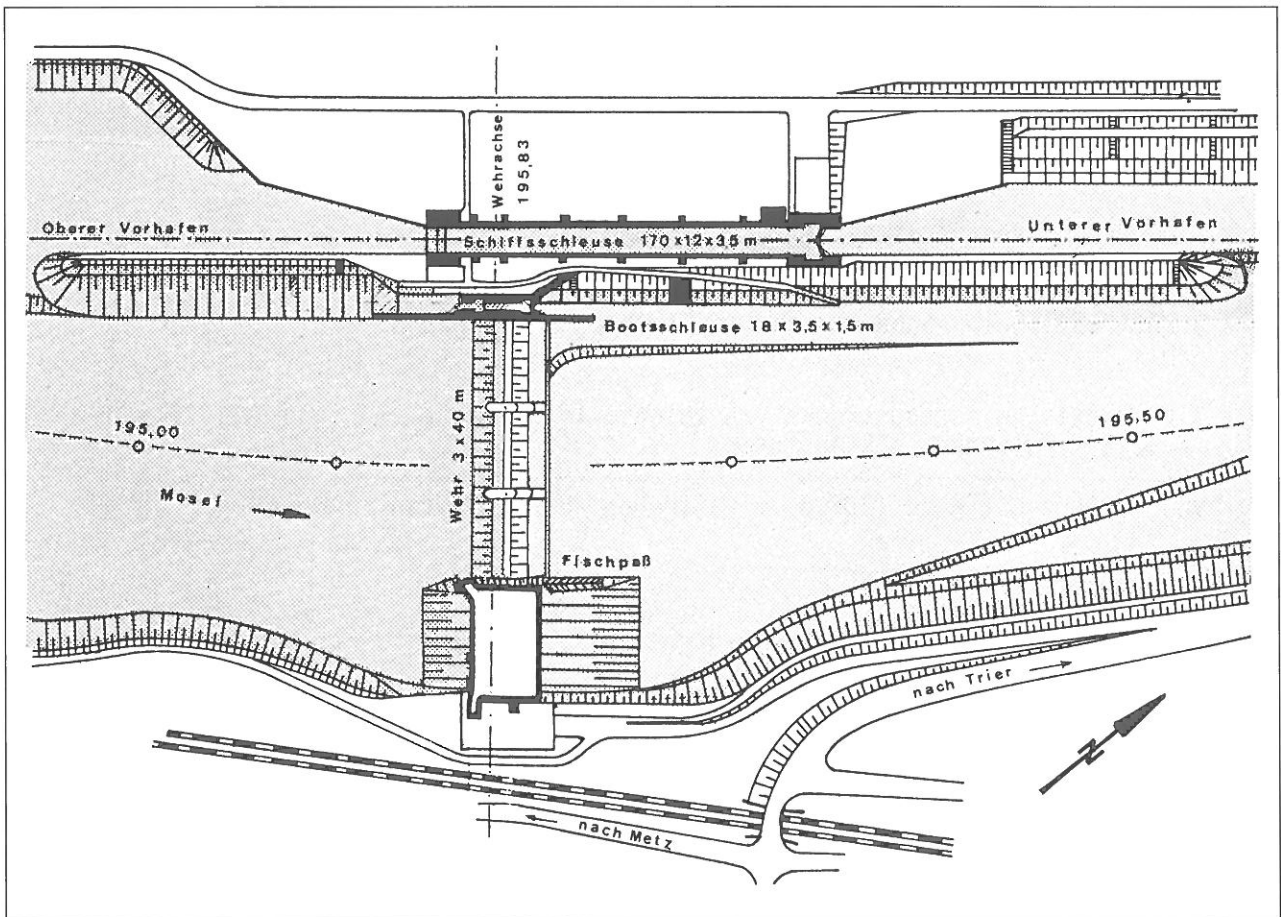
- Deutsche Strecke von Koblenz bis zur Saueremündung, 206 km, 71 m Fallhöhe, 10 Staustufen,
- Deutsch-luxemburgische Strecke von der Saueremündung bis Apach, 36 km, 10 m Fallhöhe, 2 Staustufen,
- Internationale Ausbaustrecke in Frankreich von Apach bis Thionville, 28 km, 8,4 m Fallhöhe, 2 Staustufen,
- Französische Ausbaustrecke von

Thionville bis Metz, 28 km, 16,4 m Fallhöhe, 4 Staustufen.

Die Ausbildung der unteren 12 Staustufen, mit Ausnahme von Koblenz und Grevenmacher, wurde vor der Ausführung in der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe in Modellen untersucht [Felkel 1962]. Bild 5.4–29 zeigt die Regelanordnung des Grundrisses anhand der Staustufe Trier. Die Wehre wurden mit Sektorverschlüssen, die Kraftwerke mit schrägliegenden Rohrturbinen ausgestattet (Bild 5.4–30).

G. Mantz berichtete über »20 Jahre Großschiffahrt auf der Mosel« [Mantz 1984]. Danach erreichte der Güterverkehr 1974, also 10 Jahre nach Eröffnung der Großschiffahrt, in Berg- und Talfahrt einen ersten Höhepunkt mit 12,2 Mio. t im Jahr. Die Wasserstraße erlaubt den Verkehr mit zweigliedrigen Schubverbänden von 3.300 t Tragfähigkeit. In der genannten Schrift sind die hier als Bild 5.4–31 wiedergegebenen

Bild 5.4–29  
Lageplan der Staustufe Trier



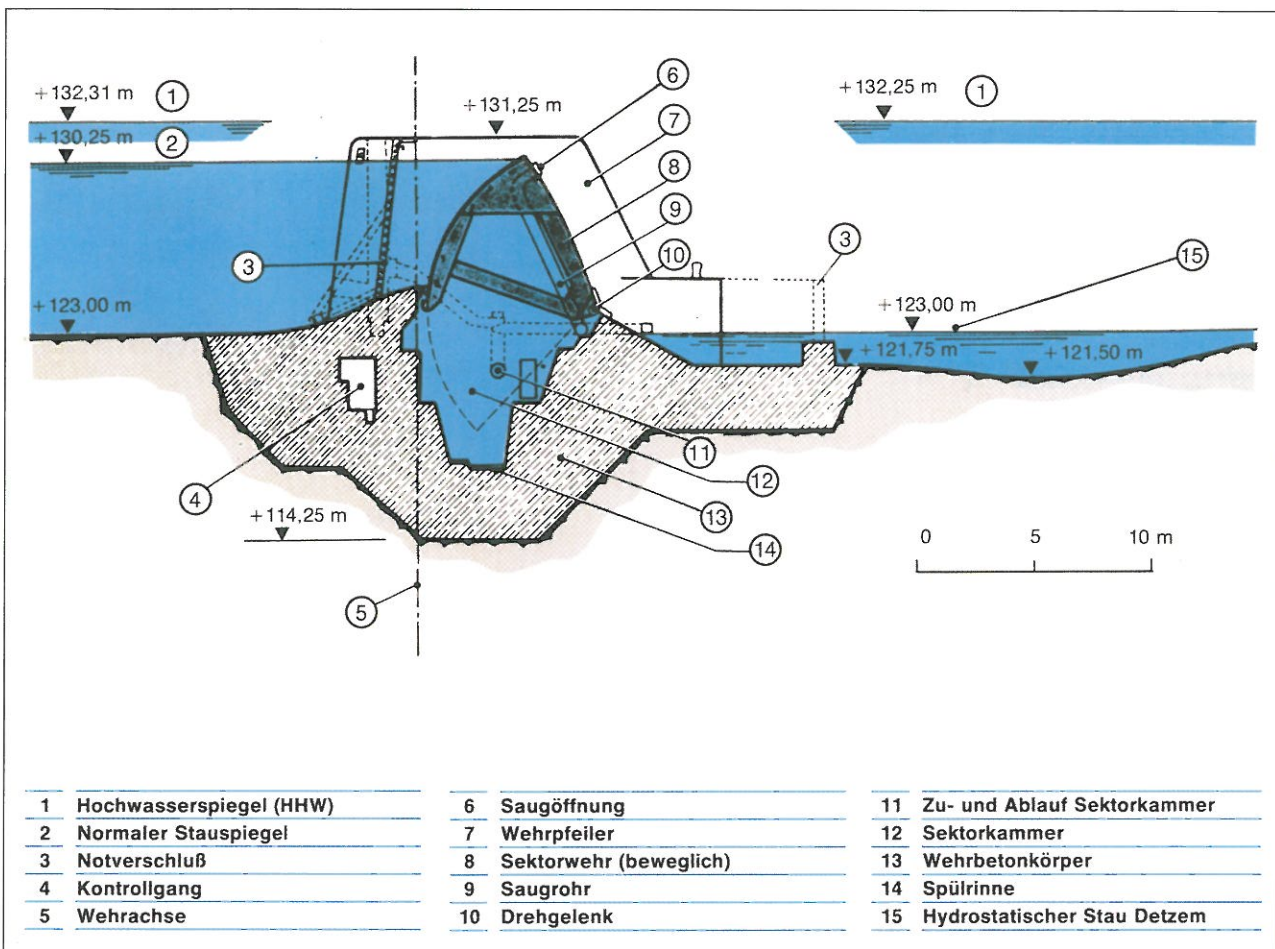


Bild 5.4–30  
Sektorwehr der  
Staustufe Trier

Aufnahmen des Moseltales an der Staustufe Lehmen vor und nach dem Ausbau enthalten. Sie zeigen die Veränderung der Landschaft. Diese weist heute bei kleinen und mittleren Abflüssen bedeutend breitere Wasserflächen als im Naturzustand auf, in dem oft nur ein bescheidenes Rinnsal in dem steinigen Bett geflossen war. Das Landschaftsbild und der Erholungswert der Mosellandschaft haben dadurch erheblich gewonnen, was sich in steigendem Fremdenverkehr und Wassersport auswirkt.

Die 12 Staustufen von Koblenz bis Palzem sind mit Wasserkraftanlagen ausgestattet. Zusammen haben sie 193 MW Leistung. Ihre mittlere Energieabgabe beträgt 859 Millionen kWh/a.

Bei der Planung der baulichen Anlagen zur Moselkanalisierung wurde angestrebt, keine nachteilige Veränderung der Hochwasserstände der Mosel zu verursachen. Straßen und Ortslagen haben

sich seit alters her bis in den Einflußbereich der Hochwasser vorgeschoben. Fast alljährlich, manchmal auch mehrmals im Jahr, kommt es zur Überflutung von Bauflächen. Abhilfe dagegen erscheint lediglich teilweise und nur in internationaler Zusammenarbeit möglich. Systematische Planungen zum Hochwasserschutz im Moseltal bestehen noch nicht. Dagegen sind im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Mosel für alle größeren Nebenflüsse auf deutschem Boden Hochwasserschutzpläne mit Speicherbecken und Gewässerausbauten aufgestellt worden. Anfänge davon sind verwirklicht [Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Mainz 1964].

Bis zum Jahre 1979 wurde auch die nach oberstrom anschließende Moselstrecke von Metz bis Neuves-Maisons südwestlich von Nancy kanalisiert, so daß heute von hier ab bis Koblenz die Mosel auf einer Länge von 394 km als moderne



*Bild 5.4-31  
Moseltal bei Lehmen  
vor und nach Errich-  
tung der Staustufe*





*Bild 5.4–32  
Mosel bei Neuves-  
Maisons*

*Bild 5.4–33  
Die oberste Groß-  
schiffahrtsschleuse  
der Mosel bei Neu-  
ves-Maisons*



Großschiffahrtsstraße ausgebaut ist. Davon verlaufen 152 km in Frankreich [Bailly 1986 und Claudon 1986].

Bild 5.4–32 enthält einen Blick in Fließrichtung auf das Moselbett bei Neuves-

Maisons. Rechts davon verläuft seitlich der neue Großschiffahrtskanal. Seine oberste Schleuse ist in Bild 5.4–33 gezeigt.

An die Großschiffahrtsstraße Mosel

schließt nach oberstrom der Südarm des in den Jahren 1874 bis 1882 gebauten Ostkanals (Canal de l'Est) an. Er verläßt bei Epinal das Moseltal, um die Verbindung mit der Saône herzustellen. Seine 94 Schleusen haben überwiegend Ab-

messungen von  $45,3 \times 5,7$  m und Hubhöhen von etwa 3 m. Auf dem Ostkanal können Schiffe mit bis zu 300 t Tragfähigkeit verkehren. Die Bilder 5.4–34 und 5.4–35 zeigen den Ostkanal bei Vincey, nordwestlich von Epinal.



*Bild 5.4–34  
Der südliche Arm  
des Ostkanals*

*Bild 5.4–35  
Schleusung im Hand-  
betrieb im Ostkanal  
von Vincey*



*Bild 5.4–36  
Großschiffahrts-  
schleuse (links) und  
Schleuse des Ostka-  
nals (rechts) an des-  
sen Abzweigung von  
der Mosel bei Toul*



Der nördliche Arm des Ostkanals verläßt bei Toul die Mosel in westlicher Richtung (Bild 5.4–36) und stellt die Schifffahrtsverbindung zur Maas her. Zwischen Toul und dem rd. 20 km westlich davon gelegenen Ort Troussey ist der Ostkanal identisch mit dem Rhein-Marne-Kanal (Canal de la Marne au Rhin). Der Letztere verbindet die Marne mit dem Hafen von Straßburg. Er wurde 1838–1853 erbaut, ebenfalls für Schiffe mit bis zu 300 t Tragfähigkeit.

#### **5.4.7 Saar**

Der größte Nebenfluß, die Saar, mündet bei Konz auf NN + 130 m in die Mosel. Auf 115 km Länge durchfließt sie Frankreich bis Saargemünd, bildet anschließend 11 km weit bis Gündingen die Grenze und verläuft in der 109 km langen unteren Strecke in Deutschland.

In Frankreich besteht der Saar-Kohlenkanal. Die anschließende Saarstrecke bis Lisdorf ist ebenfalls schiffbar und für die kleine Penische mit 280 t Tragfähigkeit ausgebaut worden. Der Güterverkehr, der keinen Anschluß zur Mosel fand, war rückläufig und betrug 1984 nur noch 68.000 t. Anhaltende Bemühungen

des Saarlandes führten dazu, daß die Bundesregierung 1973 entschied, die Saar von der Mosel bis Saarbrücken zum Großschiffahrtsweg auszubauen. Das Vorhaben wurde 1975 begonnen und 1988 bis zum Hafen Dillingen unterhalb Saarlouis in Betrieb genommen. Aus Bild 5.4–37 sind Lagekarte und Längsschnitt zu ersehen [Großheimann 1982].

Die Leistungsfähigkeit der Wasserstraße entspricht der Mosel. Ihre Stau-stufen bestehen in der Regel aus

- einem Wehr mit 3 Feldern von je 16,5 m lichter Breite,
- einer Schleuse von 190 m Nutzlänge, 12 m Breite und 4 m Drempeltiefe,
- einer Bootsschleuse von 40 m Nutzlänge, 12 m Breite und 3 m Drempeltiefe,
- einem Wasserkraftwerk mit 2 Turbinen von je 30 m<sup>3</sup>/s Schluckfähigkeit [WSD Südwest 1985].

Im Endausbau bis Saarbrücken wird eine installierte Leistung von 32.500 kW und eine Energieabgabe von i.M. 154 Millionen kWh/a vorhanden sein. Die installierten waagerechten Rohrturbinen mit umströmtem Generator (Bild 5.4–38) stellen eine Weiterentwicklung

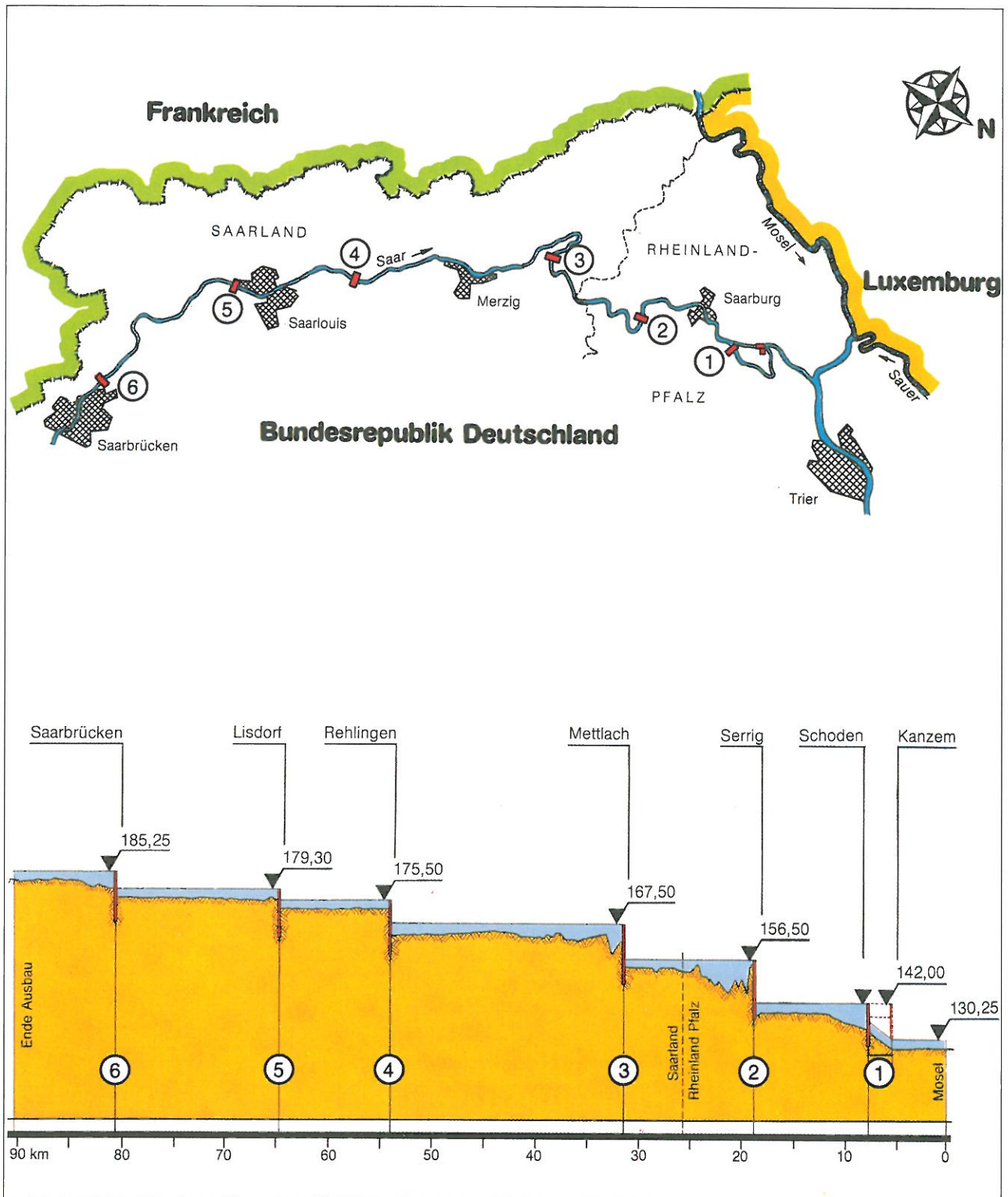


Bild 5.4-37  
Lagekarte und  
Längsschnitt der  
Saarkanalisierung



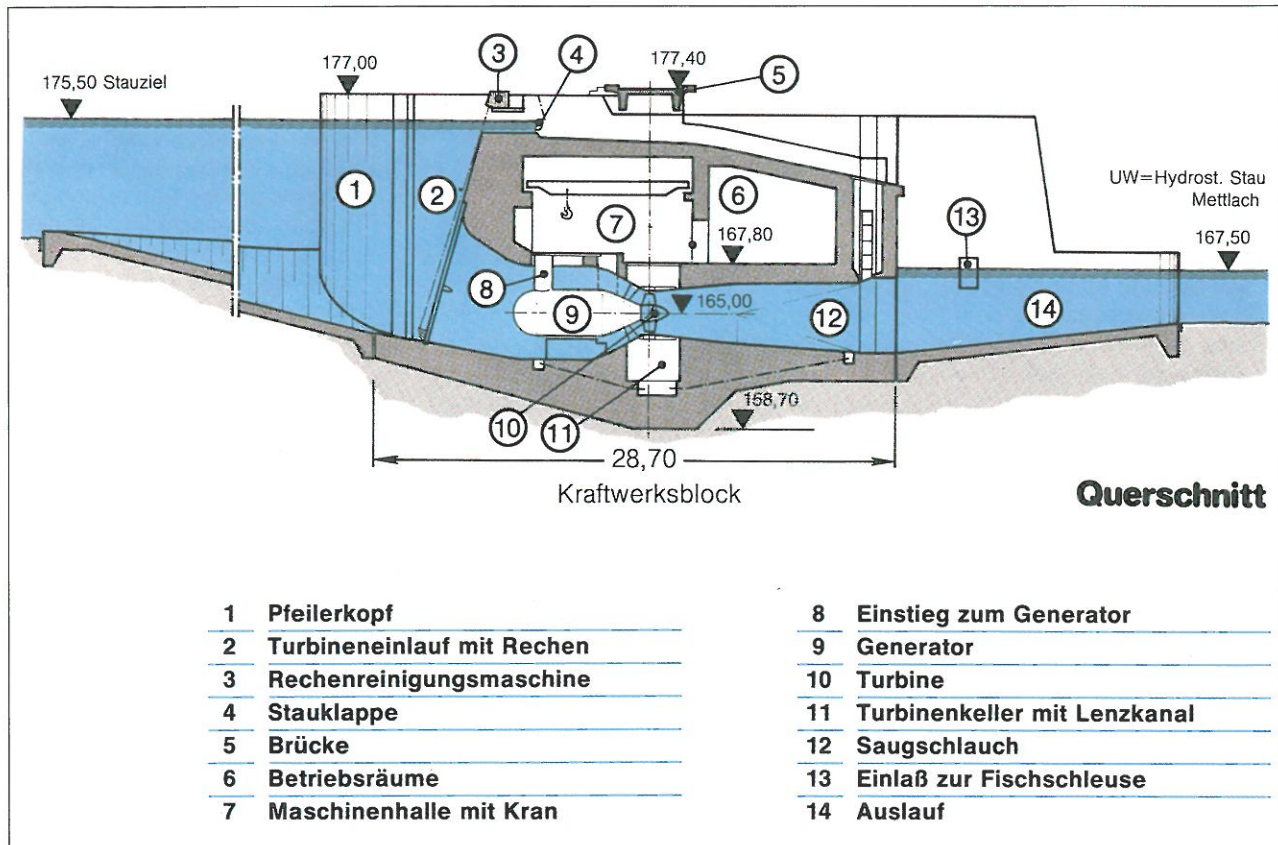


Bild 5.4-38  
Querschnitt des  
Kraftwerkblockes an  
der Staustufe Reh-  
lingen

gegenüber den Kraftwerken an der Mo-  
sel dar.

Bei der Kanalisierung der Saar ist, wie  
schon bei der Mosel, großer Wert auf  
die Einbindung der Bauwerke in die  
Landschaft und auf die Pflege der Na-  
turschönheit gelegt worden. Damit ver-  
bunden ist die Erhaltung und Verbesse-  
rung wertvoller bestehender Biotope.  
Der Wiltinger Bogen der Saar ist zwi-  
schen Kanzem und Schoden durch einen  
Kanal abgeschnitten und als natürlicher  
Flußlauf beibehalten worden (siehe Bild  
5.4-37). Dadurch ist eine naturbelassene  
Saarstrecke erhalten geblieben. Ihr  
Durchfluß wird, teilweise unter Zu-  
rückpumpen von Schleusungswasser,  
dem ursprünglichen Zustand angepaßt.

## 5.5 Niederrhein

### 5.5.1 Gebietscharakter und wasserwirtschaftliche Aufgaben

Die Rheinstrecke von Strom-km 654 bei Bonn bis 858/865 an der Grenze zu den Niederlanden bei Kleve/Emmerich wird als »Niederrhein« bezeichnet. Im oberen Teil beträgt das Gefälle i.M.  $0,23\text{‰}$  bei Mittelwasser. Es verringert sich dann bis auf  $0,08\text{‰}$  auf der Strecke zwischen Rees und Emmerich. Im Bereich der deutsch-niederländischen Grenze beträgt die Geländehöhe noch NN + 12 m. Hier beginnt das Rheindelta. Früher teilte sich der Strom in Waal und Nederrijn an der holländischen Festung Schenkenschanz bei km 865. Nach dem Bau des Pannerdenschen Kanals liegt die Stromteilung seit 1707 am km 867.

Bei Rolandsbogen und Godesburg auf der linken Rheinseite, Drachenfels und seinen Weinbergen zur Rechten verläßt der Rhein den Gebirgsbereich und tritt in die Ebene ein. Darin wird sein Lauf nur an wenigen Stellen durch Höhenzüge oder feste Bodenformationen bestimmt. Die ursprünglich instabilen, sich vielfach verlagernden Mäander des Stromes sind durch Bauarbeiten weitgehend festgelegt worden. Fast durchgehend verläuft die heutige Fließrichtung von Südsüdost nach Nordnordwest. Nur wenige Flußschleifen zwischen Köln und Krefeld weichen stark davon ab. Der Strom tritt aus Deutschland an der Stelle aus, wo noch einmal Höhenzüge näher an den Ufern liegen, der Reichswald bei Kleve mit NN+106 m und die Höhen um Elten bei Emmerich bis NN+96 m.

Am Pegel Bonn beträgt das Einzugsgebiet des Rheines  $141.162\text{ km}^2$ , an der Grenze zu den Niederlanden rd.  $160.000\text{ km}^2$ . Die Zunahme seines Einzugsgebietes um 13,3% entsteht weit überwiegend rechtsrheinisch. Den Zuflüssen Sieg, Wupper, Ruhr, Emscher und Lippe steht linksseitig als größerer Wasserlauf nur die Erft gegenüber.

Das Tal des Niederrheins ist eine intensiv genutzte Kulturlandschaft. Hier leben rund 6,5 Millionen Einwohner und liegt die größte industrielle Konzentration der Bundesrepublik Deutschland. Das Ruhrgebiet grenzt an den Niederrhein an. Günstige Klima- und Bodenverhältnisse sowie die Marktnähe großer Verbrauchszentren haben das Entstehen einer intensiven Landwirtschaft im Rheinbereich begünstigt.

Politisch gehört die gesamte Niederrheinstrecke zum Land Nordrhein-Westfalen. Auch ihr örtliches Einzugsgebiet fällt mit rund  $18.700\text{ km}^2$  fast vollständig in dieses Bundesland.

Die Konzentration von Bevölkerung und Industrie stellt der Wasserwirtschaft am Niederrhein sehr große Aufgaben, besonders für die Schifffahrt, den Hochwasserschutz und die Wasserversorgung. Nördlich Köln erreicht die Breite des natürlichen Überschwemmungsgebietes bis vier km, bei Düsseldorf bis sechs km und unterhalb Ruhrort bis zehn km. Große Überflutungen sind in der Vergangenheit immer wieder aufgetreten (Bild 5.5–1).

Der größte Teil der Überschwemmungsgebiete ist im Laufe einer langen Entwicklung durch Deiche gesichert worden. Aus Bild 5.5–2 ist der Umfang der eingedeichten Polderflächen zwi-

*Bild 5.5–1  
Hochwasser auf dem  
Marktplatz von Kalkar  
am 3. Januar  
1926*



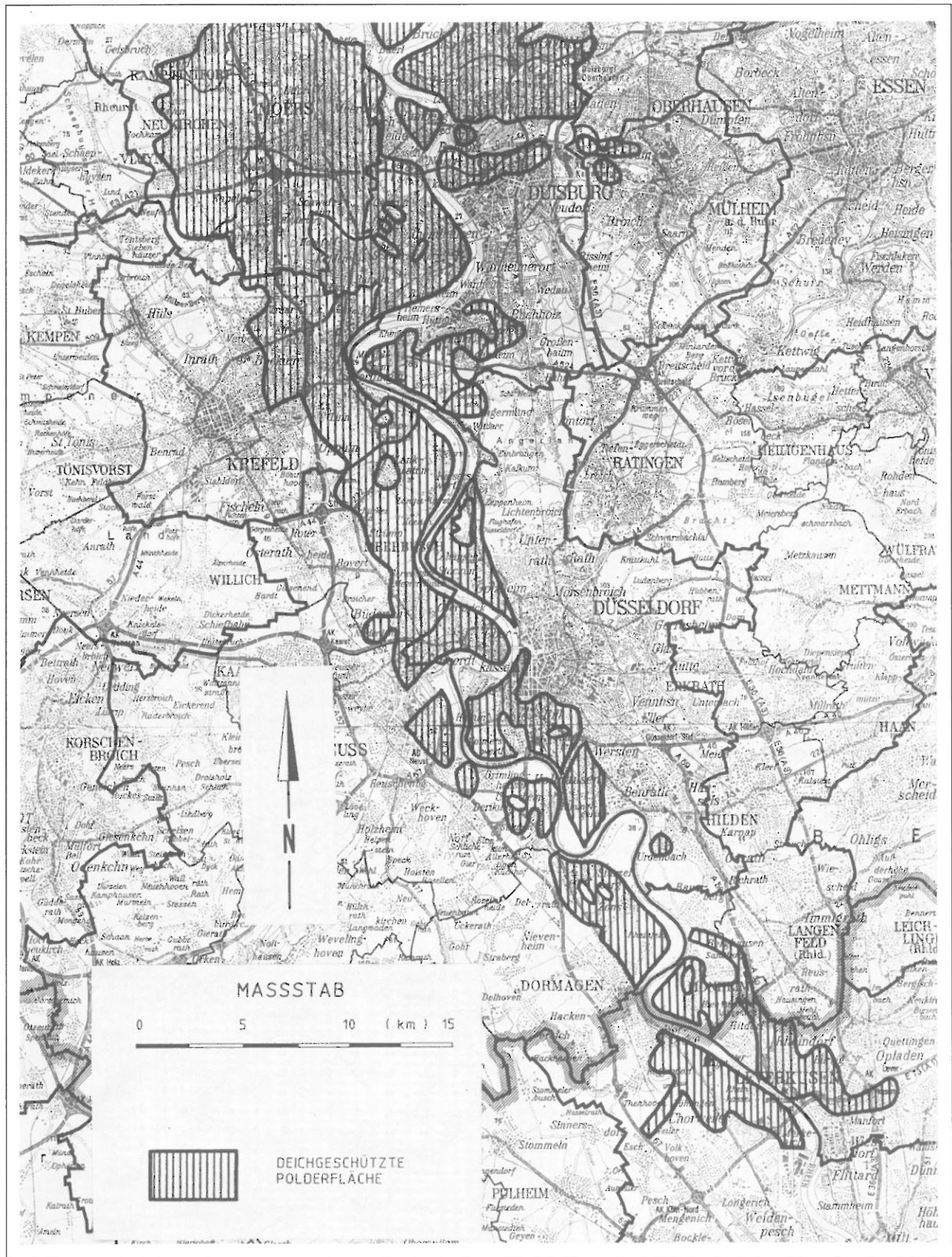


Bild 5.5–2  
Poldergebiete zwischen Köln und Duisburg

schen Köln und Duisburg zu ersehen. Daraus geht auch ihr hoher Nutzungsgrad für Bebauungen und Verkehrsanlagen hervor. Insgesamt liegen zwischen Köln und der niederländischen Grenze rund 640 km<sup>2</sup> hinter Deichen unter dem Niveau des Bemessungshochwassers. Die dieses mehrhundertjährige Hochwasser überragenden Schutzwälle heißen »Banndeiche«. Der Gesamtumfang des natürlichen Überschwemmungsgebietes, dem die Polderflächen abgerungen sind, beträgt über 900 km<sup>2</sup> [RP Düsseldorf 1980 und STAWA Düsseldorf 1988].

Um die vielfältigen, in den Landschaftsteilen unterschiedlichen Aufgaben der Wasserwirtschaft lösen zu helfen, sind neben der staatlichen Verwaltung besondere Organisationen mit weitgehenden Zuständigkeiten eingerichtet worden. Der früher die Rheinprovinz einschließende Staat Preußen hat durch Sondergesetze große Wasserverbände geschaffen, die sich bewährt haben und weiterhin bestehen. Sie führen Gemeinschaftsarbeiten der seit über 650 Jahren am Niederrhein bestehenden Wasserverbände weiter. Als Verbandsgebiete umfassen sie die Einzugsgebiete ihrer Gewässer und teilweise auch außerhalb liegende Flächen.

So entstanden:

- 1904 die Emschergenossenschaft,
- 1913 die Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft
- 1913 der Ruhralsperrenverein und der Ruhrverband,
- 1922 der Lippeverband und
- 1930 der Wupperverband.

Im Jahre 1958 ist noch der Große Erftverband, ab 1985 »Erftverband« genannt und mit erweiterten Aufgaben im Westen betraut, hinzugekommen. Bild 5.5-3 zeigt die räumliche Erstreckung der Verbände.

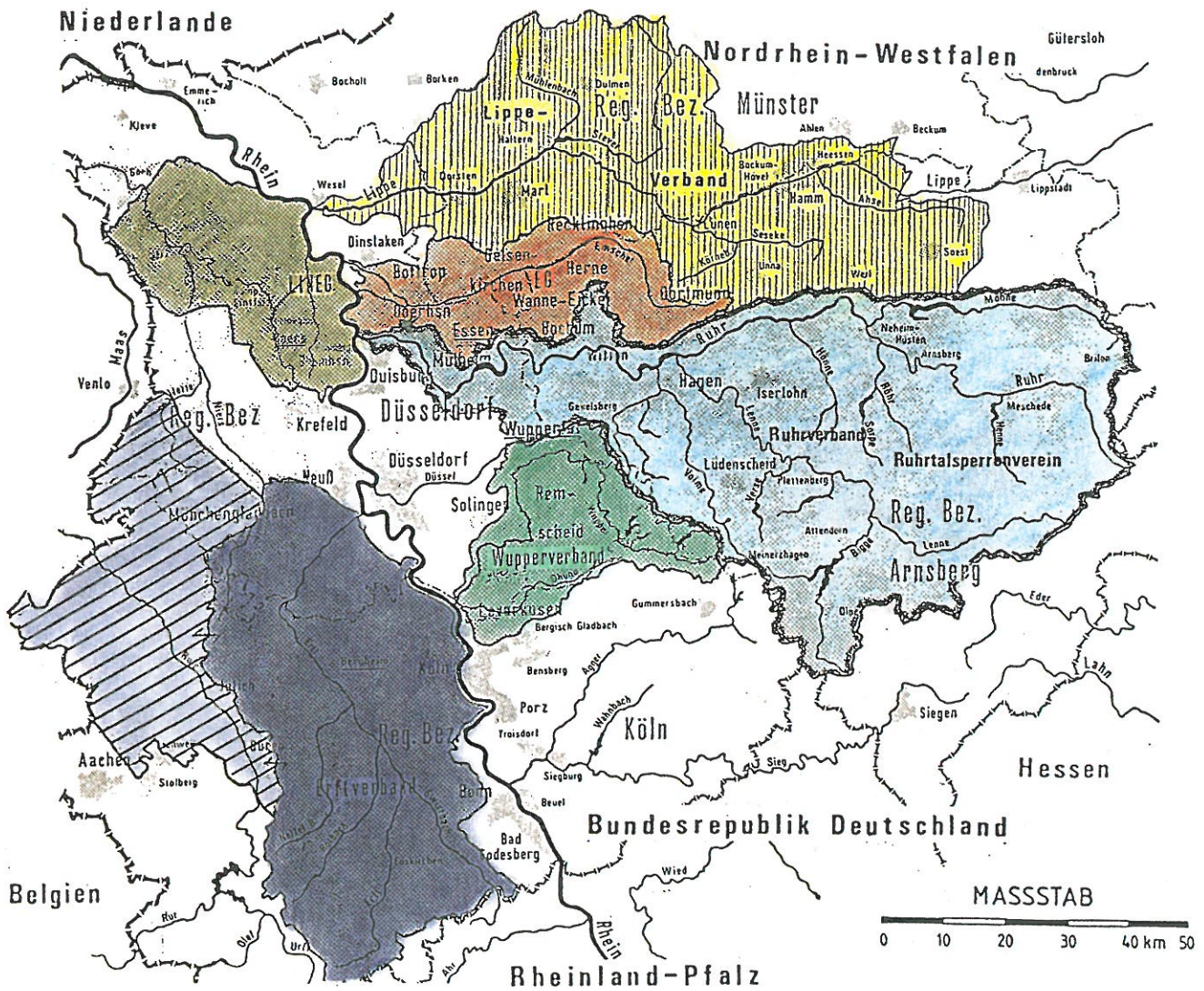
In der Napoleonischen Zeit war die unter Friedrich dem Großen geschaffene preußische Wasserbauverwaltung

am Rhein zerschlagen worden. Sie wurde 1816 wieder eingerichtet und den Regierungen in Koblenz, Köln und Düsseldorf übertragen. Diese setzten Wasserbauinspektoren in Koblenz, Köln, Düsseldorf, Xanten und Rees ein. Die Bezirke Xanten und Rees wurden später in Wesel vereinigt. Aus der wiedergewonnenen Erkenntnis, daß eine einheitliche Baukonzeption notwendig sei, erhielt mit Erlaß vom 16. März 1849 der Technische Beamte an der Regierung Düsseldorf, Regierungs- und Baurat *Edmund Adolph Nobiling*, die Leitung der gesamten Wasserbauarbeiten in den Bezirken Koblenz, Köln und Düsseldorf. Zum 1. Januar 1851 wurde beim Oberpräsidium für die Rheinprovinz in Koblenz die Rheinstrombauverwaltung eingerichtet. Nobiling wurde ihr erster Chef. Er hat sich mit seinen Mitarbeitern große Verdienste um den Ausbau des Rheins erworben [Manz 1982].

Die Dienststelle erstrebte als Ausbauziele für die Schifffahrt, auf der Mittel- und Niederrheinstrecke oberhalb Köln eine Mindestdiefe von 2,50 m zu erreichen, unterhalb von 3,00 m, bei einheitlich 150 m Fahrwasserbreite. Gegenüber der heutigen Bezugshöhe GIW für die Mindestdiefe war damals eine höhere Spiegellage als maßgebend angesetzt. Der Strom im Ganzen sollte zwischen den Streichlinien, die vornehmlich durch die Verbindungslinien der Bühnenköpfe gebildet wurden, Breiten erhalten von

- 280 m oberhalb der Siegmündung,
- 300 m von der Siegmündung bis Emmerich und
- 340 m unterhalb Emmerich.

Die im Ausbauplan ermittelten Kosten wurden 1879 bewilligt, die Arbeiten bis 1900 weitgehend ausgeführt, abgesehen von Felsstrecken im Mittelrhein. Mit Bühnen, Leitwerken, Deckwerken und Verbau von Nebenarmen wurden die früheren Rheinausbauten ergänzt. Danach ergab sich ein weitgehend einheitliches Rheinbett mit ausgeglichenem



Zeichenerklärung:		Verbandsgebiet	Verband	Gründungsdatum
— — — —	Staatsgrenze	[Orange box]	Emschergenossenschaft (EG)	14.7.1904
— — — —	Landesgrenze	[Green box]	Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft (LINEG)	29.4.1913
— — — —	Regierungsbezirksgrenze	[Blue box]	Ruhrverband, Ruhrtalsperrenverein (RV/RTV)	5.6.1913
[Dotted pattern]	Orte bis 50 000 Einwohner	[Yellow box]	Lippeverband (LV)	19.1.1926
[Cross-hatch pattern]	Orte bis 100 000 Einwohner	[Light green box]	Wupperverband (WV)	8.1.1930
[Diagonal lines]	Orte über 100 000 Einwohner	[Dark blue box]	Erfurterverband	3.6.1958

Bild 5.5-3  
Die großen Wasser-  
verbände am Nie-  
derrhein

Geschiebehaushalt. Nach der Konsolidierung der baulichen Eingriffe war zunächst keine deutliche Sohlenerosion zu verzeichnen. Später haben menschliche Eingriffe allerdings das gewonnene Gleichgewicht gestört und nachhaltige Veränderungen der Rheinsohle verursacht.

Von oberhalb Duisburg bis unterhalb Wesel erstrecken sich im tieferen Untergrund Vorkommen von abbauwürdiger Steinkohle. Sie bilden die Fortsetzung der Kohlenlager, die zur Grundlage der Industrieentwicklung im Ruhrgebiet geworden waren, und reichen nach Westen unter dem Rhein hindurch. Ihre Menge wurde im Bereich zwischen den Banndeichen auf rund eine Milliarde t ermittelt, wovon etwa 300 Millionen t unterhalb des Stromes selbst liegen. Nach langjährigen Untersuchungen möglicher Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft wagte man sich Anfang der Zwanzigerjahre an den Abbau in diesem Gebiet und hat ihn seither fortgesetzt. Für seine Durchführung gilt heute die »Bergverordnung für den Abbau unter Schiffahrtsstraßen« vom 20. Februar 1970, die das Landesoberbergamt erlassen hat. Der Verbrauch ausgekohelter Flöze verursacht Bergsenkun-

gen. Sie ziehen das Rheinbett, die Deiche und Polder in Mitleidenschaft, so daß wasserbauliche Gegenmaßnahmen erforderlich sind.

Entsprechendes gilt für die Folgen des Steinsalzabbaus. Unter dem Rheintal sind im Hangenden der Steinkohle Salzlager der Zechsteinformation bis 250 m Mächtigkeit angetroffen worden. Darin hat bereits im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts ein Abbau eingesetzt. Er wird heute in langgestreckten Kammern von 20 m Breite und 18 m Höhe mit breiten Zwischenpfeilern etwa 800 m unter Tage ausgeführt (Bild 5.5-4). Im Gegensatz zu dem ausgekohlten Karbon füllen sich die geschaffenen Hohlräume im Salz bruchlos durch Fließvorgänge in der Lagerstätte wieder auf. Sie lassen oberflächliche Geländesenkungen bis 6 m nicht ausgeschlossen erscheinen.

Bergsenkungen waren nicht der einzige Grund, daß im Niederrhein etwa seit 1900 eine beträchtliche Sohlenerosion um sich gegriffen hat. Ihr Ausmaß und ihre Auswirkungen auf den gleichwertigen Wasserstand GIW, der die Spiegelhöhe bei Niedrigwasser kennzeichnet, gehen aus der generalisierten Darstel-



*Bild 5.5-4  
Steinsalzabbau unter  
dem Rheintal durch  
Deutsche-Solvay-  
Werke, Rheinberg-  
Borth*

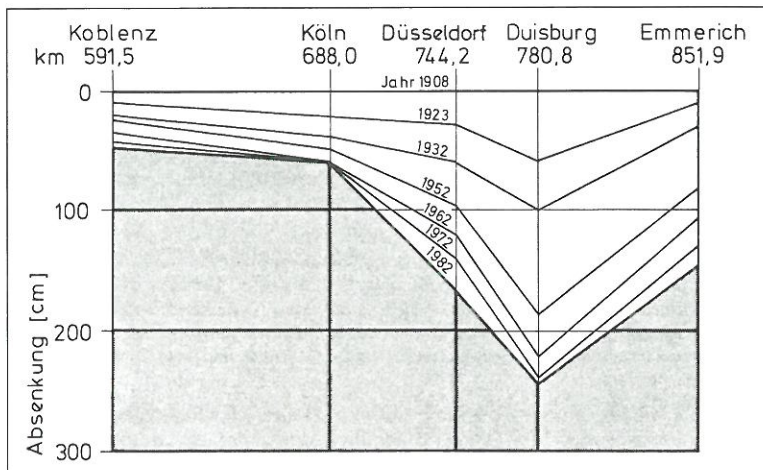


Bild 5.5–5  
Absenkung des  
Gleichwertigen Was-  
serstandes GIW  
zwischen Koblenz  
und Emmerich

lung in Bild 5.5–5 hervor [BMV 1987, vergleiche auch Tabelle 5.4–7]. Zu dieser Entwicklung haben folgende weitere Eingriffe wesentlich beigetragen:

- Entnahme von Bettmaterial durch Kiesbaggerung,
- Höhenänderungen von Vorländern und Eindeichung von Retentionsräumen,
- Verminderung der Geschiebezufuhr infolge Stauanlagen in Nebenflüssen,
- Angriffe auf die Stromsohle durch den Schraubenstrahl der leistungsstärker werdenden Motorschiffe,
- Behinderung der Geschiebewanderung durch Sohlensenkungen.

In dem am stärksten betroffenen Bereich

bei Duisburg ist das GIW zwischen 1908 und 1982 um rd. 2,50 m abgesunken. Die Absenkungstendenz des Niedrigwasserspiegels nimmt zwar ab, ist aber keineswegs zum Stillstand gekommen. Sie hat nachteilige Auswirkungen großen Ausmaßes auf die Schifffahrt, auf Wasserbauten, auf die Grundwassernutzung und die ökologischen Verhältnisse in Rheinnähe mit sich gebracht. Ihnen mußte durch umfangreiche Maßnahmen begegnet werden.

Entsprechendes gilt auch für den Hochwasserschutz. In den Bereichen beträchtlicher Geländesenkungen hat sich die Höhenlage der Rheinhochwasser nur wenig verändert, während die Schutzanlagen niedriger geworden sind. Daher waren Anpassungen der Deiche und Entwässerungsanlagen vor dem Eintritt der Bergsenkungen unumgänglich.

### 5.5.2 Rheinstrecke Bonn – Duisburg

Die gesamte Strecke des Niederrheins hat durch Ausbauten im 19. Jahrhundert und zum Teil noch im 20. Jahrhundert ein einheitliches Bett erhalten. Zahlreiche Ausbaumaßnahmen am Rhein sind in dem Buch der Wasser- und



Bild 5.5–6  
Rheinufer in Bonn

Schiffahrtsdirektion Duisburg »Der Rhein, Ausbau, Verkehr, Verwaltung« [1951] beschrieben. Das bordvolle Abführungsvermögen des Rheins entspricht im jetzigen Ausbauzustand etwa dem mittleren Hochwasser. Darüber hinausgehende Abflüsse treten über die Ufer.

Am Beginn des Niederrheins liegt die frühere Bundeshauptstadt Bonn (Bild 5.5–6). Seit sie 1949 diesen Rang gewonnen hatte, wurde sie zusammen mit Bad Godesberg in großem Maße baulich erweitert. Tiefgelegene Bereiche im Stadtgebiet werden vom Hochwasser betroffen, so auch das neue Bundeshaus.

Im Stadtbereich Bonn fließt die Sieg bei km 659,3 von rechts in den Rhein. Sie hat ein Einzugsgebiet von 2.855 km<sup>2</sup> und ein sehr schroffes Abflußregime. Kurz vor ihrer Mündung empfängt sie den Zufluß der Agger. Darin wurde 1929 zum Hochwasserschutz und zur Aufhöhung der Niedrigwasserführung die Aggertalsperre mit einem Stauraum von 19,3 Millionen Kubikmeter gebaut. Im gleichen Flußgebiet liegt die Wiehertalsperre, die mit 31,5 Millionen Kubikmeter Inhalt zur Trinkwasserversorgung dient, daneben auch zum Hochwasserschutz.

Rund 20 km unterhalb von Bonn erreicht der Rhein das Baugebiet von Köln. Hier ist die Altstadt nicht hochwasserfrei und hat oft unter Überschwemmungen gelitten, ohne daß Deiche oder Mauern gebaut worden wären. Erst die Hochwasserschäden von 1982 und 1983 haben den Anstoß gegeben, die Bebauung am linken Ufer mit transportablen Stahlwänden zu schützen (Bild 5.5–7).

Im Stadtgebiet Leverkusen mündet von rechts die Wupper in den Rhein. Sie wird vom Wupperverband bewirtschaftet. Ihre seitlichen Zuflüsse werden u.a. zur Trinkwasserversorgung der bergischen Städte Remscheid, Solingen und Wuppertal genutzt. Nach dem Entwurf

des Talsperrenpioniers *Professor Intze* entstand hier 1891 die erste Trinkwassertalsperre Deutschlands, die Eschbachtalsperre der Stadt Remscheid. Sie hat 1,1 Millionen Kubikmeter Fassungsvermögen. Die jüngste Talsperre im Wupperegebiet, die derzeit größte Trinkwassertalsperre der Bundesrepublik Deutschland, ist die Große Dhünntalsperre mit 81 Millionen Kubikmeter Stauraum. Zur Minderung der Hochwasser in der Wupper und zur Aufhöhung ihrer Niedrigwasserführung ist 1988 die Wuppertalsperre hinzugekommen.

Das breite Rheintal in diesem Bereich ist aus dem Bild 5.5–8 zu ersehen. Es zeigt das rechte Ufer bei Hitdorf unterhalb

*Bild 5.5–7  
Transportable  
Schutzwand in Köln  
beim Hochwasser im  
April 1988*





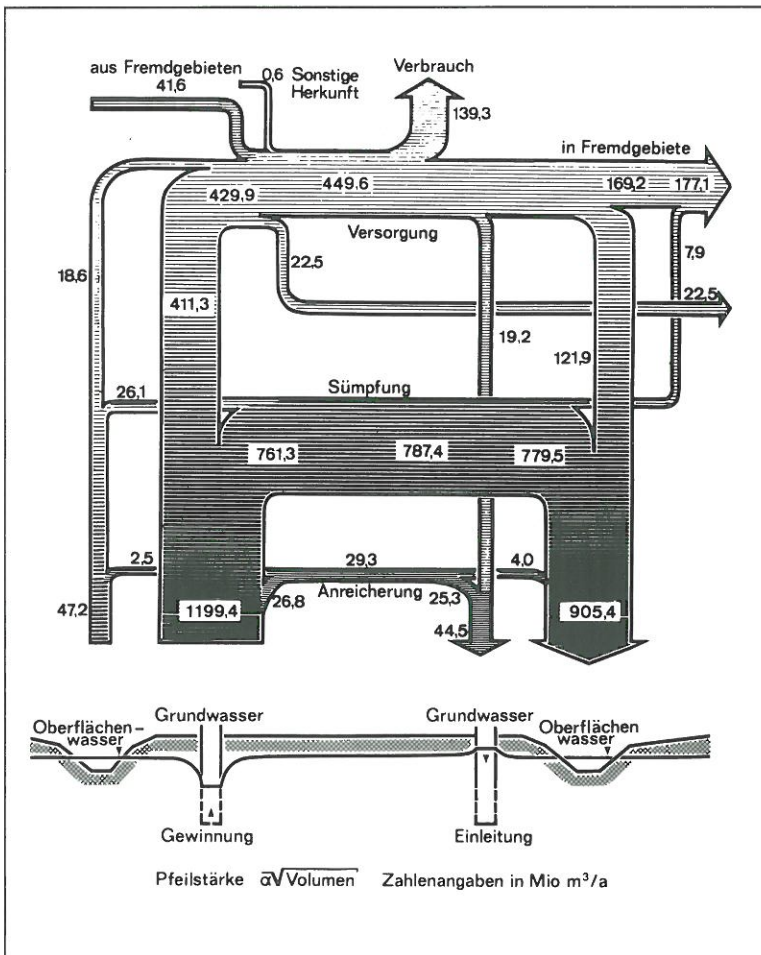
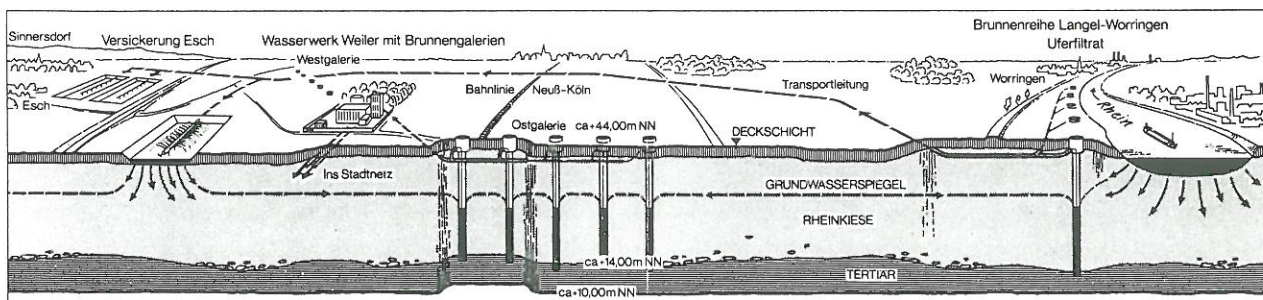


Bild 5.5–8  
Rheinlandschaft unterhalb Leverkusens (Luftbild freigegeben durch Reg. Präs. Stuttgart, Nr. 9/83 235)

Bild 5.5–9  
Gewässernutzung im Erftgebiet 1984/1985



Leverkusen und starken Schiffsverkehr auf dem Rhein.

Von links fließt dem Rhein die Erft zu. Ihre Mündung ist aus dem Hafenbereich Neuss rheinaufwärts verlegt worden. Die Erft entspringt am Nordrand der Eifel und hat ein Einzugsgebiet von 1.832 km<sup>2</sup>. In ihrem Bereich geht der Braunkohlentagebau um. Nachdem er sich aus dem Kölner Raum nach Nordwesten verlagert hat, ist die Erft zum Hauptvorfluter für die Sumpfungswässer der Tieftagebaue geworden. Während ihre Mittelwasserführung vorher bei 5 m<sup>3</sup>/s lag, wurde sie durch die Entwässerung der Tagebaue auf etwa 30 m<sup>3</sup>/s aufgehöhht.

Die Eingriffe in den Wasserhaushalt mit einem jährlichen Entzug bis zu einer Milliarde Kubikmeter Grundwasser sind äußerst einschneidend. Um die erforderlichen Regelungen zu planen und zu überwachen, ist der Große Erftverband auf gesetzlicher Grundlage tätig geworden. Das Bewirtschaftungsschema des Wassers im Erftgebiet geht aus Bild 5.5–9 hervor [Erftverband 1985].

Die hohen Ansprüche an die Trinkwasserversorgung im Niederrheingebiet können nicht allein aus dem Grundwasser gedeckt werden, das sich aus örtlich versickernden Niederschlägen bildet. Dafür wird neben Talsperrenwasser und Teilen des Sumpfungswassers auch in großem Umfange Uferfiltrat aus dem Rhein in Anspruch genommen. Im Norden von Köln ist das Wasserwerk Weiler geschaffen worden, das sein Rohwasser entlang des linken Rheinufer aus Brunnen fördert. Das Wasser wird in Anrei-

cherungsbecken versickert, durch natürliche Bodenpassage aufbereitet, aus Brunnen zurückgewonnen und dann als Trinkwasser verwendet. Bild 5.5–10 zeigt die Anordnung [GEW Köln 1972].

In Düsseldorf wird das rheinnah gewonnene Uferfiltrat durch chemische und biologische Prozesse technisch aufbereitet. Zur Ergänzung kann aufbereitetes Sumpfungswasser aus dem Erftgebiet und zusätzlich auch Wasser aus der Dhünntalsperre genutzt werden. Im ganzen Bereich des Ballungsgebietes bis herab nach Duisburg erstreckt sich bei-

*Bild 5.5–10  
Grundwasseranreicherung und Rückgewinnung im Wasserwerk Weiler*

*Bild 5.5–11  
Der Rhein in Düsseldorf*



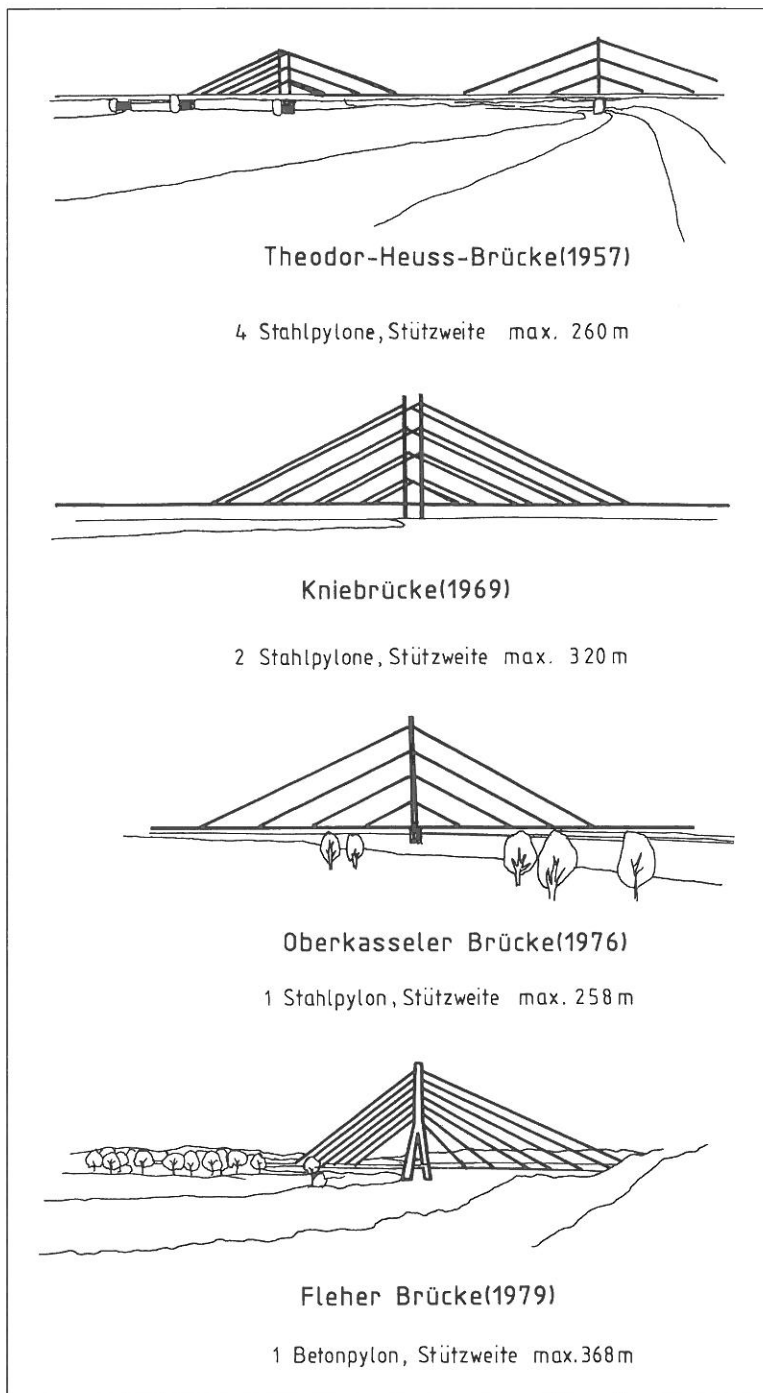


Bild 5.5–12  
Neue Straßenbrücken über den Rhein in Düsseldorf

derseits des Rheins eine Kette von Wassergewinnungsanlagen. Sie nutzen nahezu die gesamte Grundwasserneubildung aus und fördern darüber hinaus ein Mehrfaches dieser Menge an Uferfiltrat. Unterhalb der Erftmündung weist der Rhein bis über Düsseldorf hinaus mehrere enge Mäanderschleifen auf. Sie sind schiffahrtstechnisch unerwünscht, können aber wegen der intensiven seitlichen Geländennutzung nicht mehr abgeflacht werden. So ist vor Düsseldorf-Benrath

auf einer Fließstrecke von 1 km Länge nur ein Radius von 750 m vorhanden. Der Rhein am Stadtkern von Düsseldorf ist auf Bild 5.5–11 zu sehen.

Im Stadtgebiet von Düsseldorf waren 1945 alle Brücken zerstört. Sie mußten neu errichtet werden. Ab 1957 sind die Straßenbrücken einheitlich als Schrägseilbrücken gebaut worden. Bild 5.5–12 zeigt die Entwicklung ihrer Gestaltung.

Der Hochwasserschutz ist in langjährigen Arbeiten so weit vervollständigt worden, daß, abgesehen von kurzen Strecken, heute auch sehr seltene, etwa 1.000-jährige Hochwasser durch Deiche und Mauern gekehrt werden (Bild 5.5–13). Zwei noch nicht bis zu dieser Höhe gesicherte Stellen liegen zwischen Köln und Düsseldorf, rechtsrheinisch im Bereich des Deichverbandes Düsseldorf-Itter/Himmelgeist und linksrheinisch im Bereich Dormagen-Neuß. Es handelt sich um kleine Polder, die dicht bebaut und intensiv genutzt sind. Die Vervollständigung ihres Schutzes steht vor der Vollendung [Schmitz und Kolt 1982].

Linksrheinisch hatte sich im Gebiet des Deichverbandes Meerbusch-Lank unterhalb Düsseldorf beim Hochwasser 1919/20 eine Schleuse mit Stemmtor im Deich des oberen Polderbereiches wegen verkeilender Hindernisse nicht schließen können. Der Polder lief voll. Es kam zum Bruch des Rheindeiches. Das Wasser drohte, über die Straßen zwischen Krefeld und Uerdingen zu strömen und weite Flächen zu überfluten. Da ließ die staatliche Aufsicht den Deich am tiefsten Punkt des Polders sprengen. Dadurch wurde ein Gefällsunterschied von etwa 1,2 m nutzbar gemacht. Das Wasser konnte wieder in den Rhein ausfließen, und große Schäden wurden verhindert.

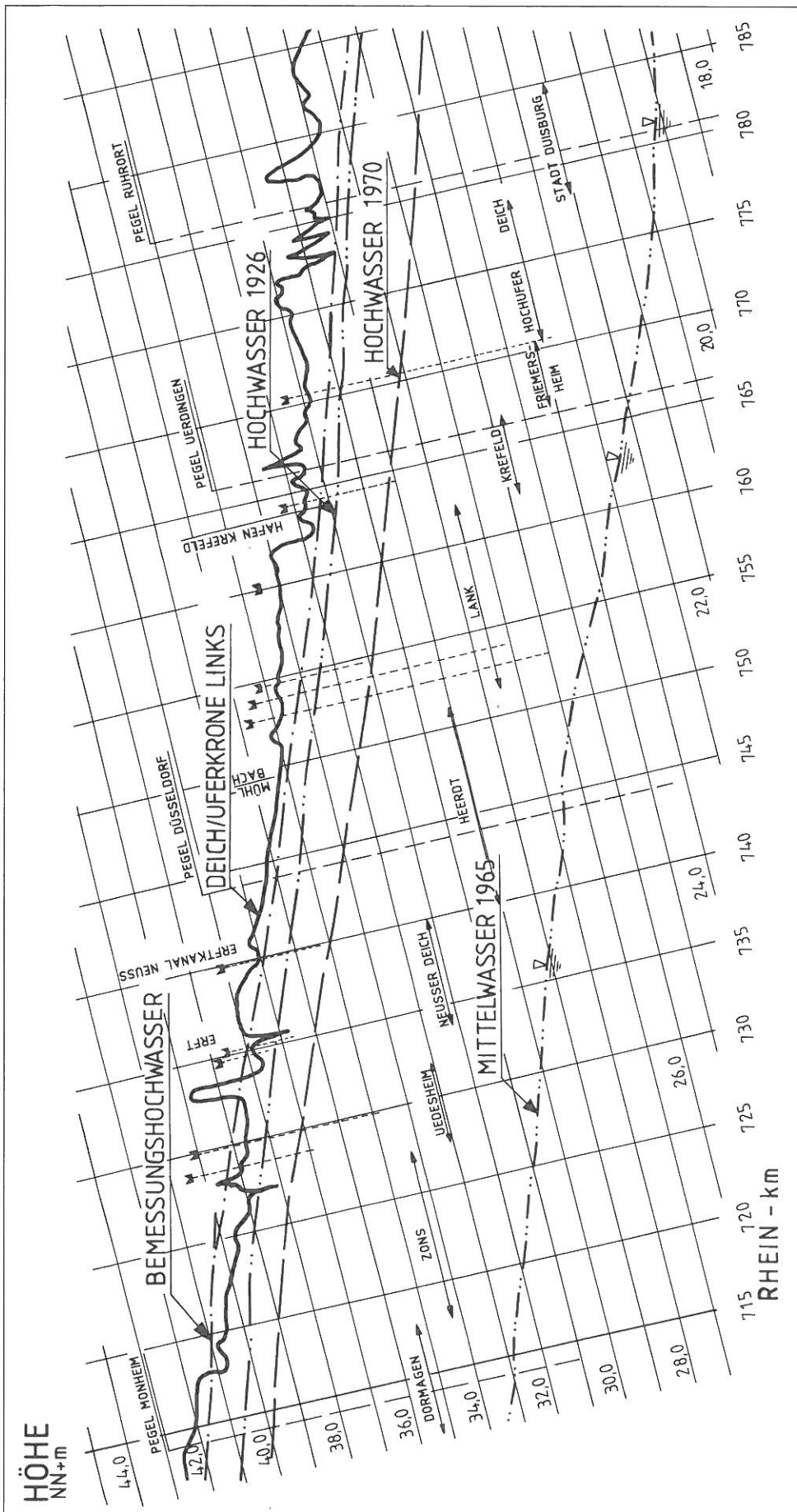


Bild 5.5-13  
 Hochwasserspiegel  
 und Deichhöhen  
 linksrheinisch von  
 Dormagen bis Duis-  
 burg

### 5.5.3 Rheinstraße Duisburg – Wesel

Im Abschnitt 5.5.1 ist das Problem der Geländesenkungen und insbesondere der Sohl- und Spiegelsenkung im Rhein angesprochen worden. Die Sohlabsenkung erreicht bei Duisburg ihren größten Betrag. Gegen die Folgen dieser vom Menschen verursachten Erscheinung sind Maßnahmen ergriffen worden. Sie verfolgen die Ziele, drohende Schäden abzuwehren und auf längere Sicht die Eintiefung des Rheins zu beenden, so daß wieder ein Beharrungszustand eintritt.

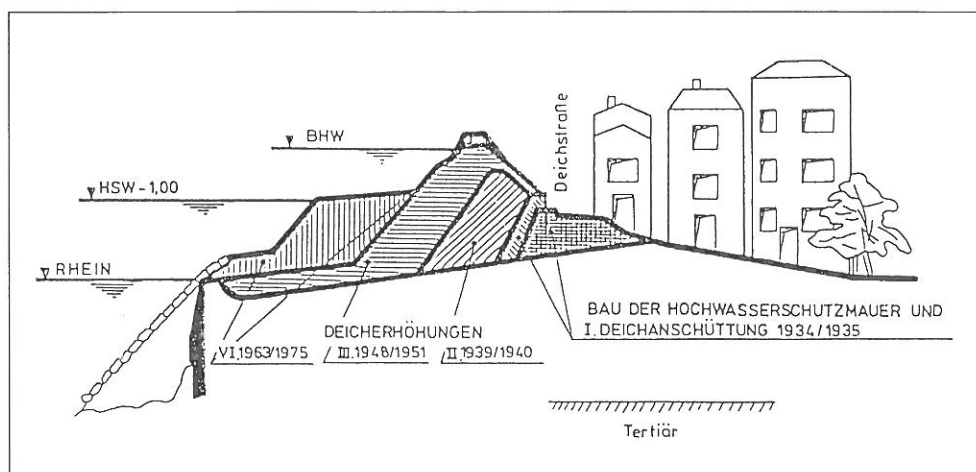
Aus dem Abraum der Steinkohlenzeche Walsum sind in den Jahren 1976 bis 1986 rd. 24 Millionen t zur Auffüllung von Senkungsmulden im Rhein und auf den Vorländern eingebaut worden. Für die Duisburg-Ruhrorter Hafenanlagen mußte die Sohleintiefung des Rheins kompensiert werden. Unter Vermeidung großer Nachbaggerungen wurde dies hauptsächlich durch bergbauliche Maßnahmen erreicht. Die Zeche Westende führte den Kohlenabbau in solcher Weise aus, daß das Hafengelände in Anpassung an die veränderten Niedrigwasserhältnisse abgesenkt wurde.

Andererseits bedingte die Geländesenkung höhere Schutzanlagen, weil die Hochwasserspiegel sich kaum veränderten. Bild 5.5–14 gibt die in mehreren Stufen ausgeführten Deicherhöhungen am rechten Rheinufer in Duisburg-Laar

unterhalb der Ruhrorter Hafenanlagen wieder. Der anschließende Hafen ist den Wasserspiegelschwankungen des Rheins ausgesetzt. Dagegen sind der Duisburger Innenhafen und die im Umkreis einmündenden Wasserstraßen durch Hochwasserverschlüsse gesichert worden. Wenn genügend Gelände zur Verfügung stand, wurden notwendige Deicherhöhungen mit Sicherungen durch wasser- und landseitige Vorschüttungen vorgenommen, um die freie Deichhöhe auf 7 m zu begrenzen. Ein Beispiel ist in Bild 5.5–15 schematisch dargestellt. Es betrifft das linke Rheinufer bei Baerl unterhalb Duisburg. Hier war hinter der Banndeichlinie infolge von Auskolkungen bei einem früheren Deichbruch eine Teichlandschaft entstanden. Sie hatte sich zu einem schutzwürdigen Biotop entwickelt. Um sie zu sichern, wurde sie mit einem, den höchsten Druckwasserspiegel überragenden, Ringdeich eingefafßt, der landseitig an den Banndeich anschließt.

Zum Hochwasserschutz dienen in der Regel Erddeiche, deren Krone um einige Dezimeter über dem Bemessungshochwasser, einem etwa 1.000-jährigen Ereignis, liegt. Die Deiche sind auf beiden Rheinufern vollständig hergestellt. Wünschenswert ist noch eine Vereinheitlichung der unterschiedlichen Deichabstände bzw., soweit dies wegen der Bebauungen nicht mehr möglich ist, die Abgrabung von Vorländern an Stellen mit geringem Deichabstand. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die

Bild 5.5–14  
Anpassung des Hochwasserschutzes an die Geländesenkung in Duisburg-Laar (überhöhte Darstellung)



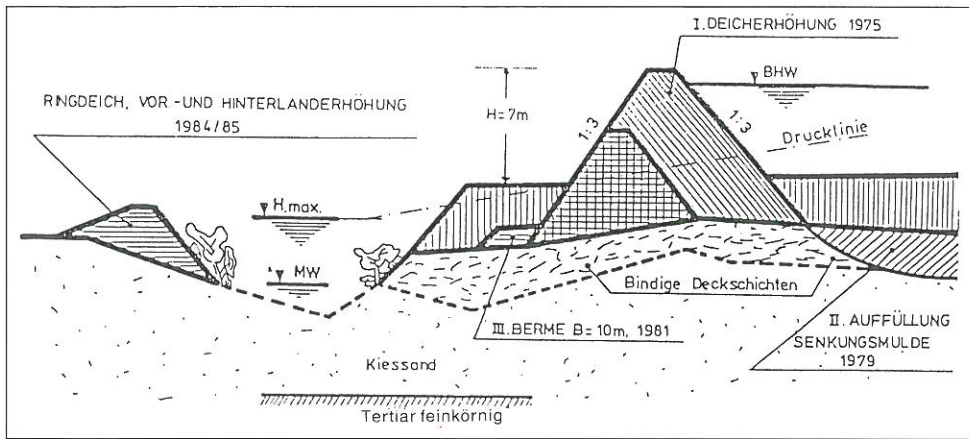
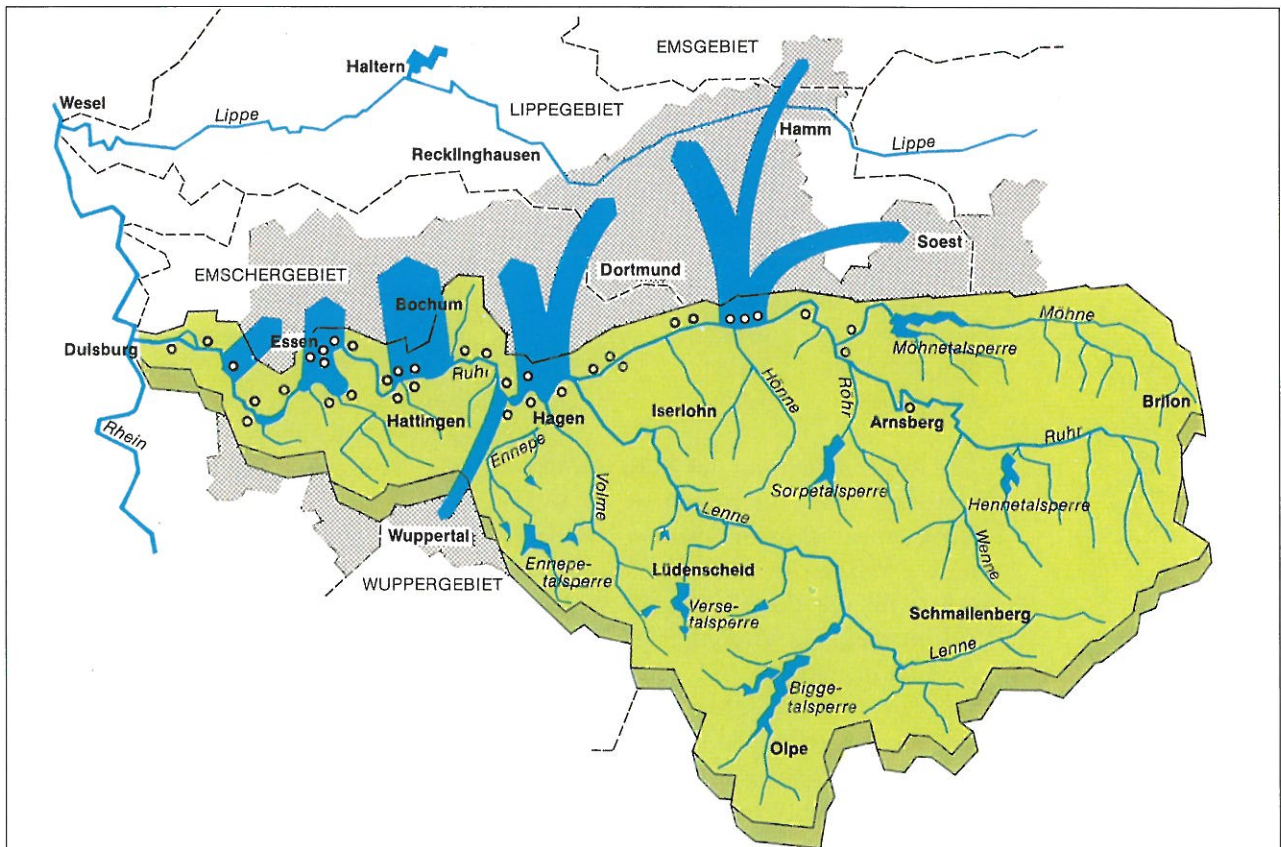


Bild 5.5-15  
Deicherhöhung mit  
Vorschüttungen  
(überhöhte Darstellung)

anschließenden Deiche nicht zu hoch über das Vorland ragen sollen, um sie nicht zu starken Angriffen des Hochwassers auszusetzen. Angestrebt werden Vorlandformen, die 80 cm über der Streichlinie bei Mittelwasser ansetzen, auf 200 m Breite mit 1:200 ansteigen und dann 1:500 bis an den Deich verlaufen. Hinter den Deichen liegen Polder, die bei Hochwasser durch Schöpfwerke entwässert werden. In entsprechender Weise sind auch die Schutzaufgaben an den Mündungen der Nebengewässer des Rheins gelöst.

Bei Duisburg mündet die Ruhr in den Rhein. Sie hat 4.488 km<sup>2</sup> Einzugsgebiet, ein von Natur aus schroffes Abflußregime und gefährliche Hochwasser. Die großen Ansprüche von Bevölkerung und Wirtschaft an das Wasser haben zu umfangreichen Ausbauten und Regelungen Anlaß gegeben. Bisher hat der Ruhrtalesperrenverein 471 Millionen Kubikmeter Stauraum in Talesperren geschaffen, davon 172 Millionen Kubikmeter in der Biggetalsperre, dem größten Einzelbauwerk. Die Lage der Talesperren ist auf Bild 5.5-16 zu sehen.

Bild 5.5-16  
Übersichtskarte des  
Gebietes der Ruhr  
mit Talesperren, Was-  
serwerken und Über-  
leitungen



Durch Einstau in den Talsperren kann der Hochwasserabfluß weitgehend in schadlose Bereiche abgemindert werden. Welche Bedeutung dies hat, geht aus der Hochwasserkatastrophe 1890 hervor, die vor dem Talsperrenbau eingetreten ist. Dabei flossen an der Ruhrmündung 2.200 m<sup>3</sup>/s ab. Noch größere Schäden als 1890 sind entstanden, als die Mauer der gefüllten Möhnetalsperre 1943 durch einen Luftangriff zerstört worden ist.

Aus den Talsperren wird der durch Wassernutzungen verringerte Niedrigwasserabfluß bezuschußt. Das Flußwasser wird in großem Umfange für die Trinkwasserversorgung genutzt. Die Wasserwerke, in Bild 5.5–16 durch Kreise angedeutet, entnehmen das Wasser unmittelbar aus der fließenden Welle oder mittels Sickergalerien als Uferfiltrat. Mehrere Aufbereitungsschritte des Wassers schließen sich vor seiner Verwendung für die Trinkwasserversorgung an.

Das aufbereitete Flußwasser wird nicht nur im Einzugsgebiet der Ruhr selbst verwendet, sondern größtenteils in benachbarte Gebiete übergepumpt. Bild 5.5–16 macht die Überleitungsrichtungen anschaulich. Auf die Fremdgebiete verteilt sich das übergeleitete Trinkwasser wie folgt [Ruhrverband/Ruhraltalsperrenverein 1988]:

Emschergebiet	78,0%
Lippegebiet	20%
Wuppergebiet	1,6%
Emsgebiet	0,4%

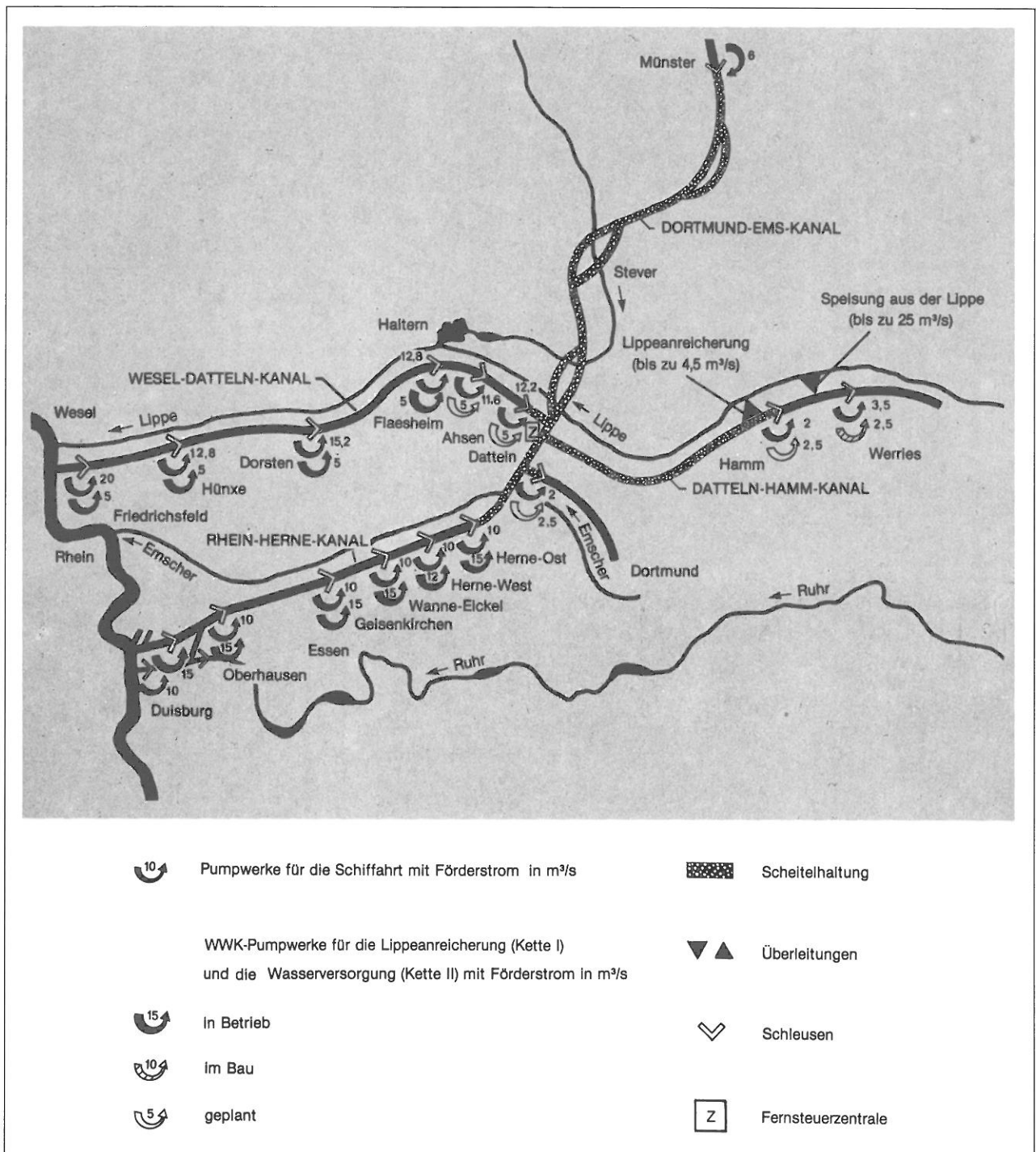
Die frühere Nutzung der Ruhr als Wasserstraße zum Gütertransport ist 1890 aufgegeben worden. Seither ist das untere Ruhrtal in eine Erholungslandschaft für die Bevölkerung umgewandelt worden. Sie wird mit ihren Wassersportmöglichkeiten in großem Umfange genutzt. Zwischen 1928 und 1980 sind fünf künstliche Seen für die Verbesserung der Wasserbeschaffenheit und für den Wassersport angelegt worden.

Das Abwasser, das aus dem der Ruhr entnommenen Versorgungswasser und anderen Herkünften anfällt, fließt in großer Menge der Emscher zu. Sie ist seit 1903 zum Hauptentwässerungssammler des Industriegebietes ausgebaut worden. Ihr Einzugsgebiet umfaßt 857 km<sup>2</sup>. Die Mündung mußte infolge der Bergsenkungen von Duisburg rheinabwärts in zwei Schritten bis Walsum verlegt werden. Das Emschergebiet gehört zu den am dichtesten besiedelten und industriell genutzten Gebieten Deutschlands. Bis zum Jahre 2000 werden etwa 20% seiner Flächen durch Bauten, Straßen und Plätze oberflächlich versiegelt sein, so daß sich aus den Niederschlägen extrem hohe Abflußspitzen bilden.

Als unterster großer Nebenfluß mündet die Lippe bei Wesel in den Niederrhein. Sie hat 4.866 km<sup>2</sup> Einzugsgebiet und weist das Abflußregime eines Flachlandflusses auf. Früher wurde sie bis Lippstadt aufwärts als Schifffahrtsweg benutzt. Seit 1931 ist der Schiffsverkehr auf den parallel zur Lippe gebauten Wesel-Datteln-Kanal und den anschließenden Datteln-Hamm-Kanal übergegangen (Bild 5.5–17).

Ab Duisburg vermittelt der Rhein-Herne-Kanal seit 1914 den Schiffsverkehr durch das Ruhrgebiet bis zum Anschluß an den 1899 in Betrieb genommenen Dortmund-Ems-Kanal bei Datteln. Dieser schafft die Verbindung zur Nordsee bei Emden und über den Mittellandkanal zu Weser und Elbe. Alle Kanäle sind seit 1963 für das Europaschiff mit 1.350 t Ladefähigkeit und 2,50 m Tiefgang befahrbar [WSD West 1987].

Um die Wasserfüllung der Kanäle sicherzustellen und Wasserentnahmen von Gewerbe und Landwirtschaft zu ermöglichen, sind Rückpumpwerke an den Kanalschleusen errichtet worden. Sie erlauben es, Wasser aus dem Rhein bis in die Scheitelhaltungen zu fördern. Auch eine Anreicherung der Lippe bei Niedrigwasser ist dadurch möglich geworden (siehe Bild 5.5–17).



Bei den Kanälen sei noch der Nordkanal zwischen Neuss am Rhein und Venlo an der Maas erwähnt. Sein Bau wurde Anfang des 19. Jahrhunderts als Wasserstraße für 200 t-Schiffe in Angriff genommen. Aus politischen Gründen wurde er 1811 aber wieder eingestellt. Nach 1820 wurde der östliche Teil bis zur Niers auf privater Basis in Betrieb genommen und bis 1850 mit Schiffen von etwa 25 t Tragfähigkeit befahren.

Dann kam der Schiffsverkehr infolge der leistungsfähigeren Konkurrenz durch die Eisenbahn zum Erliegen [Scheller 1980].

Die Konzentrationen der Wirtschaft am Niederrhein und die günstigen Verhältnisse für den Wasserverkehr haben sehr bedeutende Umschläge von Schiffsgütern zur Folge gehabt, zumal auch kleinere Küstenschiffe den Rhein befahren

*Bild 5.5-17 Kanäle am Niederrhein und ihre Speisung*



*Bild 5.5–18  
Häfen in Duisburg-  
Ruhrort (Luftbild des  
Kommunalverbandes  
des Essen, freige-  
geb. durch Reg.-  
Präs. Münster, Nr. 15  
329/81)*

können. In Duisburg ist der größte Binnenhafen der Welt entstanden (Bild 5.5–18). Sein Ausbau – das erste Hafenbecken entstand 1730 – erfolgte hauptsächlich zur Verschiffung von Steinkohle. Heute befindet sich der Hafen in der Trägerschaft einer Aktiengesellschaft, an der die Bundesrepublik Deutschland, das Land Nordrhein-Westfalen und die Stadt Duisburg im gleichen Verhältnis beteiligt sind. Der Umschlag erstreckt sich auf eine Vielzahl von Gütern. Im Jahre 1989 ist eine 10 ha große Fläche zum Freihafen erklärt worden [Bundesgesetzblatt 39, 1989].

Der Güterumschlag in den 11 Häfen am Niederrhein ist für das Jahr 1984 aus Tabelle 5.5–1 zu ersehen. Duisburg ist daran mit 42% beteiligt. Bedeutende Umschlagzahlen erreichen auch Wesseling, Köln, Neuss, Düsseldorf und Krefeld, während von Wesel abwärts der Umschlag gering wird. Düsseldorf hat besondere Bedeutung als Container-Terminal gewonnen [Stadtverwaltung Düsseldorf 1985].

Wichtige Massengüter der Schifffahrt sind u.a. Kies und Sand. Sie werden in großen Mengen örtlich aus den Boden-



Hafen	Umschlag (1.000 t)
Bonn	542
Wesseling	3.879
Köln	9.895
Neuss	4.931
Düsseldorf	2.679
Krefeld	3.691
Moers	1.682
Duisburg	20.519
Wesel	451
Emmerich	380
Kleve	121
Summe	48.770

Tabelle 5.5-1  
Güterumschlag 1984  
der Häfen am Nie-  
derrhein [WSD West  
1985]

schichten oberhalb des meist feinkörnigen Tertiärs gewonnen. Während die Kiesentnahme aus dem Rhein, außer bei örtlichen Baggerungen zur Erhaltung der Schiffahrtsrinne, eingestellt worden ist, sind begrenzte Auskiesungen auf breiten Vorländern zugelassen. Zwischen den Baggerlöchern und dem Strom werden Einfahrten mit 50 m Sohlbreite geschaffen. Um die Abbaufächen herum sind Sicherheitsstreifen festgelegt, damit die Rheinufer und die Deiche nicht vom Hochwasser angegriffen werden. Abraummassen werden wieder eingebaut, ausgebeutete Flächen nach Maßgabe des verfügbaren Materials aufgefüllt und landschaftsgerecht rekultiviert. Aus Tabelle 5.5-2 ist der Umfang der Maßnahmen zu ersehen.

Am Niederrhein sind noch sechs der früher zahlreichen Fähren in Betrieb. Die Fähre zwischen Rheinberg-Orsoy und Duisburg-Walsum (Bild 5.5-19) bleibt bis zu extrem hohen Wasserständen im Einsatz. Neuerdings hat der Bau zusätzlicher Rheinbrücken dazu geführt, daß

die Fähren zwischen Emmerich und Kleve sowie zwischen Düsseldorf-Itter und Neuss – Uedesheim aufgegeben worden sind. Weitere Fähren dürften eingestellt werden, wenn die geplanten Autobahnbrücken der A40 und A42 bei Orsoy-Walsum, der A44 bei Kaiserswerth-Lank und der A54 bei Hitdorf-Langel errichtet würden. Für die örtliche Bevölkerung hätte dies auch Nachteile; denn die persönliche Begegnung und der Kontakt der Menschen von einem Ufer zum anderen würden erschwert.

Bild 5.5-19  
Rheinfähre bei Duis-  
burg-Walsum



Bezeichnung	Stadt Duisburg	Kreis Wesel
abgeschlossen und rekultiviert	105	1.400 <sup>1</sup>
in Auskiesung bzw. Verfüllung	50	910
zur Auskiesung beantragt	60	250
Summe	215	2.560

Tabelle 5.5-2  
Bodenentnahmen im  
Rheinvorland (betrof-  
fene Flächen in ha,  
Stand 1987)

<sup>1</sup> davon 490 ha mit Bergbauabraum verfüllt

### 5.5.4 Rheinstrecke Wesel – Emmerich

Von Wesel-Flüren rechtsrheinisch und Xanten-Beek linksrheinisch bis zur niederländischen Grenze ist die Landschaft des Rheintales noch weitgehend von der Natur und von der landwirtschaftlichen Nutzung geprägt. Ihre Besiedelung ist bei weitem nicht so dicht, wie an der oberhalb gelegenen Stromstrecke. Der Rhein ist als leistungsfähige Schifffahrtsstraße ausgebaut. Seitliche Talflächen sind in zurückliegenden Zeiten immer wieder durch Hochwasser betroffen worden. Die Überschwemmungen haben häufig Verluste an Menschenleben und schwere wirtschaftliche Rückschläge verursacht.

In diesem Gebiet ist das Mädchen *Johanna Sebus* bei der Rettung von eingeschlossenen Frauen und Kindern aus dem Hochwasser ertrunken. *Johann Wolfgang von Goethe* hat sie in einem Gedicht geehrt. Darin heißt es:

Der Damm zerreißt, das Feld erbraust,  
Die Fluten spülen, die Fläche saust.  
Ich trage dich, Mutter, durch die Flut...

»Zum Andenken der siebzehnjährigen Schönen Guten aus dem Dorf Brienen, die am 13. Februar 1809 bei dem Eisgang des Rheines und dem großen Bruch des Dammes von Cleverham Hülfe reichend unterging.«

Der von Kaiser Napoleon verfügte Ge-

denkstein steht noch heute auf dem Deich bei Brienen.

Die Deiche sind seither immer weiter verbessert und erhöht worden. Der letzte Bruch eines Banndeiches, bei dem Menschenleben zu beklagen waren, geschah 1855 bei Bislich. Eine bedeutende Verbesserung des Hochwasserschutzes ist noch in den Fünfzigerjahren dieses Jahrhunderts erfolgt. Für die geplante Rheinbrücke zwischen Emmerich und Kleve (Bild 5.5–20) hätte im bestehenden Zustand mit Sommerdeichen eine 5 km lange hochwasserfreie Anschlußstraße mit Flutöffnungen linksrheinisch gebaut werden müssen. Statt dessen entschloß man sich, den Banndeich auf 11 km Länge vorzuverlegen. Die Kronenhöhe wurde mit Freibord gegenüber einem Abfluß von 15.000 m<sup>3</sup>/s gewählt. Der höchste, am Pegel Emmerich registrierte Abfluß war 1926 eingetreten und hatte 12.000 m<sup>3</sup>/s betragen.

Der Deichbau hatte die Umsiedlung landwirtschaftlicher Hofstellen zur Voraussetzung. Er wurde mit einer großen Vorlandabgrabung und Deicherhöhungen auf dem rechten Rheinufer verbunden. In die hydraulischen Überlegungen mußte die 1918 in einem Vertrag zwischen den Niederlanden und Deutschland vereinbarte Schließung der Lobither Kribbe und der dadurch im Rhein bedingte Rückstau einbezogen werden. Pumpwerke an drei Vorflutern zum Rhein, der Kalflack, dem Kellener Altrhein und dem Spoykanal, ergänzten die Entwässerung und hoben nun auch das Qualmwasser bei hohen Rheinwasserständen aus dem Polder.

Der rechtsrheinische Deich verläuft auf dem etwas höheren Ufer von Wesel-Bislich über Rees bis Emmerich-Elten. Da das hinterliegende Gebiet unzureichende Vorflut hatte und unter Hochwasser litt, wurde beim Wiener Kongreß zwischen Preußen und den Niederlanden vereinbart, daß die »Vereinigten Deichschau« von Wesel-Bislich bis Emme-

Bild 5.5–20  
Rheinbrücke Emmerich-Kleve



rich-Hüthum ihre Vorflut durch den Bau eines künstlichen Wasserlaufes, den Netterdenschen Kanal, zum Nederrijn ausbauen sollten. Dieser Vorfluter ist heute noch vorhanden, durch den Bau von zwei Schöpfwerken bei Rees und Emmerich allerdings weitgehend entbehrlich geworden. Nur für das Wasser der Wild bei Elten ist er noch erforderlich.

Auch linksrheinisch ist in der Kranenburger Niederung die Wasserwirtschaft grenzüberschreitend geregelt worden. Der deutsche Deichverband »Kleve-Landesgrenze« und der niederländische Polderdistrikt »Groot Maas en Waal« arbeiten zusammen. Für eine niederländische Gemeinde ist die Vorflut nur über deutsches Gebiet gegeben. Die beiden Verbände haben 1935 bei Nimwegen ein gemeinsames Schöpfwerk gebaut. Es ist in den letzten Jahren technisch vervollkommen worden (Bild 5.5–21). Der deutsche »Deichgraf« und ein weiterer Vertreter haben im Deichstuhl, dem Vorstand des niederländischen Verbandes, Sitz und Stimme.

Weite Vorländer vor den Banndeichen sind durch Sommerdeiche geschützt. Die Sommerpolder kommen bei größeren Hochfluten unter Wasser, im wesentlichen im Winter. Früher war die Überflutung mit Rheinwasser wegen dessen düngender Wirkung erwünscht. Nach den alten Deichbüchern wurde sie für die Bislicher Insel, Grietherbusch und Salmorth außerhalb der Vegetationsperiode planmäßig angestrebt. Gegenwärtig ist sie wegen belastender chemischer Beimengungen des Rheinwassers nicht erwünscht. Bei dem großen Sommerhochwasser 1983 liefen die Sommerdeiche auf der Bislicher Insel und im Polder Grietherbusch über. Das Wasser zerstörte die Deiche teilweise von der Binnenseite her, eine Erscheinung, der nur durch umfangreiche Befestigungsmaßnahmen zu begegnen ist.

Im Schutze der Banndeiche und Schöpfwerke konnte die gewerbliche Wirt-

schaft sich entwickeln. Es handelt sich hauptsächlich um Nahrungsmittelindustrie. Für Neubauten von Großkraftwerken ist der Raum ins Auge gefaßt; denn seine geringe Besiedlung und das große Dargebot des Rheines an Kühlwasser ergeben aus der Sicht der Energiewirtschaft günstige Standortbedingungen.

An der Niederrheinstrecke unterhalb Wesel bieten sich besonders günstige Wassersport- und Erholungsmöglichkeiten. Auf der Grav-Insel bei Wesel befindet sich einer der größten Campingplätze am Rhein mit 2.200 Dauerstellplätzen für Wohnwagen. Er wird von über 200.000 Besuchern im Jahre genutzt. Da die Anlage nicht hochwasserfrei liegt, ein Nachteil, dem viele Freizeiteinrichtungen ausgesetzt sind, müssen die Campingwagen während hochwassergefährlicher Zeiten aus dem

Bild 5.5–21  
Schöpfwerk Nimwegen



Überschwemmungsgebiet entfernt werden. Das gleiche gilt für den Campingplatz auf der Bislicher Insel, die nur durch Sommerdeiche geschützt ist, und für die Campinganlagen bei Reeserschanz. Hier gibt es ebenso wie bei Wesel, Emmerich und im oberen Kellener Altrhein Liegeplätze für Motor- und Segelboote (Bild 5.5–22).

Erholung und Wassersport haben auch in Auskiesungsbereichen binnenseits der Banndeiche eine große Bedeutung gewonnen, nachdem die erforderlichen Ausstattungen erfolgt sind. Dies gilt u.a. für die Seeflächen im Gebiet der Wisseler Dünen zwischen Kalkar und Kleve sowie für die entstehenden Wasserflächen zwischen Kalkar und Vynen. In der Nähe läßt der Landschaftsverband Rheinland das römische Castra Ulpia Trajana ausgraben und in wesentlichen Teilen wiederherstellen.

der Schifffahrt und die Belange des Hochwasserschutzes ist in entsprechender Weise auf niederländischem Boden weitergeführt.

*Bild 5.5–22  
Wassersporthafen in  
einer Kiesgrube bei  
Kalkar*

Der Niederrhein verläßt das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland bei Strom-km 858/865. Sein Ausbau für die Festlegung des Laufes, die Bedürfnisse



## 5.6 Der Bovenrijn und seine Verzweigungen

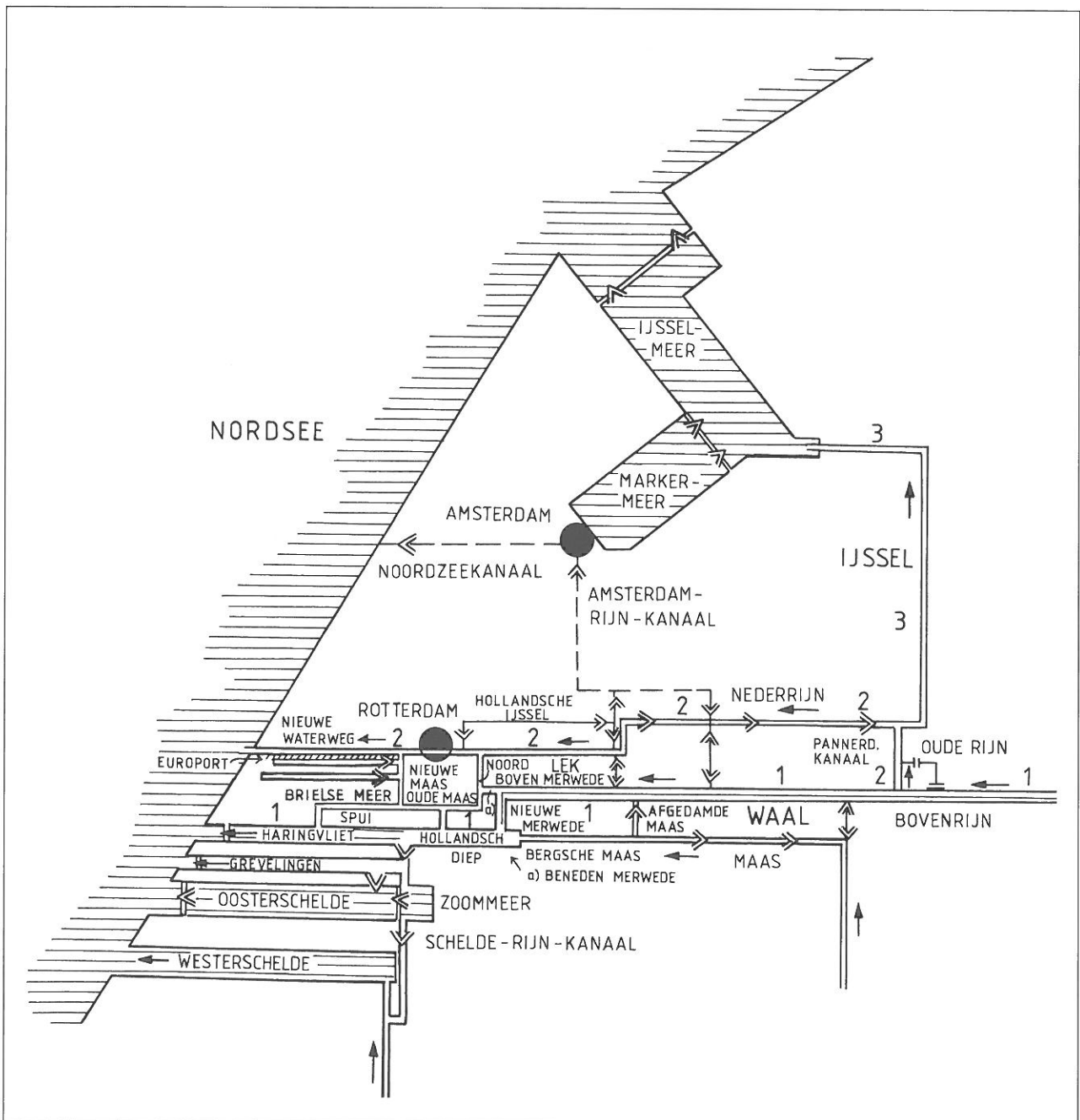
### 5.6.1 Übersicht

Der Niederrhein trägt von der deutsch-niederländischen Grenze ab den Namen »Bovenrijn«. Er verzweigt sich in den Hauptarm Waal und den Nebenarm Pannerdensch Kanaal, der von der Einmündung des Oude Rijn ab den Namen »Nederrijn« trägt und von dem die IJssel abgeht (Bild 5.6-1). Waal und Nederrijn weisen in ihrem Verlauf weitere

Verzweigungen auf. Aus der von Natur instabilen Auffächerung der Wasserläufe, der Flachheit des Mündungsgebietes und dem Einfluß der Nordsee mit Tide, Sturmfluten und Salzwasser sind in den Niederlanden sehr umfangreiche und schwierige Aufgaben erwachsen, um das Land nutzbar und seine Besiedlung sicher zu machen.

Wie in Abschnitt 4.7 oben ausgeführt ist, waren bereits vor 1800 systematische Deichbauten und Anlagen zur Vorflutbeschaffung entlang der Flüsse und tief

Bild 5.6-1  
Schema der hauptsächlichsten Gewässer in den Niederlanden, Zustand 1986



gelegener Küstenstrecken durchgeführt worden. Deichverteidigung und Instandsetzung waren organisiert (Bild 5.6–2). Nach 1800 können im Wasserbau und der Wasserwirtschaft der Niederlande drei Perioden mit unterschiedlichen Zielsetzungen und Aktivitäten unterschieden werden. Für die erste Periode ist die damalige Auffassung kennzeichnend, daß der Hochwasserschutz der wirtschaftlich wichtigsten Gebiete durch Entlastungen der Flüsse in Mulden des Hinterlandes zu gewährleisten sei. In der folgenden Periode nach 1850 kam man davon ab. Mit immer größerem Einsatz ging man daran, die Flüsse für die vollständige Hochwasserabführung auszubauen, zugleich ihre Schiffbarkeit zu verbessern und sie in ein Gleichgewicht von Erosion und Auflandung zu bringen.

In der dritten Periode seit den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts wurden die vorangegangenen Maßnahmen vervollkommen. Als neue Vorhaben kamen große Abschlußarbeiten an der Nordseeküste hinzu, um die Küstenlinie zu verkürzen, die Sturmflutgefahr zu bannen und um Land zu gewinnen. Zur Verbesserung der Schifffahrtsbedingungen wurden außerdem Schleusen- und Kanalbauten im Hinterland unternommen. Hier führten überdies die wirtschaftlichen Entwicklungen zu umfassenden Flächenentwässerungen und zu

*Bild 5.6–2  
Instandsetzung eines  
Deiches nach Sturm-  
flutschaden im Delta-  
gebiet bei Zierikzee*



überörtlichen Wasserversorgungen mit aufbereitetem Wasser des Rheines und der Maas.

Die drei Perioden sind anschließend in den Abschnitten 5.6.2 bis 5.6.4 behandelt. Darin ist nach Möglichkeit eine Reihenfolge eingehalten, die in der Schemazeichnung der Hauptgewässer, Bild 5.6–1, angegeben ist. Es betreffen

Ziffer 1: Bovenrijn, Waal, Merwede, Haringvliet,

Ziffer 2: Pannerdensch Kanaal, Nederrijn, Lek, Nieuwe Maas, Nieuwe Waterweg,

Ziffer 3: IJssel und IJsselmeer (Zuiderzee).

Wegen übergreifender Probleme konnte die Reihenfolge nicht in allen Fällen eingehalten werden. Auch wurden zeitliche Rückgriffe vor 1800 und zwischen den Abschnitten erforderlich. Zur IJssel ist zu bemerken, daß sie nicht zum »konventionellen« Rhein nach der Mannheimer Akte von 1868 gehört (siehe Abschnitt 5.4.2 oben).

### **5.6.2 Die Periode der seitlichen Hochwasserentlastungen**

Große Teile der Niederlande liegen unter dem Hochwasserniveau der Flüsse und der Nordsee. Sie müssen durch Deiche und Schöpfwerke vor Überschwemmung und Vernässung geschützt werden. Auf ständige Hebung des überschüssigen Binnenwassers sind ausgedehnte Tiefflächen angewiesen. In Anpassung an die sich entwickelnden Bedürfnisse und die technischen Möglichkeiten haben die Bewohner sich bemüht, Schutzbauten gegen Überschwemmungen zu schaffen, zuerst ihre Wohnflächen und dann auch die landwirtschaftlichen Nutzflächen zu sichern. Bereits im Mittelalter waren die durchgehenden Deiche entlang der Flüsse vollendet worden. An diesen gab es die Besonderheit, daß mit Absicht schwache Deichstrecken gestaltet wurden, um in Notfällen bei sehr hohen Flußwasser-

ständen, insbesondere als Folge von Eisversetzungen, Entlastungsmöglichkeiten zu haben. Die Schwachstellen lagen so, daß bei ihrem Bruch oder Durchstich das Wasser ins Hinterland auf Tiefflächen ausströmte, in Geländemulden, deren Nutzwert gering war und wo kein bedeutender Hochwasserschaden eintreten konnte. Dadurch wurden kritische Flußwasserstände gesenkt und die Hochwassergefährdung wertvoller Polderflächen abgemindert.

*Vorschläge für zusätzliche Entlastungen:*

Im 18. Jahrhundert kam es zu Vorschlägen, neue seitliche Entlastungsmöglichkeiten zu schaffen. Auch wollte man den Rückfluß des ausgeferten Wassers nach dem Abklingen des Hochwassers regeln. Nachdem eine zentrale Landesverwaltung am Ende des 18. Jahrhunderts gebildet worden war, nahmen die Vorschläge konkrete Gestalt an. Sie werden nachstehend aufgeführt, fußend auf Angaben des Rijkswaterstaat [u.a. des Algemeene Dienst van den Waterstaat 1848–1878] sowie der Autoren Van den Toorn [1890] und Van Petersen [1978].

Im Jahre 1809 gründete der damalige König Ludwig Bonaparte anlässlich ausgedehnter Überschwemmungen das »Comité Central du Waterstaat« und gab ihm den Auftrag, einen Plan zur Abflußregelung aufzustellen. Die Kommission legte einen Bericht vor. Darin empfahl sie unter anderem, den Bovenrijn über den rechten Banndeich in Richtung auf die IJssel weitgehender zu entlasten. Im Zusammenhang damit sollte die Mündung des Oude Rijn abgedämmt werden. Im Zuge der IJssel sollten ebenfalls seitliche Entlastungen geschaffen und Abflußhindernisse im Hochwasserbett beseitigt werden.

Nach weiteren Überschwemmungen wurde 1821 eine Staatskommission von König Wilhelm I. berufen, um Abhilfen vorzuschlagen. Die Kommission prüfte verschiedene Vorschläge und Möglichkeiten. Sie verwarf eine umfassende

Deicherniedrigung und auch den Bau eines allgemeinen Ausleitungssystems der Hochwasser in tiefer gelegenes Hinterland. Ihre wichtigsten Ratschläge im einzelnen waren, anstelle des Oude Rijn eine neue, leistungsfähigere Zuleitung zur IJssel zu bauen, die Oude Merwede abzudämmen und deren bisherigen Hochwasserabfluß in einer neu zu bauenden Merwede quer durch den Biesbosch zu führen [Rapport aan Zijne Majesteit ..., 1827].

Eine dritte Kommission berichtete im Jahre 1849. Sie befürwortete mehrere der vorangegangenen Vorschläge. Nach dem Prinzip der seitlichen Entlastung waren damals schon eine Anzahl von seitlichen Hochwasserüberläufen und -umleitungen ausgeführt worden. Jedoch bereits ein Jahr später ließ man dieses Prinzip fallen [Van der Toorn 1890].

*Ausgeführte seitliche Entlastungen:*

Nach der 1707 erfolgten Herstellung des Pannerdensch Kanaal (siehe Abschnitt 4.7) wurde die Hochwasserführung des Oude Rijn schrittweise geändert. Sein offener Zulauf vom Bovenrijn wurde 1780 in einen Überlauf verwandelt (Ü1 in Bild 5.6–3), den Spijkse Overlaat. Er vermochte die Überlaufmengen bei großen Rheinabflüssen, u.a. bei Eisstau, allerdings nicht vollständig abzunehmen. Bereits durch Überläufe oberhalb kam es zu Überschwemmungen vom Grenzbach Wild bis zur IJssel. Der Unterlauf des Oude Rijn wurde nicht, wie zunächst beabsichtigt, abgedämmt, sondern blieb offen.

Im rechten Banndeich des Oude Rijn wurde der Lijmerse Overlaat gebaut (Ü2 in Bild 5.6–3). Überlaufendes Hochwasser sollte über tiefegelegene Geländeflächen binnendeichs auf die IJssel zufließen. In ihrem rechten Banndeich wurde zur Aufnahme dieses Überlaufwassers 1809 der Bingerdense Overlaat (Ü3) gebaut. Über ihn ist dann nur Überschwemmungswasser gelangt, das oberhalb Ü1 aus dem Niederrhein ausgetreten war.



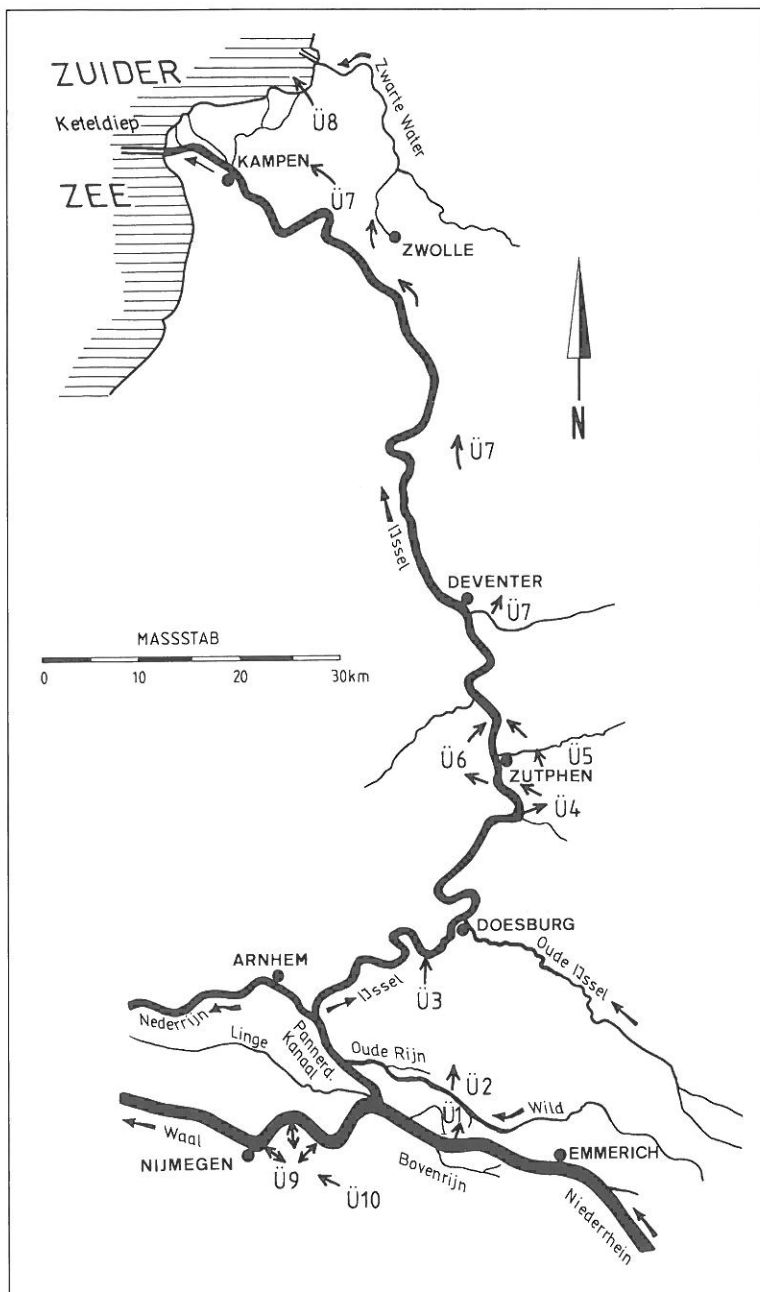


Bild 5.6-3  
Hochwasserentlastungen an Bovenrijn und IJssel

Da die genannten seitlichen Entlastungen sich nicht bewährten, wurden im Jahre 1853 der Lijmerse Overlaat und 1856 der Bingerdense Overlaat wieder bis zur Banndeichkrone aufgehöhht. Die Niederlande strebten dann die Beseitigung des Spijkse Overlaat an, um eine gleichmäßigere Wasserverteilung auf Waal und Pannerdensch Kanaal zu erreichen, den Eisabgang zu erleichtern und die Schifffahrtsrinnen besser zu erhalten. Bei Entfall des Überlaufes ließen sich auch Banndeiche von 20 km Länge einsparen und einige Polder besser gegen Hochwasser schützen.

Andererseits ergaben sich Nachteile am Pannerdensch Kanaal und größere Hochwasserstände im Bovenrijn und Niederrhein. Wegen der letzteren erhob die deutsche Seite Einspruch. Im Sommer 1918 einigte man sich vertraglich darauf, daß der Überlauf bis zur Höhe Amsterdamer Pegel (AP) + 15 m aufgehöhht werden dürfe und daß er nach Deicherhöhungen oberhalb bis auf volle Banndeichhöhe gebracht werden dürfe. Die Niederlande leisteten einen finanziellen Beitrag zu den Anpassungsarbeiten an den deutschen Deichen. Der Spijkse Overlaat wurde 1923 auf NAP + 15 m gehoben und 1959 vollständig aufgehöhht. Im Jahre 1970 wurde auch die Mündung des ursprünglich von ihm ausgehenden Oude Rijn am Pannerdensch Kanaal abgedämmt.

An der IJssel waren während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts weitere Hochwasserausleitungen und -rückführungen eingerichtet worden, die ebenfalls später wieder beseitigt wurden. Sie sind in Bild 5.6-3 eingezeichnet. Der Überlauf Ü4 (1949 beseitigt) war eine etwa sechs Kilometer lange Deicherniedrigung, über die Hochwasser nach rechts austreten, im unteren Bereich auch wieder in den Fluß zurückströmen konnte. Restliches Ausuferungswasser gelangte unterhalb durch Ü5 in die IJssel zurück.

Der Überlauf Ü6 im Kanonsdijk sollte Zutphen entlasten, indem Hochwasser über linkes Ufergelände hinter dem IJsseldeich umgeleitet bzw. gespeichert wurde. Er ist 1863 wieder entfallen. In entsprechender Weise wurde Deventer zeitweise durch östliche Umleitung über den Snijplingsoverlaat Ü7 (1865 beseitigt) vor Hochwasser geschützt. Das übergelaufene Wasser floß rechts der IJssel auf einem langen Fließweg an Zwolle vorbei zur Zuiderzee. Westlich davon bestanden bis 1838 auch die Mastenbroeker Zeeoverlaaten im Deich (Ü8). Der Hochwasserabfluß in dieser Richtung wurde später durch den Bau eines Polderdeiches einige Kilometer landeinwärts abgeschnitten.

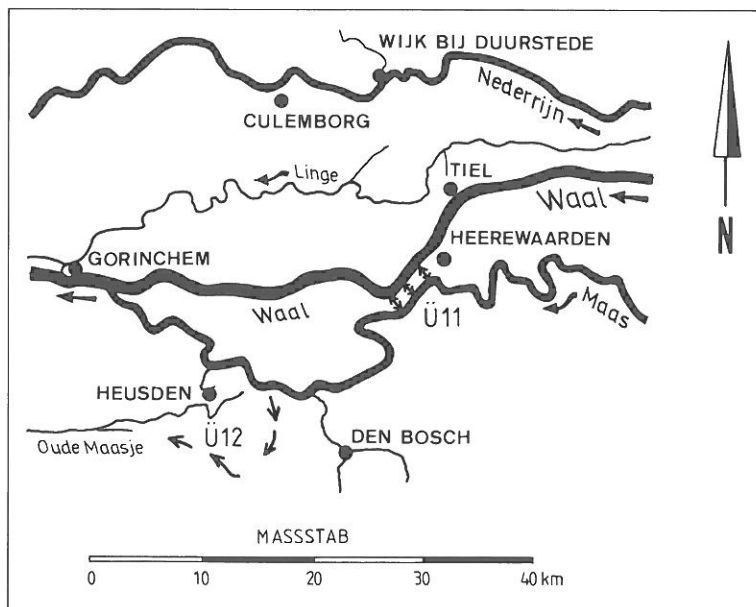
Auch links vom Bovenrijn bestanden Hochwasserprobleme. Sie betrafen das deutsch-niederländische Grenzgebiet. Von der deutschen Seite gelangte ausgefertes Hochwasser aus dem Polder Düffelt in den niederländischen Ooijpolder. Es gefährdete den Waaldeich bei Nimwegen von innen her. Zur Entlastung wurden im Banndeich des Ooij nach 1830 drei Überläufe geschaffen (Ü9 in Bild 5.6–3). Sie liefen aber auch von der Waal her über, wodurch so große Schäden entstanden, daß man sich 1853/54 zum Bau eines Querdeiches zwischen Düffelt und Ooij entschloß. Darin wurde der Überlauf Ü10 angeordnet. Die wasserbaulichen Aufgaben im Grenzgebiet sind damals organisatorisch dem neu gegründeten zweistaatlichen »Waterschap Querdam« übertragen worden.

Zwischen Waal und Maas war nach 1732 nur noch eine 150 m breite Flußverbindung bei Heerewaarden vorhanden. Allerdings gab es keinen Winterdeich zwischen den Flüssen. Bei hohen Wasserständen gelangte das Flußwasser auf einer Länge von etwa sechs Kilometern über die Sommerdeiche (Ü11 in Bild 5.6–4). Die Maas wurde häufig durch Waalwasser überlastet, wodurch der Überlauf Ü12 nach Süden in Tätigkeit trat. Manchmal erfolgten die Überläufe bei Heerewaarden auch von der Maas zur Waal, was allerdings weniger Probleme aufwarf. Die unmittelbare Verbindung zwischen den Flüssen wurde 1856 geschlossen. Mit der 1904 erfolgten Herstellung eines trennenden Banndeiches sind die Überläufe endgültig beseitigt worden.

### 5.6.3 Die Periode des systematischen Gewässerausbau

#### 5.6.3.1 Planungsschritte

Im Gegensatz zur ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden in der zweiten Hälfte ausgedehnte, erfolgreiche Maßnahmen an den Flüssen selbst ergriffen. Am Anfang stand ein Bericht der



höchsten Wasserbaubeamten, der Inspektoren *Ferrand* und *Van der Kun*. Sie legten neben dem vorrangigen Hochwasserschutz großes Gewicht auf eine verbesserte Schiffbarkeit der Gewässer. Zu diesen Zwecken schlugen sie vor, für die Niedrigwasserbetten systematisch Normalbreiten zu bestimmen, Stromspaltungen zu beseitigen, einige Flußschleifen abzuflachen, die Ufer zu sichern und Untiefen auszubaggern. Außerdem empfahlen die Inspektoren, einige örtliche Großbauten auszuführen, für die bereits Vorschläge vorlagen: Die Abdämmung der Mündung des Oude Rijn, die weitergehende Trennung von Waal und Maas sowie die Verbesserung der Verhältnisse im Biesbosch durch den Bau des Hauptgewässers Nieuwe Merwede, bei gleichzeitiger Einschränkung der unregelmäßigen Priele [Ferrand und Van der Kun 1856]. Die Zeit war reif geworden, um die politische Verantwortlichen von der Notwendigkeit schon lange erörterter Maßnahmen zu überzeugen.

Ein weiterer Bericht von 1861 begründete örtlich abgestufte Normalbreiten [Van der Kun et al. 1861]. Er plädierte auch für die Verlegung der Maasmündung von der Merwede zum Hollandsch Diep. Im gleichen Jahr forderte die Technische Strombefahrungskommission Rhein (siehe Abschnitt 5.4.2), daß

Bild 5.6–4  
Überläufe an der  
unteren Waal und  
Maas vor 1880

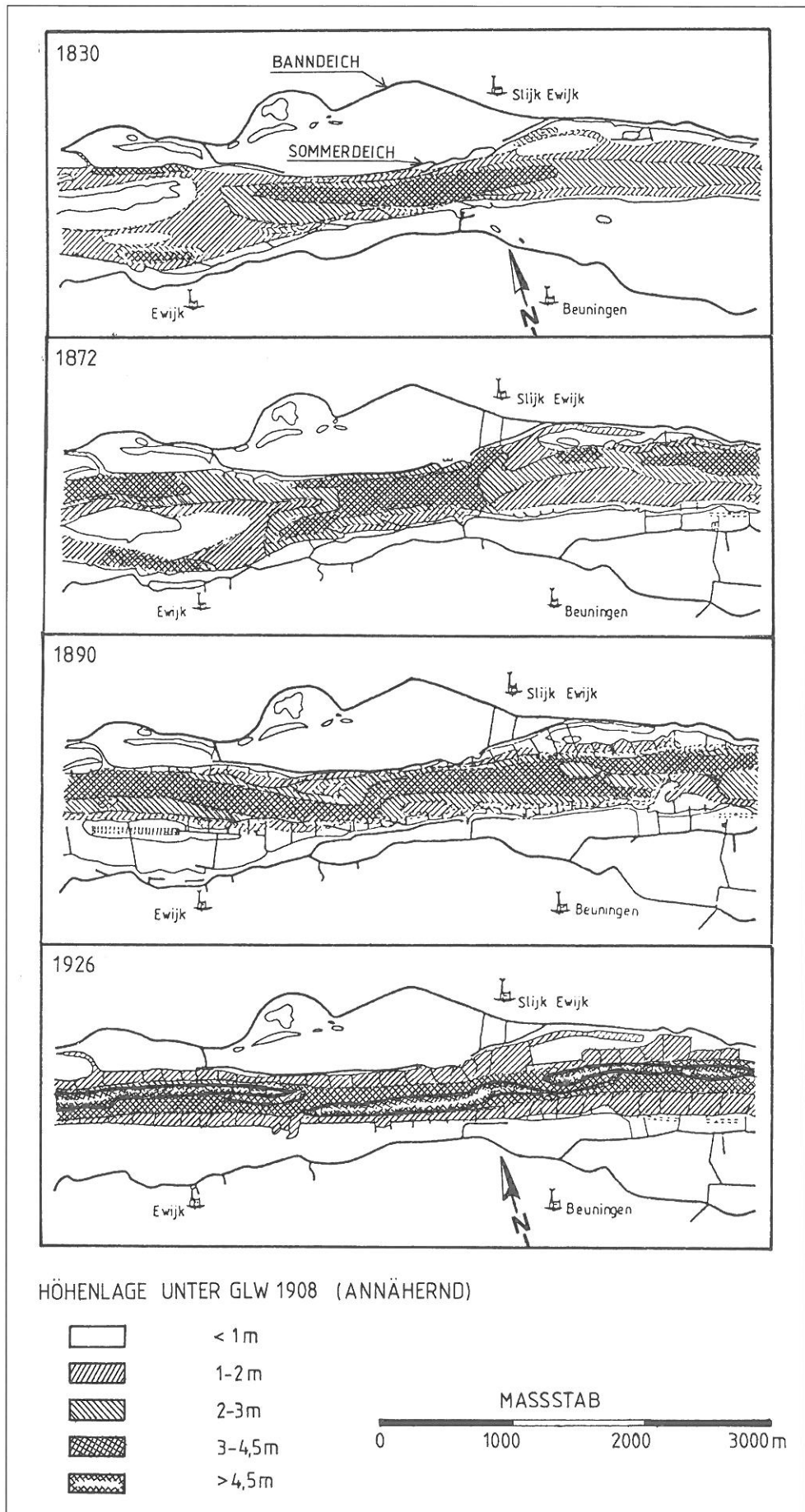


Bild 5.6-5  
 Ausbaustufen der  
 Waal bei Slijk Ewijk  
 (Fließrichtung west-  
 lich)

die Fahrwassertiefe der Rheinarme in den Niederlanden mindestens drei Meter betragen sollte.

Auf Empfehlung der Zentralen Rheinschiffahrtskommission wurden 1885 die Normalbreiten streckenweise verringert, um die Räumkraft des Abflusses vermehrt auf die Schifffahrtsrinne zu konzentrieren. Mit bedeutendem Aufwand verbesserte man die Zufahrt zum Rotterdamer Hafen. Als bei der Strombefahrung 1908 bekundet wurde, daß die Waal den Bedürfnissen der Schifffahrt nicht mehr voll entspräche, wurde sie zum dritten Male ausgebaut. Die übrigen Rheinarme wurden später entsprechend gestaltet.

#### 5.6.3.2 *Waal und tangierender Maasbereich*

Die zeitliche Folge von natürlichen Veränderungen und von Ausbauten der Waal in der Zeit von 1830 bis 1924 ist in Bild 5.6–5 für einen rund fünf Kilo-

meter langen Abschnitt unterhalb Nimegen in vier Phasen dargestellt.

Im oben abgebildeten Zustand von 1830 verläuft der Fluß zwischen etwa tausend Meter voneinander entfernten Banndeichen, vor denen teilweise Sommerdeiche liegen. Alte Flußschleifen und Kolke erstrecken sich stellenweise bis dicht an die Deiche heran. Die breiteren Teilstrecken sind vorwiegend flach, in der ausgedehntesten gibt es eine Insel. Das Niedrigwasserbett liegt nicht vollständig fest.

Durch erste Regelungsarbeiten hat der Abschnitt im Zustand 1872 ein regelmäßigeres Bett erhalten. Die Insel hat sich zum linken Ufer hin verschoben. Durch Ergänzung von Sommerdeichen ist die Gefahr von Verlagerungen des Niedrigwasserbettes verringert worden. Aus dem nächsten Bild ist der Zustand 1890 während weiterer Ausbaurbeiten ersichtlich. Eine einheitliche Bettbreite von 360 m ist hergestellt.

*Bild 5.6–6  
Heutige Landschaft  
an der Waal bei Zaltbommel*



Anläßlich einer amtlichen Befahrung der Waal im Jahre 1908 war eine weitere Beschränkung der Bettbreite gefordert worden. Hiernach wurde die Breite auf 260 m zurückgenommen. Die Arbeiten hierzu waren 1924 vollendet. Seither hat man die Bettbreite nicht mehr nennenswert geändert (Zustand 1926 in Bild 5.6–5).

Infolge der Hochwasserkatastrophe der St. Elisabethflut von 1421 war südlich von Dordrecht ein See entstanden. Er hatte sich allmählich in das amphibisch bestimmte Gebiet des Biesbosch verwandelt (siehe Abschnitt 4.7). Nach einigen Jahrhunderten verlandeten die entstandenen Priele dermaßen, daß wachsende Entwässerungsschwierigkeiten oberhalb entstanden. Gefährdet wurde vor allem die tiefliegende Alblasserwaard. Verlandungen der Oude Merwede erschwerten außerdem die Schifffahrt. Gegen diese Mißstände tat grundlegende Abhilfe not. Sie kam um 1850 in Gang. Die Priele wurden teilweise abgedämmt, ihr Abfluß weitgehend einem großen Flußbett zugewiesen, der Nieuwe Merwede (Bild 5.6–7). Sie wurde durch Baggerung hergestellt und führte bis zum Hollandsch Diep.

Während der Ausführung, in welcher dem tidebeeinflussten Strom ein Teil der Bettgestaltung durch Erosion überlassen wurde, kam es zu Schwierigkeiten infolge Rückstaus. Er beschwor die Gefahren von Hochwasserüberschwemmungen und von mangelhafter Polder-

entwässerung herauf. Indessen konnte man durch vermehrte Baggerungen und durch ergänzende Maßnahmen, zum Beispiel den Bau eines Schöpfwerkes für das Lingegebiet, der Schwierigkeiten Herr werden. Um 1885 waren die Arbeiten im Bereich der Merweden im wesentlichen fertiggestellt. Sie umfaßten auch die Regelung der Oude Merwede für die Schifffahrt.

Nachteilig für den Hochwasserschutz im Bereich der unteren Waal war zu dieser Zeit der Zusammenfluß mit der Maas bei Gorinchem. Oberhalb war die Verbindung bei Heerewaarden im Jahre 1856 geschlossen worden. Um die beiden Flüsse noch weiter voneinander zu trennen, wurde von 1885 ab die Bergsche Maas ausgebaggert, die im Zuge der vorhandenen Amer gestreckt ins Hollandsch Diep führte. Sie erhielt bei Hedikhuizen 160 m, bei Geertruidenberg zur Mündung hin 300 m Breite und war schiffbar (Bild 5.6–7).

Für die Schifffahrt zwischen Waal und Maas wurde der Heusdensch Kanaal ausgebaut. Der alte Unterlauf der Maas wurde mit einer Schleuse versehen. Nachdem gegen Ende der Flußbauarbeiten 1904 auch die oberhalb gelegenen Sommerdeiche zwischen Waal und Maas erhöht worden waren, hatte man die vollständige Trennung des Wassers der beiden Flüsse oberhalb des Hollandsch Diep erreicht [Bongaerts 1909].

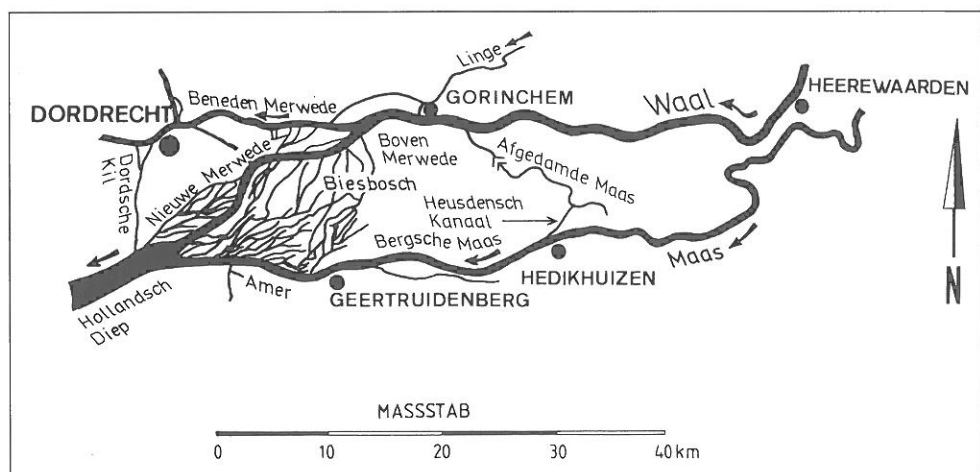


Bild 5.6–7  
Flußbauten an den  
Unterläufen von  
Waal und Maas

### 5.6.3.3 Rheinarm vom Pannerdensch Kanaal bis zum Nieuwe Waterweg

Beginnend am Bovenrijn ist der Rheinarm Pannerdensch Kanaal – Nederrijn – Lek – Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts in mehreren »Normalisierungsschritten« ausgebaut worden. Es gelten entsprechende Gesichtspunkte wie an der Waal. Zunächst stand der Hochwasserschutz im Vordergrund, später die Schiffbarkeit.

Im Nederrijn war bereits seit einem Vorschlag von *Wiebeking* aus dem Jahr 1799 die Begradigung einer Schleife oberhalb *Wijk bij Duurstede* im Gespräch. Sie war damals für die Niederlande eine ungewöhnliche Maßnahme. Man befürchtete, daß sie Sandablagerungen und Spiegelhebungen unterhalb verursachen würde. Der Durchstich der Schleife fand dann erst von 1860 bis 1874 statt. Ein 670 m langes und 90 m breites Leitbett wurde in bindigem Boden ausgehoben, wodurch der Flußlauf um zwei Kilometer verkürzt wurde (Bild 5.6–8). Die Erweiterung und Eintiefung auf die angestrebte Fahrwassertiefe besorgte der Abfluß teilweise selbst, ohne daß es zu den befürchteten Nachteilen unterhalb kam [Fijnje 1888].

Weiter flußabwärts liegt Rotterdam mit dem heute umschlagstärksten Hafen der Welt. Nach 1860 gaben die Schifffahrtsinteressen Veranlassung, das umfangreiche Bauvorhaben des »Nieuwe Waterweg« in Angriff zu nehmen. Damit sollten die städtischen Häfen für die immer größer werdenden Seeschiffe besser zugänglich gemacht werden. Bild 5.6–9 zeigt den Mündungsbereich an der Nordsee.

Der bestehende Flußlauf, »Nieuwe Maas« genannt, hatte schiffahrtstechnisch erhebliche Nachteile, insbesondere durch Versandung der kilometerbreiten Mündung. Die Schifffahrt mußte zumeist weite Umwege auf der Fahrt von und zur Nordsee in Kauf nehmen. Daher wurde nördlich des Westendes der Nieuwe Maas ein gestreckter Flußlauf mit wesentlich schmalerer Mündung ausgebagert. Im Jahre 1864 begann man den Bau von Molen beiderseits der neuen Mündung, 1866 die Durchgrabung des restlichen Wasserweges bei *Hoek van Holland* mit einem Leitgerinne. Es sollte sich durch natürliche Erosion ausweiten, was auch eintrat, insbesondere, nachdem die alte Mündung teilweise abgedämmt war. Der erste Dampfer konnte 1872 die Durchgrabungsstrecke befahren.

Bild 5.6–8  
Durchstich des Nederrijn oberhalb *Wijk bij Duurstede*

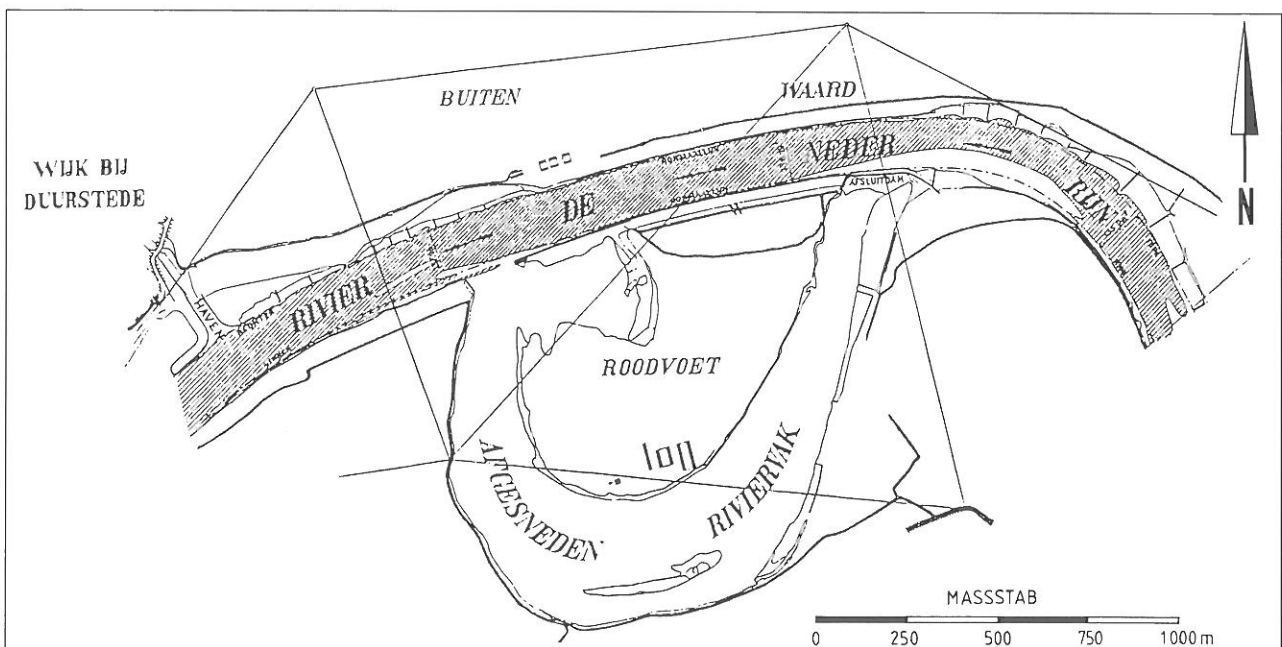
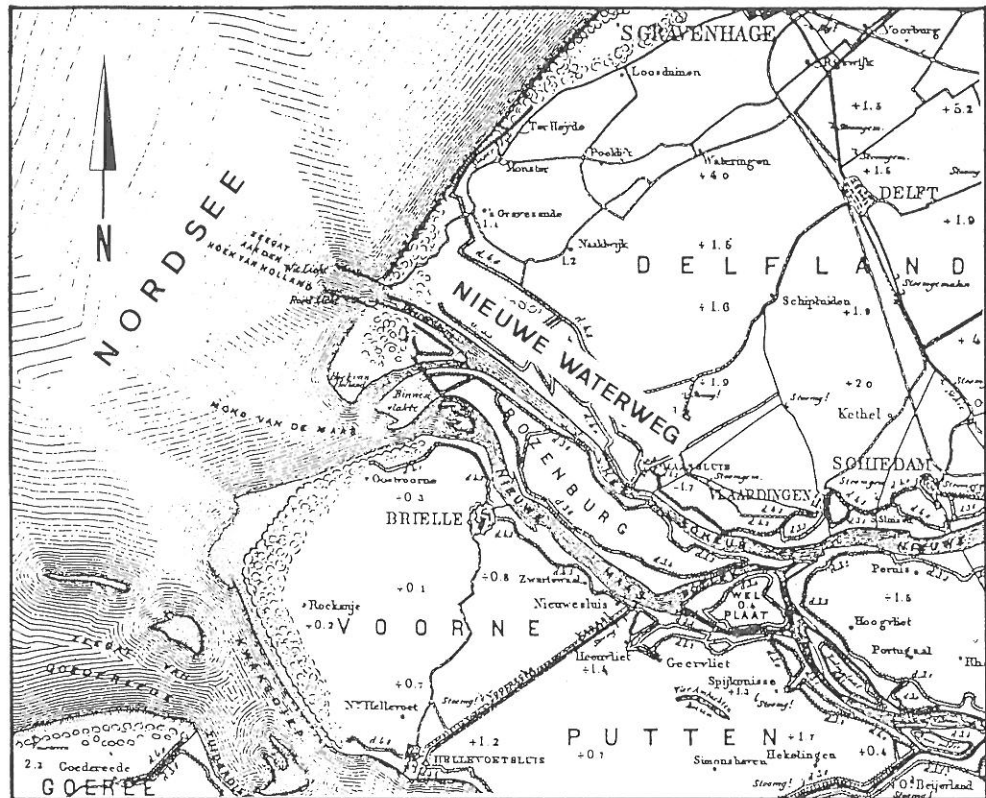
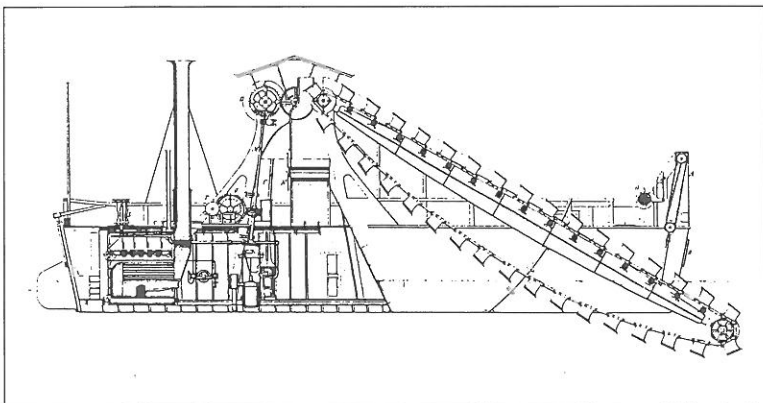


Bild 5.6–9  
Durchstich des  
Nieuwe Waterweg  
zur Nordsee



Bald danach ergaben sich Schwierigkeiten, weil die Ausfahrt zwischen den Molen zu verlanden begann. Um 1877 ging man zum Einsatz von neu konstruierten Seebaggern über (Bild 5.6–10). Dies geschah gegen anfängliche Bedenken des Projektleiters *Caland*, der das gezielte Baggern im rauhen offenen Wasser für unmöglich hielt. Es gelang aber, die Einfahrt durch Baggerungen freizuhalten. Die Verlandungen wurden auch dadurch verringert, daß man die Leitwerke in See ab 1881 auf Empfehlung einer Staatskommission verlängerte. Ferner wurde die Anschlußstrecke im Oberwasser ausgebaut.

Bild 5.6–10  
Historischer Eimerkettenbagger mit  
Dampfantrieb



#### 5.6.3.4 IJssel

Die IJssel ist, wie der Nederrijn und die Waal, ab der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts ausgebaut worden. Sie erhielt zwischen den durchgehenden Banneichen breite Vorländer. Die in mehreren Schritten ausgeführten Maßnahmen dauerten bis 1928.

Besondere Aufgaben stellten sich an den Mündungen in die der Tide unterworfenen Zuiderzee (Bild 5.6–3). Die Hauptmündung führt in das Keteldiep, wohin die Fahrwassertiefe von drei Metern durchzuziehen war. Sie wurde um 1840 mit drei Kilometer langen Dämmen eingefafßt, um die Räumkraft im Fahrwasser zu konzentrieren. 1869 wurden die Dämme noch um 800 Meter verlängert. Auch wurden Nebenmündungen der IJssel eingeschränkt. Dadurch gelang es, die angestrebte Wassertiefe in etwa zu halten, wenn auch ergänzende Baggarbeiten erforderlich blieben.

## 5.6.4 Großwasserbauten und Wasserwirtschaft ab 1918

### 5.6.4.1 Grundzüge der neuen wasserbaulichen Entwicklungen

Nach 1918 sind in den Niederlanden eine Anzahl großer wasserbaulicher Werke geschaffen worden. Davon sind an den Flüssen die Kanalisierung und der Ausbau der Maas (1918 bis 1942) und die Kanalisierung des Nederrijn (siehe Abschnitt 5.6.4.3) von besonderer Bedeutung.

Herausragend waren die Wasserbauten im Küstenbereich, die in außerordentlichem Umfang unternommen wurden. In einigen Fällen schien ihre Ausführung anfänglich an der Grenze des Möglichen zu liegen. Indessen hat ihre Verwirklichung zu einem Vorschieben dieser Grenze geführt. Dabei wirkte sich nicht nur aus, daß in mehreren Fällen die Ausführungsentschlüsse durch Katastrophen veranlaßt wurden, sondern auch, daß die Katastrophen in einer solchen Reihenfolge eintraten, daß die Beseitigung der eingetretenen Schäden an den Wasserbauten und die Maßnahmen zu ihrer künftigen Verhinderung durchführbar wurden, allerdings um den Preis eines sehr hohen Aufwandes. Wären sie in einer anderen Reihenfolge aufgetreten, so hätten sich die angerichteten Zerstörungen nicht immer rückgängig machen lassen.

Die erste Katastrophe bildeten die großen Überschwemmungen an den Küsten der Zuiderzee bei der Sturmflut vom 13./14. Januar 1916. Als rechtliche Grundlage systematischer Gegenmaßnahmen wurde 1918 ein Gesetz zur Abdämmung und teilweisen Trockenlegung der Zuiderzee beschlossen.

Die Vorhaben waren schon lange diskutiert und in Vorentwürfen geplant worden. Schwierigste Teilaufgabe war der Bau des 30 km langen Abschlußdeiches zwischen Zuiderzee und Wattenmeer. Neue hydraulische Theorien und Be-

rechnungen hierfür wurden von einer Staatskommission unter Vorsitz des berühmten Physikers *Professor Dr. H. A. Lorentz* entwickelt und ausgewertet, während praktische Probleme den Anstoß gaben, das »Waterloopkundig Laboratorium« zu gründen, das bis in die Sechzigerjahre von *Professor ir. J. Th. Thijssse* geleitet worden ist. Diese Versuchsanstalt für Wasserbau wurde zu einem äußerst wichtigen Forschungsinstitut bei der Bezwingung späterer Überschwemmungskatastrophen und bei der Durchführung der hierzu notwendigen wasserbaulichen Werke.

Anfang der Dreißigerjahre begann der Rijkswaterstaat-Ingenieur *Job. Van Veen* seine bahnbrechenden hydraulischen Untersuchungen des Deltagebietes und der Nordsee. Seit 1939 widmete sich eine besondere Kommission der theoretischen Ermittlung von Sturmfluthöhen und von erforderlichen Deichabmessungen. Im Zusammenhang damit beschäftigte sich der Rijkswaterstaat mit Plänen, die der Vervollkommnung des Küstenschutzes und der Wasserbewirtschaftung dienen sollten.

Während der Kriegsjahre 1940 bis 1945 entstanden ausgedehnte Schäden und Überflutungen in den Poldergebieten. Davon bildete Walcheren das größte Problem. Vor der Eroberung dieser strategisch wichtigen Insel waren ihre Seedeiche im Oktober 1944 durch alliierte Bombardements an vier Stellen zerstört worden. Die kräftige Tide verursachte ein Auskolken dieser Breschen, wodurch sehr große Stromlöcher entstanden. Nach dem Kriege wurde ihre Dichtung vorgenommen, im Oktober 1945 an den drei westlichen Löchern und im Februar 1946 an dem östlichen Loch. Sie erforderte den massiven Einsatz aller verfügbaren, teilweise sehr unkonventionellen Mittel, z.B. Senkkästen der Militärausrüstung und Torpedoschutznetze.

Nachdem auch die wasserbaulichen Anlagen an anderen Stellen wiederhergestellt waren, führte man 1950 das erste



neue Werk gegen Sturmfluten und Versalzungen aus, die Abdämmung der Brielsche Maas westlich von Rotterdam. Im Jahre 1952 folgte der Abschluß des Braakman, einer Bucht am südlichen Ufer der Westerschelde (siehe Bild 5.6–16).

Am 1. Februar 1953 wurden die südwestlichen Niederlande von einer der schwersten Sturmflutkatastrophen ihrer Geschichte betroffen. Sie hat über 1.800 Menschen das Leben gekostet und verheerende Schäden verursacht [Rijkswaterstaat und Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut 1961]. Für die Schließung einiger dabei entstandener großer Stromlöcher in der Deichlinie wurden die auf Walcheren erprobten Techniken in verbesserter Form nutzbar gemacht. Auf den Erfahrungen, die bei den Wiederherstellungsarbeiten gesam-

melt wurden, konnte dann bei der Ausführung der umfassenden Deltawerke gefußt werden. Sie haben seither den südlichen Küstenbereich gesichert.

#### 5.6.4.2 IJsselmeer und IJssel

Als erste Großmaßnahme in der neuesten wasserbaulichen Entwicklung wurden 1920 die Zuiderzeewerke begonnen, die fast völlig dem Vorentwurf von *Dr. ir. C. Lely* entsprachen. Zuerst verband man die Insel Wieringen mit dem Festland von Noord-Holland. Der Damm war 1925 fertiggestellt. Anschließend legte man bis 1930 den Wieringermeerpolder trocken. Der Abschlußdamm der gesamten Zuiderzee mit seinen 25 Sielen und 3 Schiffsschleusen (Bild 5.6–11) konnte 1932 geschlossen werden.

Bild 5.6–11  
Ablaßbauwerk und  
Schleuse im Ab-  
sperrdamm der Zui-  
derzee bei Den Oe-  
ver



Danach wurde bis 1942 der Noordoostpolder trockengelegt (Bild 5.6–12). Gegen Ende des Zweiten Weltkrieges war der Wieringermeerpolder durch die Sprengung von Deichen und die anschließende Überflutung verwüstet worden. Er mußte erneut trockengelegt werden. Anschließend erfolgten die Trockenlegungen der Polder Oostelijk und Zuidelijk Flevoland.

Anfang der Siebzigerjahre baute man zur Vorbereitung des nächsten Polders einen Damm quer durch das IJsselmeer. Er schloß im Südwesten das Markermeer ab. Seine Fläche wurde indessen nicht trockengelegt, weil sich Interessen von Ökologie, Landschaftsgestaltung, Erholung und Fischerei mit denen der Landnutzung im Widerstreit befanden.

Ob es künftig zu einer trockengelegten Markerwaard kommen wird, ist ungewiß [Thijssse 1972].

Die fertiggestellten Polder mit insgesamt fast 165.000 ha Fläche werden vor allem für landwirtschaftliche Zwecke und für Siedlungen genutzt, außerdem für Verkehrs- und Industrieanlagen und für Erholungszwecke. Im Zuidelijk Flevoland ergab sich eine interessante Entwicklung: Ein tiefgelegener, 6.000 ha großer Teil dieses 1968 trockengelegten Polders war für Industrieansiedlung bestimmt, blieb aber zunächst wegen der allgemeinen wirtschaftlichen Lage ungenutzt. Hier entstanden, fast ohne menschliche Einwirkungen, die Oostvaardersplassen, heute ein Naturschutzgebiet von internationaler Bedeutung.

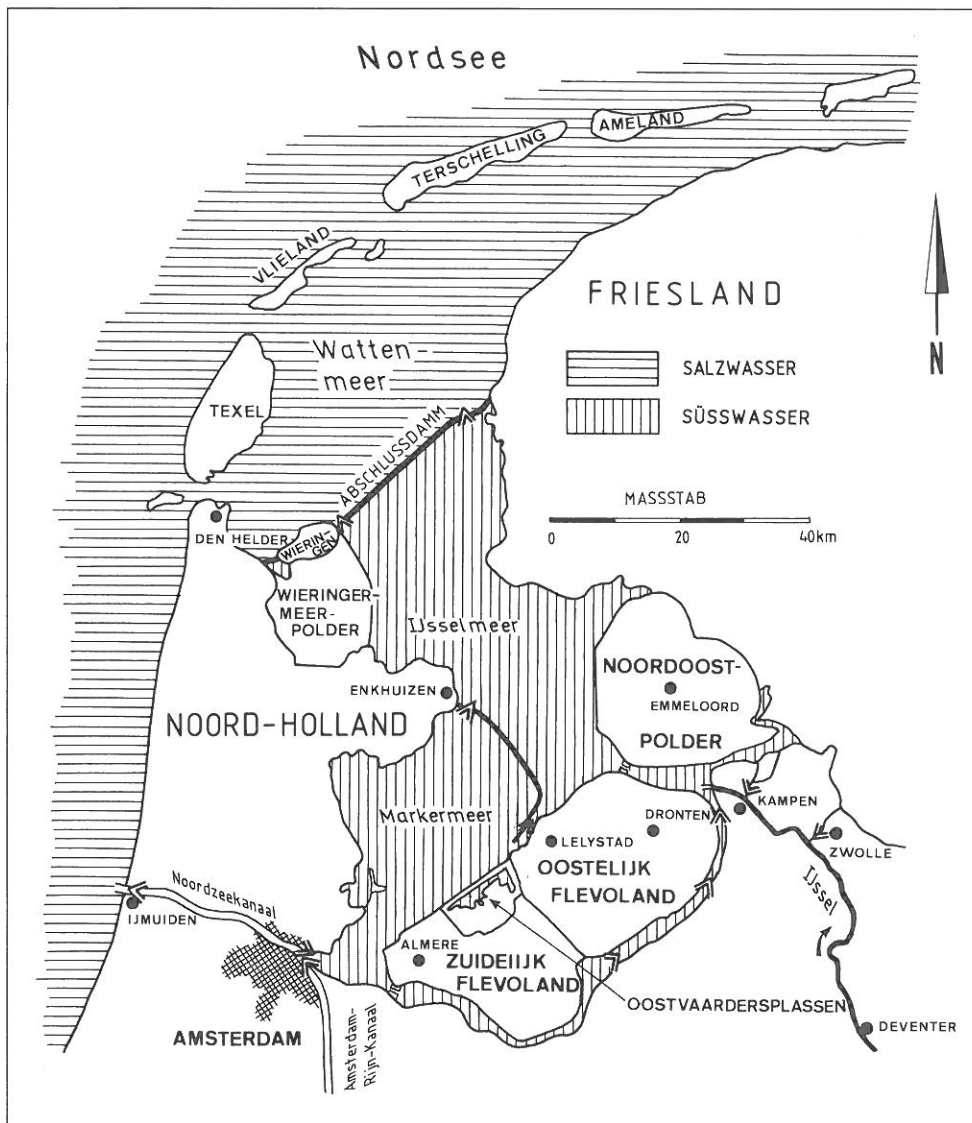


Bild 5.6–12  
Bisherige Einpolderungen auf der Fläche der Zuiderzee

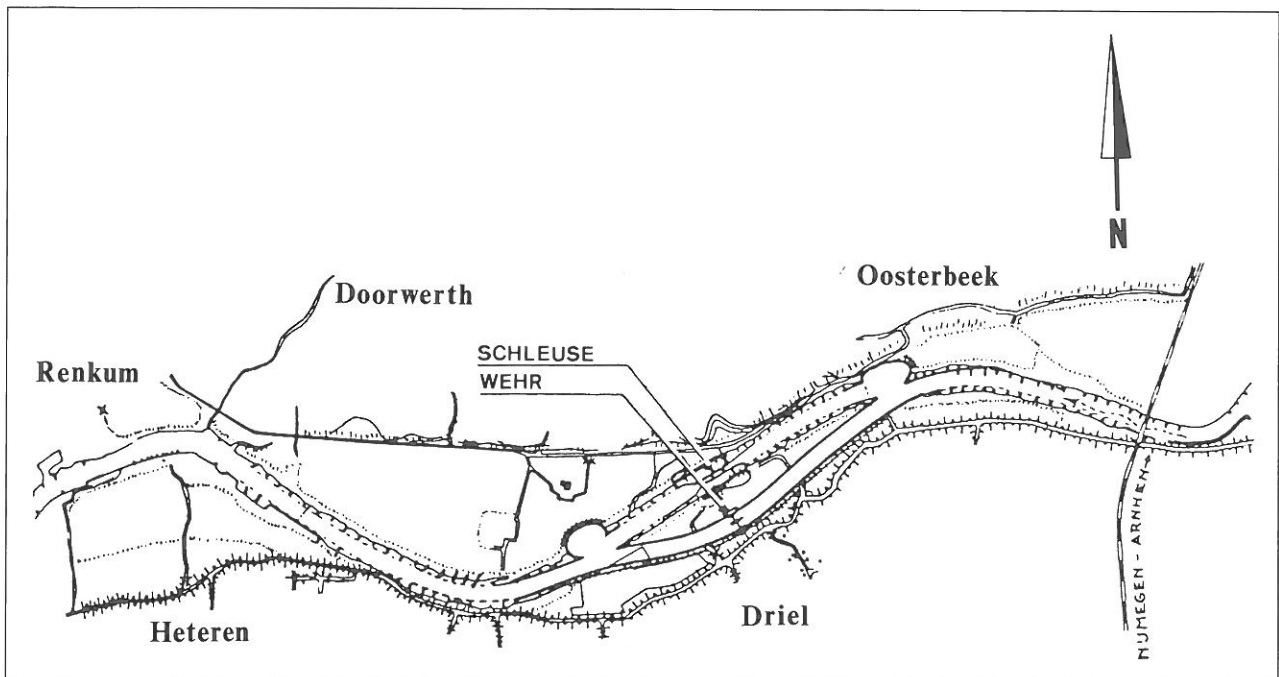


*Bild 5.6–13  
Deventer an der IJssel  
beim Hochwasser  
1988*

Dies durch Wechsel von Land und un-  
tiefem Wasser gekennzeichnete »Wet-  
land« wird besonders wegen seines ho-  
hen ornithologischen Wertes geschätzt.

Bereits um 1938 war der Plan aufgekom-  
men, die IJssel durch Stauwehre für die  
Schifffahrt zu regeln. Wegen des Zwei-  
ten Weltkrieges kam er nicht zur Aus-  
führung. Während des Krieges wurden  
auch die Möglichkeiten zur Staurege-  
lung des Nederrijn studiert. Da sie sich,  
im Gegensatz zu der Stauregelung der  
IJssel, als vorteilhaft herausstellte,  
wurde sie später verwirklicht (siehe Ab-  
schnitt 5.6.4.3). An der IJssel kam es  
nicht zu Stauanlagen. Der Fluß wurde  
aber an drei Stellen begradigt und da-  
durch um fast neun Kilometer verkürzt.  
Gefälle und Abfluß nahmen zu, und eine  
nach oberhalb fortschreitende Erosion  
kam in Gang. Um ihren nachteiligen  
Auswirkungen bei großer Rheinwasser-  
führung zu begegnen, wurde der Strö-  
mungswiderstand der oberen IJssel-  
querschnitte durch höhere Sommerdei-  
che vergrößert.

Durch den Abschluß der Zuiderzee war  
die Tidewirkung auf die IJsselmündung  
entfallen. Der mittlere Wasserspiegel  
des neu gebildeten IJsselmeeres lag et-  
was tiefer als das frühere Tidemittelwas-  
ser. Daher mußte die Mündung der IJ-  
ssel angepaßt und ausgebaggert werden.  
Zwar ergab sich ein geringerer Schlamm-  
anfall, weil die Ausflockung durch Salz-  
einwirkung mit zunehmender Aus-  
süßung des IJsselmeeres zurückging;  
aber Baggerarbeiten erwiesen sich im-  
mer noch als unumgänglich, um die er-  
forderliche Schifffahrtstiefe zu halten.  
Nach 1940 wurden zwei Nebenmün-  
dungen der IJssel abgedämmt und ein  
neuer Seitenausgang geschaffen. Er  
dient dazu, einen großen Teil des vom  
IJsselwasser mitgeführten Schlammes  
nach Norden abzuleiten, so daß zur Er-  
haltung der Schifffahrtstiefe in der Fahr-  
rinne nicht mehr so viele Baggerarbeiten  
wie vorher erforderlich sind.



#### 5.6.4.3 Stauregelung des Nederrijn

Am Nederrijn wurden nach 1941 verschiedene Varianten zur Abflußregelung und Stauregelung im Interesse der Schifffahrt sowie im Hinblick auf die Wasserversorgung mit Flußwasser untersucht. Um 1950 gewann der Plan zur Regelung mit drei Staustufen Gestalt. Sie wurden in den Jahren 1954 bis 1969 ausgeführt.

Bild 5.6–14 zeigt den Lageplan der obersten Staustufe Driel. Sie ist, wie auch die beiden anderen Stufen Amerongen und Hagestein (siehe Bild 2.7), mit Flußbegradigungen verbunden. An zwei der Stufen sind Turbinen eingebaut, um die Fallhöhen zu nutzen und Wasserenergie zu gewinnen.

Die Staustufe Driel ist zugleich das wichtigste Regelungsorgan, um den Rheinabfluß auf Waal, Nederrijn und IJssel zu verteilen. Seit Mitte der Siebzigerjahre dient das Staureglement S 285/25 als Richtlinie: Bei weniger als  $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$  Abfluß am Rheinpegel Lobith werden durch den Stau in Driel nur  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  in den Nederrijn abgelassen; bei einer Wasserführung des Boverrijn oberhalb  $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$  läßt man den Ab-

fluß des Nederrijn zunehmen, während in der IJssel zunächst etwa  $285 \text{ m}^3/\text{s}$  beibehalten werden. Ab  $1.900 \text{ m}^3/\text{s}$  am Pegel Lobith läßt man auch den Abfluß der IJssel zunehmen. Wenn der Boverrijn mehr als  $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$  führt, werden die Verschlüsse des Stauwehres Driel ganz gehoben, so daß die Abflußverteilung nicht weiter durch Steuerung beeinflusst ist. Die Verschlüsse werden auch bei kleiner Wasserführung gehoben, wenn sie in Frostzeiten anzufrieren drohen.

Die Gestaltung der Wehrverschlüsse im Nederrijn geht aus Bild 5.6–15 hervor. Sie sind als nahezu halbkreisförmige Visierschlüsse ausgebildet, welche im Stauzustand vom Wasser auf Zug belastet werden. In gehobenem Zustand geben sie den Weg für die Schifffahrt frei. Wenn die Verschlüsse abgesenkt sind, benutzen die Schiffe seitliche Kammer-schleusen. In den Wehrpfeilern sind Durchlässe für die Regelabflüsse sowie Fischpässe angeordnet.

#### 5.6.4.4 Wasserbauten im Delta-gebiet und anschließende Werke

Wie in Abschnitt 5.6.4.1 aufgeführt, sind von 1950 an die Schutzbauten ge-

Bild 5.6–14  
Lageplan der Staustufe Driel im Nederrijn

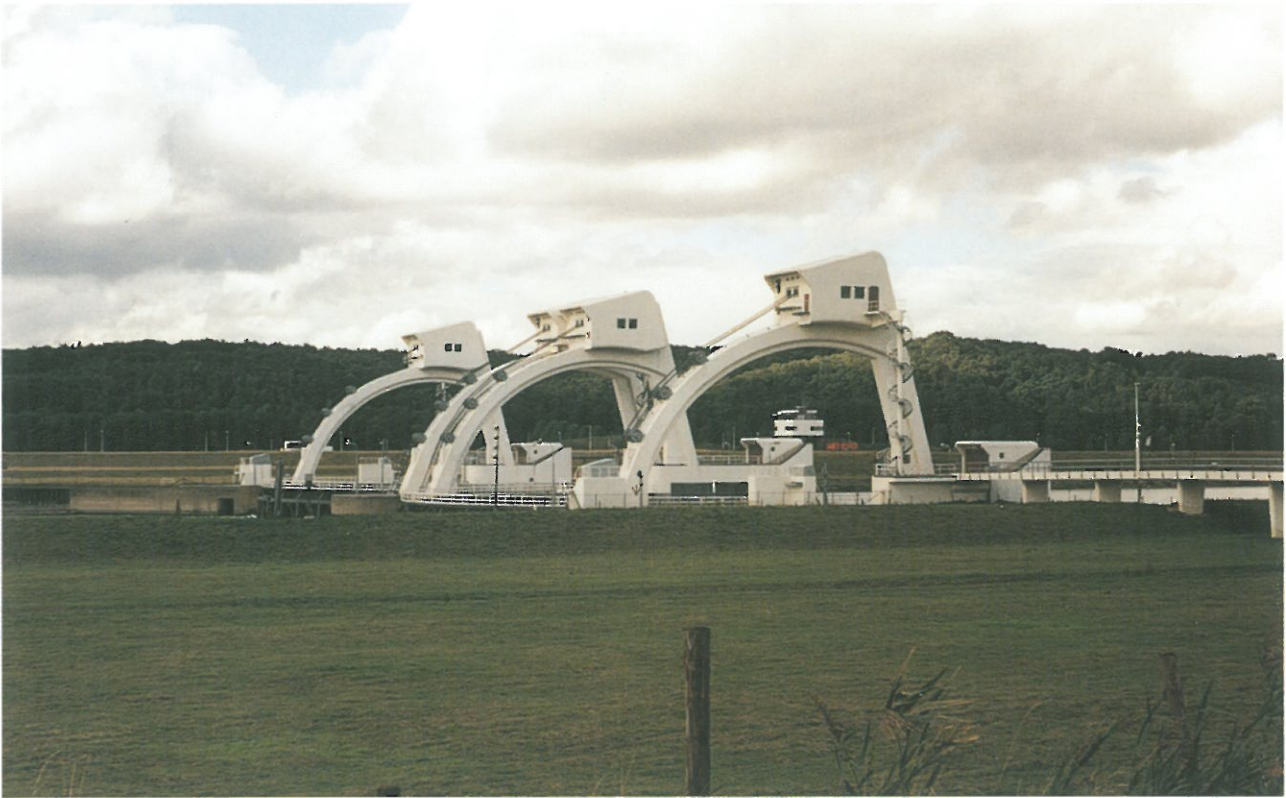
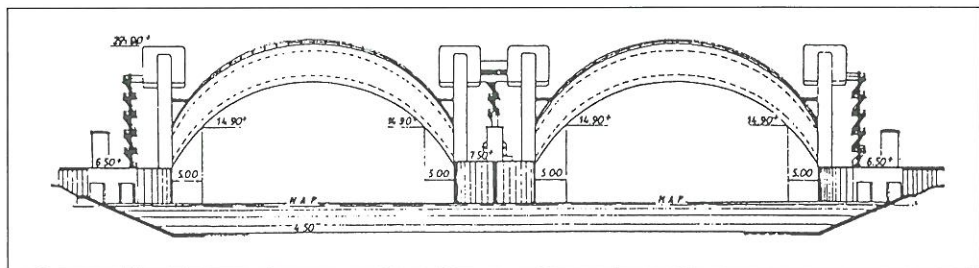


Bild 5.6–15  
Visierverschlüsse  
der Wehre im Ne-  
derrijn



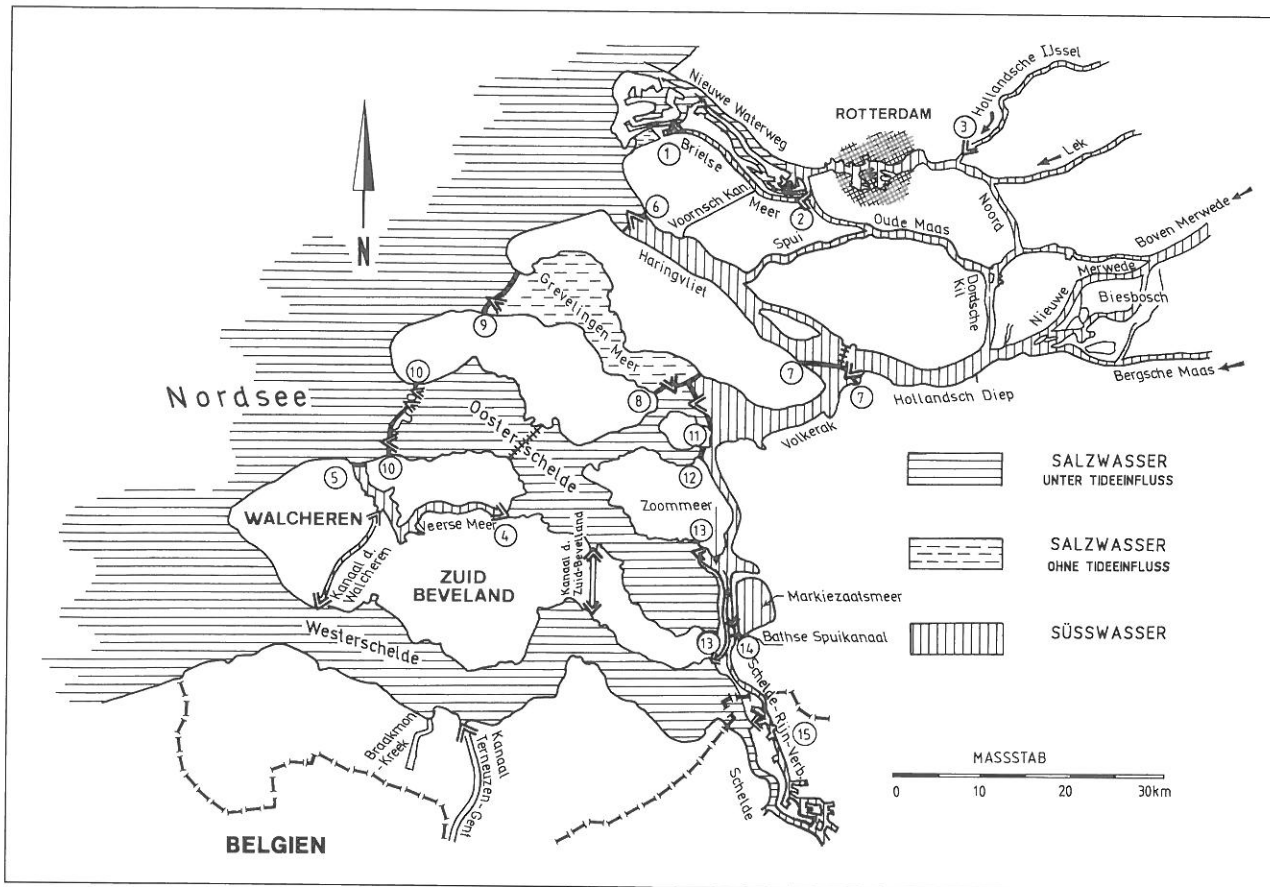
gen Hochwasser und Sturmfluten im südlichen Küstenbereich entscheidend verbessert worden. Auch wurde das Salzwasser aus großen Teilen der Küstengewässer verdrängt und durch Süßwasser ersetzt. Die Lage der Hauptmaßnahmen ist in Bild 5.6–16 eingetragen. Darin bezeichnen die Ziffern 1 und 2 die Orte der Sperrwerke an der Brielsche Maas, die als erste ausgeführt worden sind.

Bei der Sturmflutkatastrophe am 1. Februar 1953 waren in den südwestlichen Niederlanden außerordentlich umfangreiche Überschwemmungen eingetreten, die bis weit ins Hinterland reichten. Bild 5.6–17 gibt eine Übersicht der betroffenen Flächen. Nordöstlich Rotterdam hatten die Deiche an der Holland-

sche IJssel vor den dort besonders tief gelegenen und dicht besiedelten Gebieten nur durch äußerste Anstrengungen der Hochwasserwehr vor folgenschweren Brüchen bewahrt werden können.

Nach der Katastrophe wurde unverzüglich eine Fachkommission beauftragt, Maßnahmen zu untersuchen und vorzuschlagen, durch die derartige Schäden künftig zu verhindern seien. Die abgegebenen Gutachten enthielten als Hauptvorschläge:

- Die Abdämmung mehrerer Meeresarme gegen die Nordsee,
- den Bau eines Sturmflutsperrwerkes an der Mündung der Hollandsche IJssel und
- die Verstärkung der Deiche an den of-



fen bleibenden Mündungen der Westerschelde und des Nieuwe Waterweg.

Die Gesamtheit der Vorschläge bildete den »Deltaplan«, die Grundlage für das Deltagesetz von 1958 [Ministerium für Verkehr und Öffentliche Arbeiten 1989].

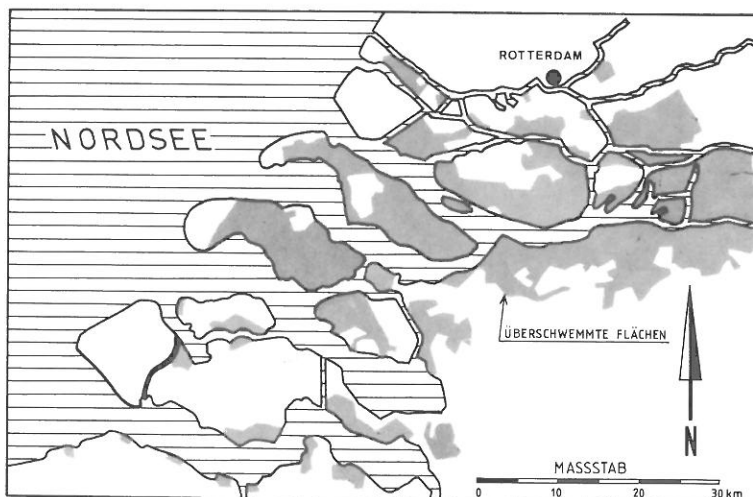
Als erstes großes Bauwerk des Deltaplanes kam das Sperrwerk an der Mündung der Hollandsche IJssel 1958 mit einem ersten, 80 m breiten Verschluss in Betrieb (Bild 5.6-16, Nr. 3). Im Jahre 1976 wurde ein zweiter Verschluss als Reserve eingebaut. Die offenen Meeresarme konnten ab 1960 trotz enormer Schwierigkeiten, die zur Entwicklung neuer Bauverfahren zwangen, nacheinander abgeschlossen werden. Soweit erforderlich, wurden in die Sperrdämme Aus- und Einlässe für das Wasser sowie Schiffsschleusen eingefügt.

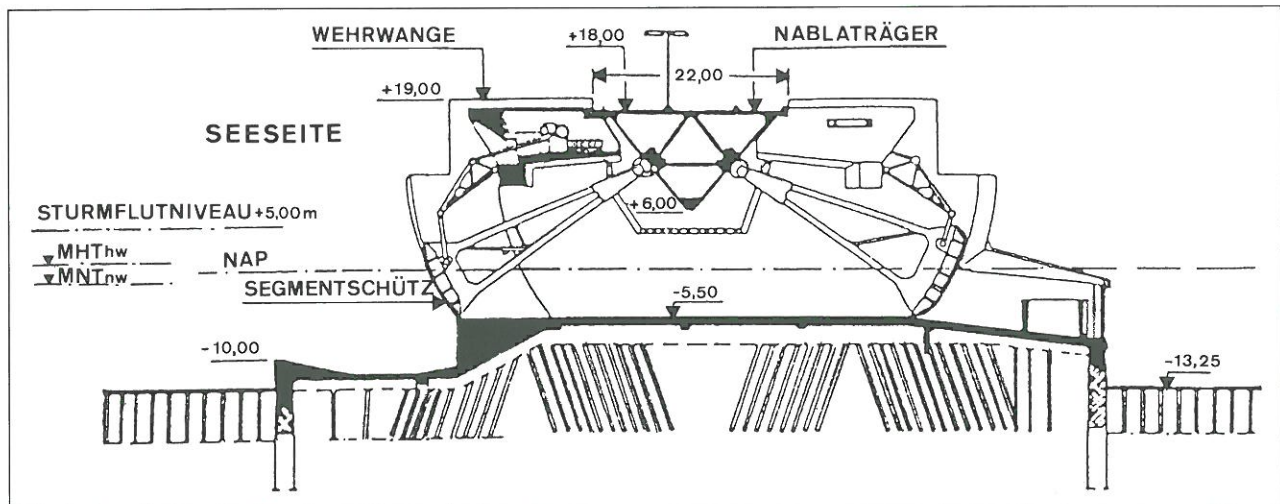
Die Auslässe im Haringvlietdamm (Bild 5.6-16, Nr. 6) bestehen aus 17 Einheiten

entsprechend Bild 5.6-18. Auf der Seeseite reichen Segmentklappen bis NAP + 3 m. Sie dienen hauptsächlich als Wellenbrecher. Die damit kombinierten flußseitigen Verschlüsse haben Segmentklappen bis NAP + 5 m. In den Ablaßbauwerken befinden sich auch Fischpässe und Durchlässe für die Abführung von zusitzendem Salzwasser. Eine Ansicht der Regeleinrichtungen im Haringvlietdamm geht aus Bild 5.6-19 hervor.

Bild 5.6-16 Sperrwerke von Walcheren bis Rotterdam

Bild 5.6-17 Überflutungsgebiete der Sturmflut vom 1. Februar 1953





*Bild 5.6–18  
Konstruktion der Ab-  
sperrorgane im Ha-  
ringvlietdamm*

Nach Süden wurde das Haringvliet durch das Volkeraksperrwerk abgeschlossen (Bild 5.6–16, Nr. 7). Seither konnten Salzwasser und Tidebewegungen dem Hinterland fast vollständig ferngehalten werden. Diese Aufgabe hat das Sperrwerk bis zum Jahre 1986 selbständig erfüllt.

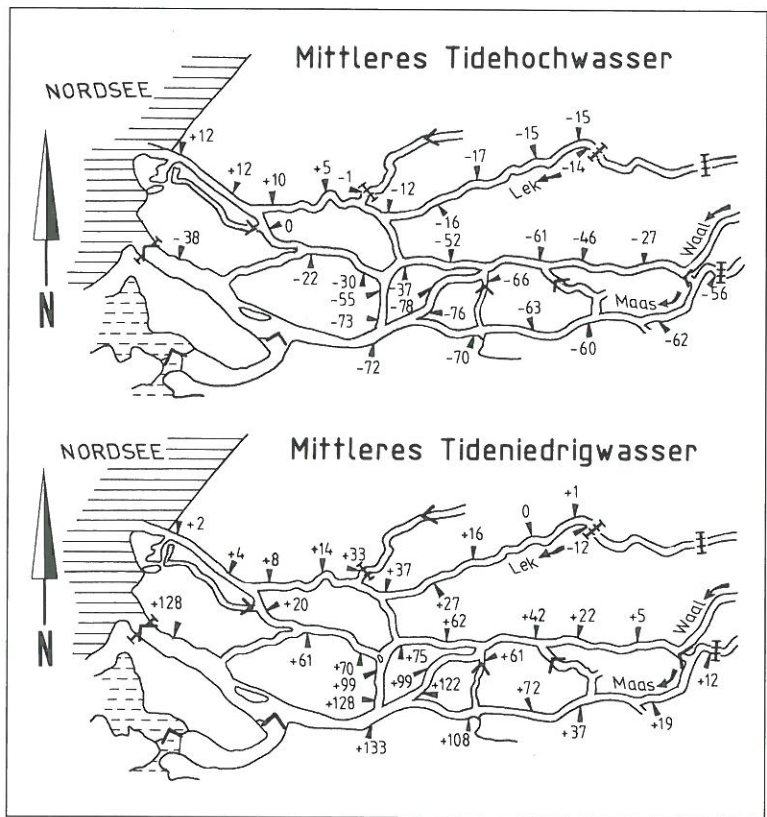
*Bild 5.6–19  
Ansicht der Auslässe  
im Haringvlietdamm*

Die Auslässe im Haringvlietdamm sind der wichtigste »Wasserhahn« der Niederlande. Im geöffneten Zustand dienen

sie dazu, einen großen Teil des Abflusses von Rhein und Maas in die Nordsee abzuführen oder Treibeis auszulassen. Wenn sie geschlossen sind, verhindern sie das Eindringen von Salzwasser und wirken als Teil des Küstenschutzes (siehe auch Abschnitt 5.6.4.5). Veränderungen der Wasserspiegel gegenüber dem früheren Zustand mit offener Verbindung zur Nordsee sind in Bild 5.6–20 angegeben.



Die geplanten Abschließungsbauwerke gegen See waren 1971 bis auf das größte Werk an der Mündung der Oosterschelde fertig. Gegen dieses hatten sich heftige Widerstände erhoben; denn der Damm würde nach vollständigem Abschluß in diesem umfangreichsten und ökologisch wertvollsten Meeresarm die Tidebewegung ausschließen, ebenso wie in anderen Wasserflächen des Deltagebietes. Danach war die Aussüßung des binnenseitigen Wassers vorgesehen. Hiervon waren nachteilige Veränderungen des Ökosystems zu erwarten. Verluste in der Fischerei und in der Muschelgewinnung mußten eintreten. Nach längeren Auseinandersetzungen einigten sich Regierung und Parlament im November 1974 darauf, lediglich ein Sturmflutsperrwerk zu errichten (Bild 5.6–16, Nr. 10). Es sollte gewöhnlich offen bleiben und der Tide Zugang gewähren. Nur bei Sturmfluten sollte es zum Küstenschutz geschlossen werden. Bild 5.6–21 zeigt eine Bauaufnahme mit einem Abschnitt der Aus- und Einlässe aus dem Jahre 1984.



*Bild 5.6–20  
Veränderungen der  
Binnenwasserstände  
in cm durch Ab-  
schluß des Haring-  
vliet gegenüber dem  
Zustand mit Tide-  
einfluß*

Im Osten des verbleibenden Tidebeckens der Oosterschelde wurden zusätzliche Bauten ausgeführt. Sie bestanden hauptsächlich aus Dämmen zur Trennung des Salzwassers im Tidegebiet von dem auszusüßenden Zoommeer. Dahinter wurde ein Großschiffahrtsweg geführt. Die Niederlande hatten nämlich 1963 mit Belgien vereinbart, in Küstennähe eine tidefreie Verbindung für die Schifffahrt zwischen Schelde und Rhein, die »Schelde-Rijn-Verbindung« zu schaffen. Dabei sollte die abzdämmende Oosterschelde mit benutzt werden. Im Zusammenhang damit strebte man weitere wasserwirtschaftliche Verbesserungen an.

*Bild 5.6–21  
Schützenanlage des  
Oosterschelde-  
Sperrwerkes im Bau*



Durch das Volkeraksperrwerk (Bild 5.6–16, Nr. 7) erfolgte der Zugang vom binnenseitigen Flußsystem Rhein-Maas in Richtung Zoommeer. Diese wurde über die Schleusen mit Süßwasser gespeist. Zur Entlastung von überschüssigem Binnenwasser diente ein absperbarer Durchlaß in die Westerschelde.



Das Sturmflutsperrwerk in der Mündung der Oosterschelde war 1986 fertig geworden. Zusätzlich wurden der Philippsdamm mit den Krammerschleusen und der Oesterdamm erforderlich (Bild 5.6–16, Nr. 11). Sie haben die Trennung von Süß- und Salzwasser sowie die Regelungsmöglichkeit der Binnenwasserstände vollendet. Ihre Fertigstellung ist 1987 erfolgt [Ferguson 1988]. Der Bereich der Krammerschleusen ist aus Bild 5.6–22 zu ersehen.

Der Höhenbemessung der Deiche und Sperrwerke im Küstenverlauf liegt ein 10.000-jähriger Sturmflutspiegel zugrunde. Er gilt auch für die Schutzanlagen am Nieuwe Waterweg. In den zurückliegenden südwestlichen und in den nördlichen Landesteilen gilt der 4.000-jährige Hochwasserspiegel als maßgeblich. Außerhalb des möglichen Tideinflusses wird das 1.250-jährige Hochwasser zugrundegelegt. In den

Übergangsgebieten, wo die extremen Hochwasserstände vom Zusammentreffen sehr großer Abflüsse mit Sturmflut-scheiteln herrühren könnten, werden zweidimensionale Verteilungsfunktionen bei der Ermittlung der Entwurfswasserstände benutzt. Wenn das geplante Sperrwerk nahe der Mündung des Nieuwe Waterweg ausgeführt sein wird, dann können die sehr hohen Sicherheitsmaße der oberhalb gelegenen Hochwasserschutzbauten herabgesetzt werden.

In den Jahren 1962–1975 wurden an der Unterstrecke des Nieuwe Waterweg und seewärts sehr große neue Hafenanlagen, u.a. Maasvlakte und Europoort, gebaut, zugänglich auch für die größten modernen Seeschiffe. Ferner wurden in den Siebzigerjahren Maßnahmen getroffen, um die schädliche Versalzung wirksam zu bekämpfen, und zwar durch Staffelung der Flußtiefe. Jetzt liegt die

*Bild 5.6–22  
Krammerschleusen  
mit Pumpwerken und  
Speicherbecken für  
den Sparbetrieb des  
Süßwassers*



Sohlhöhe an der Mündung des Nieuwe Waterweg auf NAP – 25 m, bei Vlaardingen auf NAP – 16 m und bei den Rotterdamer Brücken auf NAP – 8 m. Die Normalbreite nimmt landwärts von rund 500 m auf rund 400 m ab. In Verbindung mit den großen neuen Hafenanlagen ist ein bedeutendes Industriegebiet entstanden.

#### 5.6.4.5 Wasserwirtschaft und -verwaltung auf nationaler und regionaler Ebene

Nachdem die Maßnahmen des Großwasserbaus an den Flüssen und an der

Küste der Niederlande dargestellt sind, werden nun Gesichtspunkte der Wasserwirtschaft auf den seitlichen Flächen behandelt. Einer ihrer beherrschenden Züge ist der Umstand, daß der größte Teil des Landes unterhalb des Niveaus extremer Hochwasser in den Flüssen und Sturmfluten in der Nordsee liegt. Aus Bild 5.6–23 ist die Ausdehnung dieser Flächen zu ersehen.

Bei bestehender Möglichkeit werden die eingedeichten Tiefflächen unter freiem Gefälle entwässert. Ist dies, wie meistens, nur teilweise oder gar nicht möglich, so werden Schöpfwerke eingesetzt. Früher waren für das Landschaftsbild

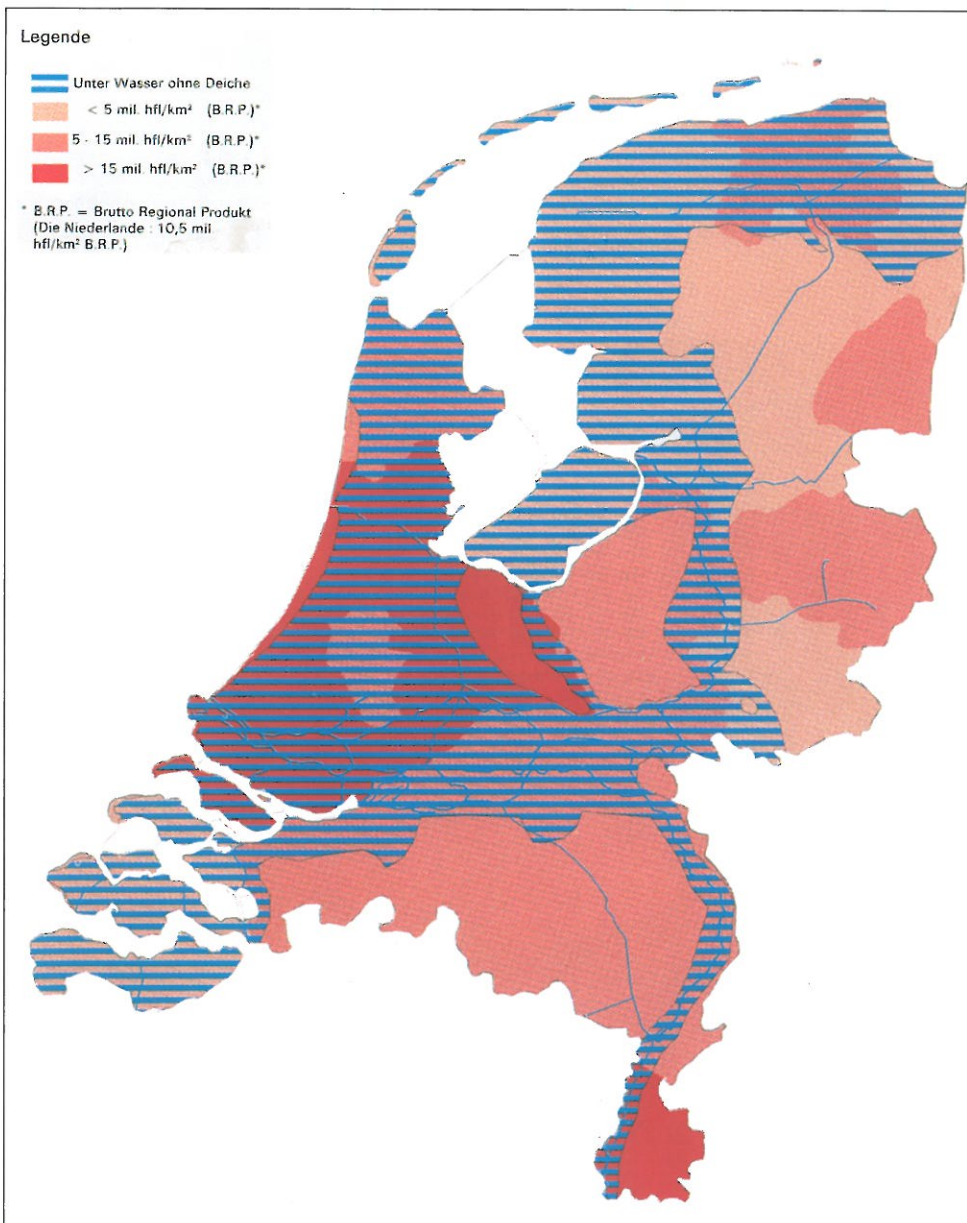


Bild 5.6–23  
Flächen der Niederlande unter extremen Hochwasser- und Sturmflutständen (mit Angabe des Brutto-Regionalproduktes in Hfl/km<sup>2</sup> und Jahr)

der Niederlande die zahlreichen Windmühlen charakteristisch, die das Wasser aus den tiefgelegenen Poldern in die Vorfluter hoben. Heute sind sie durch Schöpfwerke ersetzt, die mit Elektromotoren oder Dieselmotoren angetrieben werden (Bild 5.6–24). Die Entwässerung mit künstlicher Vorflut hat dadurch noch an Bedeutung gewonnen, daß der Wasserentzug und die intensive Bodennutzung zu Geländesenkungen geführt haben. Die planmäßigen Absenkziele des Binnenwassers werden unterschiedlich zwischen Sommer und Winter angesetzt.

Bis in die neueste Zeit hinein war die Entwicklung der Landwirtschaft zwischen den großen Flüssen weit zurückgeblieben. Entwässerung und Bearbeitung der Flächen, insbesondere mit dem verbreiteten schweren Kleiboden, bereiteten große Schwierigkeiten. Die Landbevölkerung befand sich hier im Rückstand gegenüber derjenigen in günstiger

gestalteten Landesteilen. Nach 1945 wurden mittels Meliorationen und anderer öffentlicher Hilfsmaßnahmen die Produktionsbedingungen verbessert, so daß der Rückstand aufgeholt werden konnte.

Wesentlich für die Landwirtschaft im Ganzen ist das ausreichende Dargebot an Süßwasser. Um es zu gewährleisten, findet eine gezielte »Verwaltung« statt. Sie erstreckt sich auf die großen Süßwasserspeicher, die Verteilung des Rheinwassers bei mittleren und kleinen Abflüssen und auf Maßnahmen zur Zurückdrängung des Salzwassers im Oberflächen- und Grundwasser des Küstenbereiches. Als wichtigste Einrichtungen dienen dazu das Stauwehr Driel und die Haringvlietsluizen. Das Erstere trägt dazu bei, den planmäßigen Sommer- und Winterwasserstand im IJsselmeer und Markermeer aufrecht zu erhalten und ihre Versalzung zu verhindern. Die Letzteren schirmen große Süßwasser-

*Bild 5.6–24  
Modernes Schöpfwerk an der Küste,  
Ansicht vom Binnenland*



becken gegen die Nordsee ab. Auch ermöglichen sie die Zurückdrängung des Salzwassers im Nieuwe Waterweg.

Dank der Dämme in der östlichen Ecke der Oosterschelde kann Süßwasser über die Volkeraksluizen und das Zoommeer zu Teilen der südwestlichen Niederlande geleitet werden, die früher hauptsächlich auf die örtliche Süßwasserbildung aus Niederschlägen angewiesen waren. Auch das Sturmflutsperrwerk an der Mündung der Hollandsche IJssel wird zum Schutz gegen andringendes Salzwasser eingesetzt. Dies ist allerdings nur erforderlich, wenn der Abfluß extrem niedrig ist, wie es im Jahre 1976 der Fall war.

Das abgedämmte Markermeer, in das viel brackiges Wasser aus Schöpfwerken gelangt, wird mit Süßwasser aus dem IJsselmeer durchgespült. Bei Amsterdam fließt das Überschußwasser aus dem Markermeer in den Noordzeekanaal weiter zur See. Es drängt dabei das salzige Schleusenwasser der Kammer Schleusen bei IJmuiden nach Westen zurück. Auf diese Weise wird das Eindringen von Salzwasser in den südlich anschließenden Amsterdam-Rijn-Kanaal verhindert. Durch ihn kann Süßwasser aus dem Rhein bei Bedarf zugeleitet werden.

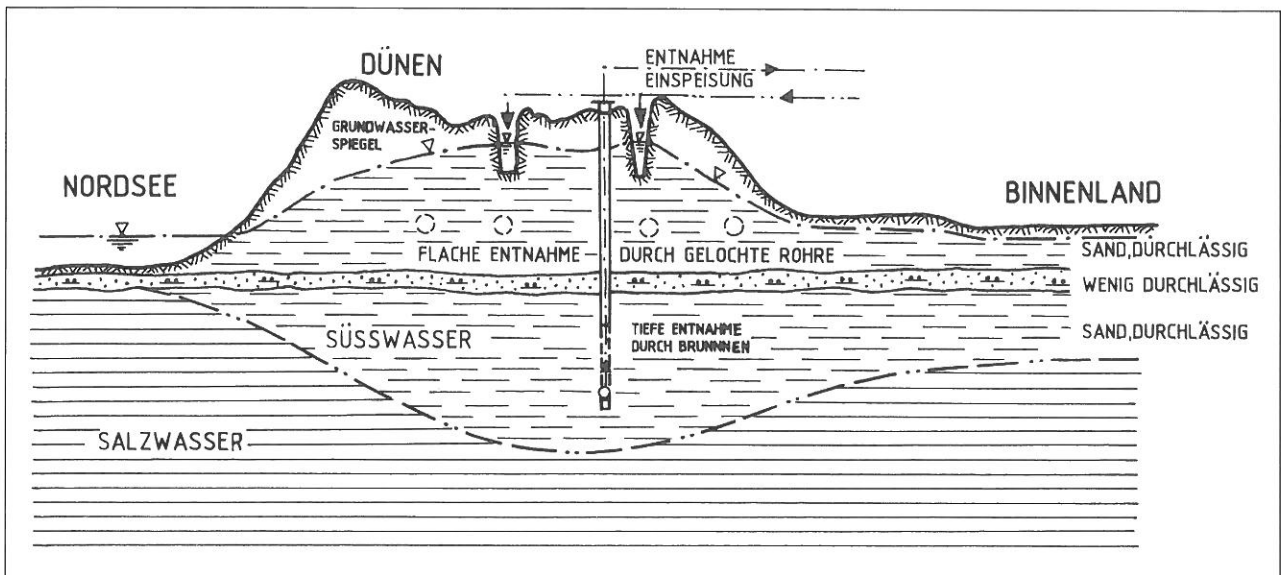
Für die Trinkwasserversorgung in den

westlichen Landesteilen ist die Zuführung von verhältnismäßig salzarmem Wasser des Rheins unentbehrlich [Ministerium für Verkehr und Öffentliche Arbeiten, Den Haag, 1989]. Vor allem gilt dies an Stellen, wo die örtliche Grundwasserneubildung den Trinkwasserbedarf nicht zu decken vermag. Rheinwasser für Noord-Holland wird aus Entnahmeanlagen am Lek-Kanaal (seit 1957) und am IJsselmeer (seit 1981) nach örtlicher Voraufbereitung durch Rohrleitungen zum Dünengürtel an der Küste geführt und hier zunächst infiltriert. Die seit langer Zeit erfolgende Grundwassergewinnung aus den Dünen war nämlich zu einer Übernutzung geworden. Dies hatte zum Absinken des Grundwasserspiegels und zum Vordringen von Salzwasser im Grundwasser geführt. Die natürliche Grundwasserneubildung aus Niederschlägen wurde anhaltend überschritten.

Das Rheinwasser wird meist über Einspeisungskanäle in den Dünensand eingebracht (siehe Bild 5.6–25). Neuerdings findet auch eine Anreicherung über Schluckbrunnen statt. Die gebildete Süßwasserlinse dient als Wasservorrat und wirkt als Salzwassersperre, wofür sie in geeigneter Größe gehalten wird.

Das Anreicherungswasser bleibt monatelang im Untergrund und erfährt darin

*Bild 5.6–25  
Trinkwassergewinnung aus angereichertem Dünenwasser (überhöhte Darstellung)*



Oberflächengewässer	Ökologische Zielsetzung	Trinkwasser	Wasser für Karpfenarten	Wasser für Lachsarten	Schalentiere	Schwimmwasser	Freizeitgestaltung am Ufer und Sportfischerei	Erholungsfahrten	Fischereigewerbe	Natur und Landschaft	Regionale Wasserversorgung	Kühlwasser für Kraftwerke	Wasserkraftwerke	Haupttransportweg	Haupt-Fahrroute	Neben-Fahrroute	Abfuhr von Wasser, Eis und Sedimenten	Rohstoffe aus Tagebau	Landwirtschaft an Ufern und in Außendeichslanden
Bovenrijn	o			a			+	-	o	+	o			+			o	-	-
Waal	o		o	a			+	-	o	+	o	-		+			o	-	-
Nederrijn und Lek bis Schoonhoven	o	+	o	a			+	o	o	+	o		+		+		o	-	-
Grenz-Maas	o	o	o	o			+	o		+	o		+				o	-	-
Befahrbare Maas und Maasseen	o	+	o	a		o	+	+	o	+	o		+		+		o	-	-
Julianakanal und Lateraalkanal		a	o				o	+										-	-
IJssel	o	o	o	a		o	+	+	o	+	o				+		o	-	-
Twenthekanäle		o	o				o	o	o	o	o				o		o	-	-
Zwarte Water und Zwarte Meer	o		o				o	o	o	+	+					o	o	-	-
Ketelmeer	a		o			4	4	+	4	+	o				+		o	4	-
IJsselmeer	o	+	o			+	+	+	o	+	+	-			+		o	+	-
Markermeer und IJmeer	o		o			+	+	+	o	+	o				+		o	o	-
Veluwemeer, Drontermeer, Wolderwijd, Nuldernauw	o	o	o			+	+	+	o	+	o					o	o	-	-
Gooimeer, Eemmeer, Nijkerkernauw	o	a	o			o	o	o	o	+	o					o	o	-	-
Amsterdam-Rheinkanal, Nordseekanal		o	o			o	o	o	o	o	o	o		+				-	-
Unterläufe Nord <sup>1</sup>			o				o	o	o	o	o	-		+			o	o	o
Unterläufe Mitten <sup>2</sup>		o	o			o	+	o	o	+	o	-		+			o	o	o
Unterläufe Süd <sup>3</sup>	o	+	o	a		+	+	+	o	+	o	-		+			o	-	-
Oosterschelde	∞				+	o	o	o	o	+				+			o	-	-
Westerschelde	o				+	o	o	o	+	+		-		+			o	-	-
Grevelingenmeer	o					+	+	+	+	+								-	-
Veerse Meer	o					+	+	+	o	+						o	o	-	-
Krammer-Volkerak/Zoommeer	o		o			o	o	o	o	+	+			+			o	-	-
Seeländische Kanäle						o	o	o	o	o				+			o	o	-
Wattenmeer	∞				o	o	o	o	o	+						o	o	o	-
Eems-Dollard	o					o	+	+	+	+		+		+			o	-	-
Nordsee	o				o	o	+	+	o	+		+		+				+	-

## Erläuterung:

∞ = ökologische Zielsetzung von höchstem Niveau

+ = Funktion nimmt 1995 zu in Hinsicht auf 1985/ Qualitätszielsetzung innerhalb der Planperiode

o = Funktion gleichbleibend/Qualitätszielsetzung innerhalb der Planperiode

- = Funktion nimmt 1995 ab in Hinsicht auf 1985

a = Qualitätszielsetzung für die nächste Planperiode

## Bemerkungen:

<sup>1</sup> Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Caland-, Beer- und Hartelkanal<sup>2</sup> Alte Maas, Spui, Lek ab Schoonhoven, Dortse Kil, Wantij, Noord, Hollandse IJssel, Unter- und Ober-Merwede<sup>3</sup> Haringvliet, Hollandsch Diep, Biesbosch, Amer, Bergsche und Eingedämmte Maas, Heusdensch Kanal und Zuiderdiep<sup>4</sup> Abhängig von Wasserbodenqualität und eventueller Sanierung

Bild 5.6–26

Funktionen und Zielsetzungen für die Hauptgewässer der Niederlande

eine natürliche Teilaufbereitung. Nach Bedarf wird es aus Brunnen entnommen. Es durchläuft eine Nachaufbereitung und wird dann als Trinkwasser verteilt. Durch die Speichervorräte im Dünengebiet und auch in großen oberirdischen Becken bietet sich die Möglichkeit, Versalzungs- und Verschmutzungsstöße in den zur Entnahme beanspruchten Gewässern passieren zu lassen und Lücken in der Förderung zu überbrücken.

Wie in den anderen Anliegerstaaten des Rheins sind der naturnahe Wasserbau, die Gestaltung und der Betrieb wasserwirtschaftlicher Anlagen in Anpassung an ökologische Gesichtspunkte und an Bedürfnisse der Volkserholung auch in den Niederlanden wichtige Gesichtspunkte für Planungen und Bauausführungen. Im Zusammenhang mit der Wasserqualitätswirtschaft ist ein Zielsystem für die einzelnen Hauptgewässer aufgestellt worden. Seine Gesichtspunkte gehen aus Bild 5.6–26 hervor.

Das Zielsystem der Wasserwirtschaft im niederländischen Teil des Rheingebietes knüpft an die historische Entwicklung an und führt sie weiter, entsprechend den fortschreitenden gesellschaftlichen Bedürfnissen [Ministerium für Verkehr und Öffentliche Arbeiten, Den Haag 1989]. Weiterhin wird ein hoher Einsatz von Wissenschaft, Ingenieurkunst und materiellen Mitteln nötig sein. Das Rheingebiet ist in den Niederlanden von anthropogenen Einflüssen auf das Wasser geprägt. Es wird auch in Zukunft diesen Charakter behalten.



## 6. Schlußbetrachtung und Ausblick

### 6.1 Besiedlung und Ansprüche an das Wasser

Das Rheingebiet ist seit vorgeschichtlichen Zeiten vom Menschen besiedelt. Seine Bevölkerung wuchs über lange Epochen nur langsam und hat zeitweise, infolge von Kriegen und Seuchen, auch wieder abgenommen. Erst im Industriezeitalter ist sie dann von etwa sechs Millionen Menschen um das Jahr 1800 auf heute rund fünfzig Millionen angestiegen.

Die Ansprüche an das Wasser und die Eingriffe in die Gewässer wuchsen in dem Maße, wie die Zahl der Umwohner anstieg, wie Siedlungen, Wege, Ackerflächen in den Flußtäälern angelegt wurden und wie leistungsfähige politische Einheiten sich herausbildeten.

Technisch gehobene Ansprüche an die Gestaltung der Gewässer kamen mit Wasserkraft- und Bewässerungsanlagen auf. Insbesondere erwuchsen sie aus den Bedürfnissen der Schifffahrt und des Hochwasserschutzes. Den Anforderungen konnte allerdings erst wirkungsvoll Rechnung getragen werden, als Bautechnik und Maschinenbau sowie die steigende wirtschaftliche Leistungsfähigkeit die Voraussetzungen zu umfassenden Flußausbauten in den letzten zweihundert Jahren geschaffen hatten.

### 6.2 Bisherige Gestaltung von Wassernutzung und Wasserwehr

Um die Zeitenwende drangen die Römer im Rheingebiet nach Norden vor. Sie betrieben eine umfangreiche Schifffahrt rheinabwärts bis zur Nordsee und weiter nach Britannien. Sie bauten die ersten festen Brücken. Ihre hygienischen und zivilisatorischen Errungenschaften führten bei den Stadtanlagen zur Abkehr von der primitiven Wasserversorgung durch Schöpfen aus dem ört-

lichen Oberflächen- und Grundwasser. Die Römer schufen Quellzuleitungen mit Rohren und Aquaedukten, außerdem dauerhafte Kanalisationen.

In der Völkerwanderung gingen die römischen Errungenschaften unter. Während des Mittelalters, zuerst im Frankenreich, blühte die Rheinschifffahrt wieder auf. Das zeitweilig wärmere und trockenere Klima gab Veranlassung, Bewässerungsanlagen zu bauen. Wassermühlen entstanden in großer Zahl, teilweise als Schiffsmühlen auf dem Rhein.

Den Hochwasserschutz in den Tallagen suchte man durch örtliche Deiche und Uferbefestigungen zu erreichen, am Niederrhein bereits im 17. Jahrhundert auch erfolgreich mittels Durchstichen enger Rheinschleifen. In den Niederlanden wurden schon damals größere Eingriffe in die Mündungsarme des Rheins vorgenommen, um die Abflußverhältnisse zu verbessern. Es entstanden die ersten Kanäle für größere Schiffe. Eine wasserwirtschaftliche Pioniertat stellte der 1713 in der Schweiz begonnene Kanderdurchstich mit Hochwasserrückhaltung im Thunersee und anschließender See- und Flußregulierung dar.

Hatten sich auch manche örtlichen Flußausbauten und Deiche als dauerhaft erwiesen, so blieben die Flüsse doch bis zum vorigen Jahrhundert weitgehend in ihrem veränderlichen Naturzustand. Meist hatten sie keine festen Betten, sondern verlagerten sich immer wieder. Dabei rissen sie Siedlungen und Verkehrsanlagen fort. Sie schädigten die Bodenbewirtschaftung, versumpften die Täler, gefährdeten die Bewohner durch Insektenplagen und Malaria. Bei Hochwasser kam es immer wieder zu verheerenden Überschwemmungen.

Dies änderte sich im 19. Jahrhundert grundlegend. Unter der Leitung fähiger Ingenieure, wie *La Nicca* in der Schweiz, *Tulla* in Baden, *Kroencke* in



Hessen, *Nobiling* und *Wiebeking* in Preußen, *Ferrand* und *Van der Kun* in den Niederlanden, wurde der Wildstrom Rhein überall in ein festes Bett gebracht. Seine Schiffbarkeit verbesserte sich beträchtlich. Der Hochwasserschutz wurde durch systematische Deichbauten vorangetrieben, insbesondere nach einem katastrophalen Hochwasser 1882/83 am Oberrhein. Entsprechende Maßnahmen fanden an Nebengewässern statt, hier z.T. verbunden mit Stauregelungen für die Schifffahrt und die Wasserkraftnutzung.

Die wachsenden Ansprüche an die Nutzung der Gewässer und die Sicherung gegen ihre Hochwasser bedingten im 20. Jahrhundert weitere Ausbauten. Die Juragewässer-Korrektion in der Schweiz, die für die Hochwasserminde- rung auch im Rhein große Bedeutung hatte, wurde vervollkommen. Der Tal- sperrenbau erreichte einen bedeutenden Umfang. Am Hochrhein entstand eine Kette von Wasserkraftwerken.

Mit Seitenkanälen und Wehren wurde der Oberrhein von Basel bis Iffezheim oberhalb Karlsruhe staugeregelt, um auch bei kleinen Abflüssen die Groß- schifffahrt zu ermöglichen und der Was- serkraftnutzung zu dienen. Die von al- ters her gefürchteten Schifffahrtshin- dernisse an der Nackenheimer Schwelle, im Binger Loch und im Wil- den Gefähr bei Kaub wurden beseitigt und für die Schifffahrt gefahrlos passier- bar gemacht, Vollendung jahrhunder- telanger Bemühungen. Stauregelungen von Nebenflüssen erschlossen der Schifffahrt weitere Wege. Am dicht um- siedelten Niederrhein wurden die über- aus gefährlichen Hochwasser durch stärkere Deiche und eine leistungsfä- hige Organisation der Deichverteidi- gung entschärft, auch im Bereich von Bergsenkungen. Im Mündungsgebiet des Rheins wurde die Abflußverteilung festgelegt. Die Zuiderzeewerke und die Deltawerke haben die Bedrohung der Niederlande durch Sturmfluten der Nordsee beseitigt.

Überblickt man die Gesamtheit der bis- herigen wasserwirtschaftlichen Maß- nahmen im Rheingebiet, so darf man sie als gesellschaftlich begründet und tech- nisch gelungen bezeichnen. Sie sind im Einklang mit den Bedürfnissen in zweckmäßiger Weise geschaffen wor- den. An ihnen bestätigen sich die Goe- theworte:

»Eröffn ich Räume vielen Millionen,  
Nicht sicher zwar, doch tätig-frei zu  
wohen.

Da rase draußen Flut auf bis zum  
Rand!«

Udenkbar wäre es heute, im dicht be- siedelten Mitteleuropa Talländerreien im Umfang von mehreren tausend Quadratkilometern der Willkür der Naturgewalten zu überlassen, sie als Sümpfe und Hochwasserüberschwem- mungsgebiete von der Nutzung durch den Menschen auszuschließen. Der Ausbau des Rheines und seiner Neben- gewässer ist in zeitgebundener Tech- nik, aber auch in Anpassung an die Na- tur und unter Berücksichtigung des Landschaftsschutzes, erfolgt. Die Ge- wässer bieten im wesentlichen ein na- türliches, ästhetisch ansprechendes Bild, durchaus im Gegensatz zu man- chen Flußausbauten in anderen Län- dern, die als Betonkanäle ausgeführt sind. Allerdings sind bei den Flußbau- und Hochwasserschutzmaßnahmen am Rhein auch beträchtliche Werte der Na- turlandschaft verloren gegangen. Dies ist aus heutiger Sicht sehr bedauerlich, braucht aber nicht als unabänderlich angesehen zu werden, sondern viele Naturwerte können zurückgewonnen werden. Hierin liegt eine wichtige Zu- kunftsaufgabe – nicht die einzige – für den Flußbau und die Landschaftspflege im Rheingebiet.

### 6.3 Künftige Einwirkungen auf Rhein und Rheintal

Im Blickfeld der künftigen Wasserwirt- schaft im Rheingebiet erscheinen dro- hende Auswirkungen einer vom Men-

schen verursachten Klimaveränderung. Sie können aus einer globalen Erwärmung und anderen Ursachen folgen, sind aber in ihrem Ausmaß noch nicht genau vorherzusagen. Wegen der kurzfristigen Veränderung von Witterungs- und Abflußgrößen sowie auch wegen mittelfristiger Schwankungen von Klimafaktoren sind sie aus historischen Aufzeichnungen und aus neuen Messungen schwer zu belegen. Die komplexen Wirkungsmechanismen machen theoretische Untersuchungen und Modellrechnungen schwierig. So liegen für das Rheingebiet bisher keine Aussagen über Änderungen von Klima- und Abflußdaten außerhalb des Erfahrungsgebietes vor, wenn sich die Schwankungen auch zu häufen scheinen. Beim gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse kann man davon ausgehen, daß auftretende neue Probleme in der Wasserwirtschaft des Rheingebietes gelöst werden können, so wie es in der Vergangenheit geschehen ist.

Bei den vorhandenen und den in überschaubarer Zukunft anstehenden Aufgaben ist es eine Selbstverständlichkeit, daß die umfangreichen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen im Rheingebiet ständiger Überwachung, Instandhaltung und Pflege bedürfen. Dies gilt für ältere Anlagen und insbesondere die großen Flußbauten, mit denen die Gewässer im 19. und 20. Jahrhundert an die wachsenden Anforderungen der Bevölkerung und der Wirtschaft angepaßt worden sind.

Heute können der Rhein und wichtige Nebenflüsse von der Großschiffahrt befahren werden. Allerdings ist die eingetretene Sohleintiefung des Niederrheins, die die Schifffahrt benachteiligt und auch die allgemeine Wasserwirtschaft belastet, noch nicht zum Stillstand gekommen. Sie muß durch weitere Flußbaumaßnahmen bekämpft und ggf. durch Materialzugabe ausgeglichen werden. Neue Kanalisierungsmaßnahmen stehen nach der Fertigstellung der Rhein-Main-Donau-Wasserstraße in der überschaubaren Entwicklung nicht an.

Die Wasserkraftnutzung dürfte aus wirtschaftlichen und anderen Gründen im wesentlichen auf die bereits dafür ausgebauten Flußstrecken beschränkt bleiben.

Allerdings sind zusätzliche Hochwasserschutzanlagen bedeutenden Umfangs zu schaffen. Sie sollen dazu dienen, die Steigerungen der Hochwasser durch menschliche Eingriffe, insbesondere durch die Oberrheinkanalisation nach 1955, zu kompensieren. Von den Rückhalteanlagen, die zur Wiederherstellung der früheren Hochwassersicherheit erforderlich sind, ist bisher nur ein Bruchteil verwirklicht worden. Ihnen stehen noch Interessengegensätze der infrage kommenden Träger und Einsprüche wegen der damit verbundenen ökologischen Veränderungen entgegen.

Der Öffentlichkeit hat das extreme Hochwasser vom Frühjahr 1988 wieder vor Augen geführt, welche großen Bedrohungen von den in unregelmäßigen Abständen auftretenden außergewöhnlichen Hochwassern ausgehen. Bis herab zum Mittelrhein sind angemessene Erweiterungen des Hochwasserschutzes festgelegt bzw. ermittelt worden. Weitere Untersuchungen bis zum Niederrhein, dessen Hochwasser ebenfalls durch den Oberrheinausbau erhöht werden können, sind angelaufen. Hier stellt sich die Frage, ob in bestimmten Bereichen in den Deichen Überlaufstrecken geschaffen werden sollen, um im Bedarfsfall besonders schutzbedürftige Baubereiche vom Hochwasserandrang zu entlasten.

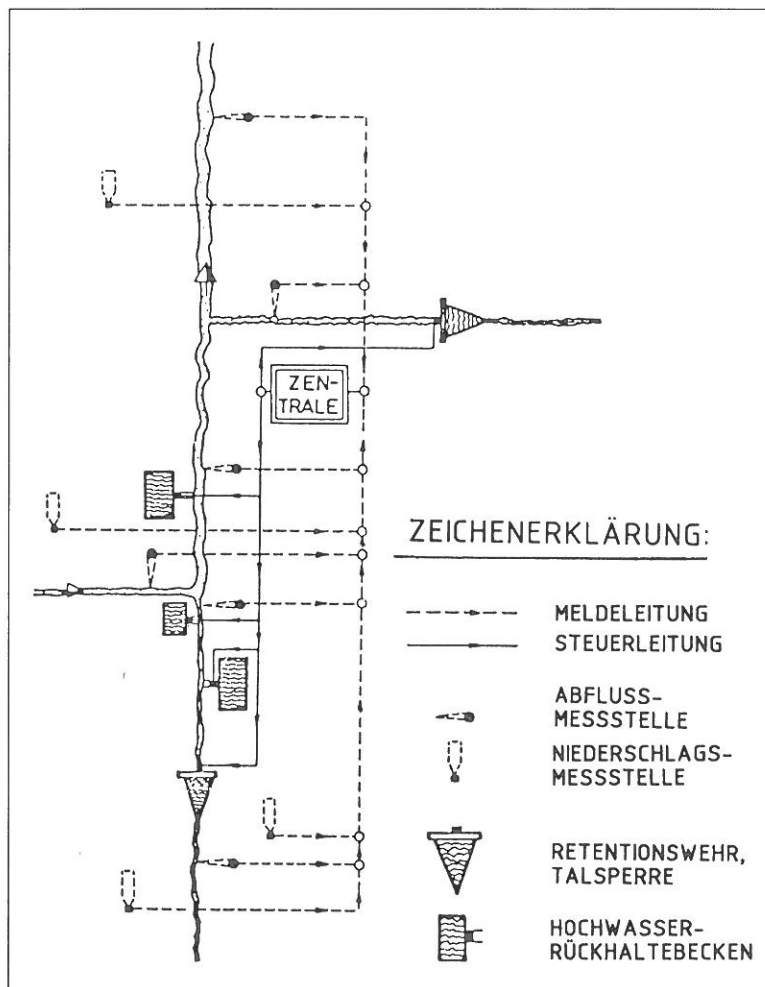
Stellenweise sind Erhöhungen von Deichen und Ufermauern in neuester Zeit erfolgt. Als allgemeine Lösung von verschärften Hochwasserproblemen sind sie indessen oberhalb der Niederlande nicht geeignet. Zwischen den erhöhten Deichen würde der Hochwasserabfluß weiter beschleunigt und aufgesteilt, so daß der Schutzbedarf der Unterlieger mehr und mehr ansteige. Auch mit Rücksicht auf das Landschaftsbild darf der Rhein nicht in einen umwallten und

ummauerten Hochwasserkanal verwandelt werden [Engel 1989].

Da sich die Hochwasser aus wechselnden Beiträgen der einzelnen Gebietsteile bilden und unterschiedlich ablaufen, wird ein variables Steuersystem für die Rückhaltungen benötigt. Es soll die Stauräume rationell, in Anpassung an die individuellen Hochwasser, einsetzen. Notwendige Räume für die Kapung extremer Spitzen sind vor deren Auftreten freizuhalten. Unnötige Einstau in Rückhaltebecken sind zu vermeiden. Das Ablassen der Speicher bei abklingendem Hochwasser ist dem Schutzbedarf entlang der Rheinstrecke unterhalb genau anzupassen. Ökologische Erfordernisse müssen mit diesen Forderungen in Einklang gebracht werden, woraus sich Kompromißlösungen ergeben können.

Bild 6.1  
Fernsteuerung zur  
Abflußregelung bei  
Hochwasser

Bild 6.1 zeigt die Anordnung eines um-



fassenden Steuersystems in symbolischer Darstellung [Kalweit 1984]. Es umfaßt Meßanlagen in verschiedenen Gebietsteilen, die Leitzentrale und die von dieser gesteuerten Regelorgane an den Rückhalteanlagen, alle durch Datenfernübertragung miteinander verbunden. Mittels eines mathematischen Modelles sollen in der Zentrale, entsprechend den hydrologischen Eingangsdaten der Meßstellen, die erforderlichen künstlichen Retentionsmengen nach Ort und Zeit errechnet werden. Danach sind laufend die individuellen Steuerungen der Speicher durch Fernwirkanlagen zu betätigen. Der Stand der Technik erlaubt es, ein derartiges System zur Beherrschung der Hochwasser im Rheingebiet unter Berücksichtigung der ökologischen und weiterer Wirkungen durchzuplanen und zu verwirklichen.

Die Dynamik der gesellschaftlichen Entwicklung wird auch in Zukunft zu neuen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen im Rheingebiet führen. So lassen sich durch den Bau weiterer Talsperren vielfältige volkswirtschaftliche und landschaftliche Vorteile verwirklichen. Die wünschenswerte Niedrigwasseranreicherung der Gewässer, selbst des Rheinstromes, wäre damit zu fördern.

Als überörtliche wasserwirtschaftliche Großmaßnahme bereitet das Land Nordrhein-Westfalen eine Verbundwasserversorgung am Niederrhein vor. In Abstimmung mit den Entwässerungs- und Hochwasserpumpwerken links des Rheines soll von Duisburg bis Xanten Grundwasser gewonnen und zu Trinkwasser aufbereitet werden. Dieses ist nach Süden in die Ballungsgebiete zu fördern. Dort soll es den Mehrbedarf decken und an die Stelle des derzeit aus dem Sümpfungswasser des Braunkohlentagebaus gewonnenen Trinkwassers treten; denn dieses wird bei künftig rückläufigen Sümpfungswassermengen nicht mehr zur Verfügung stehen.

Von den Einzelvorschlägen für kommende wasserwirtschaftliche Maßnah-

men, die herausragende Bedeutung haben, mag hier die erwogene Überleitung von Rheinwasser in das Restloch Hambach des Braunkohlentagebaues im Erftgebiet erwähnt werden. Nach der Auskohlung wird eine über 150 m tiefe, riesige Grube verbleiben, die infolge der langjährigen Sümpfung zunächst trockenliegt. Um ihren Raum von rund 800 Millionen Kubikmeter durch natürlichen Zugang von Niederschlags- und Grundwasser aufzufüllen, würden viele Jahrzehnte vergehen. Erwünscht ist aber eine Auffüllung in wenigen Jahren. Sie könnte nach Bild 6.2 durch einen Stollen aus dem Rhein bei größerer Wasserführung erfolgen, wodurch am Strom keine Nachteile entstehen würden. Bedenken hiergegen sind allerdings wegen der Fremdstoffbelastung des Rheinwassers erhoben worden [Erftverband 1975].

Wie die rasche Auffüllung des Tagebaus Hambach nach der Auskohlung in erster Linie der Landschaftsgestaltung und dem Naturschutz zugute käme, so sind zahlreiche andere Maßnahmen geplant oder in verschiedenen Stadien der Verwirklichung, die entsprechenden Zwecken dienen. Staatliche Zuschüsse zur Stilllegung oder zur extensiven Nutzung von landwirtschaftlichen Nutzflächen führen dazu, daß bereits die Oberläufe von Gewässern geschützt werden und daß die Natur Freiräume zurückerhält. Dies ist unter den ernährungswirtschaftlichen und landschaftspflegerischen Gegebenheiten der Gegenwart möglich geworden. Die Rückgabe von Flächen an eine wenig beeinflusste Natur wächst entlang der Bäche und Flüsse. Sie stützt sich auf wasserwirtschaftlich-ökologische Verbundplanungen und auf die Anpassung von Wassernutzungsanlagen an naturbedingte Erfordernisse, beispielsweise im Hessischen Ried [RP Darmstadt 1985].

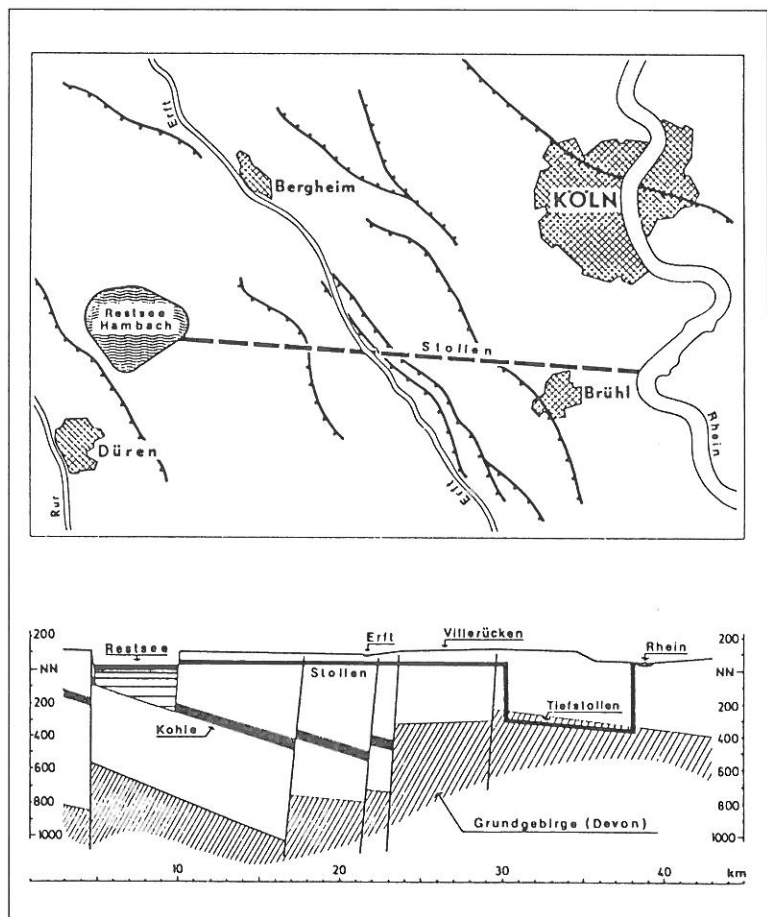
In den Niederlanden ist 1987 ein Plan zur tiefgreifenden Änderung der Vorlandbenutzung veröffentlicht worden [Dick de Bruin et al.]. Nach seinen Prinzipien sind am rechten Ufer der IJssel

bei Wijhe in den Jahren 1989/90 etwa 100 ha Vorland (»Duurserwaarden«) für die Entwicklung natürlicher Verhältnisse hergerichtet worden. Entsprechendes geschah 1991 mit einem 70 ha großen Gebiet (»De blauwe Kamer«) am rechten Ufer des Nederrijn bei Rhenen. Weitere ähnliche Maßnahmen sind in Planung.

Die Zusammenschau von Natur und Technik ist von einsichtigen Wasserbauern schon früh vertreten und im Rahmen ihrer Möglichkeiten verwirklicht worden. Sie beginnt geistiges Allgemeingut der Bevölkerung zu werden, wozu auch die Fachleute verschiedener Richtungen gehören, die auf das Zusammenspiel von Mensch und Natur aktiv Einfluß nehmen.

Die bisherige Entwicklung hat, trotz mancher Mißgriffe und nicht vorhersehbarer Naturschäden im Einzelnen, den Rhein und das Rheintal nach den Bedürfnissen der Bevölkerung umgestaltet

*Bild 6.2  
Rheinwasserüberleitung in den ausgekohlten Tagebau Hambach, Erftgebiet*



und dabei zumeist eine schöne Landschaft erhalten, stellenweise auch erst geschaffen. Das Bewußtsein, daß Technik und Natur im Gleichklang stehen müssen, ist vorherrschend geworden. So darf man darauf vertrauen, daß der Rhein, Idol und Realität, in Zukunft seinen wirtschaftlichen Wert und seinen kulturellen Glanz behalten wird.

## **Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen - Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft -**

### **7. Zusammenfassung**

#### **Veranlassung der Schrift und Bearbeitung**

Der Rhein und sein Einzugsgebiet sind durch den Menschen über viele Jahrhunderte hin immer stärker beeinflusst worden. Dadurch haben sie sich vom Naturzustand zu intensiv genutzten Teilen der mitteleuropäischen Kulturlandschaft entwickelt. Die Nutzbarkeit des Stromes und die Lebensbedingungen daran sind entscheidend verbessert worden. Allerdings gingen die erzielten Fortschritte nicht ohne Rückschläge vonstatten und sind auch nicht ohne nachteilige Veränderungen der Natur geblieben.

So ist es zu kontroversen Diskussionen gekommen, in denen einerseits die menschlichen Eingriffe generell gerechtfertigt, in denen sie andererseits als nachteilige Störungen der natürlichen Verhältnisse angegriffen worden sind. Bei solchen Stellungnahmen hat sich gezeigt, daß sie sich nicht auf eine umfassende Darlegung der künstlichen Veränderungen stützen. Sie berücksichtigen ihre Ursachen und Folgen am Rhein nur teilweise. Auch nehmen sie zu wenig Rücksicht auf die gesellschaftlichen Ansprüche, die maßgebende Wirkungsfaktoren sind. Für die Bewertung des heutigen Zustandes und die daraus zu ziehenden Schlüsse auf künftige Maßnahmen ist dies aber erforderlich.

Daher hat es die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes unternommen, übersichtliche und umfassende Darstellungen zu schaffen. Als Beitrag hierzu hat sie die historischen Ausbauten der Gewässer, der Schifffahrts- und Wasserkraftanlagen sowie des Hochwasserschutzes bis zur Gegenwart darstellen lassen. Dies ist im Rahmen einer Arbeitsgruppe erfolgt. Darin haben schweizer, deutsche und niederländische Fachleute zusammengearbeitet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden nachstehend zusammengefaßt. Einige Grundzüge der gewässerkundlichen Gegebenheiten und der Nutzungsansprüche an das Wasser sind vorangestellt.

#### **Natürliche Gegebenheiten**

Der Rhein ist mit seiner mittleren Wasserführung von  $2.200 \text{ m}^3/\text{s}$  an der Verzweigung des Bovenrijn in den Niederlanden einer der wasserreichsten Ströme Europas. Sein Einzugsgebiet erstreckt sich von Süden nach Norden über rund 900 km und umfaßt eine Fläche von  $185.000 \text{ km}^2$ . Es hat Anteil an den Hochalpen, wo seine Quellbäche entspringen, am Mittelgebirge, wo die größten Nebenflüsse Main und Mosel hinzukommen, sowie am Tiefland. Dort gelangt der Abfluß durch mehrere Mündungsarme in die Nordsee.

Die Teilgebiete weisen unterschiedliche hydrologische Bedingungen mit gewissen Gegenläufigkeiten auf. Infolgedessen unterliegt die Wasserführung des Rheins geringeren Schwankungen, als sie in anderen europäischen Flüssen vergleichbarer Größenordnung vorkommen. So hat der Oberlauf, wegen der Übertragung eines großen Teiles der Winterniederschläge im Schnee der Alpen auf den Sommer, in der kalten Jahreszeit geringere Abflüsse als in der warmen. Dagegen kehrt sich dieses

Verhältnis zum Niederrhein hin um; denn im Mittelgebirge und Flachland erfolgt keine ausschlaggebende Speicherung im Schnee und gehen die Sommerniederschläge größtenteils in Verdunstung über.

Nur im Alpenrhein weist der Fluß ein schroffes Abflußregime auf. Vom ausgleichend wirkenden Bodensee ab ist der Abfluß dann bis in den Mündungsbereich verhältnismäßig ausgeglichen. Von Zeit zu Zeit kommen allerdings ausgeprägte Niedrigwasserperioden und beträchtliche Hochwasserwellen vor. Sie stellen die Rheinanlieger vor erhebliche Aufgaben, um die zunehmend höher entwickelte Nutzung der Uferlandschaften und des Stromes selbst durch Bau- und Betriebsmaßnahmen zu sichern.

### **Ansprüche an Gewässer und Wassernutzung**

Am Rheingebiet sind hauptsächlich die Länder Schweiz, Deutschland, Frankreich und die Niederlande beteiligt, während fünf weitere Länder nur kleine Anteile am Niederschlagsgebiet einnehmen. Mit 54% der Fläche ist der deutsche Anteil am größten. Dies gilt auch für die Bevölkerungszahl. Im Rheingebiet als ganzem ist sie seit 1800 von weniger als 10 Millionen auf heute rund 50 Millionen angestiegen.

Mit dem Wachsen der Menschenzahl ist in neuerer Zeit eine gewaltige Steigerung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit einhergegangen, allerdings verbunden mit einer immer stärkeren Belastung der Landschaften. Auf Kosten von Wald und Ödland sind die landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgedehnt worden. Sie liefern heute die fünf- bis zehnfachen Hektarerträge der Zeit vor zweihundert Jahren. Hierzu haben Hochwasserschutzanlagen, Entwässerungen und Bewässerungen beigetragen.

Die gewerbliche Wirtschaft hat sich im Rheingebiet nicht nur an den Vorkommen natürlicher Bodenschätze, wie im Ruhrgebiet und an der oberen Mosel, ausgedehnt. Sie ist an zahlreichen Standorten intensiviert worden und erstreckt sich über fast alle Zweige der modernen Wirtschaft, bis zu Atomkraftwerken. Dementsprechend sind die Aufwendungen für Wasserversorgung und Abwasserbehandlung gestiegen.

Die Wasserstraße Rhein wird für die Güter- und Personenschifffahrt genutzt. Sie ist durch Anschlüsse an kanalisierte Flüsse und Kanäle ergänzt worden. Hochrhein, Oberrhein und zahlreiche Nebenflüsse dienen der Wasserkraftnutzung. Neuerdings haben die Bedürfnisse nach Wassersport und Erholung am Wasser beträchtlich zugenommen. Sie sind wesentliche Gesichtspunkte bei wasserwirtschaftlichen Planungen geworden. Letzteres gilt auch für die Vermehrung und die qualitative Verbesserung des Fischbestandes.

### **Eingriffe bis in die Anfänge des Industriezeitalters**

Bereits aus der Römerzeit sind Flußbauten am Rhein und an Nebengewässern nachweisbar. Sie dienten vorzugsweise der Schifffahrt, die wegen der meist schlechten Wegeverhältnisse eine überragende Bedeutung als Verkehrsträger hatte. Siedlungen und landwirtschaftlich wertvolle Ländereien an Flußufern wurden schon frühzeitig mit Deichen gegen Hochwasser gesichert.

Im Mittelalter bedingten umfangreiche Waldrodungen, ferner Klimaschwankungen und Bevölkerungswachstum, daß zunehmende Eingriffe in die Uferlandschaften und auch in den Rhein selbst erfolgten. Es kam zu ersten Bauten von Treidelwegen und zu Flußverlegungen, nicht immer von Erfolg gekrönt. Seitlich schuf man Anlagen

zum Hochwasserschutz, zur Entwässerung und Bewässerung. Sie dienten begrenzten örtlichen Zwecken und waren, außer im Mündungsgebiet des Rheins, nicht über längere Strecken miteinander verbunden. Die Wasserkraftnutzung wurde auf zahlreiche Stauwerke in den Nebengewässern und auf Schiffsmühlen im Rhein selbst ausgedehnt.

Einige zukunftsweisende Einzelmaßnahmen sollen besonders erwähnt werden. Dazu gehört im Alpengebiet die Umleitung des Kanderbaches in den Thunersee oberhalb Bern. Damit wurde eine Dämpfung der Hochwasserspitzen und die Ausscheidung von Geschieben erreicht, ein Vorbild für gleichartige Maßnahmen in späterer Zeit. Am Oberrhein gelangen den Anliegern einige dauerhafte örtliche Verbesserungen der Wasserverhältnisse mittels Durchstichen.

Das gravierendste Schifffahrtshindernis im Rhein, das Quartzitriff im Binger Loch, wurde in immer wieder aufgenommenen Anstrengungen allmählich für kleine Schiffe und für Flöße hinreichend passierbar gemacht. Am Niederrhein schufen die seit dem Mittelalter gebildeten Deichverbände bis zum 18. Jahrhundert schrittweise Anlagen zum durchgehenden Hochwasserschutz. Außerdem wurden mehrere Nebenwasserstraßen ausgebaut.

Besonders umfangreich waren die frühen wasserbaulichen Maßnahmen in den Niederlanden. Bereits im 14. Jahrhundert konnte das Banndeichsystem, das weitgehenden Schutz gegen Hochwasser bot, zum großen Teil geschlossen werden. Im 18. Jahrhundert wurde der Pannerdensch Kanaal gebaut, zunächst als Verteidigungsanlage, die aber bald als neue Verbindung zwischen Waal (Bovenrijn) und Nederrijn ausgestaltet wurde. Durchfließendes Wasser aus dem Bovenrijn erweiterte den Kanal, so daß, unter Umgehung des bisherigen Wasserlaufes Oude Rijn, eine neue Verbindung zum Nederrijn und zur IJssel entstand. Damit war eine gezielte Entlastung der Waal, des größten Unterlaufes des Rheins, eingeleitet. Einige Jahrzehnte später begannen am Unterlauf der Waal Arbeiten, um die Verbindungen mit der Maas einzuschränken und die Sicherheit gegen Hochwasser zu verbessern.

## **Einwirkungen im 19. und 20. Jahrhundert**

Fortschritte in Wissenschaften und ihren technischen Anwendungen, wachsende Wirtschaftskraft, politische Entwicklungen und Einsicht in die Notwendigkeit zu abgestimmtem Vorgehen führten im 19. und 20. Jahrhundert dazu, daß verwilderte Strecken des Rheines und wichtiger Nebengewässer geregelt wurden. Eine Reihe bedeutender Maßnahmen wird im folgenden aufgeführt.

### **Rheingebiet oberhalb Basel**

In der Alpenregion brachten häufige Überflutungen durch Hochwasser, Überschüttungen mit Geschiebe und Verlagerungen der Gewässer die Bevölkerung der Täler immer wieder in Notlagen. Sie wehrte sich dagegen mit zahlreichen Einzelmaßnahmen, dann auch mit Wasserbauten nach übergeordneten Plänen. Zwischen den Anliegerländern Schweiz, Österreich und Liechtenstein kam es zu Vereinbarungen über den Ausbau des Alpenrheins. Er erhielt ein stabiles und gleichmäßiges Bett. Seine vorher breit gefächerte Mündung in den Bodensee wurde zusammengefaßt und in die tiefe Seezone gerichtet. So konnte den Verlandungen im Uferbereich ein Ende gesetzt werden.



Bereits zu Anfang des 19. Jahrhunderts war im Gebiet der Aare die Umleitung der Linth in den Walensee erfolgt, um örtlich die Hochwassergefahr zu bannen. Fünfzig Jahre später begannen an der Aare selbst, dem größten Nebenfluß des Hochrheins, umfangreiche Wasserbauten. Sie verfolgten die Ziele, die Abflüsse zu vergleichmäßigen und die Sink- und Schwebstoffführung herabzusetzen. Die Maßnahmen sind als »Juragewässerkorrektion« bekannt geworden und mit dem Namen des Ingenieurs *La Nicca* verbunden. Ihr erster Schritt war die Umleitung der oberen Aare durch den Bielersee. Ausbauten der verbindenden Gewässer zum Neuenburger See und zum Murtensee sowie Wehr- und Regelungsbauten in der Aare unterhalb schlossen sich an. Danach konnten die Seen einheitlich zur Wasserspeicherung benutzt werden. Die Regelungsmaßnahmen sind in der Mitte dieses Jahrhunderts unter Auswertung der gewonnenen Erfahrungen vervollkommen worden.

An der Aare wurden auch Wasserkraftanlagen geschaffen. Das gleiche gilt für den Hochrhein, wo elf Kraftwerke an Staustufen eingerichtet wurden. Sie liefern zusammen rund vier Milliarden Kilowattstunden im Jahresdurchschnitt. Im südlichen Schwarzwald entstanden die Kraftwerkstrecken des Schluchseewerkes und des Hotzenwaldwerkes, verbunden mit Pumpspeichern. Sie nutzen Stauhaltungen im Hochrhein als Unterbecken.

Zur Nutzbarmachung der Wasserkräfte setzte ein umfangreicher Talsperrenbau ein. Der ersten Talsperre Pérolles aus dem Jahre 1872, die 21 m hoch war, folgten zahlreiche weitere Talsperren, insbesondere in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts. Oberhalb Basel hat der Gesamtinhalt der Speicher 1,8 Milliarden Kubikmeter überschritten. Sie dienen nicht alleine der Vergleichmäßigung des Abflusses für die Energiegewinnung, sondern bewirken im Verein mit den teilweise durch Wehre geregelten Randseen der Alpen eine Hochwasserminderung. Sie macht sich auf der Rheinstrecke unterhalb günstig bemerkbar.

## **Oberrhein**

Der Oberrhein war im Naturzustand bis unterhalb Straßburg in zahlreiche Gerinne zerfasert, die sich immer wieder veränderten. Daran schloß sich eine Strecke an, in der der Strom mit unregelmäßigen Windungen mäandrierte. Infolge dauernder Gewässerverlagerungen und ausgedehnter Versumpfungen war die Nutzung des Rheintales mit großen Schwierigkeiten und Gefahren verbunden. Insektenplagen, Typhus und Malaria waren endemisch. Ortslagen am Rhein wurden wiederholt ein Opfer der Fluten. Andere gerieten nach Hochwasserdurchbrüchen auf die gegenüberliegende Rheinseite. Schifffahrt war nur mit kleinen Fahrzeugen unter hohem Aufwand möglich.

Hierin bis über die Neckarmündung hinunter einen Wandel bewirkt zu haben, der den Menschen zugute kam, ist in erster Linie das Verdienst des badischen Ingenieur-offiziers *Tulla*. Er arbeitete Anfang des 19. Jahrhunderts die Grundlagen aus, um die Oberrheinstrecke auf ein gleichmäßiges, stabiles Bett festzulegen, und begann mit der Ausführung. Anfänglich stieß er bei den Anliegern auf Widerstand, bis sie den Segen der »Oberrheinkorrektion« vor Augen sahen und sie dann aus Einsicht unterstützten.

Von oben nach unten fortschreitend wurde bis 1880 die 280 km lange Rheinstrecke von Basel bis Worms ausgebaut. Infolge zahlreicher Durchstiche ergab sich eine Verkürzung der Lauflänge, in der Mäanderzone von 37%. Der Hochwasserschutz des Tales wurde entscheidend verbessert, überwiegend durch Deichbauten. In der

oberen Strecke entstand bereits vor der Mitte des 19. Jahrhunderts eine beträchtliche Eintiefung. Sie kam dem Hochwasserschutz zugute. Andererseits senkte sie das Grundwasser nachteilig ab und verursachte Erschwerungen der Schifffahrt. Diese Folge der Korrektur und begleitender Baumaßnahmen waren nur teilweise vorausgesehen worden.

Unterhalb Worms wurden die Ausbauten zur Regelung des Wildstromes fortgesetzt. Im Rheingau konnten sie erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts durchgreifend erfolgen, nachdem hier Schwierigkeiten durch politische Grenzen entfallen waren. Der unterhalb der Mainmündung andersartige Talcharakter mit wesentlich breiteren Wasserflächen blieb erhalten. Dazu trug die verständnisvolle Leitung der Arbeiten durch den preußischen Strombaudirektor *Nobiling* bei. Er hat sich auch bei den Ausbauten des Rheines unterhalb bis zur niederländischen Grenze Verdienste erworben.

Die erste Ausbauphase des Oberrheins hatte zur Festlegung des Stromes, zur Förderung der Schifffahrt und zum besseren Hochwasserschutz geführt. Die schwierigen Naturverhältnisse bedingten es aber, daß der Regelungserfolg nicht in einem ersten Schritt voll zu erzielen war. Daher mußten im oberen Bereich nach 1900 systematische Nachregelungen erfolgen, insbesondere mit Bühnenbauten zur Anhebung des Niedrigwasserspiegels. Unterhalb waren entsprechende Anpassungsarbeiten bereits vorausgegangen. Sie sind mit Einzelmaßnahmen bis in die jüngste Zeit fortgesetzt worden.

Weitere entscheidende Eingriffe fanden in der Oberrheinstrecke nach 1950 statt. Hier wurden zehn Staustufen errichtet, um die Wasserkraft zu nutzen und um die Großschifffahrt zu sichern. Die oberen vier Staustufen liegen an einem linken Seitenkanal zwischen Kembs und Vogelgrün. Insgesamt vermögen die zehn Wasserkraftanlagen rund 4,5 Milliarden Kilowattstunden im Jahresdurchschnitt zu liefern. Da die Staustufen den Geschiebetrieb unterbrochen haben, wird unterhalb des letzten Rheinwehres Iffezheim systematisch Kies zugegeben, wodurch die anschließende Flußsohle im Gleichgewicht gehalten wird. Die Zugabemenge beträgt etwa 180.000 m<sup>3</sup> im Jahre.

Infolge der Stauregelung des Rheines oberhalb Karlsruhe sind 130 km<sup>2</sup> der natürlichen Überschwemmungsflächen bei Hochwasser, entsprechend 60%, verloren gegangen. Dadurch sind die Hochwasserspitzen beschleunigt und wesentlich erhöht worden. Um daraus erwachsenden Gefahren für die Unterlieger zu begegnen, sind Rückhaltemaßnahmen im Gesamtumfang von 220 Millionen m<sup>3</sup> Inhalt geplant. Sie bestehen aus zeitweisen Einstauen im Bereich der Kraftwerkskanäle und aus zwei Kulturwehren im Rhein oberhalb Breisach und Straßburg. Die Wehre werden auch zur Einhaltung geeigneter Grundwasserstände in der Talaue benutzt. Außer den genannten Maßnahmen sollen rund 130 Millionen m<sup>3</sup> Stauraum in seitlichen Hochwasserrückhaltebecken vorgehalten werden. Hiervon ist erst ein kleiner Teil verfügbar, doch werden die gesamten Räume benötigt, um Steigerungen der Hochwasserspitzen bis zum 200-jährlichen Ereignis, dem Bemessungshochwasser, zu verhindern.

Eine Erhöhung der Deiche und Ufermauern zur Abwehr gestiegener Hochwasser ist als alleinige Maßnahme aus gestalterischen und wirtschaftlichen Gründen nicht angebracht. Ohnehin bestehen lange und hohe Deichstrecken mit bedeutendem Unterhaltungsaufwand. Großenteils sind sie nach einem verheerenden Hochwasser um die Jahreswende 1882/83 ausgebaut worden.

Die Regelungsarbeiten am Rheinlauf und die Hochwasserschutzmaßnahmen waren Voraussetzungen dafür, daß die seitlichen Talflächen stärker besiedelt und intensiv

von der Land- und Forstwirtschaft genutzt werden konnten. Viele Wasserwerke wurden gegen Hochwasser gesichert. In die Nutzung des Talgrundwassers teilen sie sich mit den Beregnungsanlagen. Neuerdings werden Altrheine und Teile der einstigen Naßbiotope renaturiert, um frühere Werte von Flora und Fauna zurückzugewinnen.

### **Mittel- und Niederrhein**

Der Mittelrhein verläuft von Bingen bis Bonn durch das Rheinische Schiefergebirge, vorwiegend in einem felsigen Bett. Auf dieser Strecke bestanden gefährliche Schifffahrtshindernisse. Sie haben in der Vergangenheit zahlreiche Opfer gefordert. An der Erweiterung der engsten Fahrwasserstelle, die im Binger Loch lag, war im 19. Jahrhundert mehrfach gearbeitet worden. Unter vermehrtem Aufwand wurde dies nach wissenschaftlicher Planung fortgesetzt. Schließlich konnte 1974 ein sicheres, 120 m breites Fahrwasser für die Schifffahrt zur Verfügung gestellt werden.

Entsprechende Maßnahmen erfolgten auch im Bereich der felsigen Hindernisse unterhalb bis St. Goar. Ausbauten im Interesse der Schifffahrt setzten sich bis in den Niederrhein fort. Heute ist eine durchgehende Schifffahrt, auch für umfangreiche Schubverbände, von der Küste bis über Basel hinaus möglich. An den Rhein, als wichtigste europäische Binnenwasserstraße, sind Kanäle und kanalisierte Flüsse angeschlossen. Sie verbinden ihn mit dem französischen Kanalnetz, über eine 1992 vollendete Kanalstrecke mit der Donau sowie mit den nordwest-deutschen und norddeutschen Wasserstraßen.

Während am Mittelrhein Maßnahmen des Hochwasserschutzes und der Landeskultur aus topographischen Gründen zurücktraten, gewannen sie am Niederrhein erstrangige Bedeutung. Hier waren einzelne Stromstrecken zu regulieren, Banndeiche auf beiden Ufern zu schaffen bzw. zu ergänzen und zahlreiche weitere wasserwirtschaftliche Maßnahmen auszuführen. Damit wurde den Bedürfnissen in der größten und am dichtesten bevölkerten Industrieregion am Rhein entsprochen.

Der Wasserbedarf am Niederrhein für die Trink- und Brauchwasserversorgung beträgt mehrere Milliarden m<sup>3</sup> im Jahr. Er kann nur unter Benutzung von Rheinwasser gedeckt werden, obwohl das landseitig gebildete Grundwasser sehr weitgehend genutzt wird, Talsperren in großem Umfang gebaut und andere Gewinnungsmöglichkeiten erschlossen worden sind. Das Rheinwasser wird überwiegend in Form von Uferfiltrat gewonnen.

Mit einem Sonderproblem, das mit Schwerpunkt bei Duisburg aufgetreten ist, hatte man zu kämpfen, als nach 1908 zunehmende Sohlsenkungen des Strombettes auftraten. Sie erreichten maximal 2,5 m Tiefe und stellten den Hochwasserschutz örtlich infrage. Auch erschwerten sie die Schifffahrt und wirkten sich nachteilig auf die Grundwasserstände und die Ökologie aus. Hauptursache waren Bergsenkungen durch Steinkohle- und Steinsalzabbau. Andere Gründe, insbesondere Kiesentnahmen aus dem Flußbett, kamen hinzu. Diese wurden alsbald eingestellt. Mit flußbaulichen Maßnahmen versuchte man, der Sohlsenkung entgegenzuwirken und brachte sie neuerdings zum Stillstand. Die Banndeiche mußten streckenweise mehrfach aufgehöhht werden.

Neben Wasserbauten aus wirtschaftlicher Veranlassung sind am Niederrhein in großem Umfang landschaftsgestaltende Maßnahmen erfolgt, die der Erholung am Wasser zugute kommen. Hierzu wurden u.a. große Baggerlöcher zu Wassersportanlagen ausgestaltet. Die Sicherheit gegen Hochwasser wurde systematisch gesteigert. Im Grenzgebiet zwischen Deutschland und den Niederlanden wird sie in Zusammenarbeit beider Staaten gewährleistet.

## Rheingebiet in den Niederlanden

Wie kein anderes Land im Einzugsgebiet des Rheins sind die Niederlande auf eine umfassende und planmäßige Wasserwirtschaft angewiesen. Zum überwiegenden Teil liegen sie tiefer als das Niveau von großen Hochwassern in den Flüssen oder von Sturmfluten in der Nordsee. Dies gilt an allen drei Mündungsarmen des Rheins, Waal, Nederrijn - Lek und IJssel, sowie an Nebenläufen.

Bereits im Mittelalter und im Anfang der Neuzeit waren umfangreiche Hochwasserschutz- und Entwässerungsanlagen ausgeführt worden. Sie wurden im 19. und 20. Jahrhundert vervollkommen und ergänzt. Dabei versuchte man zunächst, die Hochwasserspitzen durch seitliche Ausleitungen auf schadlose Beträge abzumindern. Dies bewährte sich nicht, so daß man dazu überging, die Flüsse auf größeres Abführungsvermögen auszubauen und das gesamte Hinterland durch Banndeiche zu schützen. Seit den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts verlagerte sich das Hauptgewicht der Arbeiten in die Nähe der Nordsee. Dort wurden in den Gewässermündungen große Sperrwerke geschaffen, als erstes der 1932 geschlossene Absperrdamm der Zuiderzee. Die Süßwassergrenze wurde gegen die Küstenlinie vorgeschoben.

Zur Erweiterung der Schifffahrt wurden, neben Regelungen der Flüsse, Kanal- und Schleusenbauten geschaffen. In großen Landesteilen konnte eine genaue Einstellung der Grundwasserstände erreicht werden. Die Trinkwasserversorgung wurde unter anderem durch Rheinwasser bezuschußt, das im Dünengürtel der Küste infiltriert und aufbereitet wurde.

Am Anfang der systematischen Gewässerausbauten, die schrittweise zu dem heutigen Zustand des Hochwasserschutzes und der Flüsse führten, stand ein Bericht der Wasserbaubeamten *Ferrand* und *Van der Kun*. Ihre Leitgedanken, ergänzt durch neuere Erkenntnisse und Bedürfnisse, wurden in die Tat umgesetzt. Dies galt sowohl für allgemeine Bemessungsfragen wie für bestimmte Einzelmaßnahmen.

Dazu gehörte am Nederrijn die Abdämmung des Oude Rijn und die genaue Verteilung des Rheinabflusses auf die Hauptarme. Als Hauptarm behielt die Waal ihre Bedeutung als größter Wasserlauf und Hauptschiffahrtsweg. Der Nederrijn wurde mit drei Stau-stufen kanalisiert. Sein oberstes Stauwehr Driel erhielt eine wichtige Funktion bei der Abflußverteilung auf die Rheinarme. Dem Nederrijn fiel bei kleineren Abflüssen der geringste Anteil zu. Die IJssel blieb, entgegen anderen Vorschlägen, ohne Stauwehre. Sie wurde in mehreren Ausbausritten an die Aufgaben angepaßt, als leistungsfähiger Schifffahrtsweg zu dienen, genügend Abführungsvermögen bei Hochwasser zu bieten und im Nordwesten und Norden der Niederlande benötigtes Süßwasser aus dem Rhein zuzuleiten, teilweise auf dem Wege über das ausgesüßte IJsselmeer.

Das Hafengebiet von Rotterdam, wohin Abflußanteile aus dem Nederrijn und der Waal gelangen, wurde nach 1860 durch Ausbaggerung des Nieuwe Waterweg auf kürzestem Wege mit der Nordsee verbunden. Dadurch entstand eine Zufahrtmöglichkeit für große Seeschiffe. Mit nachfolgenden Bauten wurde sie die Grundlage zur Steigerung des Güterumschlages in einem solchen Maße, daß Rotterdam zum bedeutendsten Hafen Europas geworden ist.

Der Unterlauf der Waal wurde oberhalb des Hollandsch Diep baulich von der Maas getrennt, um Hochwasserschutz und Binnenentwässerung in die Hand zu bekommen. Das durch Sturmflut und Hochwasser zwischen beiden Flüssen entstandene, von Prielen durchzogene Gebiet der Merwede bei Dordrecht, der Biesbosch, wurde entwässert und kultiviert.

Als neueste Großbauten folgten in den Niederlanden die Maßnahmen an den Küsten. Nach schweren Sturmflutschäden 1916 wurde die Meeresbucht der Zuiderzee gegen die Nordsee abgedämmt. Im Schutz des Dammes sind bisher 165.000 ha vorherigen Meeresbodens trockengelegt und meist in Nutzung genommen worden, während einige Teile zum Naturschutzgebiet erklärt worden sind.

Nachdem die großen Kriegsschäden an den Seedeichen ab 1945 beseitigt worden waren, wurde als erstes neues Werk gegen Sturmfluten die Brielsche Maas südwestlich Rotterdam abgedämmt. Danach bewirkte die Sturmflutkatastrophe am 1. Februar 1953, die über 1.800 Menschenleben kostete, offensive Großmaßnahmen in einem Umfang, der vorher nicht für ausführbar gehalten worden war. Sie wurden im »Deltaplan« zusammengefaßt und realisiert. Seine gewaltigen Sperrwerke in den Buchten der Nordseeküste und den Flußmündungen erstrecken sich von südwestlich Rotterdam bis Walcheren. Sperrwerke in Haringvliet, Grevelingen, Oosterschelde und Veerse Gat haben eine durchgehende Schutzbarriere gegen die Nordsee dicht an der Küste geschaffen. Davon bleibt das Sperrwerk in der Oosterschelde aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen für die normale Tide offen, während die anderen Sperrwerke dagegen geschlossen gehalten werden. Die Süßwassergrenze hat sich im nördlichen Bereich der Sperrwerke weit vorgeschoben. Vom Rhein-Maas-Gebiet bis zur Schelde ist ein Großschiffahrtsweg geschaffen worden.

Die Wasserbauten in den Niederlanden, an der Küste, an den Flüssen und über das Hinterland verteilt, werden neuerdings durch eine planmäßige Pflege von ökologisch besonders wertvollen Standorten ergänzt. In ihrer Gesamtheit prägen sie den Charakter des Landes als eines Gebietes, das dank intensiver Wasserwirtschaft für den Menschen zu hohem Lebenswert gelangt ist und diesen behält.

### **Ausblick**

Nach den Bedürfnissen von Bevölkerung und Wirtschaft ist der Rhein von einem unregulierten, oftmals Schaden bringenden Naturgewässer zur Lebensader von Kulturlandschaften umgestaltet worden. Trotz mancher verfremdender Eingriffe hat er seinen Charakter als Kulturgut behalten. Vielfältige Bestrebungen haben eingesetzt, um verlorene oder beeinträchtigte Naturschätze an seinem Lauf in erreichbarem Umfang wieder zurückzugewinnen.

Auch in Zukunft wird es technische Eingriffe geben, um das Gewonnene zu erhalten und weiter zu entwickeln. Die Dynamik des Wasserkreislaufes kennt keinen Stillstand, ebensowenig wie diejenige der Gesellschaft. Neue wasserbauliche und organisatorische Maßnahmen kündigen sich an. Sie bestehen zum Beispiel in künstlichen Hochwasserrückhaltungen als Glieder eines umfassenden Steuerungssystems. Ferner wird am linken Niederrhein das Problem auftreten, das riesige Restloch des Braunkohlentagebaus westlich der Erft nach Beendigung des Abbaus rasch mit Rheinwasser aufzufüllen. Die weitere Verbesserung der Rheinwasserbeschaffenheit, auf die im Rahmen dieser Schrift allerdings nicht eingegangen wird, stellt länderübergreifende Sanierungsaufgaben.

Bisher ist es gelungen, den Rhein in seinem wirtschaftlichen Wert zu steigern und in seinem kulturellen Glanz weithin zu erhalten. Auch für die Zukunft darf man darauf vertrauen, daß dies so bleiben wird. Die Anliegerländer wirken in ihren Arbeitsgemeinschaften dahin, diese Aufgabe gemeinsam zu erfüllen.

## **Le Rhin sous l'influence de l'homme - aménagement, navigation, gestion des eaux -**

### **7. Résumé**

#### **But du rapport et réalisation**

Au cours des siècles, le Rhin et son bassin ont subi toujours plus fortement l'influence de l'homme. Quittant leur état naturel, ils sont devenus des éléments, intensément exploités et cultivés, du paysage de l'Europe centrale. D'un côté, on constate des améliorations décisives des facilités offertes par le fleuve, ainsi que des conditions de vie de la population. Mais d'un autre côté, les progrès réalisés n'ont pas été sans revers, ni sans apporter de changements nuisibles à la nature.

Depuis quelques années, une vive polémique oppose ceux qui soutiennent le bien fondé général des interventions humaines sur le cours du fleuve et ceux qui les condamnent pour les perturbations et nuisances causées à l'environnement. Mais il s'est avéré que ni les uns ni les autres ne parvenaient à fonder leurs arguments sur une connaissance suffisante des modifications artificielles mises en cause. De plus, ces divers arguments ne tenaient que partiellement compte des raisons justifiant ces modifications, ni non plus de leurs conséquences sur l'état du Rhin. Ils ne prenaient que trop peu en compte également un facteur souvent décisif: les exigences des populations riveraines. Des connaissances de base sont cependant indispensables si l'on veut pouvoir évaluer ce qui a été réalisé et en tirer éventuellement des conclusions utiles, si d'autres mesures encore devaient être prises à l'avenir.

C'est la raison pour laquelle la Commission internationale pour l'Hydrologie du bassin du Rhin a entrepris une vaste présentation synoptique des travaux réalisés à ce jour. Comme contribution à cette entreprise, elle a demandé un rapport consacré à l'historique des ouvrages destinés à la navigation, à la production d'énergie hydro-électrique et à la protection contre les crues. Un groupe de travail constitué d'experts allemands, suisses et néerlandais a été chargé de cette tâche.

Un résumé de cette étude est donné ci-après avec, au préalable, quelques données hydrologiques, ainsi qu'un aperçu des besoins relatifs à l'utilisation des eaux.

#### **Quelques données sur l'état naturel**

Le Rhin avec son débit moyen de 2.200 m<sup>3</sup>/s à la bifurcation du Rhin inférieur («Bovenrijn» aux Pays-Bas) est un des fleuves les plus abondants d'Europe. Son bassin versant s'étale du sud au nord sur environ 900 km, avec une surface de 185.000 km<sup>2</sup>. Il s'étend sur une partie importante du Massif alpin, où il trouve sa source, sur la région montagneuse centrale, de laquelle il reçoit ses principaux affluents, le Main et la Moselle, ainsi que sur la basse plaine. Le fleuve se divise alors en plusieurs bras, pour atteindre la mer du Nord.

Les sous-bassins présentent des conditions hydrologiques assez variées, ayant des régimes souvent en franche opposition l'un par rapport à l'autre. De ce fait, le débit du Rhin est moins variable que celui d'autres fleuves européens de même importance. A cause du stockage dans les Alpes, sous forme de neige, d'une grande partie des précipitations hivernales et de leur fonte en été, le débit du cours supérieur passe par un minimum en saison froide. Au contraire, sur le Rhin inférieur, c'est pendant

la saison chaude que les bas débits se présentent. Dans les régions montagneuses centrales et dans la basse plaine en effet, le stockage de la neige est peu important et les précipitations estivales sont en grande partie évaporées.

Ce n'est que dans le Rhin alpin que le régime du fleuve présente des variations abruptes. En aval du lac de Constance avec son influence régulatrice le régime hydrologique est relativement régularisé jusqu'au Delta. De temps à autres, interviennent de longues périodes d'étiage ou de vastes ondes de crues, qui compliquent singulièrement la tâche des riverains. Ceux-ci doivent en effet assurer, au moyen d'aménagements hydrauliques et d'un ensemble de prescriptions techniques, une exploitation économique du fleuve et des régions riveraines, de plus en plus développées.

### **Charges imposées aux cours d'eau et utilisation des eaux**

La Suisse, l'Allemagne, la France et les Pays-Bas sont les principaux pays qui ont part au bassin du Rhin, alors que cinq autres pays se partagent cependant encore des parts peu importantes du bassin versant hydrologique. Avec ses 54 % du bassin, la part de l'Allemagne est la plus grande. Sa part est également la plus grande en ce qui concerne la population. Celle-ci a d'ailleurs augmenté dans tout le bassin du Rhin, passant d'environ 10 millions d'habitants en 1800 à près de 50 millions aujourd'hui.

La croissance du nombre des habitants est allée de pair avec une augmentation importante de la production économique, provoquant inévitablement une charge toujours plus forte pour l'environnement. Les surfaces cultivées se sont étendues, aux dépens de la forêt et des terres incultes. Aujourd'hui elles fournissent une production à l'hectare de cinq à dix fois plus importante qu'il y a deux cents ans. Il est certain que les ouvrages de protection contre les crues, les drainages et l'irrigation y ont contribué.

Dans le bassin du Rhin, l'industrie ne s'est pas seulement développée, autour de gisements de richesses naturelles comme dans la Ruhr et la haute-Moselle. En effet, l'industrie a pris de l'extension en de très nombreux endroits, s'étendant à presque tous les secteurs modernes, jusqu'aux centrales nucléaires. En conséquence, les besoins en eau et en traitement d'eaux usées n'ont fait qu'augmenter.

À ceci s'ajoute l'utilisation du Rhin et des fleuves canalisés auxquels il est raccordé, pour le transport par bateau de passagers et de marchandises. Le Rhin supérieur, le haut Rhin, ainsi que de nombreux affluents, sont mis à contribution pour la production d'énergie hydroélectrique. Et récemment, on assiste à un accroissement considérable des exigences en tout ce qui concerne les sports nautiques, les loisirs au bord de l'eau et l'amélioration des peuplements de poissons. En économie des eaux, ce sont là des éléments de planification devenus tout à fait essentiels.

### **Les interventions humaines avant l'ère industrielle**

On a pu prouver que, déjà à l'époque romaine, des travaux ont été entrepris sur le Rhin et ses affluents. Ces travaux servaient avant tout à la navigation, dont l'importance était primordiale, en raison des conditions souvent déficientes des routes. Très tôt déjà, des agglomérations d'habitations et de riches domaines agricoles, furent protégés contre les crues par des digues.

Au Moyen Age, de vastes défrichements, des variations climatiques et un accroisse-

ment de la population, nécessitèrent des interventions de plus en plus fréquentes sur les rives et dans le lit du Rhin même. On en arriva aux premières constructions de chemins de halage et de dérivations de fleuves, qui ne furent pas toujours couronnées de succès. En bordure du Rhin, on entreprit des travaux d'aménagement pour la protection contre les crues, pour le drainage ou l'irrigation. Ces ouvrages couvraient des besoins limités au rayon local et n'étaient pas reliés entre eux sur de grandes distances, sauf dans la région du Delta. L'utilisation de l'énergie hydraulique se répandit, avec la construction de très nombreux ouvrages de retenue sur de petits affluents et avec l'implantation de moulins flottants, sur le Rhin.

Il faut signaler quelques mesures innovateur en particulier, comme par exemple la dérivation de la Kander dans le lac de Thoune, en amont de Berne. Cette dérivation produisit une atténuation des pointes de crue, assura l'élimination des graviers charriés par cette rivière et ouvrit la voie, bien plus tard, à des réalisations similaires. Sur le cours du Rhin supérieur, les riverains obtinrent des améliorations locales permanentes, au moyen de coupures de méandres.

A la suite d'efforts incessants, la restriction la plus sérieuse à la navigation sur le Rhin, la passe du récif de quartzite de la Barre du Trou à Bingen, fut rendue peu à peu suffisamment navigable pour de petits bateaux ou des radeaux. Sur le Rhin inférieur, diverses associations, fondées dès le Moyen Age pour créer des digues, construisirent par étapes successives, et ce jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, des ouvrages assurant une protection continue contre les crues. De même, plusieurs voies navigables secondaires furent approfondies.

Les premiers travaux d'aménagement fluviaux entrepris aux Pays-Bas ont eu une extension particulièrement importante. Au XIV<sup>e</sup> déjà, il fut possible d'effectuer la fermeture de la plus grande partie d'un système efficace de digues de protection contre les crues. Au XVII<sup>e</sup> siècle, on construisit le Pannerdensch Kanaal, tout d'abord un ouvrage défensif, mais bientôt développé comme une nouvelle liaison entre le Waal (Bovenrijn) et le Nederrijn. Ce canal s'étant élargi par l'action de l'écoulement du Bovenrijn, une nouvelle liaison du Rhin inférieur vers l'IJssel s'est créée, contournant l'ancien cours (Oude Rijn). C'est ainsi qu'a commencé la décharge planifiée des eaux du Waal, le plus important des cours inférieurs du Rhin. Quelques décennies après, des travaux furent entrepris sur le cours inférieur du Waal, dans le but de restreindre les liaisons avec la Meuse et d'améliorer la sécurité contre les crues.

## **Nouvelles interventions aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles**

Aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles, les progrès dans le domaine des sciences et de leurs applications techniques, la puissance économique croissante, certains développements politiques et la prise de conscience de la nécessité de coordonner les interventions, ont eu pour effet que les tronçons encore sauvages du Rhin et de ses plus importants affluents purent être régularisés. Une série d'aménagements importants est présentée ci-après.

### **Le bassin du Rhin en amont de Bâle**

Dans les régions alpines, des inondations fréquentes dues à des crues, à des déversements de matériaux charriés, ou à des déplacements du lit des cours d'eau, mettaient encore et toujours les populations en péril. Au début, celles-ci se protégeaient par de nombreuses actions isolées, puis plus tard, aussi par des aménagements hydrauliques.



ques, prévus dans des plans établis à l'échelon supérieur. Entre les pays riverains, la Suisse, l'Autriche et le Liechtenstein, on signa des conventions relatives à l'aménagement du Rhin alpin, qui finit ainsi par avoir un lit stable et régulier. Son estuaire dans le lac de Constance avait autrefois de nombreuses ramifications qui furent réunies en un seul chenal, réorienté vers une zone plus profonde du lac. Tout ceci mit fin aux atterrissements et à l'ensablement des rivages.

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle déjà, un affluent de l'Aar, la Linth, fut détourné dans le lac de Walenstadt, pour supprimer localement le danger de crues. Cinquante ans plus tard, on entreprit des aménagements très importants de l'Aar, le cours d'eau principal du bassin du haut Rhin. Il s'agissait d'en régulariser le débit et de diminuer le transport des matières solides. Ces travaux sont connus sous le nom de «Première correction des eaux du Jura» et restent liés au nom de l'ingénieur *La Nicca*. La première étape fut le détournement de l'Aar supérieur vers le lac de Biemme. Ensuite vint l'aménagement des liaisons entre les lacs de Morat et de Neuchâtel, de Neuchâtel et de Biemme, et l'aménagement même de l'Aar. On put alors utiliser l'ensemble formé par les trois lacs comme un seul grand réservoir. A partir de l'évaluation des expériences faites, les aménagements en vue de la régularisation ont encore été perfectionnés, vers le milieu de ce siècle.

Mais sur l'Aar, on a également construit des usines hydro-électriques, de même que sur le haut Rhin, où 11 centrales ont été installées avec des retenues, fournissant une moyenne annuelle d'environ 4 milliards de kilowatts-heures. Au sud de la Forêt Noire, le complexe des installations hydro-électriques du Schluchsee et de l'Hotzenwald, reliées entre elles, accumulent cycliquement de l'énergie par pompage. Elles utilisent comme réservoir inférieur des retenues établies sur le cours du haut Rhin.

La mise en valeur des forces hydrauliques a impliqué la construction d'importants barrages de vallée. Le premier d'entre eux, celui de Pérolles, date de 1872 et atteint une hauteur de 21 m. Sa construction a été suivie de celle de beaucoup d'autres, surtout dans la deuxième moitié de ce siècle. En amont de Bâle, la capacité totale des barrages dépasse 1,8 milliard de m<sup>3</sup>. Tous ces barrages ne font pas que de permettre la régulation des débits en vue de la production d'énergie mais, conjointement avec les lacs périalpins partiellement régularisés, ils procurent une bonne atténuation des crues. Cette atténuation se marque de façon favorable sur le tronçon directement en aval.

## Le Rhin supérieur

Dans son état naturel, le Rhin supérieur jusqu'en aval de Strasbourg se dispersait suivant de multiples chenaux, divaguant sans cesse. Puis il se stabilisa sur un parcours où le courant méandrait selon des boucles irrégulières. En raison du dépôt incessant de matériaux charriés et de la formation de marécages, la mise en valeur de la vallée du Rhin présentait d'énormes difficultés et des dangers certains. La région était infectée de moustiques; le typhus et le paludisme y étaient endémiques. Des localités au bord du Rhin étaient fréquemment victimes d'inondations. D'autres parvenaient à l'autre côté du Rhin après des débordements. La navigation n'était possible qu'avec de petites embarcations et aux d'efforts considérables.

Le mérite d'avoir apporté une amélioration, et ceci jusqu'à l'embouchure du Neckar, revient en premier lieu à *Tulla*, un officier du corps des ingénieurs badois. Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, il a élaboré les bases d'une stabilisation du cours du Rhin supérieur, avec un lit régulier et stable. Il a aussi commencé l'exécution des travaux. Au début,

il se heurta à l'opposition des riverains, jusqu'au moment où ceux-ci virent de leurs yeux quelle bénédiction représentait cette correction du Rhin supérieur et la soutinrent en connaissance de cause.

Jusqu'en 1880 et progressant d'amont en aval, on aménagea sur 280 km le tronçon de Bâle à Worms. Par suite de nombreuses coupures de méandres, la longueur fut raccourcie de 37%, dans la zone concernée. La protection de la vallée contre les crues se trouva améliorée de façon décisive, surtout par la construction de digues. Sur le tronçon supérieur, déjà avant le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, un approfondissement considérable du lit s'était produit. Favorable à la protection contre les crues, cette tendance causait des difficultés à la navigation et abaissait le niveau des nappes phréatiques de façon défavorable. Ces conséquences-là de la correction n'avaient été prévues que partiellement.

En aval de Worms, les travaux destinés à régulariser le courant impétueux se poursuivirent. Dans le Rheingau, ils ne purent être réalisés que vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, après que des difficultés soulevées par les frontières politiques purent être aplanies. En aval de l'embouchure du Main, le caractère particulier de la vallée fut maintenu, avec ses plans d'eau beaucoup plus larges. La conduite intelligente des travaux, assurée par le directeur des Constructions hydrauliques de Prusse, *M. Nobiling*, y contribua certainement. A celui-ci également revient le mérite de l'aménagement du Rhin, vers l'aval, jusqu'à la frontière néerlandaise.

La première phase de l'aménagement du Rhin supérieur a permis de fixer le cours du fleuve, de développer la navigation et d'assurer une meilleure protection contre les crues. En raison des difficiles conditions naturelles, le succès de la régularisation ne pouvait être complet du premier coup. C'est pourquoi, dès 1900, des travaux systématiques complémentaires durent être entrepris sur le cours supérieur, comportant notamment la stabilisation du chenal par des épis, destinés à faire remonter le niveau d'étiage. En aval, des aménagements correspondants avaient déjà été réalisés précédemment et ont d'ailleurs sporadiquement été poursuivis jusqu'à nos jours.

D'autres interventions décisives encore ont été pratiquées sur le tronçon supérieur du Rhin, après 1950. Dix barrages y ont été construits, afin d'utiliser l'énergie hydraulique et d'assurer la navigation de gros tonnage. Les quatre barrages supérieurs se situent sur le canal latéral, rive gauche, entre Kembs et Vogelgrün. Les dix centrales hydro-électriques fournissent en moyenne un total annuel, d'environ 4,5 milliards de kWh. Comme les retenues ont diminué considérablement le débit solide du charriage de fond, du gravier est systématiquement ajouté en aval du dernier barrage sur le Rhin, à Iffezheim, pour maintenir l'équilibre du lit. Le volume de gravier ainsi déversé annuellement est de 180.000 m<sup>3</sup>.

A cause de la régulation du Rhin, due aux barrages situés en amont de Karlsruhe, 130 km<sup>2</sup> de plaine naturelle inondable lors des crues ont disparu, ce qui représente le 60% de l'étendue initiale. De ce fait, les crues se sont singulièrement accentuées en aval. Pour remédier à l'accroissement du risque encouru de ce fait par les riverains, des dispositions permettant de retenir un total de 220 millions de m<sup>3</sup> sont projetées. Ces dispositions consistent en une accumulation temporaire dans la zone des canaux des usines électriques et deux barrages mobiles à usage agricole, en amont de Breisach et de Strasbourg. Ces deux barrages serviraient aussi au maintien d'un niveau approprié des nappes phréatiques de la vallée. De plus un volume d'accumulation d'environ 130 millions de m<sup>3</sup> devrait être disponible dans des réservoirs de crue latéraux. De tout ce dispositif, seule une petite partie est actuellement disponible, mais la totalité de son volume serait nécessaire pour pouvoir limiter

les pointes de crues, pouvant aller jusqu'à celles d'une «période» de 200 ans, au niveau de la crue dite «de projet».

Un rehaussement des digues et des murs construits sur les rives, pour retenir les crues devenues plus importantes, ne peut être envisagé à titre de mesure unique de remplacement, et cela pour des raisons aussi bien esthétiques qu'économiques. De longues et hautes digues ont déjà été construites sur d'importants tronçons, dont le maintien occasionne des frais élevés. La plupart d'entre elles ont été achevées après une crue destructrice, ayant commencé dans les derniers jours de 1882.

Les travaux de régulation du cours du Rhin ainsi que les ouvrages de protection contre les crues représentaient des conditions préalables à ce que les surfaces latérales de la vallée soient plus intensément mises en valeurs, que ce soit de l'urbanisation, de l'agriculture ou de la silviculture. Beaucoup d'ouvrages de captages furent ainsi protégés des crues. Ceux-ci se partagent l'utilisation des eaux souterraines de la vallée avec les installations d'irrigation. Récemment, d'anciens bras du Rhin et une partie des biotopes humides de naguère ont été restaurés afin de redonner à la flore et à la faune un peu du rôle qu'elles avaient.

### **Le Rhin moyen et le Rhin inférieur**

Le Rhin moyen coule entre Bingen et Bonn à travers le Massif schisteux rhénan, où il est enserré en grande partie dans un lit rocheux. Des obstacles à la navigation y présentaient un danger redoutable, et les victimes en furent très nombreuses dans le passé. Au XIX<sup>e</sup> siècle, on entreprit à plusieurs reprises d'élargir la passe la plus étroite, celle du Trou de Bingen. A un prix toujours plus élevé, ces travaux ont été poursuivis selon un plan scientifiquement établi. Finalement, en 1974, un chenal navigable et sûr, d'une largeur de 120 m, pouvait être mis à la disposition de la navigation.

Des mesures semblables ont également été prises pour les obstacles rocheux situés en aval, jusqu'à St-Goar. Des aménagements ont été pratiqués, dans l'intérêt de la navigation, jusqu'au Rhin inférieur. Aujourd'hui, la navigation est possible de façon continue, depuis la côte jusqu'à Bâle, même pour le poussage de grands assemblages de péniches. Le Rhin, étant le fleuve le plus important d'Europe, de nombreux canaux et fleuves canalisés lui sont reliés. Il est ainsi relié aux réseaux des canaux français, au Danube par une liaison achevée 1992, ainsi qu'au réseaux du nord-ouest et du nord de l'Allemagne.

Alors que sur le Rhin moyen les mesures de protection contre les crues et la mise en valeur des terres sont en net retrait pour des raisons topographiques, celles-ci prennent une importance primordiale sur le Rhin inférieur. Là en effet, certains tronçons durent être régularisés et des digues de protection durent être construites ou complétées sur les deux rives, ainsi que de nombreux autres travaux d'aménagement hydrauliques. Avec cela, les besoins de la région industrielle la plus grande et la plus peuplée des bords du Rhin se sont trouvés satisfaits.

La demande en eau potable et en eau destinée à l'agriculture ou à l'industrie, dans la région du bas Rhin, s'élève à plusieurs milliards de m<sup>3</sup> par an. Cette demande ne peut être satisfaite qu'en prélevant de l'eau du Rhin, bien que les nappes phréatiques des terres riveraines soient très largement utilisées et que des retenues sur des affluents ainsi que d'autres possibilités de production. L'eau prélevée du Rhin l'est principalement sous forme d'infiltration à travers les berges du fleuve.

On a eu à combattre un problème particulier, principalement au niveau de Duisburg, quand à partir de 1908 des affaissements toujours plus importants du lit du fleuve se sont produits. Ils atteignirent une profondeur maximale de 2,5 m et ont mis en question localement la protection contre les crues. Ils rendaient la navigation plus difficile et avaient un impact négatif sur le niveau des eaux souterraines et sur les conditions écologiques. Les causes principales en étaient dues à des affaissements du sous-sol à la suite de l'exploitation minière, de la houille et du sel gemme. D'autres causes également s'y ajoutaient, les prélèvements de gravier du lit du fleuve en particulier. Ces prélèvements de gravier cessèrent aussitôt. On a essayé, par des aménagements fluviaux, de s'opposer à l'affaissement du lit. Depuis peu, on observe que ces affaissements se sont arrêtés. Les digues de protection ont dû être rehaussées à plusieurs reprises sur certains tronçons.

En plus des aménagements fluviaux effectués pour des raisons économiques, des mesures en faveur de l'aspect général du paysage ont été entreprises sur une grande échelle, sur le bas Rhin, qui ont bénéficié aux loisirs aquatiques. C'est ainsi que de grandes fosses de dragage ont été aménagées à l'intention des sports nautiques. La sécurité contre les crues a été accrue systématiquement et dans la région de la frontière entre l'Allemagne et les Pays-Bas, elle est assurée en collaboration, conjointement par les deux états.

### **Bassin du Rhin aux Pays-Bas**

Bien davantage qu'aucun autre des états du bassin du Rhin, les Pays-Bas dépendent d'une gestion des eaux, générale et planifiée. La plus grande partie de leur territoire se situe en dessous du niveau atteint par les grandes crues de ses fleuves ou par les marées tempétueuses de la mer du Nord. Ceci s'applique tout particulièrement aux embouchures des trois bras du Rhin, Waal, Nederrijn-Lek et IJssel ainsi qu'à leurs cours latéraux.

Déjà au Moyen Age, et au début des temps modernes, des protections contre les crues, ainsi que des drainages très étendus, avaient été réalisés. Ils ont ensuite été complétés et perfectionnés aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles. On a essayé tout d'abord de réduire les pointes de crues, par des déviations latérales, jusqu'à des niveaux ne provoquant pas de dégâts. Cette approche ne donna pas les résultats escomptés, de sorte que l'on s'est mis à aménager le fleuve de façon à lui donner une capacité d'écoulement plus grande et à protéger tout l'arrière-pays par des digues. Depuis les années vingt de ce siècle, l'accent principal des travaux s'est porté sur les abords de la mer du Nord. Là, de grands barrages ont été construits aux embouchures des cours d'eau et la limite des eaux douces a été repoussée vers le littoral.

En vue du développement de la navigation, on a entrepris, à côté de régulation des fleuves, la construction de canaux et d'écluses. Dans de vastes régions du pays, on est parvenu à une régulation précise du niveau des eaux souterraines. L'alimentation en eau potable fut assurée, parmi d'autres méthodes, en faisant s'infiltrer de l'eau du Rhin dans le cordon de dunes littorales et en la pompant ensuite.

A la base des aménagements fluviaux systématiques qui ont finalement abouti au niveau actuel de protection contre les crues et d'endiguement des fleuves, on trouve un rapport établi par deux fonctionnaires du service des constructions hydrauliques, *Ferrand* et *Van der Kun*. Leurs conceptions directrices, complétées selon de nouveaux besoins et à la lumière de connaissances plus récentes, sont devenues réalité, cette constatation étant valable aussi bien en ce qui concerne les questions de dimensionnement que pour chaque mesure particulière envisagée.

Une partie de ce plan concernait l'endiguement du Oude Rijn, sur le Nederrijn ainsi que la répartition précise du débit du Rhin entre ses bras principaux. A cet égard, le Waal a conservé son rôle en tant que cours d'eau le plus abondant et principale voie de navigation. Le Nederrijn a été canalisé avec trois étages de retenue. Le barrage supérieur, celui de Driel, joue un rôle important dans la répartition du courant entre les différents bras du Rhin. En temps d'étiage, le Nederrijn reçoit la plus petite part du débit. Malgré des avis contraires, l'IJssel n'a pas été équipé d'ouvrages de retenue. Par des aménagements en plusieurs étapes, il peut maintenant jouer le triple rôle de voie de navigation à forte capacité, d'exutoire efficace lors de crues et de chenal pour l'alimentation en eau douce du nord-ouest et du nord des Pays-Bas, par l'intermédiaire de l'IJsselmeer, qui se trouve ainsi dessalé.

Ce n'est qu'après 1860 que la région portuaire de Rotterdam, alimentée à partir du Nederrijn et du Waal, fut reliée à la mer du Nord, par la voie la plus courte, ce qui impliquait le dragage du Nieuwe Waterweg. L'accès des grands navires de mer était ainsi assuré. Avec nombre d'ouvrages construits depuis, cela a permis l'augmentation considérable du transbordement de marchandises, qui a fait de Rotterdam le plus grand port d'Europe.

Le cours inférieur du Waal a été séparé du cours de la Meuse, par des aménagements, en amont du Hollandsch Diep, de façon à pouvoir assurer la protection contre les crues et le drainage des eaux intérieures. Près de Dordrecht et située entre les deux fleuves, la région marécageuse de Merwede, le «Biesbosch», créée par les tempêtes et les crues, fut drainée et cultivée.

Les derniers grands aménagements entrepris aux Pays-Bas sont ceux réalisés dans la région côtière. Après les graves dommages causés en 1916 par des tempêtes et des marées hautes, la baie du Zuiderzee fut protégée par des digues, contre la mer du Nord. Derrière les digues, 165.000 ha d'anciens fonds marins ont été asséchés et cultivés pour la plupart, alors que d'autres surfaces ont été déclarées zones naturelles protégées.

Après 1945 et après la réparation des graves dommages de la guerre aux digues maritimes, le premier nouvel ouvrage contre marées et tempêtes fut l'endiguement de la Brielsche Maas, au sud-ouest de Rotterdam. Puis vint la catastrophe du 1<sup>er</sup> février 1953, due à une marée tempétueuse, qui coûta la vie à plus de 1.800 personnes. Ce désastre déclencha le démarrage de travaux d'une ampleur jamais encore jugée possible auparavant. Les projets furent regroupés sous le nom de «Plan Delta» et la réalisation commença. Ses immenses barrages dans les baies de la mer du Nord et dans les embouchures des fleuves s'étendent du sud-ouest de Rotterdam jusqu'à l'île de Walcheren. Des barrages dans le Haringvliet, le Grevelingen, l'Escaut oriental et le Veerse Gat offrent, sur le littoral, une barrière de protection ininterrompue contre la mer du Nord. Pour des raisons écologiques et économiques, les vannes du barrage dans l'Escaut oriental restent ouvertes lors de marées normales, alors que les autres ouvrages sont fermés. La limite de l'eau douce a beaucoup progressé dans la partie nord du dispositif. A partir de la région Rhin-Meuse et jusqu'à l'Escaut, un important chenal a été ouvert à la grande navigation.

Les grands travaux hydrauliques aux Pays-Bas, sur la côte, sur les fleuves et dans l'arrière pays, ont été complétés récemment par l'aménagement systématique de sites écologiques de grande valeur. Dans l'ensemble, tout cela caractérise le pays comme une terre où, par une bonne gestion des eaux, les hommes ont obtenu une très haute qualité de vie et tiennent à la conserver.

## Perspectives d'avenir

En raison des besoins de la population et des contraintes économiques, le Rhin a été transformé, à partir du fleuve sauvage et meurtrier qu'il était, en artère vitale d'une vaste région intensément mise en valeur. Malgré bien des interventions qui l'ont quelque peu dénaturé, il a cependant conservé son caractère de bien culturel. Des efforts multiples sont consacrés à restaurer, dans la mesure du possible, les richesses naturelles qui embellissaient son cours, actuellement perdues ou dégradées.

De même, à l'avenir des interventions techniques permettront certainement de maintenir et de développer tout ce qui a été acquis. La dynamique du cycle des eaux ne connaît pas d'état stable, pas plus que celle de la société. De nouvelles interventions hydrauliques sont déjà prévues et de nouvelles organisations se mettent en places. Il y a par exemple des retenues artificielles de crue qui devraient devenir les éléments d'un vaste système de contrôle. Puis il y aura sur la rive gauche du Rhin inférieur le problème à résoudre de remplir rapidement l'immense excavation résultant de l'exploitation à ciel ouvert de lignite, à l'ouest de l'Erft, après la cessation de cette activité. L'amélioration ultérieure de la qualité de l'eau du Rhin, objet qui n'entre cependant pas dans le cadre de ce rapport-ci, représente une tâche d'assainissement au niveau international.

Jusqu'à présent, on a toujours réussi à accroître le rôle économique du Rhin et à maintenir son éclat dans la culture européenne. On peut penser avec confiance que cela restera encore vrai dans l'avenir. A travers leurs diverses commissions, les états riverains s'efforcent de poursuivre ce but en commun.



## **The Rhine under the influence of man - river engineering works, shipping, water management -**

### **7. Summary**

#### **Background to the report**

The River Rhine and its catchment area have been marked by many centuries of ever increasing human influence. This has made them develop from their natural state into intensively used parts of the Central European man-made landscape. The river's usefulness and the living conditions around it have been considerably improved. However, the intended progress did not pass off without problems and was certainly accompanied by harmful effects to nature.

This resulted in controversial discussions between those offering a general justification of the human interventions, on the one hand, and those condemning them as harmful disruptions of the natural conditions, on the other hand. It has become evident that these viewpoints were not based on a comprehensive presentation of the man-made changes. Their causes and consequences for the Rhine were only partly taken into account and the demands of society, which are indicative factors of effectiveness, were mostly disregarded as well. Such a basis, however, is necessary for evaluating the present situation and for the resulting decisions concerning future measures.

For this reason the International Commission for the Hydrology of the Rhine basin (CHR) has undertaken to establish easy-reference and comprehensive descriptions. Within this framework the CHR has had a description drawn up of the historical engineering works, navigation and hydroelectric works, as well as flood protection by a working party in which experts from Switzerland, Germany and the Netherlands cooperated.

The following summarizes the research results. They are preceded by a description of some principal characteristics of the hydrological conditions and the users' demands on the river's water.

#### **Natural conditions**

With an average discharge of 2 200 m<sup>3</sup>/s at the bifurcation of the Bovenrijn in the Netherlands, the Rhine ranks high among the European rivers that transport most water. Its catchment area extends from south to north over some 900 km and its surface area amounts to 185 000 km<sup>2</sup>. It extends from the High Alps, where its source brooks rise, through the low mountain ranges, where the largest tributaries the Main and Moselle join the main stream, to the lowland. This is where, through several branches, its discharge flows into the North Sea.

The subbasins have different hydrological characteristics showing certain opposing factors. This is why the discharge of the Rhine is less prone to fluctuations than that of other European rivers of comparable dimensions. The upper course, for example, has lower discharges in the cold season than in the warm season, because a large part of the winter precipitation is transferred to the summer in the form of snow. Towards the Lower Rhine, on the other hand, this relation is reversed, because in the low mountains and lowlands snow storage is negligible and summer precipitation largely evaporates.



Only in the Alpine Rhine does the river show a very irregular discharge regime. Further on, from the Lake of Constance with its levelling effect down to the estuary, the discharge is relatively steady. From time to time, however, marked low-water periods and considerable flood waves occur. They present the riparians of the Rhine with the arduous task of securing the more and more highly developed use of the bank landscapes and of the river itself by engineering works and regulations.

### **Requirements for watercourses and water use**

Switzerland, Germany, France and the Netherlands are the principal countries that have a share in the Rhine basin, while 5 other countries only cover a small part of the precipitation area. With 54% of the surface, Germany covers the largest part and the same applies to the number of inhabitants. In the whole Rhine basin the population has increased from about 10 million in 1800 to about 50 million today. This population growth has lately been coupled with an enormous rise in economic productivity which, however, has entailed an ever increasing stress on the landscape. At the cost of woods and wasteland, the area of agricultural land has been extended. Nowadays it yields five to ten times as much per hectare as two hundred years ago. Flood protection, drainage and irrigation measures have contributed to this increase.

Industry in the Rhine basin has not only expanded according to the presence of mineral resources, such as in the Ruhr area and along the upper course of the Moselle. Intensification has occurred in numerous places and involves almost all branches of modern economy, even including nuclear power stations. The costs of water supply and waste water treatment have risen accordingly.

The Rhine as a waterway is used for the transportation of goods as well as passengers. It has been completed with connections to canalized rivers and canals. The High Rhine, Upper Rhine and numerous tributaries are used for water power supply. Lately the demand for water sports and recreational possibilities at the waterside has grown considerably, and these have become major considerations that have to be included in water management planning. Another important aspect to be considered is the augmentation and qualitative improvement of the fish stock.

### **Intervention up to the beginning of the industrial era**

There is proof that even in Roman times river engineering works were carried out on the Rhine and its tributaries. They mainly served shipping which was of exceptional importance as a means of transport in those days, because of the mostly poor condition of the roads. Early on in history settlements and agriculturally valuable land on the river banks were already protected against floods by dykes.

In the Middle Ages large-scale deforestation as well as climate variation and population growth necessitated increasing intervention in the bank landscape and also in the Rhine itself. The first tow paths were constructed and river diversions were carried out, though not always successfully. Along the river flood protection, drainage and irrigation works were created. They served limited, local purposes and, except in the estuary of the Rhine, they were not connected to each other over longer distances. The use of water power was extended by means of numerous weirs in the tributaries and floating water mills in the Rhine itself.

A number of individual, advanced measures should be mentioned in particular.

Among them is in the Alps the diversion of the Kanderbach into the Lake of Thun upstream of Bern. It resulted in the attenuation of flood peaks and the deposition of sediment, an example for similar measures in later times. The riparians of the Upper Rhine succeeded in bringing about some lasting local improvements in water management by means of cut-offs.

The most serious barrier for shipping on the Rhine was the quartz reef in the Binger Loch. By ever resumed efforts it was gradually made more navigable, sufficient for small vessels and rafts. On the Lower Rhine the dyke boards, some of which dated back to the Middle Ages, step-by-step up to the 18th century constructed permanent flood protection works. In addition regulation works were carried out on several subsidiary waterways.

The early river engineering works in the Netherlands were particularly extensive. The system of dykes offering considerable protection against floods, was largely completed as early as the 14th century. In the 18th century the Pannerdensch Kanaal was dug, first as a defensive work, but it was soon extended to become a new connection between the Waal (Bovenrijn) and the Nederrijn. Water flowing from the Bovenrijn into the canal widened it, resulting in a new connection between the Nederrijn and the IJssel, by-passing the existing watercourse the Oude Rijn. This was the first step in a specific effort aimed at relieving the Waal, the largest of the lower branches of the Rhine. A few decades later works were started at the lower reach of the Waal, to limit its connections with the Meuse and improve flood protection.

### **Intervention in the 19th and 20th century**

Progress in science and its technical applications, growing economic capacity, political developments and the realization that activities should be harmonized resulted in the 19th and 20th centuries in the regulation of neglected stretches of the Rhine and important tributaries. A number of important measures will be presented below.

### **Rhine basin upstream of Basel**

In the alpine area frequent inundation by floods, large sediment depositions and the shifting of water courses time and again endangered the lives of the inhabitants of the valleys. They protected themselves by numerous, isolated measures, and later on also by engineering works based on larger scale plans. The riparian states of Switzerland, Austria and Liechtenstein reached agreements concerning the regulation of the Alpine Rhine. It was provided with a stable and regular bed. Its multiple outlets into the Lake of Constance, which formerly fanned out, were reduced to one and directed towards the deep part of the lake. The land accretion at the bank of the lake could thus be stopped.

Early on in the 19th century, the River Linth in the Aare basin was diverted into the Walensee to put an end to the local flood risk. Fifty years later a start was made with extensive engineering works on the Aare itself, the largest tributary of the High Rhine. The aim was to level discharges and to reduce the transport of sediment and suspended load. These measures have become known as the correction of the Jura watercourses and are mostly linked to the name of civil engineer *La Nicca*. The first step was the diversion of the upper course of the Aare through the Lake of Biel. Subsequently the connecting waters to the Lake of Neuchatel and the Lake of Murten were regulated and weirs and regulation works were constructed in the

downstream part of the Aare. As a result, the lakes as a whole could be used for water storage. In the middle of this century the regulation measures were completed with the help of the experience thus acquired.

Water-power plants were built on the Aare as well. The same applies to the High Rhine, where eleven plants were built on weir sites. Together they produce an annual average of some four thousand million kilowatt-hours. In the southern part of the Black Forest the serial water-power plants of Schluchsee and Hotzenwald were developed which were connected with pumped-storage basins. They use headwater reaches in the High Rhine as lower reservoirs.

To make the power of water productive, the construction of an impressive number of dams was started. After Pérolle's first dam, built in 1872 with a height of 21 m, numerous other dams followed, especially in the second half of the 19th century. The total capacity of the reservoirs upstream of Basel exceeds 1.8 thousand million m<sup>3</sup>. Their function is not only to level discharges for energy production, but also to contribute to flood attenuation, together with the lakes bordering the Alps which are partly regulated by weirs. Their favourable influence is noticeable on the Rhine downstream.

## Upper Rhine

In its natural state the Upper Rhine, from its beginning down to Strasbourg, was divided into numerous channels which were constantly changing. Downstream there was a stretch in which the current wound in irregular meanders. Continual channel shifts and extensive marsh development made utilization of the Rhine valley an extremely difficult and dangerous undertaking. Insect plagues, typhus and malaria were endemic. Buildings near the Rhine repeatedly fell prey to flooding. Others found themselves on the opposite bank after dyke bursts during floods. The river was only navigable for small vessels and with great difficulty.

The improvement of the river as far as the Neckar confluence which highly benefitted the riparians was mainly due to the work of engineer *Tulla* from Baden. At the beginning of the 19th century he drew up a plan to fix the Upper Rhine to a regular, stable bed and started implementing it. At first he met with opposition from the riparian population, until they realized the benefits this correction of the Upper Rhine watercourses would bring and gave it their support.

Progressing in a downstream direction from Basel to Worms a Rhine stretch of 280 km was regulated. As a result of numerous cut-offs the length of the course in the meandering zone was reduced by 37%. The protection of the valley against floods was substantially improved, mostly by dyke construction. Already in the first half of the 19th century the upstream stretch showed considerable scouring, which had a positive effect for flood protection. However, it resulted in an adverse lowering of the groundwater level and made shipping more difficult. These consequences arising from the 'corrections' and related construction measures had only partly been anticipated.

Downstream of Worms the regulation works of the uncontrolled river were continued. In Rheingau they could not be carried out thoroughly until the end of the 19th century, when problems caused by national borders in this region had been solved. The different character of the valley downstream of the Main confluence with its considerably wider water-surface was preserved. This was partly due to the

work of the Prussian river regulation director *Nobiling*, who conducted the works sensibly. He also deserves credit for the regulation works on the Rhine downstream to the Netherlands border.

The first phase of the Upper Rhine regulation resulted in a fixation of the channel, improved conditions for shipping and better flood protection. Due to the difficult natural conditions, however, the regulation works could not achieve complete success in one first step. Consequently, after 1900, systematic re-regulations were necessary in the upper reach, particularly groyne construction to raise the low-water level. Similar adjustments had already been carried out downstream. They have been followed by individual measures up to the present time.

Further drastic interventions in the Upper Rhine were realized after 1950. Ten weirs were constructed to utilize water power and offer safe passage to large ships. The upper four weirs are situated in a lateral canal left of the river between Kembs and Vogelgruen. The total capacity of the ten water-power plants amounts to an annual average of some 4 500 million kilowatt-hours. As the weirs have interrupted sediment transport, gravel is added systematically downstream from the last Rhine weir at Iffezheim, thus keeping the neighbouring bed in balance. The amount of gravel added each year is about 180 000 m<sup>3</sup>.

As a result of the weir operation in the Rhine upstream from Karlsruhe, 130 km<sup>2</sup> of the area that is naturally inundated during floods, i.e. 60%, has been lost. This has accelerated and considerably increased flood peaks. In order to cope with the resulting risks for the riparians downstream, detention measures with a total capacity of 220 million m<sup>3</sup> are planned. Water is then temporarily headed up near the canals of power stations and of two agricultural weirs in the Rhine upstream of Breisach and Strasbourg. These weirs are also used to maintain the appropriate groundwater level in the higher floodplain. Beside the above-mentioned measures some 130 million m<sup>3</sup> of head-up capacity in detention reservoirs along the river must be kept available. Initially only a small part of them can be used, but the total capacity will be required to prevent flood peaks from rising up to a level occurring once every 200 years, i.e. the design level.

Raising dykes and revetments to hold off floods as a sole measure is not suitable for both aesthetic and economic reasons. There are already long and high stretches of dyke which are very expensive to maintain. Most of them were built after the disastrous flood at the turn of the year 1982/1983.

The regulation works in the Rhine and the flood protection measures were prerequisites for the valley plains along the river to become more densely populated and more intensively used for agriculture and forestry. Many waterworks were protected against floods. They share the utilization of valley groundwater with sprinkler installations. Recently, much of the nature in old Rhine branches and parts of former wet biotopes has been restored to recover past values of flora and fauna.

### **Mid- and Lower Rhine**

The Mid-Rhine flows from Bingen to Bonn through the Rhenish Slate Mountains, its bed being mostly rocky. This stretch provided dangerous obstacles for shipping, which claimed numerous victims in the past. Efforts to widen the stretch where the fairway was narrowest, the Binger Loch, had been resumed several times in the 19th century. They were increased after scientific plans had been developed. Finally in 1974 a safe, 120 m wide, fairway was opened for shipping.

Similar measures were taken to deal with the rocky obstacles in the downstream stretch to St. Goar. Regulation works in the interest of shipping were continued down to the Lower Rhine. Nowadays ships, and even bulky multiple barge convoy sets, can go all the way from the coast to beyond Basel. The Rhine, as a main European inland waterway, has been connected to canals and canalized rivers. Thus it is linked to the French canal network, to a canal leading to the Danube which was completed in 1992 and to the waterways of northwest and northern Germany.

While on the Mid-Rhine flood protection measures and land cultivation became less important for topographical reasons, they became top priorities on the Lower Rhine. Individual river stretches had to be regulated there, dykes had to be built or extended along both banks and numerous other water management measures had to be taken. Thus the needs of the largest and most densely populated industrial area along the Rhine were satisfied.

In the Lower Rhine area the annual demand for drinking water and industrial water supply amounts to several thousand millions of m<sup>3</sup>. This demand can only be met by using Rhine water, although groundwater not originating from the river is being used very extensively, dams of huge dimensions have been built and other water-catchment possibilities have been developed. Rhine water is primarily tapped by means of bank filtration.

A special problem which mainly arose near Duisburg had to be solved, when after 1908 increasing bed subsidence occurred in the river. It reached a maximum depth of 2.5 m and made reconsideration of the local flood protection necessary. It also had adverse effects for shipping, and groundwater levels and ecology were negatively affected as well. The main cause was land subsidence due to coal and rock salt mining. Other causes, especially gravel dredging in the river bed, were added. They were immediately stopped. By means of river engineering measures an attempt was made to combat subsidence and it has recently been halted. Parts of the main dykes had to be raised several times.

Apart from water engineering projects carried out for economic reasons, extensive landscaping operations have taken place on the lower Rhine to provide facilities for water recreation. Large excavations, for example, were turned into water sports parks. Protection against flooding was systematically increased. In the border zone between Germany and the Netherlands, this is safeguarded by cooperation between both countries.

### **Rhine area in the Netherlands**

Unlike any other country in the catchment area of the Rhine, the Netherlands are dependent on a comprehensive, planned water management system. Most of the land lies below the level of very high water on the rivers or storm surges in the North Sea. This is true of all three branches of the Rhine delta – the Waal, Nederrijn-Lek and the IJssel, and the tributaries.

Extensive flood protection and drainage systems had been constructed as early as the Middle Ages and at the beginning of modern times. They were completed and added to during the 19th and 20th centuries. The initial aim was to reduce the high water peaks to harmless levels by lateral diversions. This proved to be unsuccessful, so attention was turned to increasing the discharge capacity of the rivers and protecting the entire hinterland by winter dykes. Since the 1920s, the main emphasis has

shifted to operations near the North Sea coast. High dams were built in the estuaries, the first being the dam closing off the Zuiderzee, completed in 1932. The fresh water limit was pushed forward towards the coastline.

In addition to the measures taken to control the rivers, canals and locks were built to improve navigation. Accurate control over groundwater levels was achieved in large parts of the country. The drinking water supply was supplemented by Rhine water, amongst other sources, which is infiltrated into the dune belt along the coast and then treated.

The systematic hydraulic engineering operations which gradually led to the present day flood control and river system owe their origin to a report drawn up by water engineering officials *Ferrand* and *Van der Kun*. Their main ideas, supplemented by more recent knowledge and requirements, were translated into practice, both as regards general calculation matters and certain specific projects.

On the Nederrijn these included damming the Oude Rijn and distributing the Rhine flow in a controlled manner to the main branches. The Waal, being the main branch, retained its importance as the largest watercourse and chief navigation route. The Nederrijn was canalized with three impounding stages. Its uppermost impounding weir, at Driel, was given the important function of distributing water to the branches of the Rhine. The Nederrijn was allocated the smallest proportion during low discharges. Contrary to other proposals, the IJssel remained without an impounding weir. It was adapted in several development stages to the tasks of acting as an efficient navigation route, offering sufficient capacity in times of flood and supplying fresh water from the Rhine to where it was needed in the northwest and north of the Netherlands, partly via the freshwater IJsselmeer.

The port area of Rotterdam, which receives discharges from the Nederrijn and the Waal, was linked by the shortest route to the North Sea after 1860 by dredging the Nieuwe Waterweg. This provided access for large sea-going vessels. With subsequent construction work, this access route became the basis for increasing the trans-shipment of goods to such an extent that Rotterdam has become the most important port in Europe.

The lower reaches of the Waal below the Hollandsch Diep were separated structurally from the Meuse in order to gain control over flood protection and internal drainage. The Merwede area near Dordrecht, the Biesbosch, which had been created by storms and floods between the two rivers and was criss-crossed by narrow channels, was drained and cultivated.

The next major engineering operations undertaken in the Netherlands were the coastal defences. After severe storm damage in 1916, the bay of the Zuiderzee was dammed off from the North Sea. Protected by the dam, 165 000 ha of what used to be the sea bed have so far been drained and for the most part cultivated, whilst some areas have been declared nature reserves.

After the severe war damage to the sea dykes had been repaired after 1945, the first new flood control project was the damming of the Briel Maas south west of Rotterdam. After that, the catastrophic flooding on 1 February 1953, which cost the lives of more than 1 800 people, prompted offensive measures on a scale that had not previously been thought feasible. These were integrated and implemented in the 'Delta plan'. Its mighty barriers in the bays of the North Sea coast and in the river estuaries stretch from southwest of Rotterdam to the island of Walcheren. Dams

in Haringvliet, Grevelingen, the Eastern Scheldt and Veerse Gat have created a continuous barrier against the North Sea close to the coast. For ecological and economic reasons, the dam in the Eastern Scheldt is open to normal tides, whilst the other dams are kept closed. The fresh water limit has been pushed a long way forward in the northern part of the dammed area. A navigation route for sea-going vessels has been created from the Rhine-Meuse area as far as the Scheldt.

The hydraulic engineering works in the Netherlands on the coast, the rivers and spread out over the hinterland have recently been supplemented by the organized preservation of sites of special ecological value. Taken as a whole, they shape the character of the country as an area which, thanks to intensive water management, has achieved and is maintaining a high quality of life for the people who live there.

### **Outlook**

In response to the needs of both people and industry, the Rhine has been transformed from an uncontrolled, often destructive natural waterway to a vital artery of landscapes that are cultivated and developed by man. In spite of many alien intrusions, it has retained its character as a cultural asset. Numerous efforts have been made to regain as much as possible of the lost or damaged natural resources along its course.

Engineering operations will also have to be carried out in the future in order to keep what has been gained and develop it further. The dynamics of the water cycle never stand still, any more than do those of society. New water engineering and management projects have been announced. They involve, for example, artificial flood retention measures as part of a comprehensive control system. There will also be a problem on the left bank of the lower Rhine when the huge hole left by brown coal open-cast mining west of the Erft has to be filled quickly with Rhine water once mining comes to an end. Further improvements to the quality of the Rhine water, a subject not dealt with in this publication, will entail clean-up measures on the part of more than one country.

So far it has proved possible to increase the economic value of the Rhine and to maintain its cultural splendour. One may trust that this will remain so in the future. The countries through which it passes are acting jointly in cooperative bodies to meet this challenge.

## **De Rijn onder de invloed van de mens - waterbouwkundige werken, scheepvaart, waterhuishouding -**

### **7. Samenvatting**

#### **Aanleiding tot en opzet van de studie**

De Rijn en zijn stroomgebied zijn door de eeuwen heen in steeds sterkere mate door de mens beïnvloed. Hierdoor heeft het gebied zich ontwikkeld van een natuurlijk landschap tot een intensief gebruikt deel van het Middeneuropese cultuurlandschap. De gebruiksmogelijkheden van de rivier en de levensomstandigheden van de bevolking langs de oevers zijn aanzienlijk verbeterd. Die verbeteringen zijn echter niet zonder tegenslagen tot stand gekomen en hebben de natuur ernstige schade toegebracht.

Hierdoor zijn felle discussies ontstaan, waarbij de ene partij de menselijke ingrepen als over het algemeen gerechtvaardigd verdedigt, terwijl ze door de andere partij worden veroordeeld als nadelige verstoringen van de natuurlijke verhoudingen. Dergelijke standpunten berusten klaarblijkelijk niet op een uitgebreide inventarisatie van die kunstmatige veranderingen. Er wordt slechts gedeeltelijk rekening gehouden met de aanleidingen tot die veranderingen en met de gevolgen daarvan voor de Rijn zelf. Bovendien krijgen daarbij de eisen vanuit de samenleving, die doorslaggevend zijn, onvoldoende aandacht. Voor het beoordelen van de huidige situatie en de daaruit te trekken conclusies met betrekking tot toekomstige maatregelen is het echter noodzakelijk dat al deze aspecten bij de beschouwing worden betrokken.

Om de stand van zaken duidelijk te maken heeft de internationale Commissie voor de Hydrologie van het Rijngebied zich als taak gesteld brede en goed toegankelijke overzichten te presenteren. Als bijdrage hieraan heeft ze de geschiedkundige ontwikkelingen tot op heden van de grote rivierwerken laten vastleggen. Dit betreft onder andere de werken ten behoeve van de scheepvaart, van waterkrachtcentrales en van de hoogwaterbeheersing. Dit overzicht is gemaakt door een werkgroep, waarin Zwitserse, Duitse en Nederlandse deskundigen samenwerkten.

Hieronder volgt een samenvatting van de verrichte studie. Daarin komen eerst enkele belangrijke kenmerken van de hydrologische omstandigheden en de functies van de rivier ter sprake.

#### **Natuurlijke omstandigheden**

De Rijn is met zijn gemiddelde afvoer van 2.200 m<sup>3</sup>/s aan de Duits-Nederlandse grens een van de waterrijkste rivieren van Europa. Zijn stroomgebied strekt zich uit van zuid naar noord over circa 900 km en beslaat een oppervlakte van 185 000 km<sup>2</sup>. Het vormt een deel van de Hochalpen, waar zijn bronnen zich bevinden, van het middelgebergte, waar de grootste zijrivieren Main en Moezel zich bij hem voegen, alsmede van het laagland, waar de rivier via enkele vertakkingen in de Noordzee uitmondt.

De hydrologische omstandigheden in deze deelgebieden zijn zeer verschillend en vertonen bepaalde tegenstellingen. Als gevolg daarvan fluctueert de afvoer van de Rijn minder dan andere Europese rivieren van vergelijkbare grootte. Zo heeft de bovenloop in het koude jaargetijde lagere afvoeren dan in het warme, omdat een



groot deel van de winterneerslag in de vorm van sneeuw tot de zomer in de Alpen blijft liggen. Richting Niederrhein liggen de verhoudingen echter omgekeerd, want in het middelgebergte en het laagland is de berging in de vorm van sneeuw verwaarloosbaar en verdampt het grootste deel van de zomerneerslag.

Alleen als Alpenrhein heeft de rivier een zeer onregelmatig afvoerregime. Voorbij het meer van Konstanz, dat afvlakkend werkt, tot aan het mondingsgebied toe verloopt de afvoer overal relatief gelijkmatig. Toch treden er van tijd tot tijd uitgesproken laagwaterperioden, maar ook aanzienlijke hoogwaters op. Deze stellen de betrokken bewoners en instanties voor grote problemen om het steeds intensievere gebruik van de aanliggende gronden en van de rivier zelf door rivier- en waterhuishoudkundige maatregelen veilig te stellen.

### **Bedrijvigheid aan en op het water**

Het Rijngebied ligt hoofdzakelijk in Zwitserland, Duitsland, Frankrijk en Nederland, terwijl vijf andere landen slechts kleine gedeelten van het neerslaggebied omvatten. Met 54% is het Duitse aandeel het grootste. Hetzelfde geldt ook voor de bevolking van het gehele Rijngebied, waarvan het aantal inwoners is gestegen van omstreeks 10 miljoen in 1800 tot ongeveer 50 miljoen nu. De groei van het aantal mensen is de laatste decennia gepaard gegaan met een enorme stijging van de economische capaciteit, waarbij echter het landschap ook steeds verder werd belast. Het landbouwareaal werd ten koste van bossen en woeste gronden uitgebreid; de opbrengsten per hectare zijn tegenwoordig het vijf- tot tienvoudige van die van tweehonderd jaar geleden. Dit is mede mogelijk dankzij hoogwaterbeheersing, een goede ontwatering en irrigatievoorzieningen.

Het bedrijfsleven heeft zich in het Rijnstroomgebied niet alleen daar uitgebreid waar natuurlijke bodemschatten aanwezig zijn, zoals in het Ruhrgebied en aan de bovenloop van de Moezel, maar ook op talrijke andere plaatsen en omvat bijna alle moderne bedrijfstakken tot en met kerncentrales. Hand in hand daarmee zijn de kosten voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling gestegen.

Als waterweg wordt de Rijn met zijn aansluitingen op gekanaliseerde rivieren en kanalen gebruikt voor de vrachtvaart en het personenvervoer. Op de Hochrhein, Oberrhein en talloze zijrivieren wordt electriciteit opgewekt door middel van waterkrachtcentrales. De laatste tijd is de behoefte aan watersport en recreatie aan het water aanzienlijk toegenomen; beide zijn belangrijke aandachtspunten bij waterbeheersplannen geworden. Dat laatste geldt ook voor de bevordering en de kwalitatieve verbetering van de visstand.

### **Ingrepen tot aan het begin van het industriële tijdperk**

Reeds de Romeinen voerden op de Rijn en zijn zijrivieren rivierwerken uit, voornamelijk ten behoeve van de scheepvaart, die vanwege de in het algemeen slechte wegverbindingen een belangrijke plaats als verkeersmiddel innam. Nederzettingen en agrarisch waardevolle landerijen aan rivieroeveren werden al vroeg door dijken tegen hoogwater beschermd.

In de Middeleeuwen waren grootschalige ontbossingen alsmede klimaatschommelingen en bevolkingsgroei de oorzaak van toenemende ingrepen in het oeverlandschap en ook op de Rijn zelf. De eerste jaagpaden werden aangelegd en rivieromleggingen

werden uitgevoerd, maar niet altijd met succes. Langs de Rijn bouwde men hoogwaterkeringen en werken voor afwatering en bevoeiing. Zij dienden beperkte plaatselijke doeleinden en waren, behalve in het gebied van de Rijntakken, slechts over korte afstanden aaneensluitend. Het gebruik van waterkracht werd in het stroomgebied uitgebreid met talrijke stuwen in de zijrivieren en op de Rijn zelf met „Schiffsmühlen” (op pontons verankerde molens).

Enkele baanbrekende, maar op zichzelf staande ingrepen dienen met name te worden vermeld. Daartoe behoort in het Alpengebied de omleiding van de Kanderbach naar de Thunersee bovenstrooms van Bern. Hiermee werd bereikt dat de hoogwatertoppen afvlakten en meer sediment werd afgezet, een voorbeeld voor soortgelijke maatregelen in later tijd. Aan de Oberrhein werden enkele duurzame plaatselijke verbeteringen door middel van doorgravingen met succes uitgevoerd.

De grootste hindernis voor de scheepvaart op de Rijn, de drempel van kwartsgesteente in het Binger Loch, werd door steeds opnieuw hervatte inspanningen geleidelijk aan voor kleine schepen en vloten bevaarbaar gemaakt. Aan de Niederrhein bouwden de sinds de Middeleeuwen bestaande dijkwaterschappen („Deichverbände”) tot aan de 19e eeuw stap voor stap een aaneengesloten hoogwaterkering. Bovendien werden verscheidene secundaire wateren geschikt gemaakt als waterweg.

Bijzonder omvangrijk waren de vroege waterbouwkundige maatregelen in Nederland. Reeds in de 14e eeuw kon het bandijkensysteem, dat vergaande bescherming tegen hoogwater bood, voor het grootste deel worden gesloten. In de 18e eeuw werd het Pannerdensch Kanaal gegraven, in eerste aanleg alleen als onderdeel van een militair verdedigingswerk, maar al spoedig ontwikkelde het zich tot een nieuwe verbinding tussen Waal (Bovenrijn) en Nederrijn. Water dat vanuit de Bovenrijn toestroomde, verbreedde dit Kanaal door zijn uitschurende werking, zodat er een belangrijke nieuwe verbinding naar de Nederrijn en de IJssel ontstond, in plaats van de goeddeels verzande Oude Rijn. Daarmee was een begin gemaakt met een doelbewuste ontlasting van de Waal, de grootste benedenloop van de Rijn. Enkele decennia later begonnen aan de benedenloop van de Waal werkzaamheden om de invloed van de open verbindingen met de Maas te beperken en de beveiliging tegen hoogwater te verbeteren.

## **Ontwikkelingen in de 19e en 20e eeuw**

Vooruitgang in de wetenschap en haar technische toepassingen, groeiende economische macht, politieke ontwikkelingen en het besef dat de werkzaamheden op elkaar afgestemd moesten worden, leidden er in de 19e en 20e eeuw toe dat verwilderde trajecten van de Rijn en belangrijke zijrivieren gereguleerd werden. Een reeks belangrijke maatregelen wordt hieronder opgesomd.

### **Rijngebied bovenstrooms van Bazel**

In het Alpengebied brachten veelvuldige overstromingen door hoogwater, sedimentatie van grote hoeveelheden gesteente en verplaatsingen van de waterlopen de bevolking in de dalen steeds weer in noodsituaties. In eerste instantie verweerden ze zich ertegen met talrijke op zichzelf staande maatregelen, later ook met grootschalige waterbouwkundige werken. Tussen de Rijnsoeverstaten Zwitserland, Oostenrijk en Liechtenstein werden afspraken gemaakt over de regulering van de Alpenrhein. Deze kreeg een stabiel en gelijkmatig bed. De monding in het Meer van Konstanz, die

eerst breed uitwaaierde, werd geconcentreerd en naar het diepe deel van het meer geleid. Zo kon de verlanding in het oevergebied een halt worden toegeroepen.

Reeds aan het begin van de 19e eeuw was in het gebied van de Aare de omleiding van de Linth in de Walensee gerealiseerd, om plaatselijk het gevaar van hoogwater uit te bannen. Vijftig jaar later werd een begin gemaakt met omvangrijke waterbouwkundige werken aan de Aare zelf, de grootste zijrivier van de Hochrhein. Deze hadden tot doel de afvoeren gelijkmatiger te verdelen en het transport van sediment en zwevende stof te verminderen. De maatregelen zijn als de „Juragewässerkorrektion” bekend geworden en verbonden met de naam van ingenieur *La Nicca*. De eerste stap was de omleiding van de bovenloop van de Aare door de Bielersee. Hierna volgden regulering van de verbindingswateren naar het Meer van Neuchâtel en naar de Murtensee, alsmede stuw- en reguleringsbouwwerken in de benedenloop van de Aare. Het resultaat was dat de meren samen voor de opslag van water konden worden gebruikt. Dankzij de opgedane ervaring zijn de reguleringsmaatregelen in het midden van onze eeuw verbeterd.

Langs de Aare werden ook waterkrachtcentrales gebouwd, evenals langs de Hochrhein, waar elf centrales bij stuwen werden geplaatst. Ze leveren samen ongeveer 4 miljard kilowattuur gemiddeld per jaar. In het zuiden van het Zwarte Woud ontstond de reeks krachtcentrales van Schluchsee en Hotzenwald, verbonden door middel van accumulatiebekkens. De stuwpanden in de Hochrhein dienen als benedenbekkens.

Om de waterkracht bruikbaar te maken werd een omvangrijk stuwdammenproject opgezet. Na de eerste stuwdam van Pérolles bij Freiburg in 1872, 21 meter hoog, ontstonden vele andere stuwdammen, vooral in de tweede helft van deze eeuw. Bovenstrooms van Bazél bedraagt de totale capaciteit van de stuwmeren meer dan 1,8 miljard m<sup>3</sup>. Ze dienen niet alleen voor het afvlakken van de afvoeren ten behoeve van de energiewinning, maar zorgen samen met de gedeeltelijk door stuwen gereguleerde randmeren van de Alpen voor een reductie van hoogwaters. Hun positieve effect is stroomafwaarts op de Rijn merkbaar.

## **Oberrhein**

De Oberrhein was in zijn oorspronkelijke staat tot benedenstrooms van Straatsburg in talrijke geulen vertakt, die steeds weer van loop veranderden. Daarna volgde een stuk waarin de rivier onregelmatig meanderde. Als gevolg van voortdurende verplaatsingen van de geulen en uitgebreide moerasvorming, was het bestaan voor de bevolking in het Rijndal moeizaam en gevaarlijk. Er heersten insectenplagen, tyfus en malaria. Sommige nederzettingen aan de Rijn werden herhaaldelijk getroffen door overstromingen. Andere kwamen na dijkdoorbraken bij hoogwater op de tegenovergelegen oever te liggen. Scheepvaart was slechts met kleine schepen en met veel moeite mogelijk.

Het is in de eerste plaats de verdienste geweest van ingenieur-officier *Tulla* uit Baden, dat hierin verandering werd gebracht tot voorbij de monding van de Neckar. In het begin van de 19e eeuw werkte hij de basisprincipes uit om het Oberrhein-gedeelte in een gelijkmatig, stabiel bed vast te leggen en begon vervolgens met de uitvoering van de plannen. Aanvankelijk stuitte hij bij de bewoners op weerstand, maar uiteindelijk zagen ze de voordelen van de „Oberheincorrectie” in en steunden het plan van ganser harte.

Van zuid naar noord werkend werd tot 1880 het 280 km lange Rijntraject van Bazel tot Worms gereguleerd. Als gevolg van vele doorgravingen werd de looplengte verkort met 37% in het meanderende gedeelte. De bescherming van het dal tegen hoogwater werd aanzienlijk verbeterd, voornamelijk door de aanleg van dijken. In het bovenstroomse deel ontstond al voor het midden van de 19e eeuw een aanzienlijke uitschuring. Dit kwam weliswaar de bescherming tegen hoogwater ten goede, maar hierdoor daalde het grondwater tot een nadelig laag peil en werd de scheepvaart bemoeilijkt. Deze gevolgen van de correctie en de ermee gepaard gaande bouwmaatregelen waren slechts gedeeltelijk voorzien.

Benedenstrooms van Worms werden de verbeteringen voor de regulering van de wilde rivier voortgezet. In Rheingau konden ze pas tegen het eind van de 19e eeuw in hun geheel uitgevoerd worden, nadat de problemen als gevolg van politieke grenzen waren verdwenen. Het karakter van het dal benedenstrooms van de monding van de Main, dat volkomen anders is met veel bredere watervlaktes, bleef behouden. Hiertoe heeft de Pruisische „Strombaudirektor” *Nobiling*, die op een verstandige manier leiding gaf aan de reguleringswerken, bijgedragen. Hij heeft zich ook verdienstelijk gemaakt bij de regulering van de Rijn benedenstrooms tot aan de Nederlandse grens.

In de eerste reguleringsfase van de Oberrhein was de loop van de rivier „vastgelegd”, de scheepvaart bevorderd en de bescherming tegen hoogwater verhoogd. Door de problematische natuurlijke omstandigheden had de regulering niet direct succes. Daarom waren in het bovenstroomse deel na 1900 systematische nareguleringen noodzakelijk, met name de aanleg van kribben om de waterdiepte bij lage afvoeren te verbeteren. Benedenstrooms waren er al de nodige aanpassingswerken gedaan, die door afzonderlijke maatregelen tot in het recente verleden zijn voortgezet.

Andere beslissende ingrepen vonden na 1950 in het Oberrheingedeelte plaats. Daar werden 10 stuwen met bijbehorende stuwpannen ingericht, om de waterkracht te gebruiken en binnenvaart met grote schepen mogelijk te maken. De bovenste 4 stuwen liggen aan een zijkanaal links van de rivier tussen Kembs en Vogelgrün. Samen kunnen de 10 waterkrachtcentrales rond de 4,5 miljard kilowattuur op jaarbasis leveren. Aangezien de stuwen het bodemtransport onderbroken hebben, wordt er benedenstrooms van de laatste stuw bij Iffezheim systematisch grind gestort, waardoor het aansluitend rivierbed in evenwicht wordt gehouden. De hoeveelheid toegevoegd grind bedraagt ongeveer 180.000 m<sup>3</sup> per jaar.

Door de kanalisatie van de Rijn bovenstrooms van Karlsruhe is 130 km<sup>2</sup> van de natuurlijke uiterwaarden die bij hoogwater overstroomden verloren gegaan, wat overeenkomt met 60% van het oorspronkelijke oppervlak. Hierdoor zijn de hoogwatertoppen steiler en aanzienlijk hoger geworden. Om de daaruit voortvloeiende gevaren voor de bevolking benedenstrooms het hoofd te bieden, zijn retentiemaatregelen met een totale inhoud van 220 miljoen m<sup>3</sup> gepland. De maatregelen bestaan uit het periodiek stuwen bij de kanalen van waterkrachtcentrales en uit het bouwen van twee stuwen in de Rijn bovenstrooms van Breisach en Straatsburg. De stuwen worden ook gebruikt voor het handhaven van gunstige grondwaterstanden in de hoger gelegen rivieroever. Behalve de genoemde maatregelen zullen hoogwaterretentiebekkens met een stuwinhoud van ca. 130 miljoen m<sup>3</sup> langs de rivieren beschikbaar worden gemaakt. Hiervan is nog maar een klein gedeelte gereed, maar toch is de totale capaciteit nodig om te voorkomen dat de hoogwatertoppen stijgen tot aan het ontwerphoogwater (overschrijdingskans eens per tweehonderd jaar).

Uit esthetische en economische overwegingen is een verhoging van de dijken en

kaden als enige maatregel voor de kering van het gestegen hoogwater niet geschikt. Er bestaan al lange en hoge dijken die hoge onderhoudskosten met zich meebrengen. Ze zijn voor het grootste deel versterkt na een rampzalig hoogwater rond de jaarwisseling 1882/1883.

Door de reguleringswerken aan de loop van de Rijn en de maatregelen voor de waterkering ontstonden voorwaarden waardoor in de rivierdalen de bevolking groeide en de land- en bosbouw intensiever werden. Veel drinkwaterinlaatpunten werden tegen hoogwater beveiligd. Het grondwater in het dal wordt zowel voor de drinkwaterwinning als voor irrigatie gebruikt. De laatste tijd worden oude Rijnarmen en delen van de voormalige natte biotopen hersteld om de vroegere natuurwaarden terug te verkrijgen.

### **Mittel- en Niederrhein**

De Mittelrhein stroomt van Bingen tot Bonn door het Rheinische Schiefergebirge, voornamelijk in een rotsachtige bedding. Op dit traject bestonden gevaarlijke hindernissen voor de scheepvaart, die in het verleden talloze slachtoffers geëist hebben. Er was in de 19e eeuw meerdere malen gewerkt aan de verbreding van de smalste passage, het Binger Loch. Met verhoogde inspanning werd dit na wetenschappelijk onderbouwde planning voortgezet. Tenslotte kon de scheepvaart in 1974 beschikken over een veilig, 120 m breed vaarwater.

Soortgelijke maatregelen werden ook in het gebied benedenstrooms tot aan St. Goar uitgevoerd, waar rotsen een hindernis voor de scheepvaart vormden. Aanpassingen in het belang van de scheepvaart werden tot in de Niederrhein voortgezet. Tegenwoordig is doorgaand scheepvaartverkeer, ook voor omvangrijke duwbakcombinaties, van de kust tot voorbij Bazel mogelijk. Een groot aantal kanalen en gekanaliseerde rivieren zijn op de Rijn, de belangrijkste Europese binnenwaterweg, aangesloten. Hierdoor is hij verbonden met het Franse kanalenstelsel, met de Donau via een kanaal dat in 1992 voltooid is, alsmede met waterwegen in Noordwest- en Noordduitsland.

Terwijl aan de Mittelrhein om topografische redenen steeds minder maatregelen voor de waterkering en voor het ontginnen van land werden getroffen, kregen die aan de Niederrhein de hoogste prioriteit. Hier moesten enkele trajecten gereguleerd worden. Op beide oevers moesten bandijken aangelegd respectievelijk voltooid worden en talrijke andere waterbouwkundige maatregelen uitgevoerd. Daarmee werd tegemoet gekomen aan de behoeften van het grootste en dichtstbevolkte industriegebied langs de Rijn.

De waterbehoefte voor de drinkwatervoorziening en de industrie langs de Niederrhein bedraagt verscheidene miljarden m<sup>3</sup> per jaar. Deze behoefte kan slechts mede door gebruik van Rijnwater gedekt worden, hoewel ook zeer uitgebreid gebruik wordt gemaakt van grondwater dat niet uit de rivier afkomstig is, grote stuwdammen worden gebouwd en andere mogelijkheden tot waterwinning ontsloten zijn. Het Rijnwater wordt voornamelijk in de vorm van oeverfiltraat gewonnen.

Men werd met een bijzonder probleem geconfronteerd, toen er na 1908 met name bij Duisburg steeds meer bodemverzakkingen in de rivier optraden. Ze bereikten maximaal een diepte van 2,50 m waardoor de plaatselijke hoogwaterbescherming opnieuw overwogen moest worden. Ook werd hierdoor de scheepvaart bemoeilijkt en de grondwaterstanden en het milieu nadelig beïnvloed. Hoofdoorzaak waren de mijnverzakkingen door steenkool- en steenzoutwinning. Andere oorzaken, vooral

grindwinning uit het stroombed, kwamen daar nog bij. Deze activiteiten werden onmiddellijk gestaakt. Met waterbouwkundige maatregelen probeerde men de bodemverzakking tegen te gaan waardoor ze onlangs tot staan is gebracht. De bandijken moesten op sommige trajecten herhaaldelijk opgehoogd worden.

Behalve waterbouwkundige werken uit economische gronden is langs de Neder-rhein op grote schaal aan landschapsvorming gedaan, maatregelen die de recreatie op en aan het water ten goede komen. Daartoe werden o.a. grote baggerputten ingericht als watersportcentra. De beveiliging tegen hoogwater werd systematisch uitgebreid. In het grensgebied tussen Duitsland en Nederland werken de beide landen samen aan deze beveiliging.

### Het Rijngebied in Nederland

Als geen ander land in het stroomgebied van de Rijn is Nederland aangewezen op een allesomvattende en systematische waterhuishouding. Het grootste gedeelte van het land ligt immers lager dan het niveau van belangrijke hoogwaters op de rivieren of van stormvloed op de Noordzee. Dit geldt zowel voor de drie mondingsarmen van de Rijn, Waal, Nederrijn-Lek en IJssel, als voor de zijrivieren.

Reeds in de middeleeuwen en in het begin van de moderne tijd werden omvangrijke werken voor hoogwaterbescherming en ontwatering uitgevoerd. Deze werden in de 19e en 20e eeuw geperfectioneerd en voltooid. Eerst was het doel de hoogwaterpieken door zijdelingse afleiding zodanig terug te brengen dat ze geen gevaar meer opleverden. Toen dit niet lukte, ging men ertoe over, het afvoervermogen van de rivieren te vergroten door ze te verbreden en het gehele achterland met bandijken te beschermen. Vanaf de jaren twintig van deze eeuw verplaatste het zwaartepunt van de werken zich richting Noordzee. Daar werden in de mondingen van de waterwegen grote afsluitwerken gebouwd. Het eerste was de in 1932 voltooide Afsluitdijk die de Zuiderzee afslot. De zoetwatergrens werd naar de kustlinie verschoven.

Ter bevordering van de scheepvaart werden niet alleen rivieren gereguleerd, maar ook kanalen gegraven en sluizen gebouwd. In grote delen van het land kon de grondwaterstand nauwkeurig geregeld worden. Voor de drinkwatervoorziening werd onder andere Rijnwater gebruikt, dat in de duinengordel langs de kust geïnfiltrerd en gezuiverd werd.

De systematische regulering van de waterwegen, die stapsgewijs leidde naar de huidige toestand van hoogwaterbescherming, was gebaseerd op een rapport van de waterbouwkundige ambtenaren *Ferrand* en *Van der Kun*. Hun belangrijkste ideeën, aangevuld door actuelere kennis en nieuwe behoeften, werden omgezet in daden. Dit gold zowel voor algemene berekeningsproblemen als voor een aantal afzonderlijke projecten.

Voorbeelden van deze maatregelen zijn aan de Nederrijn de afdamming van de Oude Rijn en de juiste verdeling van de Rijnafvoer over de hoofdtakken. Als hoofdtak behield de Waal haar betekenis als grootste waterloop en belangrijkste scheepvaartweg. De Nederrijn werd met drie stuwen gekanaliseerd. De meest bovenstrooms gelegen stuw bij Driel kreeg een belangrijke rol: de verdeling van de afvoer over de Rijntakken. De Nederrijn kreeg bij lagere afvoeren het kleinste deel. De IJssel bleef ongestuwd, ondanks andere voorstellen. Deze rivier werd in verscheidene fasen aangepast aan haar taken. Ze moest een vaarweg met een hoge capaciteit zijn, genoeg afvoervermogen bieden bij hoogwater en het Noorden en Noordwesten van Neder-

land van het benodigde zoetwater uit de Rijn voorzien, gedeeltelijk via het zoetgeworden IJsselmeer.

Het havengebied van Rotterdam, waar een gedeelte van de afvoer uit de Nederrijn en de Waal heenging, werd na 1860 door uitbaggering van de Nieuwe Waterweg via de kortste weg met de Noordzee verbonden. Dit maakte de havens bereikbaar voor grote zeeschepen. De bouwwerken die hierop volgden legden de basis voor een dermate grote stijging van de goederenoverslag, dat Rotterdam de belangrijkste haven van Europa is geworden.

De benedenloop van de Waal werd benedenstrooms van het Hollandsch Diep door waterbouwkundige werken van de Maas gescheiden, om hoogwaterkering en interne ontwatering in de hand te kunnen houden. Het door stormvloed en hoogwater tussen de beide rivieren ontstane gebied van de Merwede, bij Dordrecht, dat door geulen werd doorsneden en de Biesbosch wordt genoemd, werd ontwaterd en in cultuur gebracht.

Als nieuwste grote bouwprojecten kwamen daarna in Nederland de kustwerken. Na zware stormschade in 1916 werd de Zuiderzee van de Noordzee afgedamd. Binnen de beschutting van de dijk is tot nog toe 165.000 ha voormalige zeebodem drooggelegd en voor het merendeel in gebruik genomen, terwijl enkele delen tot natuurgebied zijn verklaard.

Nadat vanaf 1945 de grote schade aan de zeedijken als gevolg van de oorlog was hersteld, werd als eerste nieuwe werk tegen stormvloeden de Brielsche Maas ten zuidwesten van Rotterdam afgedamd. Vervolgens leidde de stormvloedramp van 1 februari 1953, die meer dan 1.800 mensenlevens kostte, tot een grootschalig tegenoffensief van een omvang, die voor die tijd niet uitvoerbaar geacht werd. Het geheel werd het „Deltaplan” genoemd en onder die noemer uitgevoerd. De enorme dammen die de inhammen van de Noordzeekust en de riviermondingen afsluiten beginnen ten zuidwesten van Rotterdam en lopen door tot aan Walcheren. Dammen in het Haringvliet, de Grevelingen, de Oosterschelde en het Veerse Gat vormen een aaneengesloten beschermende barrière tegen de Noordzee. Een van die dammen, die in de Oosterschelde, blijft uit ecologische en economische motieven voor het normale getij open, terwijl de andere gesloten blijven. De zoetwatergrens is in het noordelijk deel van het afgedamde gebied ver opgeschoven. Vanuit het Rijn-Maasgebied is naar de Schelde een scheepvaartkanaal met een hoge vervoerscapaciteit gegraven.

Sinds kort maakt het planmatig beheer van ecologisch bijzonder waardevolle gebieden ook deel uit van de waterbouwkundige werken in Nederland, aan de kust, langs de rivieren en verspreid over het achterland. Als geheel maken ze het land tot een gebied, dat dankzij intensief waterbeheer zeer leefbaar is geworden voor de mens en dat ook blijft.

### **Toekomstperspectief**

Overeenkomstig de behoeften van de bevolking en de economie is de Rijn van een ongeregelde, dikwijls schade toebrengende, natuurlijke waterloop tot een levensader van cultuurlandschappen omgevormd. Ondanks vele vervreemdende ingrepen heeft hij zijn karakter als cultuurgoed behouden. Veelvuldig is getracht, verloren gegane of beschadigde natuurwaarden rond de rivier, voor zover dat mogelijk is, terug te krijgen.

Ook in de toekomst zullen technische ingrepen noodzakelijk zijn, om het veroverde te behouden en verder te ontwikkelen. De dynamiek van de waterkringloop staat nooit stil, net zo min als die van de maatschappij. Nieuwe waterbouwkundige en beheersmatige projecten kondigen zich aan. Zo is er sprake van kunstmatige hoogwaterretentie als onderdeel van een veelomvattend beheerssysteem. Verder zal op de linkeroever van de Niederrhein het probleem zich voordoen, dat het enorme gat, dat van de bruinkoolwinning ten westen van de Erft is overgebleven na beëindiging van de mijnbouw, snel met Rijnwater gevuld moet worden. De verdere verbetering van de kwaliteit van het Rijnwater, waarop in dit rapport overigens niet wordt ingegaan, plaatst ons voor grensoverschrijdende saneringstaken.

Tot nog toe is het gelukt, de economische waarde van de Rijn te verhogen waarbij zijn culturele luister behouden is gebleven. Ook voor de toekomst mag men erop vertrouwen dat dit zo zal blijven. De Rijnsoeverstaten werken er in samenwerkingsverbanden aan om deze taak gezamenlijk te vervullen.





## Verzeichnis von Literatur

Umfassende Literaturverzeichnisse über den Rhein sind folgenden neueren Quellen zu entnehmen:

- CHR/KHR, Commission Internationale de l'Hydrologie du Bassin du Rhin / Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes: Le Bassin du Rhin, Monographie Hydrologique / Das Rheingebiet, Hydrologische Monographie, 's-Gravenhage 1978
- Nippes, K.R.: Bibliographie des Rheingebietes, Bericht Nr. I-10 der CHR/KHR, Lelystad 1991

Bei der Bearbeitung dieser Schrift sind insbesondere die nachfolgend genannten Literaturquellen benutzt und teilweise zitiert worden:

### Abschnitt 2

- Bundesminister für Verkehr BMV: Untersuchung der Abfluß- und Geschiebeverhältnisse des Rheins, Schlußbericht, Bonn 1987
- CHR/KHR: Le Bassin du Rhin, Monographie Hydrologique / Das Rheingebiet, Hydrologische Monographie, 's-Gravenhage 1978
- Keller, R. (Gesamtleitung): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland, Karten und Erläuterungen. Boldt-Verlag, Boppard 1978 (Karten) und 1979 (Textband)
- Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband (Herausgeber): Der Rhein von den Quellen bis zum Meer. Wasser- und Energiewirtschaft, Sonderheft 5/6, Baden/Schweiz 1975

### Abschnitt 3

- Badenwerk Karlsruhe: Rheinkraftwerk Iffezheim. Informationsschrift 1987
- Botschaft der Bundesrepublik Deutschland: Information über die französische Wasserwirtschaft, Paris 1990
- Bundeswasserstraßengesetz vom 2.4.1968, Bundesgesetzblatt II, 1968
- Götz, A. und Spreafico, M.: Schweizer Beitrag zum KHR-Bericht »Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen«, Bern 1989
- IHK Krefeld, Mönchen-Gladbach und Neuss: Wirtschaft am linken Niederrhein. Verlag Stalling, Oldenburg 1971
- Koehler, G.: Einfluß verschiedener anthropogener Veränderungen im Einzugsgebiet des Oberrheins auf die Hochwasserabflüsse. 5. Wissenschaftliche Tagung Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität der Bundeswehr München und des DVWK, 1990
- Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk RWE: Informationsschrift Kraftwerk Mülheim-Kärlich, Essen 1985
- Schluckebier, U.: Internationales Rheinschiffahrtsrecht, Göttingen 1965
- Schreiber, H., Ministerialrat, österreichischer KHR-Vertreter: Beitrag zur wasserrechtlichen Situation in Österreich, Wien 1990
- Vogl et al.: Handbuch des Umweltschutzes. Ergänzungswerk, ecomed-Verlag, Landshut
- Wasserhaushaltsgesetz vom 23.9.1986. Bundesgesetzblatt II, 1986
- Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland, Enkhuizen: Waterwinstation Prinses Juliana. Prospekt 1988

### Abschnitt 4

- Bongaerts, M.C.E.: De scheidung van Maas en Waal, onder verlegging van de uitmonding der Maas naar den Amer. Ministerie van Waterstaat, Den Haag 1909

- Dahl, J.K.: Historisch-statistisches Panorama des Rheinstromes von Bingen bis Coblenz. Verlag Josef Engelmann, Heidelberg, Frankfurt und Leipzig 1835
- Dirkzwager, J.M.: Water, van natuurgebeuren tot dienstbaarheid, Martinus Nijhoff, 's-Gravenhage 1977
- Eytelwein, J.A.: Praktische Anleitung zur Bauart der Faschinenwerke, Berlin 1818
- Felkel, K.: Strombaugeschichte der Binger-Loch-Strecke des Rheins. Beiträge zur Rheinkunde 12, Rheinmuseum Koblenz 1961
- Gottschalk, M.K.E.: Stormvloed en rivieroverstromingen in Nederland, Deel I, de periode voor 1400 (1971), Deel II, de periode 1400–1600. Sociaal-geografische studies, Utrecht Nr. 10 und 13, Van Gorkum, Assen/Amsterdam 1975
- Harbers, P. und Mulder, J.R.: Een poging tot reconstructie van het Rijnstelsel in het oostelijk rivierengebied tijdens het Holoceen, in het bijzonder in de Romeinse tijd. KNAG Geografisch tijdschrift, 5, 1981
- Heiningen van, H.: Tussen Maas en Waal. De Walburg Pers, Zutphen 1972
- Hoppe, C.: Die großen Flußverlegungen und ihre Auswirkungen auf Lage und Entwicklung der Siedlungen. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn-Bad Godesberg 1970
- Jasmund, R.: Die Arbeiten der Rheinstrom-Bauverwaltung 1851 bis 1900. Verlag Mittler und Sohn, Berlin 1901
- Klein, J.A.: Rheinreise von Mainz bis Köln. Verlag Röhling, Koblenz 1828
- Kunz, E.: Hochwasserschutz und Wasserbauten am Oberrhein. Wasser- und Energiewirtschaft, 5/6, 1975
- Lichtenhahn, C.: Flußbauliche Probleme am Rhein zwischen Reichenau und dem Bodensee im Wandel der Zeit. Wasser- und Energiewirtschaft, 10, 1972
- Liebscher, H.J. et al.: Rekonstruktion der Witterungsverhältnisse im Mittelrheingebiet von 1000 n. Chr. bis heute anhand historischer hydrologischer Ereignisse. BMFT-Forschungsvorhaben LOF 10/85, veröffentlicht von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz 1988
- Merin, M. und Zeiller, M.: Baden, Beschreibung von Städten und Orten im Badnerland, Verlag Rombach, Freiburg Br. 1979
- Meyer-Peter, E. und Lichtenhahn, C.: Altes und Neues über den Flußbau unter besonderer Berücksichtigung des st. gallischen Rheintales, Bern 1963
- Michels, F.W. et al.: Karte »De Biesbosch tussen Nieuwe Merwede, Amer en Land van Heusden en Altena«, N.V. Waterwinningsbedrijf Brabantse Biesbosch, Rotterdam 1974
- Renes, J. und Van de Ven, G.P.: Stichting voor Bodemkartering. Arbeitskreis für genetische Siedlungsforschung in Mitteleuropa, Exkursionsbericht 24.9.1988, Wageningen 1988
- Riesels, C.: Ausführliche und grundrichtige Beschreibung des ganzen Rheinstromes. Verlegung um 1687
- Schneider, A.: Die Zisterzienser, Wienand-Verlag, Köln 1974
- Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft STAWA Düsseldorf: 200 Jahre Ruhrschiffahrt, Düsseldorf 1980
- Ven, G.P. van de: Aan de wieg van Rijkswaterstaat, wordingsgeschiedenis van het Pannerdens Kanaal, Dissertation, Zutphen, De Walburg Pers, 1976
- Vieser, H.J.: Hochwasserverschärfung durch Ausbau des Oberrheins. Technische Hochschule Darmstadt, Wasserbauteilungen 24, 1985a
- Vischer, D.: Schweizerische Flußkorrekturen im 18. und 19. Jahrhundert. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Nr. 84, Zürich 1986
- Vischer, D. und Frankhauser, U.: 275 Jahre Kanderumleitung. Wasser, Energie, Luft, 1/2, 1990
- Wasser- und Schiffahrtsdirektion WSD West: Der Rhein und die Westdeutschen Kanäle. Informationsschrift, Duisburg 1987

- Zonneveld, J.I.S.: Tussen de bergen en de zee, de wordingsgeschiedenis der lage landen, 2. revidierte Auflage, Oosthoek's Uitgeversmaatschappij, Utrecht 1971

#### Abschnitt 5.1

- Bertschinger, H.: Probleme am Rhein und am Bodensee, Schweizerische Bauzeitung, 21, 1973
- Eidgenössisches Amt für Straßen- und Flußbau: Flußbau bei der ersten und zweiten Juragewässerkorrektion, Bern 1975
- Emmenegger, Ch.: La voie navigable du Rhin, aspects hydrologiques. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Hydrologie, 24, Bern 1978
- Götz, A., Bundesamt für Wasserwirtschaft Bern: Persönliche Mitteilung 1989
- Götz, A. und Spreafico, M., Bern: Persönliche Mitteilungen 1989
- Götz, A.: Die Mündung des Alpenrheins im Wandel der Zeit. Vortrag an der VHW, ETH Zürich, am 25.1.1986
- Hochwasserstudienkommission für den Rhein: Schlußbericht, Ergebnisse der Untersuchungen. Der Bundesminister für Verkehr, Bonn 1978
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft (LfU Karlsruhe). Hundert Jahre gewässerkundliche Dienststelle Baden-Württemberg 1883/1983, Festschrift, Karlsruhe 1984
- Lichtenhahn, C.: Flußbauliche Probleme am Rhein zwischen Reichenau und dem Bodensee im Wandel der Zeit. Wasser- und Energiewirtschaft, 10/11, 1972
- Meyer-Peter, E. und Lichtenhahn, C.: Altes und Neuere über den Flußbau unter besonderer Berücksichtigung des st. gallischen Rheintales, Bern 1963
- Müller, B.: Die II. Juragewässerkorrektion. »Plan«, Schweizerische Zeitschrift für Landes-, Regional- und Ortsplanung, 2, 1963
- Schnitter, N.: Geschichte des Talsperrenbaues in der Schweiz. Vortrag, 9. Internationale Fachmesse und Fachtagungen für Umweltschutz, Bern, Juni 1983
- Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband (Herausgeber): Der Rhein von den Quellen bis zum Meer. Wasser- und Energiewirtschaft, 5/6, 1975
- Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband (Herausgeber): Speicherseen der Alpen. Wasser- und Energiewirtschaft, Sonderheft Nr. 9, 1970
- Spreafico, M.: Die Auswirkungen alpiner Speicherseen auf die Umwelt. Berichte zur Fachtagung III, Pro Aqua-Pro Vita, Basel 1980
- Vischer, D.: Schweizerische Flußkorrekturen im 18. und 19. Jahrhundert. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Nr. 84, Zürich 1986
- Wey, J.: Geschichtliche Darstellung der technischen Entwicklung der st.gallischen Rheinkorrektion, Schweizer Bauzeitung, S. 19/34, 1890
- Zeitschrift »Wasser- und Energiewirtschaft«: Speicherseen der Alpen. Sonderheft 9, 1970

#### Abschnitt 5.2

- Bundesminister für Verkehr BMV: Untersuchungen zur Frage, ob die Sohlenerosion des Oberrheins unterhalb der Staustufe Iffezheim durch Geschiebezugabe, weitere Staustufen oder Grundschwellen verhindert werden kann. Schlußbericht, Bonn 1981
- Bundesminister für Verkehr BMV: Untersuchung der Abfluß- und Geschiebeverhältnisse des Rheins. Schlußbericht, Bonn 1987
- Brundiers, K. und Fleischhauer, G.: Der Neckar für die Schifffahrt, Bad Soden/Ts. 1984
- Felkel, K.: Die Erosion des Oberrheins zwischen Basel und Karlsruhe. gwf (Wasser-Abwasser), 30, 1969
- Felkel, K.: Ideenstudie über die Möglichkeit der Verhütung von Sohlenerosion durch Geschiebezufuhr aus der Talaue ins Flußbett, dargestellt am Beispiel des

- Oberrhens. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 30, Karlsruhe 1970
- Felkel, K.: Die Geschiebezugabe als flußbauliche Lösung des Erosionsproblems des Oberrhens. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 47, Karlsruhe 1980
  - Felkel, K.: Acht Jahre Geschiebezugabe am Oberrhein, *Wasserwirtschaft*, 4, 1987
  - Gerhard, H.: Historische Hochwasser am Oberrhein. In: Hochwasser am Oberrhein. Technische Hochschule Darmstadt, Wasserbau-Mitteilungen Nr. 24, Darmstadt 1985
  - Honsell, M.: Die Hochwasserkatastrophen am Rhein im November und Dezember 1882. *Centralblatt der Bauverwaltung*, S. 1–27, Berlin 1883
  - Honsell, M.: Die Wasserstraße zwischen Mannheim-Ludwigshafen und Kehl-Straßburg – Canal oder freier Rhein? *Centralblatt der Bauverwaltung*, Berlin 1890
  - Hochwasserstudienkommission für den Rhein HSK: Schlußbericht, Ergebnisse der Untersuchungen. Der Bundesminister für Verkehr, Bonn 1978
  - Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes KHR: Das Rheingebiet, *Hydrologische Monographie*, 's-Gravenhage 1978
  - Keller, R. (Gesamtleitung): *Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland*, Karten und Erläuterungen. Boldt-Verlag 1978 (Karten) und 1979 (Textband)
  - Kissel, K.H.: Der Oberrhenausbau und seine Folgen in wasserwirtschaftlicher Sicht. Manuskript 1987
  - Kunz, E.: Hochwasserschutz und Wasserbauten am Oberrhein. *Wasser- und Energiewirtschaft*, 5/6, 1975
  - Kunz, E.: Von der Tullaschen Rheinkorrektion bis zum Oberrhenausbau – 150 Jahre Eingriff in ein Naturstromregime. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Herausgeber): Naturschutzgebiet Limberg am Kaiserstuhl, Karlsruhe 1978
  - Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg MU B.-W.: Hochwasserschutz und Ökologie. Ein »Integriertes Rheinprogramm« schützt vor Hochwasser und erhält naturnahe Flußauen, Stuttgart, November 1988
  - Mosonyi, E.: Ein- und Auslaufbauwerke von Taschenpoldern. Gutachten der Technischen Universität, Karlsruhe 1980
  - Neckar AG: Der Neckarausbau zwischen Mannheim und Plochingen. 50 Jahre Neckar-Aktiengesellschaft. Neckar AG und Wasser- und Schifffahrtsdirektion Stuttgart (Herausgeber), Stuttgart 1971
  - Rheinland-Pfalz, Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Abteilung Wasserwirtschaft: Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Rheinpfalz, Mainz 1982
  - Riegelsberger, J.: Acher-Rench-Korrektion. Innenministerium Baden-Württemberg (Herausgeber): Wasserwirtschaft in Baden-Württemberg. Verwaltungs-Verlag, München 1969
  - Römer, G. (Herausgeber): Die Oberrheinlande in alten Landkarten. Badische Landesbibliothek, Karlsruhe 1981
  - Regionalverband Mittlerer Oberrhein RVMO: Kieskonzeption 2000, Karlsruhe 1987
  - Teuber, W.: Abflußmessungen mit Meßschiffen. Weiterentwicklung von Meß- und Auswerteverfahren. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen*, 5/6, 1986
  - Thürach, H.: Geologische Spezialkarte des Großherzogtums Baden, Blatt Graben (1904). Karte bei Muth, W.: Rheinausbau seit Tulla. *Karlsruher Geowissenschaftliche Schriften*, Fachhochschule Karlsruhe 1986
  - Theodor-Rehbock-Flußbaulaboratorium: Johann Gottfried Tulla, Festschrift zur Gedenkfeier und internationalen Fachtagung über Flußregulierungen, Universität Karlsruhe 1970
  - Vieser, H. J.: Hochwasserverschärfung durch Ausbau des Oberrhens. *Wasserbau-Mitteilungen* Nr. 24, Technische Hochschule Darmstadt 1985a

- Vieser, H.J.: Einfluß menschlichen Wirkens auf den Wasserabfluß am Beispiel des Oberrheins. Wasser Berlin '85, Kongreßvorträge, Wissenschaftsverlag Spiess, Berlin 1985b
- Wasser- und Bodenverband zur Beregnung der nördlichen Vorderpfalz: Regen nach Maß, Ludwigshafen 1980
- Wasserverband Kocher-Lein: Informationsschrift »Hochwasserschutz, Landschaftspflege, Naherholung«, Schwäbisch Gmünd 1979
- Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes WSV: Ausbau des Rheins zwischen Kehl/Straßburg und Neuburgweier/Lauterburg, Stand 1972
- Worreschk, B.: Der Einfluß des Oberrheinausbaus ... auf kleine und mittlere Rheinhochwasser in Rheinland-Pfalz. 5. Wissenschaftliche Tagung Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität der Bundeswehr München und des DVWK, München 1990

### Abschnitt 5.3

- Heyl, K.: Generalkulturplan für das Hessische Ried, Darmstadt 1929
- Hochwasserstudiengruppe für die Rheinstrecke Worms-Kaub: Entwicklung des Hochwasserschutzes am Rhein zwischen Worms und Kaub. Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Mainz 1985 (unveröffentlicht)
- Klausner, P.: Erinnerungsblätter an die Schreckenstage der Hochflut von 1882–1883, Verlag Diesbach Mannheim 1883
- Lietcke, H. et al.: Topographischer Atlas Rheinland-Pfalz, Verlag Wachholtz, Neumünster 1973
- Regierungspräsident in Darmstadt: Wasserwirtschaftlich-ökologische Gesamtplanung Ried, Darmstadt 1985
- Rhein-Main-Donau AG: Wasserstraße und Wasserkraftwerke (Prospekt), München 1987
- Schulz, H.: Claus Kroencke, ein Lebensbild aus dem vorigen Jahrhundert, Wasser und Boden, 4, 1972
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion WSD Duisburg: Der Rhein. Ausbau, Verkehr, Verwaltung. Rhein-Verlag Duisburg 1951

### Abschnitt 5.4

- Bailly, R.: La Moselle canalisée d'Apach à Neuves-Maisons. Label Voie d'Eau 12, 1986
- Berger, W. und Schmitt, B.: Der Rhein im Bereich des Binger Riffs. Hansa 21, 1974
- Bergh, van den, F.: Die Felsen-Sprengungen im Rhein bei Bingen zur Erweiterung des Thalweges im Binger Loche. Verlag Karl Baedeker, Koblenz 1834
- Beyen, H.: Die technische Entwicklung der deutschen Binnenschifffahrt nach dem 2. Weltkrieg. Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen 5, 1985
- Böcking, W.: Schiffe auf dem Rhein in drei Jahrtausenden. Verlag Steiger, Moers 1979
- Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. und Verein für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e.V. (Herausgeber): Binnenschifffahrt in Zahlen. Duisburg 1985
- Claudon, M. u.a.: Le Réseau Freycinet de la Direction Régionale de Nancy. Label Voie d'Eau 12, 1986
- Eckoldt, M.: Die Lahn als Wasserstraße in ihrer geschichtlichen Entwicklung. Rheinmuseum Koblenz, Beiträge zur Rheinkunde 32, 1980
- Felkel, K.: Die Modelluntersuchungen für zehn Moselstaustufen. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Heft 16, 1961
- Felkel, K.: Das Modell der Binger-Loch-Strecke des Rheins. Zeitschrift für Binnenschifffahrt 3, 1962

- Felkel, K.: Modelluntersuchungen für den Rhein bei Bingen. Die Wasserwirtschaft 6, 1963
- Felkel, K.: Ergebnisse von Modelluntersuchungen für die Moselkanalisierung. Die Wasserwirtschaft 9, 1963
- Felkel, K.: Die Schifffahrtsverhältnisse des Rheins, gwf Wasser-Abwasser 26, 1965
- Felkel, K.: Modelluntersuchungen für den Ausbau des Rheins bei Kaub. Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen 7, 1973
- Felkel, K.: Modellversuche für den Ausbau der Binger-Loch-Strecke mit nur einer Schifffahrtsrinne. Wasserwirtschaft 2, 1974
- Gelinsky, P.: Ausbau des Rheins vom Main bis zur niederländischen Grenze. Wasser- und Schifffahrtsdirektion Duisburg: Der Rhein. Ausbau, Verkehr, Verwaltung, Rheinverlag Duisburg 1951
- Großheimann, K. J.: Der Ausbau der Saar und ihrer Kraftwerke, Informationsschrift der Moselkraftwerke, Andernach 1982
- Internationale Moselgesellschaft GmbH (Herausgeber): Der Ausbau der Mosel zwischen Diedenhofen und Koblenz, Trier 1966 (mit rund 160 Schrifttumshinweisen)
- Jasmund, R.: Die Arbeiten der Rheinstrom-Bauverwaltung 1851–1900. Verlag Mittler und Sohn, Berlin 1901
- Krajewski, C.: Rheinchronik 1980. Rheinmuseum Koblenz, Beiträge zur Rheinkunde 33, 1981
- Langschieb, K.: Wasserbauliche Maßnahmen am Mittelrhein. Wasserbau-Mitteilungen der Technischen Hochschule Darmstadt Nr. 24, 1985
- Mantz, G.: 20 Jahre Großschifffahrt auf der Mosel. Rheinmuseum Koblenz, Beiträge zur Rheinkunde 36, 1984
- Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz, Abteilung Wasserwirtschaft: Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Mosel, Mainz 1964
- Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk RWE: Prospekt über Moselkraftwerke, Essen 1975
- Schneider, G.: Zusammenfassende Darstellung der Rheinregulierung Straßburg/Kehl – Istein, Freiburg i.Br. 1966
- Teichmann: Theoretisches über Tauschifffahrt. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 4, 1870
- Teubert, O.: Die Binnenschifffahrt, 1. Band. Verlag Engelmann, Leipzig 1912
- Trapp, R.: Vom Schleppzug zum Schubverband. Die Entwicklung der Binnenschifffahrt nach dem 2. Weltkrieg. Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen 5, 1985
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion WSD Südwest: Information über Bundeswasserstraßen und Schifffahrt, Ober- und Mittelrhein, Neckar, Lahn, Mosel, Mainz 1985
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion WSD Südwest: Information über Bundeswasserstraßen und Schifffahrt, Mainz 1988
- Vertrag vom 27.10.1956 zwischen der Bundesrepublik Deutschland, der Französischen Republik und dem Großherzogtum Luxemburg über die Schiffbarmachung der Mosel. Bundesgesetzblatt 1956, Teil II, Nr. 36
- Weber, H.: Allerlei über die Treidelei. Rheinmuseum Koblenz, Beiträge zur Rheinkunde 39, 1987

#### Abschnitt 5.5

- Becker: Brückenbau in Düsseldorf. Betonverlag Düsseldorf 1980
- Bergverordnung des Landesoberbergamtes Nordrhein-Westfalen für den Abbau unter Schifffahrtsstraßen (BVOSch) vom 20.2.1970. Amtsblatt des Regierungspräsidenten in Düsseldorf
- Bundesminister für Verkehr BMV: Untersuchung der Abfluß- und Geschiebeverhältnisse des Rheins, Bonn 1987

- Chambalu, A.: Die Stromveränderungen des Niederrheins in der vorrömischen Zeit. Verlag Bachem, Köln 1892
- Erftverband, Bergheim: Jahresbericht 1985
- GEW Köln: Hundert Jahre zentrale Wasserversorgung in Köln 1872/ 1972
- Mantz, G.: Zur Erinnerung an Leben und Werk des Geheimen Regierungsrathes und Strombaudirektors Eduard Adolph Nobiling. Rheinmuseum Koblenz, Beiträge zur Rheinkunde 34, 1982
- Regierungspräsident in Düsseldorf 1980: Deichverbände im Regierungsbezirk Düsseldorf, mit Ergänzungen durch StAWA Düsseldorf 1988
- Ruhrverband/Ruhrtalsperrenverein: 75 Jahre im Dienst für die Ruhr. Eigenverlag Essen 1988
- Scheller, H.: Der Nordkanal zwischen Neuss und Venlo. Schriftenreihe des Stadtarchivs Neuss, 1980
- Schmitz, W. und Kolf, R.: Hochwasserschutz am Rhein im Regierungsbezirk Düsseldorf. Rheinmuseum Koblenz, Beiträge zur Rheinkunde 34, 1982
- Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft StAWA Düsseldorf: Unterlagen und Auskünfte 1987/88
- Stadtverwaltung Düsseldorf: Städtische Häfen Düsseldorf 1985
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion WSD Duisburg: Der Rhein. Ausbau, Verkehr, Verwaltung. Rheinverlag Duisburg 1951
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion WSD West: Der Rhein und die westdeutschen Kanäle, Duisburg 1987
- Wasserverband Westdeutsche Kanäle: Jahresbericht, Essen 1986

#### Abschnitt 5.6

- Algemeene Dienst van den Waterstaat: Registers, bevattende de beschrijving van de peilschalen, hakkelbouten en andere verkenmerken langs de hoofdrivieren der Nederlanden, opgemaakt op last van den Minister van Binnenlandsche Zaken, 's-Gravenhage 1849–1872
- Bongaerts, M.C.E.: De scheiding van Maas en Waal onder verlegging van de uitmonding der Maas naar den Amer. Ministerie van Waterstaat, 's-Gravenhage 1909
- Commissie tot onderzoek der beste rivierafleidingen: Rapport aan Zijne Majesteit den Koning. Algemeene Landsdrukkerij, 's-Gravenhage 1827
- Dick de Bruin, Dick Hamhuis, Lodewijk van Nieuwenhuijze et al.: Ooievaar, de toekomst van het rivierengebied. Stichting Gelderse Milieufederatie, Arnhem 1987
- Dirkzwager, J.M.: Water, van natuurgebeuren tot dienstbaarheid. Martinus Nijhoff, 's-Gravenhage 1977
- Ferguson, H.A.: Deltavisie, een terugblik op 40 jaar natte waterbouw in Zuidwest-Nederland. Hoofddirectie van de Waterstaat, Rijkswaterstaatserie 49, 's-Gravenhage 1988
- Ferrand, J.H. und Van der Kun, L.J.A.: Rapport van de Inspecteurs van den Waterstaat nopens hetgeen tot verbetering der Nederlandsche Rivieren zoude kunnen bewerkstelligd worden. In: Verslag Openbare Werken 1854. Van Weelden en Mingelen, 's-Gravenhage 1856
- Fijnje, J.G.W.: Beschouwingen over eenige rivieren, waaronder Nederlandsche, in verband met de handels- en scheepvaartbelangen, en met enkele vraagstukken die in de laatste jaren zijn voorgekoomen, derde gedeelte Departement van den Waterstaat, Handel en Nijverheid, 's-Gravenhage 1888
- Groeneveld, J.: Veranderend Nederland, een halve eeuw ontwikkelingen op het platteland. Natuur en Techniek, Maastricht 1985
- Henket, N.H., Dr. Ch.M. Schols en J.M. Telders: Waterbouwkunde, tweede deel, 1. aflevering, afd. XI: Rivieren en Rivierwerken. De gebroeders van Clef, Ausgabe bearbeitet von C. Lely, 's-Gravenhage 1890



- Kun, van der, L.J.A., Fijnje H.F. und Conrad: Rapport der inspecteurs van den Waterstaat naar aanleiding eener beschikking van den Minister van Binnenlandse Zaken van den 27sten Maart 1861, Nr. 123, Van Weelden en Mingelen, 's-Gravenhage 1861
- Ministerium für Verkehr und Öffentliche Arbeiten: Wasser heute und auch morgen in den Niederlanden. Zusammenfassung des 3. Nationalwasserhaushaltsplanes, 's-Gravenhage 1989a
- Ministerium für Verkehr und Öffentliche Arbeiten: Das Deltaprojekt im Interesse der Sicherheit und des Umweltschutzes, 's-Gravenhage 1989b
- Petersen, van, J.W.: De waterplaag, dijkdoorbraken en overstromingen achter Rijn en IJssel. De Walburg Pers, Zutphen 1978
- Rijkswaterstaat en het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: Verslag over de stormvloed van 1953. Staatsdrukkerij 's-Gravenhage 1961
- Thijsse, J. Th.: Een halve eeuw Zuiderzeewerken 1920–1970. Tjeenk Willink, Groningen 1972

#### Abschnitt 6

- Engel, H.: Die Wirksamkeit der konzipierten Hochwasserschutzmaßnahmen im Oberrhein. DVWK-Informationsveranstaltung 'Hochwasserschutz Oberrhein', Ludwigshafen am 17.2.1989
- Erftverband Bergheim: Auskünfte und Bericht über Verbandstätigkeit 1975
- Kalweit, H.: Anthropogene Einflüsse auf Hochwasser, Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch 45, 1984

## Bildnachweis

(Die Kurzbezeichnungen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis)

Bild

Nr. Herkunft

- 2.1 KHR, 1978
- 2.2 Entwurf Nippes, K.R., 1988
- 2.3 KHR, 1978
- 2.4 Engel, H., Bundesanstalt für Gewässerkunde, 1988
- 2.5 Liebscher, H. J., Bundesanstalt für Gewässerkunde, 1988
- 2.6 siehe Bild 2.5
- 2.7 KHR, 1978, ergänzt
- 2.8 Entwurf Ploeger, B., 1988
- 3.1 siehe Bild 2.1, ergänzt
- 3.2 Entwurf Kalweit, H. und Nippes, K.R., 1987
- 3.3 Entwurf Nippes, K.R., 1987
- 3.4 Foto Kalweit, H., 1989
- 3.5 Kalweit, H. nach Unterlagen des Statistischen Bundesamtes, Wiesbaden, 1988
- 3.6 Grundkarte siehe Bild 2.1, Eintragungen nach Nippes, K.R., 1988
- 3.7 IHK Krefeld, 1971
- 3.8 Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland, 1988
- 3.9 RWE, 1985
- 3.10 Foto Professor Collins, H.J., Technische Universität Braunschweig
- 3.11 Foto Kalweit, H., 1990
- 3.12 Badenwerk, 1987
- 3.13 Foto Schmitz, W., 1988
- 4.1 Vischer, D., 1986
- 4.2 Vischer, D., 1986
- 4.3 Ölgemälde von Peter Birmann, Öffentliche Kunstsammlung Basel, Kunstmuseum Inv. Nr. 71
- 4.4 Merin und Zeiller, 1979, Original Badische Landesbibliothek
- 4.5 Eytelwein, J.A., 1818, Original Badische Landesbibliothek
- 4.6 Riesels, C., 1687
- 4.7 Felkel, K., 1961
- 4.8 Foto Thörnig, H., Landesmuseum Trier, Nr. RD 59, 187
- 4.9 Klein, J. A., 1828
- 4.10 siehe Bild 4.9
- 4.11 Hoppe, C., 1970
- 4.12 StAWA Düsseldorf, 1980
- 4.13 Rijkswaterstaat, Hoofddirectie, 1977
- 4.14 Rijkswaterstaat, Hoofddirectie, 1988
- 4.15 Nach Michels et al., 1974
- 4.16 Rademaker, A.: Versameling van 100 Nederlandsche Outheden en Gesigten. Repro-Holland, Alphen aan den Rijn 1981 (Nachdruck)
- 4.17 Nach Van de Ven, G.P., 1976
- 5.1-1 nach Götz, A. und Spreafico, M., 1990
- 5.1-2 Vischer, D., 1986
- 5.1-3 Lichtenhahn, C., 1972
- 5.1-4 Wey, J., 1890
- 5.1-5 Bertschinger, H., 1973/ PHOTO SWISSAIR

- 5.1-6 nach Eidgen. Amt für Straßen- und Flußbau, 1975
- 5.1-7 Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, 1970
- 5.1-8 nach Eidgen. Amt für Straßen- und Flußbau, 1975
- 5.1-9 nach Bundesamt für Wasserwirtschaft Bern, 1989
- 5.1-10 Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1984
- 5.1-11 nach Prospekt der Schluchseewerke
- 5.1-12 Zeitschrift Wasser- und Energiewirtschaft, 1970
- 5.1-13 nach Emmenegger, Ch., 1978
- 5.1-14 nach Spreafico, M., 1989
- 5.2-1 Römer, G., 1981, Original Badische Landesbibliothek
- 5.2-2 siehe Bild 5.2-1
- 5.2-3 nach Rheinland-Pfalz, 1982, Blatt 69
- 5.2-4 Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, 1989
- 5.2-5 Teuber, W., 1986
- 5.2-6 nach Felkel, K., 1969 und KHR, 1978, mit Ergänzungen
- 5.2-7 DFG, 1978/79
- 5.2-8 Thürach, H., 1904/10, Original Badische Landesbibliothek
- 5.2-9 TRF, 1970
- 5.2-10 nach Kunz, E., 1975
- 5.2-11 Honsell, M., 1890
- 5.2-12 Kunz, E., 1975
- 5.2-13 nach Vieser, H. J., 1985a
- 5.2-14 WSV, 1972
- 5.2-15 Felkel, K., 1980
- 5.2-16 BMV, 1981
- 5.2-17 Vieser, H. J., 1985a
- 5.2-18 nach Vieser, H. J., 1985a
- 5.2-19 nach HSK, 1978, und deutsch-französische Vereinbarung vom Dezember 1982
- 5.2-20 nach Mosonyi, E., 1980
- 5.2-21 nach Riegelsberger, J., 1969
- 5.2-22 Neckar AG, 1971
- 5.2-23 nach Wasserverband Kocher-Lein, 1979
- 5.2-24 Foto Wolt, H., Ellwangen
- 5.3-1 Foto Kalweit, H., 1989
- 5.3-2 Lietcke, H. et al., 1973
- 5.3-3 Landesmedienzentrum Rheinland-Pfalz, Koblenz
- 5.3-4 Klausner, P., 1883
- 5.3-5 siehe Bild 5.3-3
- 5.3-6 Hochwasserstudiengruppe Worms-Kaub, 1985
- 5.3-7 Foto Professor Mock, F. J., Technische Hochschule Darmstadt
- 5.3-8 Foto Kalweit, H., 1989
- 5.3-9 Gemeinde Ginsheim, Kreis Groß-Gerau, Archiv
- 5.3-10 WSD Duisburg, 1951, ergänzt
- 5.3-11 siehe Bild 5.3-7
- 5.3-12 Konstruktionsskizzen
- 5.3-13 siehe Bild 5.3-6
- 5.3-14 Foto Kalweit, H., 1988
- 5.3-15 Foto WSD Südwest, 1970
- 5.3-16 nach Worreschk, B., 1990
- 5.3-17 Heyl, K., 1929
- 5.3-18 Foto Kalweit, H., 1987
- 5.3-19 Foto
- 5.3-20 Foto Kalweit, H., 1988

- 5.3–21 Foto Kalweit, H., 1987
- 5.3–22 Rhein-Main-Donau AG, Prospekt 1987
- 5.4–1 Rahmel-Verlag, Pulheim
- 5.4–2 Landesmedienzentrum Rheinland-Pfalz, Koblenz, LU 71459
- 5.4–3 Foto Kalweit, H., 1984
- 5.4–4 Weber, H., 1987
- 5.4–5 Helfer, H., 1949
- 5.4–6 Böcking, W.; 1979
- 5.4–7 Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen, 12, 1983
- 5.4–8 Binnenschifffahrtsnachrichten, 41, 1986
- 5.4–9 nach Bundesverband Binnenschifffahrt 1985
- 5.4–10 nach Angaben WSD Südwest, 1985
- 5.4–11 Frisch/Hörmann, Kupferstich, Original im Besitz des Verlages A. Engelhard, Bingen
- 5.4–12 Felkel, K., 1965
- 5.4–13 Felkel, K., 1965
- 5.4–14 Landesmedienzentrum Rheinland-Pfalz, Koblenz
- 5.4–15 Jasmund, R., 1901
- 5.4–16 Rahmel-Verlag, Pulheim
- 5.4–17 Felkel, K., 1961
- 5.4–18 WSD Südwest et al., Prospekt Rheinausbau 1964/76
- 5.4–19 Felkel, K., 1963
- 5.4–20 BMV Bonn, Abt. W, R54b, August 1972
- 5.4–21 WSD Südwest et al., Prospekt Rheinausbau, 1972, Photo Jahn
- 5.4–22 WSD Südwest et al., Prospekt Rheinausbau, 1972
- 5.4–23 WSD Südwest, 1988
- 5.4–24 Foto WSD Südwest, 1956
- 5.4–25 siehe Bild 5.4–23
- 5.4–26 Binnenschifffahrtsnachrichten, 12, 1987
- 5.4–27 Werbeprospekt Mittelmosel
- 5.4–28 RWE, 1975
- 5.4–29 Moselneubauamt Trier, 1964
- 5.4–30 siehe Bild 5.4–28
- 5.4–31 Fotos Lamek, G., Urbar, zur Verfügung gestellt von WSA Koblenz-Mosel, siehe Manz, G., 1984
- 5.4–32 Foto Felkel, K., 1989
- 5.4–33 Foto Felkel, K., 1989
- 5.4–34 Foto Felkel, K., 1989
- 5.4–35 Foto Felkel, K., 1989
- 5.4–36 Foto Felkel, K., 1989
- 5.4–37 Großheimann, K.J., 1982
- 5.4–38 siehe Bild 5.4–37
- 5.5–1 Foto Theunihsen, 1926
- 5.5–2 Regierungspräsident Düsseldorf, 1980
- 5.5–3 nach Linksniederrheinische Entwässerungsgenossenschaft LINEG, Moers
- 5.5–4 siehe Bild 3.7
- 5.5–5 BMV, 1987
- 5.5–6 Foto Stadtverwaltung Bonn
- 5.5–7 Foto Stadtverwaltung Köln 1988
- 5.5–8 siehe Bild 5.5–1
- 5.5–9 Erftverband Bergheim, 1985
- 5.5–10 GEW Köln, 1972
- 5.5–11 Stadt Düsseldorf, Werbeprospekt 1987
- 5.5–12 nach Becker, 1980

- 5.5–13 StAWA Düsseldorf. Archiv
- 5.5–14 siehe Bild 5.5–13
- 5.5–15 siehe Bild 5.5–13
- 5.5–16 Ruhrverband/Ruhralsperrenverein, 1988
- 5.5–17 Wasserverband Westdeutsche Kanäle, 1986
- 5.5–18 Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen 1987
- 5.5–19 Foto Schmitz, W., 1988
- 5.5–20 Foto Schmitz, W., 1988
- 5.5–21 Foto Schmitz, W., 1988
- 5.5–22 Foto Schmitz, W., 1988
- 5.6–1 Entwurf Ploeger, B., 1989
- 5.6–2 Ministerium für Verkehr und Öffentliche Arbeiten, Den Haag 1989b
- 5.6–3 nach Van der Toorn, J., 1880/1890
- 5.6–4 siehe Bild 5.6–3
- 5.6–5 nach Van Til, K., De Rijntakken van de bovenrivieren sedert 1600, Interner Bericht der Direktion Bovenrivieren, Rijkswaterstaat, 1979
- 5.6–6 Foto Ploeger, B., 1989
- 5.6–7 siehe Bild 5.6–3
- 5.6–8 siehe Bild 5.6–3
- 5.6–9 siehe Bild 5.6–3
- 5.6–10 Heym, G.: Handbuch der Wasserbaukunst, 1863
- 5.6–11 Aerocamera-Michel Hofmeester Rotterdam
- 5.6–12 Entwurf Ploeger, B., 1989
- 5.6–13 Foto Ploeger, B., 1988
- 5.6–14 Rijkswaterstaat 's-Gravenhage
- 5.6–15 Oben: Foto Ploeger, B., 1988, unten: Wentink, H.C.: Kanalisatie van Nederrijn en Lek II, een voorontwerp voor het stuwcomplex te Hagestein. De Ingenieur 68, 1956, S. 163–170
- 5.6–16 Entwurf Ploeger, B., 1988
- 5.6–17 siehe Bild 5.6–2
- 5.6–18 Ferguson, H.A.
- 5.6–19 Informationsschrift über den Haringvlietdamm
- 5.6–20 Rijkswaterstaat 1985
- 5.6–21 siehe Bild 5.6–2
- 5.6–22 Aeroview-Dick Sellenraad Rotterdam
- 5.6–23 Ministerium für Verkehr und Öffentliche Arbeiten, Den Haag 1989a
- 5.6–24 Foto Kalweit, H., 1990
- 5.6–25 Duinwaterleiding Kennemerland
- 5.6–26 siehe Bild 5.6–23
- 6.1 Kalweit, H., 1984
- 6.2 Erftverband, 1975



## KHR-VERÖFFENTLICHUNGEN

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

### Berichte der KHR

- 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 Grenzbereich/  
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 90-70980-01-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

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

### **Berichte unter der Schirmherrschaft der KHR**

- 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



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

Quelques informations sur la:

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

**Institution**

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

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

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

**Tâches**

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

**Pays participants**

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

**Langues de travail**

allemand et français

**Organisation**

Ständige Vertreter (Sitzungen 2mal pro Jahr) unterstützt von einem ständigen Sekretariat.

Die Bearbeitung von Projekten wird von Rapporteurs und internationalen Arbeitsgruppen durchgeführt.

**Auswahl der laufenden Arbeiten***»Änderungen im Abflußregime«*

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

*»Fließzeiten«*

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

*»Sediment«*

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

*»Fortschreibung der Monographie«*

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

**Fertiggestellte Arbeiten**

siehe Publikationsliste, Seite 254.

**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.

**Principaux thèmes en cours***«Changements dans le régime des débits»*

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

*«Temps d'écoulement»*

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

*«Sédiments»*

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

*«Actualisation de la Monographie»*

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

**Travaux effectués**

voir la liste de publications, page 254.

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 within 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

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

### Organization

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

### Selection of current subjects

#### *'Changes in the discharge regime'*

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

#### *'Travel times'*

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

#### *'Sediment'*

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

#### *'Continuation of the Monograph'*

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

### Completed projects

see list of publications, p. 254.

### Organisatie

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

### Belangrijkste lopende onderzoeken

#### *„Veranderingen in het afvoerregime”*

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

#### *„Stroomtijden”*

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

#### *„Sediment”*

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

#### *„Voortzetting Monografie”*

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

### Afgesloten onderwerpen

zie lijst van publikaties, blz. 254.

**KOLOPHON**

Bilder Umschlag: Der Oberrhein bei Breisach/Kaiserstuhl (1828, 1872, 1963), Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland, DFG, 1979  
Bauarbeiten im Wilden Gefähr oberhalb Kaub, WSD Südwest et al., Prospekt Rheinausbau, 1972

Übersetzungen: E.S. Dykmann, KHR-Sekretariat  
Y.E.M. van der Kolk, Voorburg  
F. de Montmollin, Landeshydrologie und -geologie, Bern  
Vertaalbureau de Goeij, Oud-Beijerland  
A.M. Wagenaar-Hart, KHR-Sekretariat

Drucker: Veenman Drukkers, Wageningen

Papier: Chlorfrei MC

ISBN: 90-70980-17-7