

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Hager, Martin

Vom freifließenden zum staugeregelten Fluss

Deutsche Beiträge. Internationaler Schifffahrtkongress (PIANC)

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
PIANC Deutschland

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104815>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hager, Martin (1985): Vom freifließenden zum staugeregelten Fluss. In: PIANC Deutschland (Hg.): Deutsche Beiträge. 26. Internationaler Schifffahrtkongreß; Brüssel, Belgien, 16. - 28. Juni 1985. Bonn: PIANC Deutschland. S. 207-226.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



„Vom freifließenden zum staugeregelten Fluß“

Prof. Dr.-Ing. Martin Hager, Ministerialrat
Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Allgemeines

Die Entwicklung des Ausbaues natürlicher Wasserstraßen läßt sich an vielen Beispielen aus aller Welt anhand von historisch oft interessanten Darstellungen nachvollziehen. Diese hier präsentieren zu wollen, würde den Rahmen des Buches sprengen; auch soll die Entwicklung der letzten 100 Jahre seit Gründung des Internationalen Ständigen Verbandes für Schiffahrtskongresse im Vordergrund stehen. Dies wird auch der Entwicklung der natürlichen Wasserstraßen bis zur Gegenwart am besten gerecht, weil die wesentlichen, durch die wirtschaftliche und technische Entwicklung bedingten Ausbauten in diese Zeit fallen.

Der ISVSK hat sich in großer Vielfalt der Fragestellungen angenommen, die sich auf die schiffbaren Flüsse beziehen und die aufzeigen, in welchem Maße technische, wirtschaftliche, verkehrswirtschaftliche, energiewirtschaftliche und wasserwirtschaftliche Aspekte verantwortlich dafür waren, ob ein Strom in nutzbringender Weise durch geeignete Regelungsmaßnahmen als freifließender Fluß belassen werden oder durch Kanalisierung besser genutzt werden konnte.

Trotz der allgemein gültigen Fließbedingungen nach der Gerinnehydraulik und der damit zusammenhängenden morphologischen Gesetzmäßigkeiten hat sich immer wieder gezeigt, daß in den Ausbaumaßnahmen kaum ein Strom dem anderen gleicht. Dies ist durch die vielfältigen unterschiedlichen Randbedingungen begründet, welche jedem Stromgebiet das eigene Gepräge verleihen; oftmals waren es aber auch die politischen Gegebenheiten, Ländergrenzen und -interessen, die die Entwicklung des Ausbaues in bestimmter Richtung gelenkt, gefördert, verändert, leider aber auch häufig allzulange verhindert haben.

Die Entwicklungen spiegeln sich für den 100jährigen Zeitraum im besonderen Maße in den Kongreßberichten und besonders den hieraus gezogenen Schlußfolgerungen wider. Dabei muß man feststellen, daß fast alle Berichte, die die Sektion I betreffen, in irgendeinem Zusammenhang mit der Entwicklung der natürlichen Wasserstraßen stehen. In Tabelle 1 sind alle diejenigen Themen zusammengestellt, die sich speziell mit Fragen der Flußregelung und der Kanalisierung natürlicher Gewässer befassen.

Schon der 2. Kongreß 1886 nennt die Dimensionierungsgrundsätze kanalisierter Flüsse, was die schon damals bestehende Bedeutung solcher Maßnahmen ins Blickfeld rückt. In den dar-

Tabelle 1

PIANC-Kongreß-Berichte: Flußregelung und Stauregelung

Nr.	Frage Mittellung Thema	II	III	V	VI	VIII	XII	XIII	XIV	XV		
		1886	1888	1892	1894	1900	1912	1923	1926	1931		
		2	2	5	10	6	7	1	1	2	3	3
	Flußregelung											
	Querschnitt		x	x	x	x				x		
	Trassierung		x	x	x	x				x		
	Maßnahmen											
	Begradigung											
	Reg. Bauwerke						x					
	Böschungs- u.											
	Sohlisicherung		x									x
	Baggern				x							
	Geschiebezufuhr											
	Mittelwasserreg.				x							
	Niedrigwasserreg.					x						
	Deiche											
	Stauregelung											
	Querschnitt	x	x	x								
	Bauwerke		x						x			
	Schleusen								x			
	Wehre									x		
	Kraftnutzung											
	Untersuchungen											
	Hydrologie					x				x		
	Morphologie											
	Grundwasser			x								
	Geologie											
	Feststoffe				x							
	Schiffahrt											
	Eis/Nachtfahrt											
	Energie											
	Wasserwirtschaft			x								
	Hochwasser/NW											
	Umwelt											
	Wirtschaftlichkeit		x									
	Hydraulik					x						
	Modelltechnik											

PIANC-Kongreß-Berichte: Flußregelung und Stauregelung

Nr.	Frage Mittelung Thema	XVI 1955		XVIII 1953	XIX 1957	XXI 1965	XXII 1969	XXIII 1973	XXIV 1977	XXV 1981
		2	3							
	Flußregelung			3						
	Querschnitt		x							
	Trassierung									
	Maßnahmen									
	Begradigung									
	Reg. Bauwerke		x							x
	Böschungs- u.									
	Sohlsicherung		x							
	Baggern				x					x
	Geschlebezufuhr						x			x
	Mittelwasserreg.		x							
	Niedrigwasserreg.		x		x					
	Deiche		x							
	Stauregelung									
	Querschnitt						x		x	
	Bauwerke						x			
	Schleusen								x	
	Wehre				x					x
	Kraftnutzung						x			
	Untersuchungen									
	Hydrologie	x								
	Morphologie			x						
	Grundwasser									
	Geologie									
	Feststoffe									
	Schifffahrt							x		x
	Eis/Nachtfahrt									
	Energie									
	Wasserwirtschaft		x							
	Hochwasser/NW									
	Umwelt									
	Wirtschaftlichkeit				x					
	Hydraulik	x	x							
	Modelltechnik		x							x

auffolgenden Kongressen bis zum Jahre 1894 sind grundlegende Fragen des Flußausbaues und besonders die allgemeingültigen Grundsätze für die geeignete Querschnittsgestaltung in Abhängigkeit von der Grundform des Gewässers von Fargue und Girardon am Beispiel der Rhôneregulierung behandelt worden, die richtungsweisend für künftige Niedrigwasserregulierungen im Interesse einer weitestgehenden Ausnutzung der Wasserstraßen wurden. Weitere Schwerpunkte haben die Kongresse 1912 in Philadelphia und 1931 in Venedig gesetzt, in deren Schlußfolgerungen die früheren Grundsätze anhand zahlreicher Beispiele ihre Bestätigung gefunden haben. Dabei haben auch Fragen der Feststoffbewegung mit Erosion und Sedimentation entscheidendes Gewicht erhalten. Immer mehr stellte sich die Frage nach der Rentabilität wasserbaulicher Maßnahmen. Seit 1953 stehen die uns auch heute berührenden Fragen im Vordergrund, Geschiebeprobleme, Baggerprobleme, die Vielzwecknutzung der Staustufen und schließlich treten seit 1977 Fragen des Umweltschutzes drängend in den Vordergrund, obgleich man beim Studium aller Berichte immer wieder erkennen kann, daß derartige Gesichtspunkte von engagierten und verantwortungsbewußten Wasserbauern stets berücksichtigt wurden.

Die Themenvielfalt und unterschiedlichen Randbedingungen mit den danach getroffenen Ausbauentscheidungen lassen es ratsam erscheinen, die Entwicklung an einigen Beispielen exemplarisch darzustellen.

Historischer Rückblick

Seit altersher hat der Mensch sein besonderes Augenmerk auf die Möglichkeiten der Nutzung der oberirdischen Gewässer gerichtet. Als Verkehrswege dienten die Flüsse schon in frühester Zeit und bestimmten das Schicksal der an ihren Ufern lebenden Menschen. Zahlreiche Kulturen und Zivilisationen haben sich längs der Flußläufe entwickelt, wie z.B. am Nil, am Tiber, am Eufrath, an den großen Flüssen Chinas. Sie schufen als verbindendes Element die Voraussetzungen für die Entwicklung von Handel und Wirtschaft. So fanden z.B. auch die Römer bereits die Schifffahrt der Treverer auf der Mosel vor, als sie über die Alpen vorgestoßen waren und sich ihre Nachschublager bei Mussum, Toul und Metz und später unter Augustus ihre nördlichste Hauptstadt in Trier schufen (Abb. 1a und 1b). Auch auf dem Rhein bedienten sie sich der keltischen Schiffbauweise, wie in dem sogenannten „Oberländer Handelsschiff“ überliefert ist. Man kann feststellen, daß damals wie auch viele Zeit später die Schifffahrt sich mit der Form ihrer Schiffe den naturgegebenen Verhältnissen der Flüsse anpaßte und kaum den Versuch unternahm, regelnd auf die Flüsse einzuwirken, weil hierfür offenbar die technischen Voraussetzungen und Grundlagen fehlten. Überraschenderweise berichten bereits antike Schriftsteller wie Strabon und Lucius Vetus vom Gedanken der Verbindung der Stromsysteme der Rhône, Saone und Seine oder der Rhône, der Mosel und dem Rhein, um so das Mittelmeer an Atlantik oder Nordsee anzuschließen. Auch Carl der Große hat später mit dem allerdings gescheiterten Bau der sog. fossa carolina den Versuch einer Verbindung zwischen Rhein und Donau unternommen. Wie schon die Römer, so hat man noch im Mittelalter sich überwiegend auf den Bau oder die Verbesserung von Leinpfaden für den Treidelverkehr beschränkt und allenfalls versucht, in ufernahen Zonen die Fahrinnen günstiger zu gestalten. Dagegen entstanden, zunächst allerdings überwiegend beschränkt auf Flachlandregionen, zahlreiche Kanäle in Holland und Belgien und nach der Wiederentdeckung des Systems der Kammerschleuse, die schon in der Antike bekannt, dann aber in Vergessenheit geraten war, der Stecknitzkanal als erste Strom- und Seeverbindung in Deutschland. Das Zeitalter des Merkantilismus, welches den Verkehr als Rückgrat der wirtschaftlichen Entwicklung erkannte, hat auch die Entwicklung der Wasserstraßen in starkem Maße gefördert. So begann die Überwindung der in den Flußsystemen vorhandenen natürlichen oder künstlichen Hinder-



Abb. 1 a): Römisches Weinschiff aus Neumagen/Mosel, etwa 200 n. Chr.

nisse allmählich Platz zu greifen. Die Schaffung enger Durchfahrten an den Wehren von Mühlenstauen nach dem System des Schleusungswasserschwalles wurde an der Seine erfolgreich praktiziert, wobei gleichzeitig eine Strömungsvergrößerung und Wasserstandsaufhöhung unterhalb des Wehres in einer für die Talfahrt der Schiffe und die Holzflößung günstige Weise erreicht wurde. Frühzeitig schuf man in Frankreich das System der Seitenkanäle, welches künstliche und natürliche Hindernisse im Flußlauf zu umgehen erlaubte. Auch in Deutschland waren hie und da Anstrengungen unternommen worden, die Fahrwasser zu wichtigen Handels- und Wirtschaftspunkten zu verbessern. So hat z.B. auf dem Neckar der Transport der Kaufmannsgüter eine solche Bedeutung erlangt, daß die dortige „Bruderschaft vereinigter Neckarschiffer“ über viele Jahrhunderte hinweg aus eigener Initiative Flußbräunungen vornahm. Später versuchte man, als der obere Neckar durch Mühlenstau unpässierbar geworden war, Schiffsgassen ähnlich dem System der Seine anzuordnen. Eine ähnliche

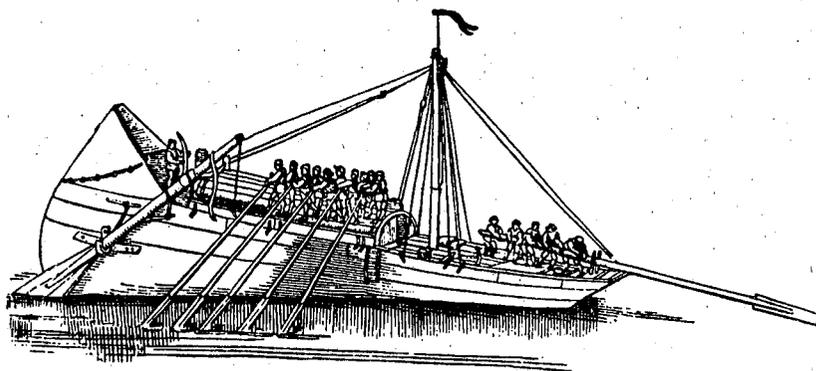


Abb. 1 b): Oberländisches Handelsschiff auf dem Rhein im Jahre 1531

Situation war am Main anzutreffen, der seine Ausbauimpulse der späteren Verbindung mit der Donau durch den Ludwig-Donau-Main-Kanal in der Mitte des 19. Jahrhunderts verdankt.

Die Technik der Flußregelung im Interesse der Schifffahrt ist zu Beginn des 19. Jahrhunderts durch zwei Umstände entscheidend beflügelt worden: Zum einen war es die Erfindung der Dampfmaschine, die die Möglichkeit schuf, nunmehr auch größere Schiffsloadungen entgegen der Strömung zu Berg zu transportieren, wofür die verfügbaren Fahrwasserverhältnisse nicht ausreichten; zum anderen war es die rasche Entwicklung der Eisenbahnverbindungen, die zum scharfen Konkurrenten der Binnenschifffahrt wurden. Beide Entwicklungen gaben den Anstoß, der Flußregelung nunmehr verstärkte Aufmerksamkeit zu widmen.

Flußregelung zum Schutz gegen Hochwasser

Die ersten Aktivitäten des 19. Jahrhunderts beim Ausbau der Flüsse und der Entwicklung geeigneter Regelungselemente waren allenthalben von der Sorge um die Abwendung der Hochwassergefahren bestimmt, die vor allem in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu großen Verheerungen geführt hatten. Unter diesem Aspekt sind insbesondere die Korrektionsmaßnahmen am Oberrhein zu sehen, die von dem führenden Wasserbauingenieur Gottfried Tulla aus dem damaligen Großherzogtum Baden geplant und eingeleitet wurden, der umfangreiche Erfahrungen zuvor in preußischen Diensten am Niederrhein gesammelt hatte. Hier hatten nämlich die verheerenden Überschwemmungen in den Jahren 1740, 1751 und 1753 den Anlaß zur planmäßigen Bändigung des Flusses gegeben, so daß noch unter Friedrich II mit der planmäßigen Befestigung der Ufer und der Anlage von Längsdeichen an einem einheitlichen Flußbett begonnen worden war. Wie alle Flußregelungsmaßnahmen sind bereits die ersten Tulla'schen Korrektionsmaßnahmen ausschließlich durch die örtlichen Gegebenheiten bestimmt und begründet. So fand Tulla damals den Rhein als regellosen Wildstrom mit vielen Armen und Verzweigungen in einem häufig wechselnden, bis zu 6 km breiten Bett vor, welches sich in erdgeschichtlichen Zeiträumen in der Talaue eingegraben hatte, die aus Ablagerungen mit Moränenschutt seit dem prähistorischen Grabenbruch entstanden war (Abb. 2).

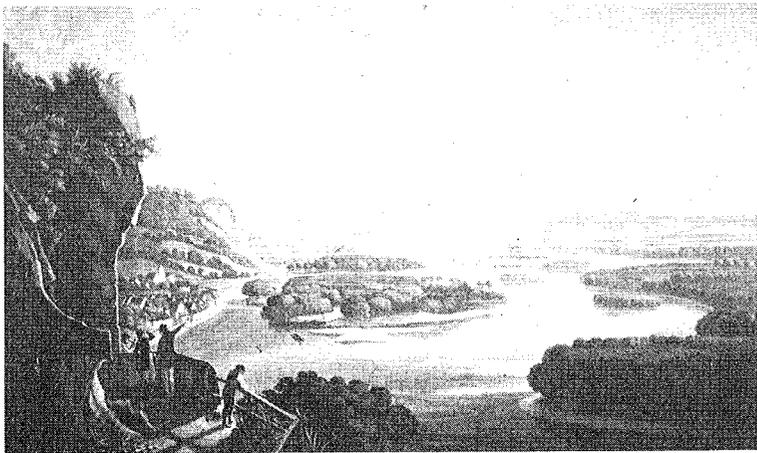


Abb. 2: Rheinlandschaft bei Istein zu Anfang des 19. Jahrhunderts
(Gemälde von P. Birmann)

Die Suche nach Möglichkeiten, in der von Malaria und anderen Sumpfrkrankheiten heimgesuchten Region immer wieder eintretenden, katastrophalen Überschwemmungen zu vermeiden oder einzudämmen, führten zu dem von Tulla entwickelten Korrektionskonzept, durch das ein zwischen Seitendämmen eingefäßtes einheitliches Flußbett entstand. Er nutzte dabei die hydraulisch morphologische Gesetzmäßigkeit mit der Abhängigkeit der Schleppspannung

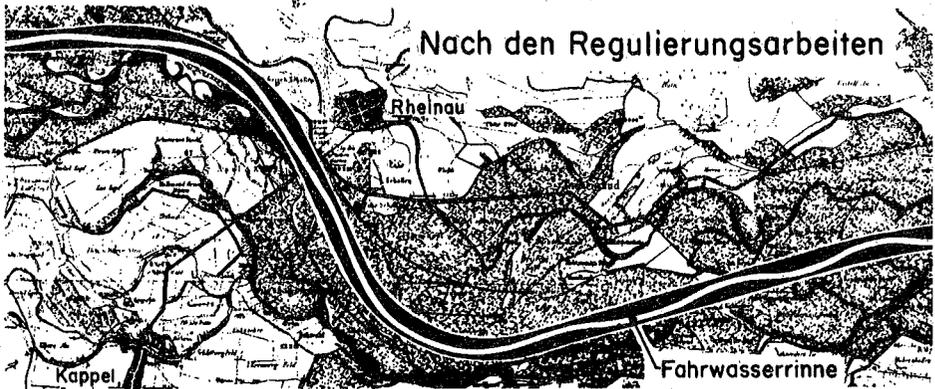
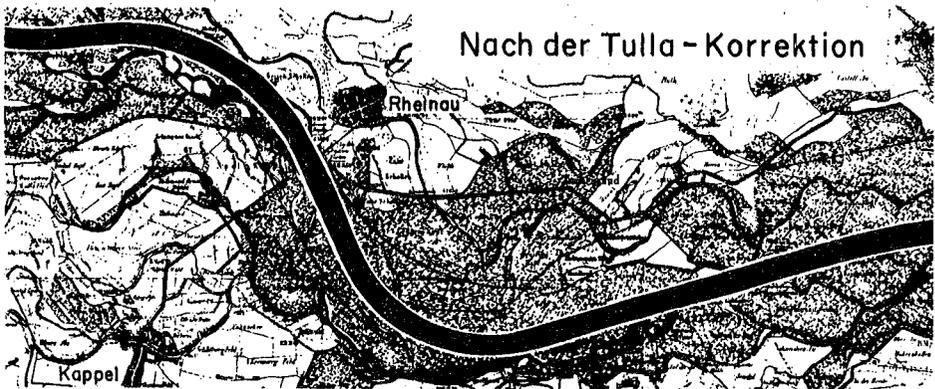
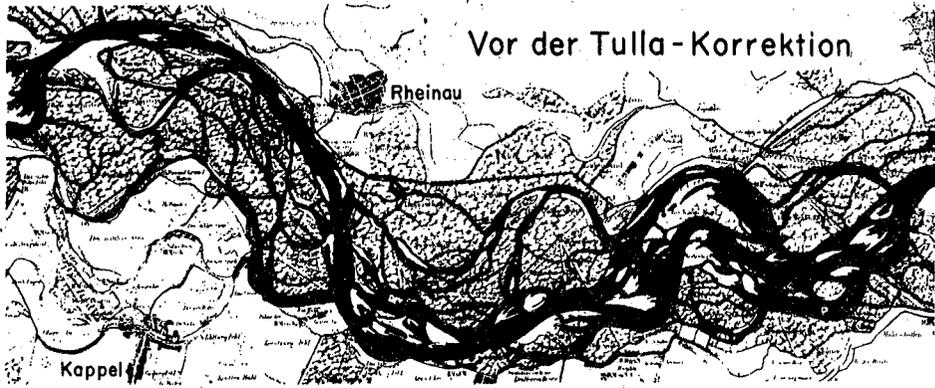


Abb. 3: Der Rhein bei Rheinau-Kappel, Ausbaustufen seit Beginn des vorigen Jahrhunderts

von Wassertiefe und Längsgefälle in der Weise aus, daß mit Hilfe der Korrektionsbauten durch Querschnittseinschränkungen und Laufverkürzungen die notwendige Räumkraft erzeugt wurde, durch die das gewünschte Gewässerbett von selbst entstand (Abb. 3). Gegenüber den von Menschenhand in die seitlichen Korrektionsdämme eingebauten Erdmassen wurden so vom Strom selbst mehr als die vierfache Bodenmenge ausgeräumt. Mit der Schaffung eines durchgehenden 200 m breiten Strombettes waren die Tulla'schen Maßnahmen ein voller Erfolg. Allerdings führte die Energiekonzentration zu einer vom Oberstrom her verstärkten Sohleneintiefung des Korrektionsbettes und zum Abtransport größerer Geschiebes, so daß sich gleichzeitig der Flußwasserspiegel bis zur Mitte dieses Jahrhunderts erheblich absenkte. Bei Rheinweiler unterhalb von Basel wurde eine Absenkung von rd. 7 m gemessen, bei Breisach betrug sie etwa 2 m und bei Straßburg bis Plittersdorf etwa 1 m. Dies war bei der Korrektion sicher nicht gewollt und nicht erwartet worden, weil man damals offenbar von der Annahme ausging, daß der Fluß frühzeitig sein Gleichgewicht wiederfinden und nicht ohne Geschiebenachschub vom Oberlauf her bleiben würde. Nicht ohne Grund ist noch im 15. Schiffahrtskongress in Venedig im Jahre 1931 in den Schlußfolgerungen erneut auf die Sensibilität solcher Maßnahmen und die notwendige Sorgfalt hingewiesen worden, die bei der Projektierung von Durchstichen angewendet werden muß. Denn auch bei Regelungsarbeiten im Interesse der Schifffahrt sind Begradigungen des Wasserweges nötig, die zu schädlichen Laufverkürzungen führen können, so daß deren Auswirkungen und Abhilfemaßnahmen jeweils sorgfältig geprüft werden müssen.

Ähnliche Prinzipien wie beim Oberrhein wurden für den Hochwasserschutz an der Donau angewendet, hier allerdings blieben damals die Gefällesteigerungen durch Laufverkürzung ohne wesentliche Auswirkungen, weil die großen Alpenzuflüsse hier für ausreichende Geschiebenachfuhr und damit für ein Flußgleichgewicht auch unter den neuen Bedingungen sorgten.

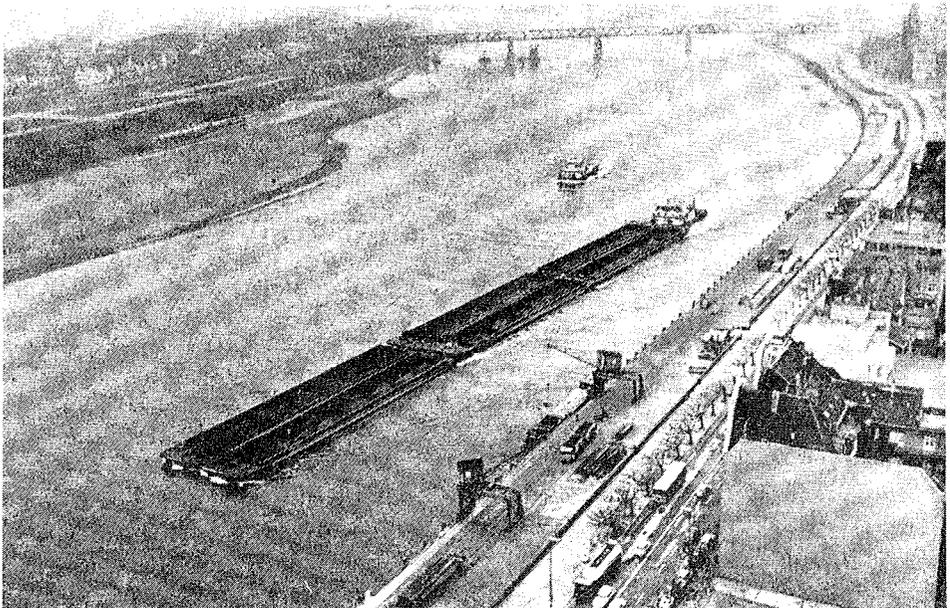


Abb. 4: Sechs-Leichter-Schubverband auf dem Niederrhein

Flußregelung zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse.

Wenn man die Frage nach der Wirksamkeit von Regulationsmaßnahmen im natürlich abfließenden Fluß zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse behandelt, sollte stets bedacht werden, daß wirksame Verbesserungen nur dann möglich sind, wenn unter den natürlichen hydrologischen und hydraulischen Gegebenheiten die für die Schifffahrt gewünschten Fahrwasserhältnisse vorhanden sind oder hergestellt werden können. Dies ist, wie zahlreiche Kongreßberichte und -aussagen bestätigen, nur immer dann gegeben, wenn ein verhältnismäßig geringes Fließgefälle mit einem verhältnismäßig großen Niedrigwasserabfluß zusammentrifft. Anderenfalls bleiben die Möglichkeiten für die Schifffahrt durch Regulationsmaßnahmen am natürlichen Fluß — gleichgültig welcher Art diese Maßnahmen sind — immer begrenzt. Das Fließgesetz nach De Chezy oder Manning-Strickler liefert in Verbindung mit der Kontinuitätsbedingung die einfach überschaubare Abhängigkeit des möglichen Querschnitts von den hydraulischen Größen (Abfluß, Rauigkeitsbeiwert, hydraulischer Radius, Fließgefälle). Mit dem Größerwerden der Schiffseinheiten im Laufe dieses Jahrhunderts und besonders mit Einführung der Schubschifffahrt mit immer größeren Schubverbänden, für die wieder die Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Schiffsverkehrs entscheidend und die schiffbautechnische und maschinentechnische Entwicklung zwingende Voraussetzung gewesen ist, werden die Grenzen der Wirksamkeit von Flußregelungsmaßnahmen immer rascher erreicht (Abb. 4). So ist verständlich, daß zahlreiche Flüsse, die ursprünglich mit flußbaulichen Hilfsmitteln für die seinerzeitigen Anforderungen mit gutem Erfolg geregelt wurden, inzwischen durch ein Stauregelungssystem den heutigen Anforderungen angepaßt wurden, wenn nicht gar andere Nutzungen wie der der Wasserkraftnutzung hierfür entscheidend waren.

Ein eindrucksvolles Beispiel hierfür ist die Rhône. Die überragende Bedeutung, die in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Rhône für den gewerblichen Schiffsverkehr gewonnen hatte, spiegelt sich in der Entwicklung der Rhôneflotte wider (Abb. 5). Zur Erhaltung des Frachtanteils in Konkurrenz zur Eisenbahn ergab sich zwangsläufig die Notwendigkeit zu einer intensiven Flußregelung, wobei Fragen des Hochwasserschutzes selbstverständlich mit einbezogen waren. Die ersten Ausbaumaßnahmen bestanden in der Konzentration des Mittelwasser- und des Niedrigwasserbettes in möglichst nur einem Flußarm und in der Schaffung eines den natürlichen Verhältnissen möglichst entsprechenden Flußverlaufs. Das Hauptaugenmerk seit 1880 war auf den Ausgleich des bis dahin ungleichmäßigen Fließgefälles besonders in den Kurven und den Talwegübergängen ausgerichtet. Die zweckmäßige Anordnung

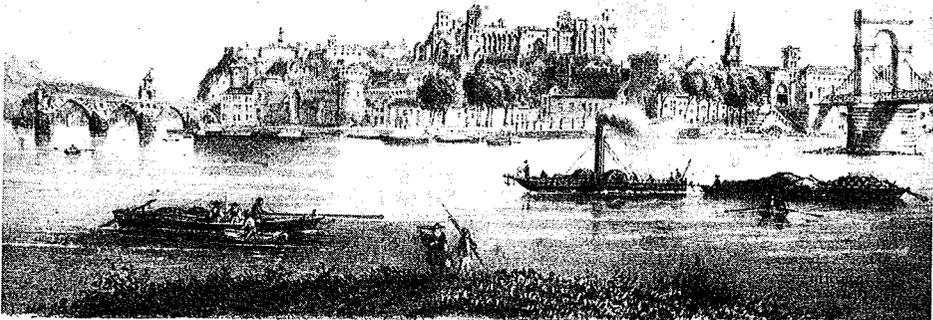


Abb. 5: Die Rhône bei Avignon um 1850

von Leitwerken, Buhnen, Tauchbuhnen und Grundschwellen führte, wie Girardon beim 6. Schifffahrtskongreß in Den Haag 1894 darlegte, zu einem ausgeglichenen Gewässerbett. Besonderes Augenmerk wurde auch auf die Form der Absperrbauwerke der Nebenarme gerichtet, um den gewünschten Effekt zu erzielen. Einige besondere Trassierungselemente seien erwähnt: Die Kurvenradien wurden auf 500 bis 1000 m beschränkt, Zwischengeraden sollten möglichst ganz vermieden oder höchstens 300 bis 400 m lang sein. Das Niedrigwasserbett wurde stets kontinuierlich gekrümmt ausgeführt, seine Breite ist je nach den Fließverhältnissen zwischen 130 m im Oberlauf und 250 m im Unterlauf festgelegt worden (Abb. 6).

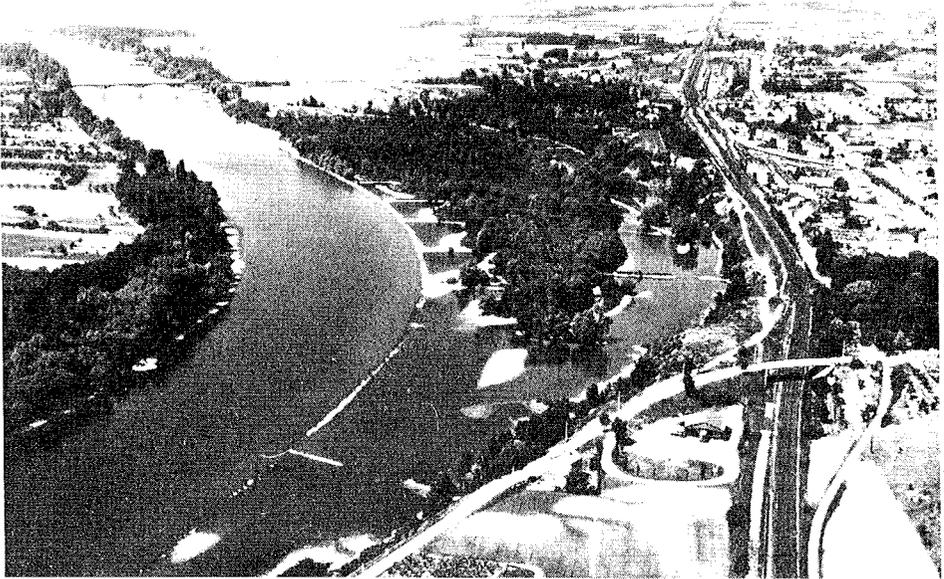


Abb. 6: Die Rhôneregulierung nach der Methode Girardon

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Querschnittsgestaltung gewidmet sowie der Anordnung der Buhnen, deren Achsen sich möglichst in der Talwegachse schneiden sollten. Die Ergebnisse der Regelungsmaßnahmen nach Girardon können als voller Erfolg bezeichnet werden, weil nicht nur die Fixierung des benetzten Querschnitts auf die gewünschten Werte, sondern auch die Vergleichmäßigung des früher stark schwankenden Fließgefälles erreicht wurde. Dennoch stellt die Flußregelung der Rhône einen Grenzfall dar, weil das mittlere Gefälle von 0,6‰ als ungünstig hoch für Flußregelungsmaßnahmen anzusehen ist, während das Verhältnis von Niedrigwasser- zum Mittelwasserabfluß mit 1 zu 2,5 verhältnismäßig günstig ist. Obgleich mit der Flußregelung die notwendigen Schifffahrtsverhältnisse für 500-t-Schiffe geschaffen waren, blieben sie dennoch durch die starke Strömung letztlich unbefriedigend. Die daraus folgende weitere Stauregelung ist im Teil 2 behandelt.

Wie bei der Rhône sind auch bei anderen Flüssen, wie z.B. am Oberrhein, am Neckar, an Main oder Mosel die Elemente der Flußregelung durch die nachfolgende Stauregelung verschwunden. Ebenso werden sie bei dem z.Z. in Ausführung befindlichen Saarausbau überdeckt werden (Abb. 7). Im Folgenden sollen deshalb Beispiele behandelt werden, bei denen die Flußregelungsmaßnahmen vorhanden sind oder sich im Ausbau befinden.

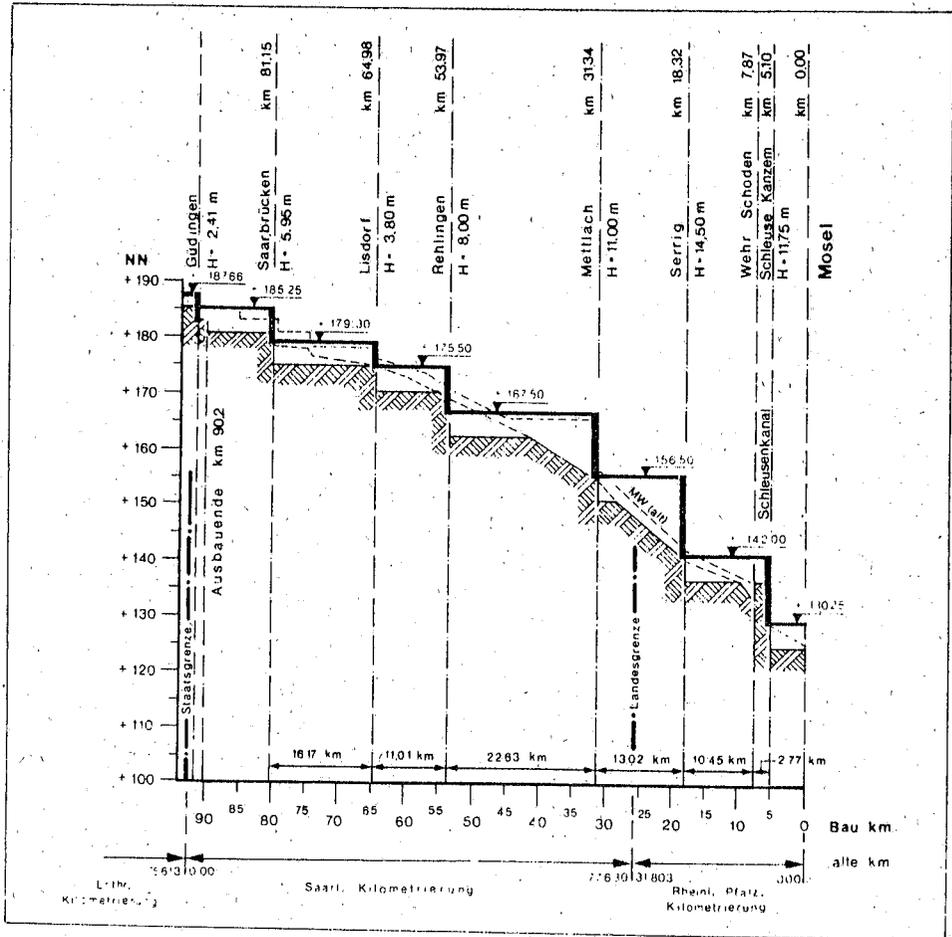


Abb. 7: Stauregelung der Saar

Als Beispiel besonderer Art kann der Rheinstrom gelten, nicht allein weil er Lebens- und Verkehrsader für Europa ist, sondern weil an ihm erläutert werden kann, daß außer den Einflüssen, die sich aus der Interesselage der angrenzenden Länder, den politischen Gegebenheiten und den vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten ergeben, die geographischen, geologischen, hydrologischen und morphologischen sowie die städtebaulichen Gegebenheiten die Möglichkeiten und Grenzen der Flußregelung bestimmen. Seit den Vereinbarungen über die Freizügigkeit der Schifffahrt auf dem Rhein zu Anfang des vorigen Jahrhunderts steht bei diesem Strom die größtmögliche Ausnutzung für die Schifffahrt im Vordergrund. Der Fluß ist zwischen Basel und der Mündung in die Nordsee auf eine Länge von 875 km schiffbar und durchfließt auf diesem Weg die Oberrheinische Tiefebene und nimmt oberhalb der Felsenschwelle bei Bingen bereits einmal den Charakter eines Flachlandflusses an, den er nach Durchschreiten der steileren Gebirgsstrecke zwischen Bingen und St. Goar erst am Niederrhein zum zweiten Mal erreicht (Abb. 8a und 8b). Entsprechend der geologischen Struktur hat der Fluß in der Oberrheinebene den Charakter eines geschiebeführenden Flusses mit aluvialen Sedimentbett, während in der Gebirgsstrecke überwiegend eine feste Sohle vorherrscht, die erst im

-Ausbauzustand im Herbst 1981-

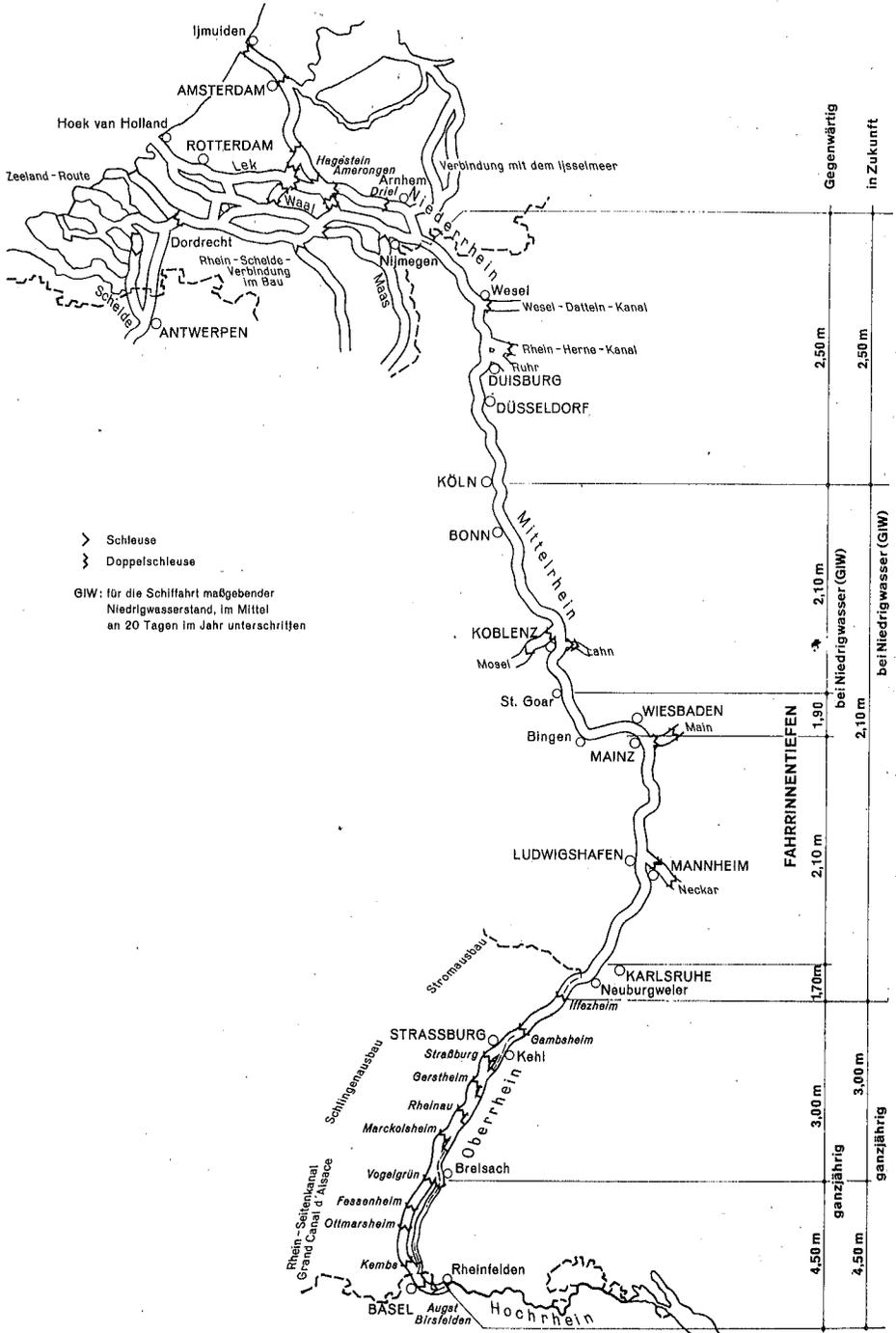


Abb. 8 a): Der Rhein von Rheinfelden bis zur Nordsee

LÄNGENPROFIL DES RHEINSTROMES

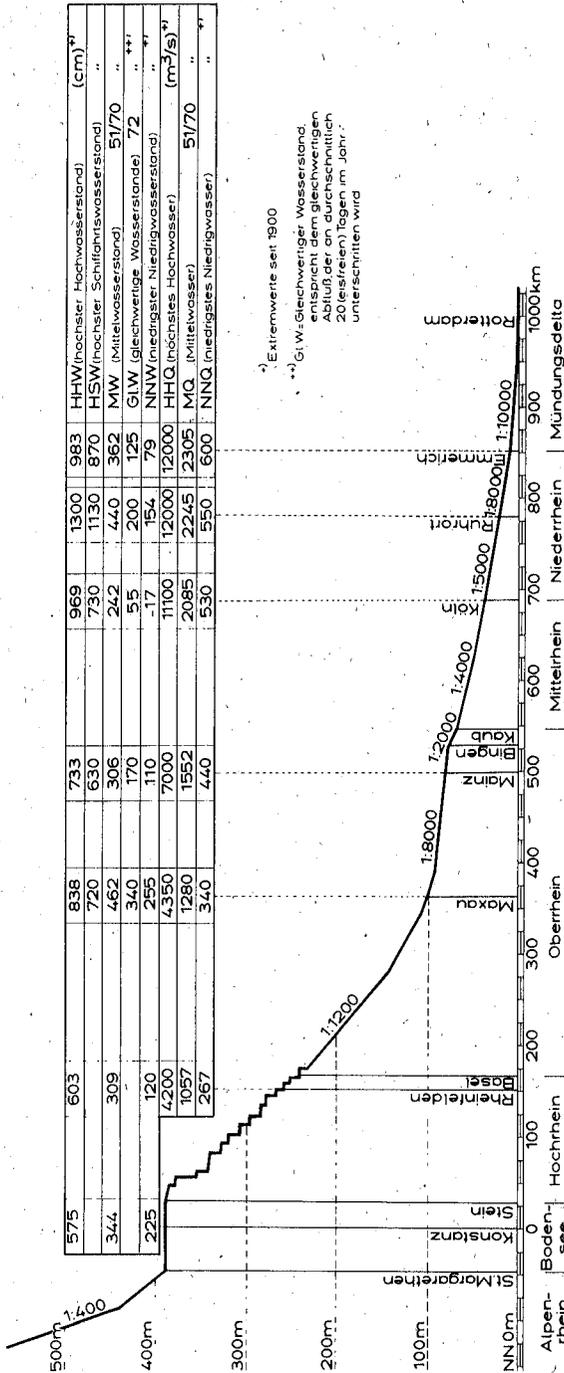


Abb. 8 b): Längenprofil des Rheins

Bereich der Moselmündung wieder in eine bewegliche Sohle übergeht. Bei diesen Gelegenheiten ist der maßgebende Engpaß für die Schifffahrt in der steilen Gebirgsstrecke zu finden, die gleichzeitig den Fahrrinnenquerschnitt bestimmt. Deshalb geht von hier auch die Querschnittsbemessung für die überwiegend vom Durchgangsverkehr befahrene Wasserstraße aus. Der Oberrhein war zunächst in den Jahren 1817 bis 1876 nach dem Tulla'schen Prinzip ausgebaut worden, und zwar mit der Errichtung von Parallelbauten in Form von Leitwerken, die in gewissen Abständen Öffnungen behielten, um das sich neubildende Strombett vom Geschiebe zu entlasten. In dem zwischen 220 und 300 m breiten Strombett bildete sich ein in langgestreckten Windungen von der einen zur anderen Uferseite verlaufender Talweg aus, der von wandernden Kiesbänken besäumt war und so die Schifffahrt weiterhin erheblich behinderte. Im Zuge der späteren Niedrigwasserregelung (ab 1907) wurden die im Korrektionsbett liegenden Kiesbänke durch Bühnen und Grundschwellen fixiert, so daß eine 75 bis 92 m breite Niedrigwasserfahrrinne im Verlauf des Talweges entstand. 1908 wurde erstmalig von der „Zentralkommission für die Rheinschifffahrt“ eine Festlegung auf den sogenannten „Gleichwertigen Wasserstand (GIW)“ vorgenommen, dem heute eine Wassertiefe von 1,70 m, bezogen auf die 20tägige Unterschreitungsdauer bei gleichwertiger Abflußmenge, entspricht. In der anschließenden Flachstrecke des Rheingaus erforderte die Regelung besondere Bühnen- und Leitwerksbauten, um innerhalb der 500 bis 900 m breiten Rinne die notwendige Fahrwassertiefe bei Niedrigwasser zu erreichen.



Abb. 9: Ausbau am „Wilden Gefähr“ und „Kauber Werth“ im Sommer 1976

Interessante Aspekte der Flußregelung ergeben sich besonders im Bereich der Felsenbarrieren des Mittelrheins (Abb. 9). Am Binger Riff erwies sich als notwendig, dessen Schwellenwirkung mit starkem Spiegelabsenk und erheblicher Geschwindigkeitserhöhung über dem Gefällknickpunkt zu beseitigen (Bild 9). Bemerkenswert ist die Feststellung, daß erst die Erfindung des Schießpulvers die Voraussetzung dafür gewesen ist, daß im 17. Jahrhundert eine erste 4,5 m breite Schifffahrtsrinne aus dem Binger Riff ausgesprengt werden konnte. Mit dem Fortschritt der Technik wurde im 19. Jahrhundert die Öffnung auf 23 und später auf 30 m verbreitert. Parallel dazu wurde eine zweite Fahrrinne hergestellt und ein Längswerk im Strom zur Verbesserung der Störmungsverhältnisse angeordnet. Erst die meß- und modelltechnische Beherrschung der schwierigen Abflußverhältnisse erlaubten zwischen 1966 und 1974 die Schaffung einer einheitlichen, 120 m breiten Schifffahrtsrinne, wobei der damit verbundenen Wasserspiegelabsenkung durch ein Niedrigwasserleitwerk sowie durch Sohlenaufhöhung nach Unterstrom und der Anordnung von Unterwasserinseln weiter oberhalb entgegengewirkt wurde (Bild 10). Auch gegenwärtig wird an weiteren flußbautechnischen Verbes-



Abb. 10: Binger-Loch-Strecke

serungen dieses Abschnitts gearbeitet; beabsichtigt ist, den Wasserspiegel im Niedrigwasser- und Mittelwasserbereich mit Hilfe eines Parallelwerks, einer Hochwasserentlastungsrinne und einer Überlaufschwelle weiter anzuheben. Bemerkenswert sind auch die Entwicklungen der Bohr- und Sprengtechnik, um die zum Teil harten Quarzitbänke erschütterungsfrei lösen zu können und ebenso die Entwicklung eines Felsmeißelverfahrens, welches die weitgehende Ausnutzung der wirksamen Fallenergie erlaubt. Um die Fahrrintentiefe von 2,10 m zu erreichen, ist ein besonderes Bühnen- und Leitwerkssystem erforderlich, welches auch die hydraulische Wirksamkeit der Inseln und Nebenrinnen berücksichtigt. Im anschließenden flacheren Aluvialbereich wird eine Fahrrinne von zunächst 150 m Breite vorgehalten, die sich im Mündungsbereich des Flusses bis auf 340 m aufweitet. Regelungselemente sind hier neben Bühnen und Leitwerken vor allem Baggerungen und Kolkverfüllungen. Die Erhaltung der Schiffbar-

keit am Niederrhein ist durch eine fortschreitende Sohlensenkung mit Werten bis zu 4 cm pro Jahr erschwert. Da sich mit diesem Senkungsvorgang die Rheinvorländer bei Hochwasserströmung allmählich aufhöhen und damit eine Stromkonzentration im Mittelwasserbett und infolgedessen eine Verstärkung der Erosion bewirken, werden die Strombauwerke dem sinkenden Wasserstand angepaßt und die Vorländer laufend abgetragen. Ein weiteres Problem ergibt sich aus den örtlichen Sohlenabsenkungen infolge des Bergbaus unter dem Rheinstrom. Als regelnde Elemente sind hier flexible Bühnenkonstruktionen erprobt worden, die den Querschnitt bei Niedrigwasser einschränken und bei Hochwasserabfluß wieder freigeben. Besondere Verhältnisse liegen auch in den starken Krümmungsstrecken am Niederrhein vor, wo eine starke Tiefenerosion Kolke bis zu 13 m Tiefe erzeugt hat. Moderne Kolkverfüllungsmethoden mit Einbau von Kunststoffsäcken mit Füllinhalt von 18 bzw. 6 m³ haben die Aufgabe, die Tiefenerosion in eine Breitenerosion umzuwandeln und damit zugleich eine schiffahrtstechnische Verbesserung in der Kurvenfahrt zu bewirken. Über diese Maßnahmen ist bei den beiden letzten Schiffahrtskongressen berichtet worden (Bild 11).

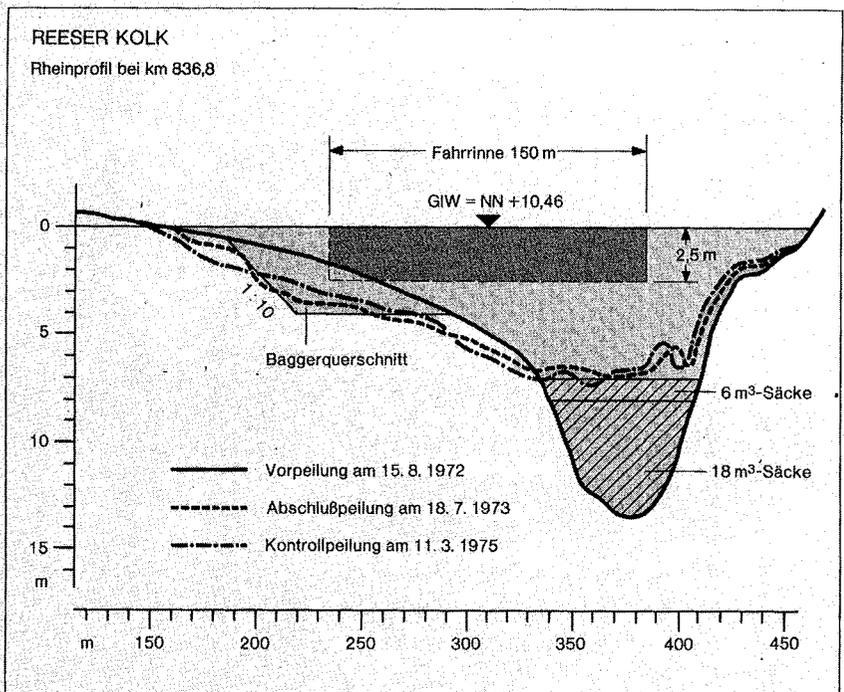


Abb. 11: Kolkverfüllung

Infolge der geologischen Gegebenheiten und der Teilkanalisierung des Oberrheins ist der Fluß einem extremen Geschiebeungleichgewicht ausgesetzt. Die Auswirkungen der Erosion unterhalb der letzten Staustufe und ihr Ausgleich durch künstliche Geschiebezugabe sind gleichfalls beim letzten Schiffahrtskongreß in Edinburgh und im Bulletin Nr. 42 behandelt (Abb. 12). Für den freifließenden regulierten Strom ergibt sich hieraus die Chance, daß bei kontinuierlicher Fortführung der Geschiebezugabe ein Gleichgewichtszustand künstlich herbeigeführt wird, der den Erfolg der übrigen Regelungsmaßnahmen begünstigt.

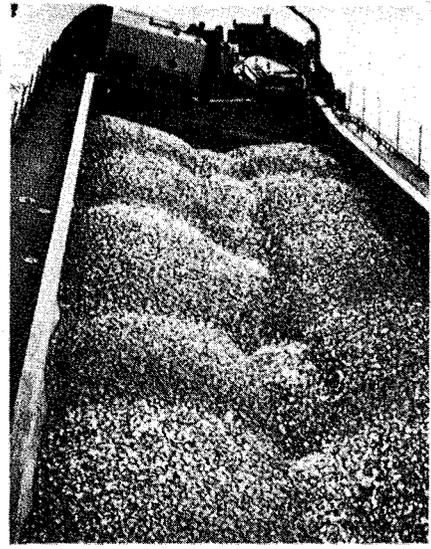
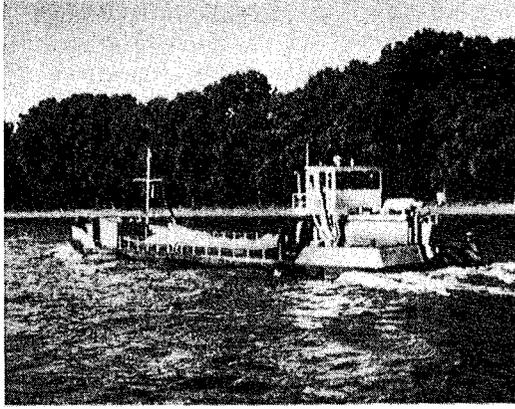


Abb. 12: Geschiebezugabe

Für den dritten in flußbautechnischer Hinsicht ebenfalls interessanten Strom, die Donau, ergeben sich wiederum ähnliche und doch in entscheidenden Punkten abweichende Maßnahmen. Beim 8. Schifffahrtskongreß im Jahre 1900 in Paris ist über die Eindeichung der Donau zur Gewinnung von 3 Millionen Hektar Ackerland berichtet worden. Im vorigen Jahrhundert sind eine Reihe von Korrekptionsmaßnahmen ausgeführt worden, die selbst bei Ausführung von Durchstichen zunächst ohne nachteilige Wirkungen geblieben waren. Die Mittelwasserkorrektion im Laufe des vorigen Jahrhunderts führte zu einem 130 – 140 m breiten Mittelwasserbett. Die im Interesse der Schifffahrt notwendige Niedrigwasserregelung erfolgte zwischen

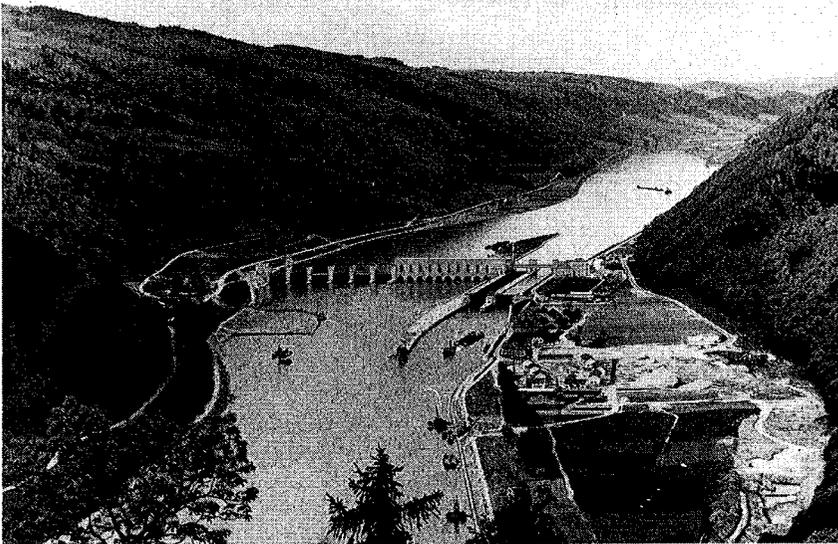


Abb. 13 a): Gesamtansicht der Donaustufe Jochenstein

1920 und 1960 in Verbindung mit der Vervollkommnung des Hochwasserschutzes durch Deiche. Die Donau ist allerdings auch nicht frei von flußmorphologischen Problemen geblieben. Nachdem korrigierende Maßnahmen an der oberen Donau und in den Nebenflüssen zunächst zu einem Geschiebeausgleich gegenüber dem verstärkten Geschiebeabtransport durch die Gefällvergrößerung geführt hatten, trat seit dem Jahre 1960 eine Normalisierung der Geschiebenachfuhr mit der Folge einer fortschreitenden Eintiefung der Sohle unterhalb von Regensburg ein. Da das Ziel der Niedrigwasserregelung aufgrund der hydraulischen Gegebenheiten nicht erreichbar war, wurden zusätzliche Baggerungen notwendig, die die Erosion noch weiter förderten. Die konsequente Folge war die Stauregelung auch unterhalb von Regensburg. Bei der Situation der Donau muß man berücksichtigen, daß die untere Donau außerhalb der Bundesrepublik nach und nach in vollem Umfang, und zwar in erster Linie aus Gründen der Energienutzung mit Staustufen ausgebaut wird. Inwieweit der künftig verbleibende Abschnitt zwischen den Stauhaltungen Kachel und Straubing im geregelten Flußzustand erhalten bleiben kann, bedarf der eingehenden Untersuchung. Zwar liegen die Gefällsverhältnisse mit Werten zwischen 0,11 und 0,3‰ relativ günstig. Der maßgebende Regulierungsniedrigwasserabfluß begrenzt aber die verfügbare Wassertiefe auf 1,7 m bei einer Regellebensbreite von 100 m. Die Erhaltung des gegenwärtigen freifließenden Flußabschnittes würde in

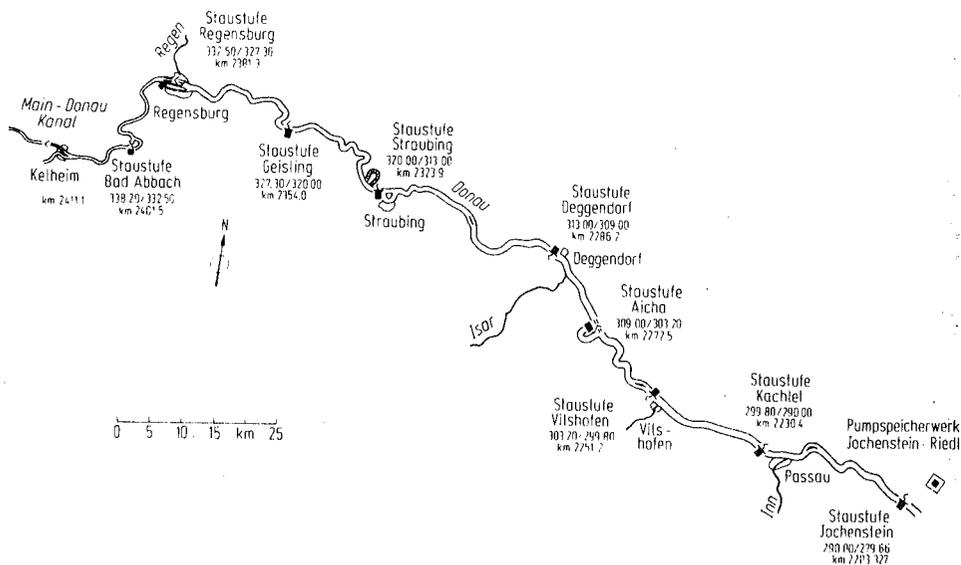


Abb. 13 b): Donau von Kelheim bis Jochenstein

der Zukunft besondere Maßnahmen zur Erosionsverhinderung erfordern, so daß auch hier der Übergang zu einer vollen Stauregelung in Betracht kommen wird (Abb. 13a, 13b und 13c).

Die begrenzten Möglichkeiten zur Verbesserung der Fahrwasserhältnisse durch Regelaßnahmen am freifließenden Fluß können in gewissem Grade durch künstliche Hochwasserwellen aus Staubecken verbessert werden. Ein Beispiel hierfür sind die Verhältnisse an der Weser, wo die Möglichkeit bestand, in Niedrigwasserzeiten Wasser aus zwei Speicherbecken zuzugeben, um damit eine vorübergehende Niedrigwasseraufhöhung zu bewirken. Natürlich sind auch diese Möglichkeiten begrenzt und nur dann wirkungsvoll, wenn es gelingt, die

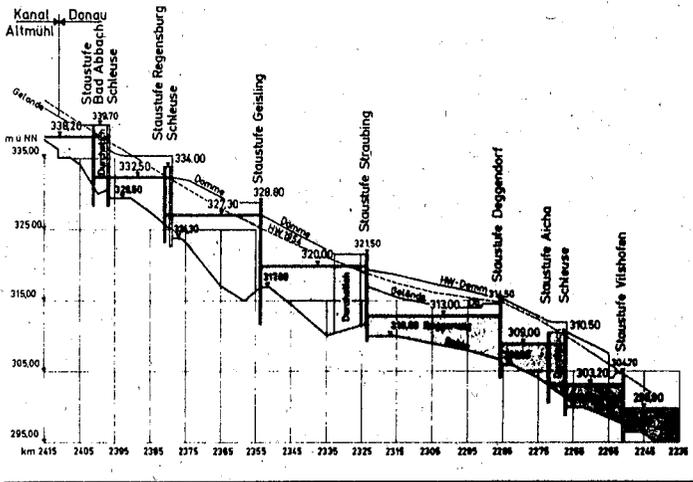


Abb. 13 c): Übersichtshöhenplan Kelheim-Vilshofen

Wasserzugabe bei jedem Bedarf, und zwar so durchzuführen, daß jeder Schiffsverband die erforderliche Aufhöhung in allen kritischen Bereichen voll nutzen kann. Bei der Weser ist diese Möglichkeit nach der Vollstauregelung nicht mehr notwendig.

Schließlich soll als weiteres Element der Flußregelung die Unterhaltungsbaggerung in Auf-landungsbereichen erwähnt werden. Ihre Anwendung an den großen Strömen hat sich letz-



Abb. 14: Stauhaltung Kelheim

lich nur in Verbindung mit anderen Maßnahmen als wirtschaftlich vertretbar erwiesen. Es ist aber ein besonderes Anliegen, die Notwendigkeit von Baggerungen so weit wie möglich einzuschränken, ganz abgesehen davon, daß jede Baggerung das Geschiebegleichgewicht ohnehin beeinträchtigt und damit neue Probleme schafft. Deshalb ist bei erforderlichen Baggerungen die Bodenumlagerung im Gewässer die geeignete Lösung.

Weitere mannigfaltige Probleme sind in den Berichten zu den verschiedenen Schiffahrtskongressen behandelt worden. Heute ist es ein besonderes Anliegen, bestehende Flußsysteme möglichst in ihrem natürlichen Zustand zu erhalten. Der Forderung nach einem naturnahen Ausbau ist auch in der Vergangenheit in vielfältiger Weise Rechnung getragen worden. Dies gilt auch im Falle des notwendigen Ausbaus zum staugeregelten Fluß. Durch sinnvollen Ausbau der Altwässer lassen sich oft wertvolle Feuchträume schaffen (Abb. 14).

Der Teil Stauregelung ist im französischen Beitrag behandelt.