

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 67 (1975)
Heft: 5-6

Artikel: Hochwasserschutz und Wasserbauten am Oberrhein
Autor: Kunz, Egon
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-920917>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

1. DER WILDSTROM «OBERRHEIN»

Dem Beitrag über den geologisch-geographischen Ueberblick und die Besonderheiten des Stromgebietes von Basel bis zum Meer (Verfasser Prof. Sauer, Freiburg) ist zu entnehmen, dass der Rhein bereits im alluvialen Zeitraum begann, unterhalb Basel beim Eintritt in die Oberrheintiefebene bei grösseren Anschwellungen das früher im Diluvium breitflächig abgelagerte Geschiebe auf ein schmales Band von ca. 6 km Breite wieder in Bewegung zu setzen. Dabei verteilte er seine Wassermassen auf viele Arme, zeitweise reissend, wie echte Wildbäche nach Anschwellungen in den einzelnen Gerinnen die abgelagerten Geschiebemassen ohne Aenderung der eigentlichen Fliessrichtung fortbewegend. Es entstand die Niederterrasse. In die auf weite Strecken vom Löss der jüngeren Würmeiszeit überdeckte Niederterrasse hinein hat dann der nacheiszeitliche Rheinstrom seine Talaue in einer Breite von 2 bis 3 km flächig eingetieft.

Zwischen den begleitenden Gebirgen Schwarzwald und Vogesen entstanden drei Niveauhöhen, die gegeneinander sehr deutlich abgesetzte Bereiche bilden, nämlich:

- die Hochterrasse aus der Zwischeneiszeit mit den Schotterkegeln aus den in die Rheinebene strömenden Bächen,
- die Niederterrasse aus der letzten, der Würmeiszeit,
- die Rheinaue oder Niederung der Neuzeit.

Die Talauen wurden überall zwischen Basel und Karlsruhe in den tiefer gelegenen Teilen periodisch, in höheren Gebieten episodisch von Hochwasser überflutet und überschwemmt. Der Verkehr zwischen den Rheinorten war erschwert, viele Orte wurden durch Hochwasser gefährdet oder gar zerstört. Infolge von Versumpfungen in Niedewasserzeiten standen weite Gebiete unter Malaria und sonstigen Seuchenplagen.

Altbreisach lag zur Zeit der römischen Invasion auf dem linken Rheinufer, war später im 10. Jahrhundert von zwei Rheinarmen umflossen, im 13. Jahrhundert wieder an das elsässische Ufer angeschlossen, jedoch bald darauf abermals zur Insel geworden. Erst im 14. Jahrhundert wurde es endgültig fest mit dem Hinterland verbunden.

Viele Ortschaften oder Ortsteile wurden gänzlich zerstört oder wegen ständiger Bedrohung verlassen und an geschützteren Stellen wieder aufgebaut. Dazu gehören die

Id 1 Rheinlandschaft vor der Tulla'schen Korrektion, Blick vom Isteiner Klotz rheinaufwärts gegen Basel. Oeffentliche Kunstsammlung Basel; Oelgemälde Peter Birmann H 88,5 B 124,5 cm. Inv. Nr. 71.



Städte Neuenburg (die Chronik berichtet, dass die Kirche in Neuenburg, welche heute noch unmittelbar am Hochgestade steht, im Verlaufe der letzten Jahrhunderte dreimal in den Fluten des Rheins versank), ebenso Rheinau, das erstmals im 15. Jahrhundert und letztmals im 16. Jahrhundert vom Rhein verschlungen wurde. Die Dörfer Mittelweiher und Goldscheuer wurden teilweise, die Orte Wöllingen bei Wyhl, Iringenheim und Hundsfeld bei Kehl, total zerstört. Diese Hochwasser-Katastrophen-Verhältnisse prägten die Hochwasserschutz- und Wasserbaumassnahmen aller Generationen.

Während im Hochrheintal der sich tief eingrabende Rheinstrom bei Hochwasser kaum mehr ausufern konnte und sich deshalb die Menschen direkt an die Gestade des Rheins heranwagten — wie in den alten Ansiedlungen von Stein, Schaffhausen, Kaiserstuhl, Zurzach, Waldshut, Laufenburg, Säckingen, Augst und Basel —, finden wir am Oberrhein bis auf die beiden alten kleinen Fischersiedlungen Istein und Rheinweiler, welche sich durch den bis nahe an die Niederterrasse reichenden Vorfuss des südlichen Schwarzwaldes ansiedeln konnten, außer Breisach (auf dem Kaiserstuhl-Vulkanberg) keine unmittelbare Ansiedlung.

2. HOCHWASSERABFLUSSVERHÄLTNISSE

Die den Hoch- und Oberrhein bestimmenden Hochwasser der letzten 200 Jahre sind uns an zahlreichen Stellen durch Hochwassermarken erhalten geblieben. Herausragend ist dabei das bisher höchst bekannte und errechnete Hochwasser von 1876 mit einer Wasserführung von rund 5 200 m³/s pro Sekunde unterhalb der Aaremündung bei Waldshut bzw. 5 700 m³/s in Basel, sowie das Hochwasser von 1882 mit 4 600 m³/s in Basel. Obwohl das Hochwasser 1876 als das höchste bekannte angesehen wird, stellt das Katastrophenhochwasser 1882 besonders für die Rheinstrecke unterhalb Strassburg die Grundlage für alle heutigen Hochwasserberechnungen dar, weil es sich über das nach dem Tullaschen Korrektionsentwurf voll ausgebaute Flussbett ergossen hatte.

Seine Entstehung ist besonders interessant, weil daraus zu schliessen ist, dass durch eine ähnliche Grosswetterlage jederzeit ein gleiches oder noch gewaltigeres Hochwasser entstehen kann. Dem «Beitrag zur Untersuchung der Hochwasserverhältnisse am Oberrhein zwischen Basel und Maxau» der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Baden-Württemberg ist zu entnehmen:

«Das Hochwasser 1882 baute sich aus einer sehr grossen Primärwelle in Basel mit gleichzeitigem hohem Zufluss aus den Seitengewässern auf und erreichte am Pegel Maxau bei Karlsruhe den bisher zweithöchst gemessenen Wasserstand mit 8,25 m. Es wurde lediglich noch durch das Hochwasser 1955 mit 8,38 m Stand überschritten.

Das Hochwasser 1955 erreichte jedoch in Basel und in den Seitenzuflüssen keineswegs die hohen Werte, wie sie beim Hochwasser 1882 aufgetreten waren.»

Als Ursache des seinerzeitigen Dezemberhochwassers 1882 gab der Jahresbericht des Zentralbüros für Meteorologie und Hydrographie des Grossherzogtums Baden wertvolle Hinweise. Daraus ist zu entnehmen:

«Der Dezember brachte trübes und kühles Wetter in den ersten $\frac{2}{3}$ des Monats mit nicht bedeutenden Niederschlägen.

Das Thermometer sank fast überall unter den Nullpunkt, so dass der allerwärts vor Nässe durchtränkte Boden, wo er nicht noch mit Schnee bedeckt war, überfroren. Nur die Höhen des südlichen Schwarzwaldes waren schon vom 13. Dezember an frostfrei. Die Schneelage schmolz langsam ab.

Nun fielen aber, mit dem 21. Dezember beginnend, bei niedrigen Temperaturen massenhaft Regen und Schnee, die in allmählicher Steigerung am 26. und 27. Dezember ein Maximum von seltener Grösse erreichten. Gleichzeitig trat bei stürmischen südwestlichen Winden eine abnorme Erwärmung ein. Das Thermometer stieg beispielsweise in Karlsruhe urplötzlich auf 11 °C, demzufolge kam zu den ungeheuren Niederschlägen nun auch noch die rapide Abschmelzung grosser Schneemassen bei teils gefrorenem und überall mit Wasser gesättigtem Boden, ein Zusammentreffen von Umständen, das die enorme Wucht der nun über das ausgedehnte Rheinflussgebiet hereinbrechenden Katastrophe genügsam erklärt. Dabei war das schweizerische Hochgebirge so gut wie nicht beteiligt. Ursächlich für diese grosse Primärwelle in Basel war nur die Aare, indes — vorzugsweise — nur veranlasst durch die hochangeschwollenen Juragewässer.»

Ueber die Häufigkeit von Katastrophenhochwassern im Ausmasse von 1882 liegen Studien vor. Jedoch haben diese Untersuchungen — besonders auf den Pegel Maxau bezogen — die Vertiefungen des Rheinbettes und somit den Wegfall von Ueberflutungsräumen nicht berücksichtigt.

Der einfache Beweis hierfür ist der Vergleich des Hochwassers 1882 mit dem des Jahres 1955, wo in Maxau etwa die gleichen Abflüsse erreicht wurden, obwohl dem Hochwasser 1882 in Basel und den Seitengewässern viel grössere Abflusswerte zu Grunde lagen. Während für die Hochwasser 1852 und 1876 Abflüsse von etwa 5 700 m³/s errechnet wurden und damit die Scheitelwerte rund 1 100 m³/s über dem des Hochwassers 1882 gelegen haben müssen, können jedoch diese Hochwasser für die heutigen Verhältnisse nicht mehr voll Berücksichtigung finden, weil die Auswirkungen der Tullaschen Korrektion und der Jura-gewässer-Korrektion seinerzeit noch nicht voll wirksam waren. Die letzten Hochwasserabflüsse von 1953 und 1972 mit rund 3 700 m³/s bis rund 3 900 m³/s beweisen, dass die Hochwassergefahren auch durch den nahezu abgeschlossenen Ausbau des Hoch- und Oberrheins nicht verhindert, sondern nur verlagert werden.

Daher kommt dem Hochwasserschutz und den dafür notwendigen Wasserbauten auch heute noch eine elementare und lebenswichtige Aufgabe zu.

Ueber die Hochwasserverhältnisse jener Zeit vermitteln die Hochwassermarken am Isteiner Klotz — unterhalb Basel — von 1828 bis 1882 (Bild 2) einen plastischen Eindruck. Sie lassen deutlich erkennen, welche segensreiche Wirkung die in den Jahren 1830 bis 1870 zwischen Basel und Karlsruhe durchgeführte Rheinkorrektion für die Oberrheinebene hatte. Vergleicht man beispielsweise das Hochwasser 1824 (vor der Tullaschen Korrektion) mit einer Wasserführung von ca. 4 000 m³/s — es lag etwa 1,20 m über dem Gelände — mit dem höchstbekannten Hochwasser von 1876 (nach der Korrektion) mit einer Wasserführung von rund 5 700 m³/s — es lag nur noch etwa 0,47 m über Gelände —, so erkennt man, dass das um rund 1 700 m³/s niedrigere Hochwasser 1824 noch um rund 0,73 m über dem höchsten Hochwasser lag.

Man kann deshalb schon ahnen, welche Furcht diese Rheinhochwasser den Menschen im Oberrheintal eingeschlossen haben mussten. Deshalb ist es verständlich, dass nach wiederholten Katastrophen-Hochwassern der Grossherzog Karl-Friedrich von Baden einen übergebietslichen Hochwasserschutz anstrehte. Diese Massnahme bedingte aber sowohl in der Planung als auch in der Ausführung die allergrössten wasserbaulichen Leistungen jener Generation. Sie dokumentierte sich in der bekannten «Tullaschen Rheinkorrektion» als die grösste Hochwasserschutz- und Wasserbaumassnahme der letzten Jahrhunderte.

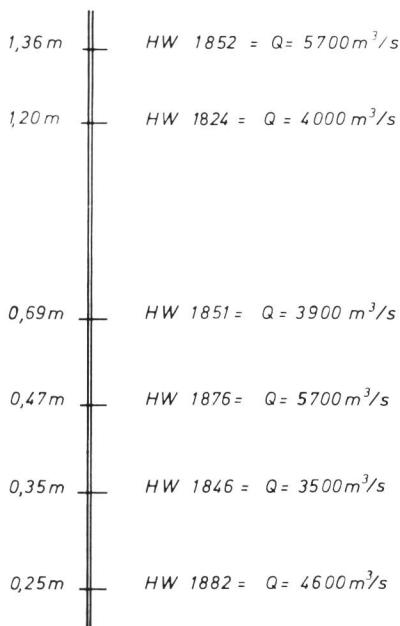


Bild 2
Hochwassermarken am Isteiner Klotz.

3. HOCHWASSERSCHUTZ DURCH DIE TULLASCHE RHEINKORREKTION

3.1 Frühgeschichtliche Hochwasserschutzbauten

Während bis zum Jahre 1800 aus den süd- und westdeutschen Flusstälern nur regellose Schutzbauten und vereinzelte Durchstiche von Flusschlingen gegen Hochwasser gefahren bekannt geworden sind, haben die Menschen im Oberrheinbereich bereits im Mittelalter (1391 bei Lidlshausen, 1396 bei Germersheim) einzelne Schlingendurchstiche aussergewöhnlichen Ausmasses durchgeführt. Später erfolgten Durchstiche bei Neupotz und Jockgrim in den Jahren 1515 und 1541 sowie bei Kembs im Jahre 1560, Daxlanden 1652, Dettenheim 1762. Jedoch waren diese Hochwasserschutzbauwerke jeweils nur von lokaler Bedeutung und hatten immer zur Folge, dass sich der Strom auf der anderen Rheinseite austobte und dort zu grösseren oder zu neuen Durchbrüchen, Verlagerungen und Verlandungen führte. Daraus ergaben sich unter den Grenzbewohnern rechts und links des Rheins auch politische Schwierigkeiten, weil immer wieder ganze Uferstreifen hinterspült, zu Inseln umgebildet wurden oder gar auf die andere Rheinseite gelangten. Die fischereilichen Schwierigkeiten führten oft zu Kleinkriegen. Erst um die Wende des 18. zum 19. Jahrhundert erkannte man die Notwendigkeit einer systematischen Hochwasserschutzmassnahme.

3.2 Die Tullasche Rheinkorrektion

Die nach Tullas Idee durchgeführte grösste Korrektionsmassnahme am Oberrhein stellte im Hinblick auf die enormen Schwierigkeiten mit dem grössten Wildstrom eine heute kaum ermessbare Leistung dar.

„Tulla, im Jahre 1770 geboren, 1790 bereits als grossherzoglicher Geometer bestellt und durch seine ersten geometrischen Leistungen in der Anfertigung der Rheinstromkarten nach dem Zustand vom Jahre 1810 bis 1820 dem Grossherzog Karl Friedrich zur Weiterförderung und Weiterbildung anempfohlen, studierte sodann Mathematik und Wasserbau und konnte anschliessend durch grosszügige Studienfahrten nach Holland, Schweden, Norwegen und daraufhin durch Beratungen des Königs von Württemberg, der Eidgenossenschaft

(für die erste Juragewässerkorrektion), der holländischen Regierung sich unschätzbare Erfahrungen und Kenntnisse aneignen, die ihn befähigten, sein grosses Rheinkorrektionswerk in die Tat umzusetzen.“

Leider fehlen hier Zeit und Raum, um die aussergewöhnlichen Vorleistungen für dieses Werk aufzuzeigen. Hingewiesen sei nur darauf, dass es damals im Rheinabschnitt von Basel bis zur Mainmündung über 20 Masssysteme gab, dass mit zahlreichen Regierungen, Herzogtümern, Landesfürsten als Rheinangrenzer um ein einheitliches Konzept verhandelt werden musste.

Tullas Aufgabe zur Rektifikation des Rheins bestand in zwei grundsätzlichen Ueberlegungen, nämlich:

- den Rhein durch Hochdämme oder
- den Rhein durch Einbauten (Quer-, Längs- und Parallelbauwerke) in ein erodierendes Abflussbett zu zwingen.

Er wählte das seinerzeit einzig richtige, nämlich das letztere mit zwangsläufig und bewusst gezielter Wasserspiegelsenkung als Folge der durch die Einengung künstlich erzeugten oder beschleunigten Erosionswirkung. Mit langgezogenen flachen Bögen und Schleifen legte er in der Rheinniederung ein neues Flussbett mit 200 m Breite im Bereich Basel-Strassburg und 250 m unterhalb fest.

Die geniale Idee Tullas war, durch eine systematische Einschnürung des Abflussquerschnittes mittels Querbauten, abgestützt auf Leitwerke und Längsdämme, den Strom mit seinen jährlich wiederkehrenden Hochwassern zu zwingen, sich Zug um Zug (bei jährlich zunehmender Verengung) sein ihm vorgezeichnetes Flussbett durch die den Hochwasserwellen innenwohnenden Erosionskräfte selbst zu graben. Um dieses Ziel zu erreichen, mussten in den

ANLAGE VON UFERSCHUTZWERKEN AM OBERRHEIN AUS DER ZEIT VOR DER KORREKTION



BAUART DER RHEIN-KORREKTIONSWERKE

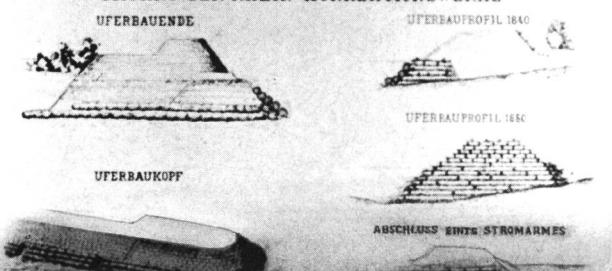


Bild 3 Bauwerkpläne für Uferschutzwirke am Oberrhein vor der Korrektion und für die Tullasche Korrektion.



Bild 4 Rheinstromkarte aus der Furkationszone bei Grissheim aus dem Jahre 1828.

ersten 20 Jahren der 40jährigen Korrektionszeit vom Hochgestade ausgehend Quer- und Längsbauwerke aus Faschinen-Steinwürsten in mühsamster Fronarbeit durch die Rheinbewohner erstellt werden. Da diese Arbeiten vorwiegend nur in den Niederwasserperioden, nämlich im Herbst und Winter, durchgeführt werden konnten, können die zu ungünstiger Jahreszeit mit einfachen Mitteln durchgeführten Leistungen jener Rheinbewohner nicht hoch genug bewertet werden.

Nach 40 Jahren war das neue Rheinbett zwischen Basel und Karlsruhe geschaffen, das ca. 2 000 m³/s Rheinwasser aufzunehmen vermochte.

4. TULLASCHE WASSERBAUTEN VON BASEL BIS KARLSRUHE

Das Flussbett des Oberrheins zeigte zwischen Basel und Mainz vor der Rheinkorrektion eine deutlich erkennbare Zweiteilung. Prof. Schäfer vom Senkenberginstitut bezeichnete den Rheinabschnitt südlich Karlsruhe mit einem mittleren Längsgefälle von rund 1,00 ‰ als «Furkationszone». Sie wird charakterisiert durch Aufteilung des Rheinarmes in zahlreiche Haupt- und Nebenarme, mit mannigfaltigen Gabelungen und Verzweigungen, wobei die Hauptarme nur sehr flache Mäanderbögen aufwiesen.

Den Rheinabschnitt nördlich Karlsruhe mit einem gemittelten Längsgefälle von nur noch 0,3 ‰ nannte er «Mäanderzone». In diesem Bereich treten die Furkationen nur noch beiläufig auf. Dagegen schwingen sich die im Oberlauf nur noch schwachen Mäanderbögen doppelseitig oft bis zu 6 bis 8 km aus und bestimmen damit auch ein ganz anderes Abflussregime.

Dieser unterschiedliche Abflusscharakter bestimmte auch massgebend die Hochwasserschutz- und Wasserbauten.

4.1 Korrektionsarbeiten in der Furkationszone

Die bei der Tullaschen Korrektion ausgeführten Strombauwerke (Bilder 3, 4 und 5) geben Zeugnis dafür, mit welch technischem Wissen, gepaart mit praktischer Erfahrung, Tulla die Standfestigkeit seiner zweiseitig belasteten Bauwerke löste.

«Beim Verbau der grossen und kleinen Haupt- sowie Nebenrheinarme bestand die grosse Gefahr, dass die Dämme durch die schnell ansteigenden Fluten bei geschlossenen und dichten Bauwerken gegenüber den abgeschlossenen Altrheinarmen durch einen wasserseitigen Ueberdruck einseitig überbeansprucht worden wären. Durch die zahlreichen Quer- und Längsbauwerke entstanden Polder, in denen innerhalb weniger Stunden bei den schnell abfliessenden Hochwasserspitzen Wasserspiegeldifferenzen von 2 bis 4 m eintreten konnten.»

Tulla erkannte dieses hydrostatische Problem und plante deshalb alle Abriegelungsbauwerke durchlässig. Seine Bauwerke bestanden aus grossen Steinquadern, welche mit Faschinen umwickelt zu Würsten (genannt Faschinewürste) gedrahtet waren. Diese Faschinewürste wurden sodann fächerförmig, d.h. 1. Reihe längs, 2. Reihe quer, 3. Reihe wiederum längs usw., verlegt und gestatteten dadurch eine ausreichende Durchsickerung des anschwellenden Hochwassers, jedoch ohne Geschiebe. Ein nur noch leicht gedämpfter Wasserspiegelausgleich vor und hinter den Riegelbauwerken stellte sich ein.

Nur die Uferbauköpfe und Uferbauenden wurden mit einer soliden Pflasterung zusätzlich gefestigt.

Welche Bedeutung Tulla der Faschinensbauweise beigemessen hatte, geht daraus hervor, dass er zu Beginn seines Korrektionsvorhabens von allen Rheinanliegergemeinden zwischen Basel und Karlsruhe einen 90 m breiten Uferstreifen zum beliebigen Schlagen und Entnehmen von

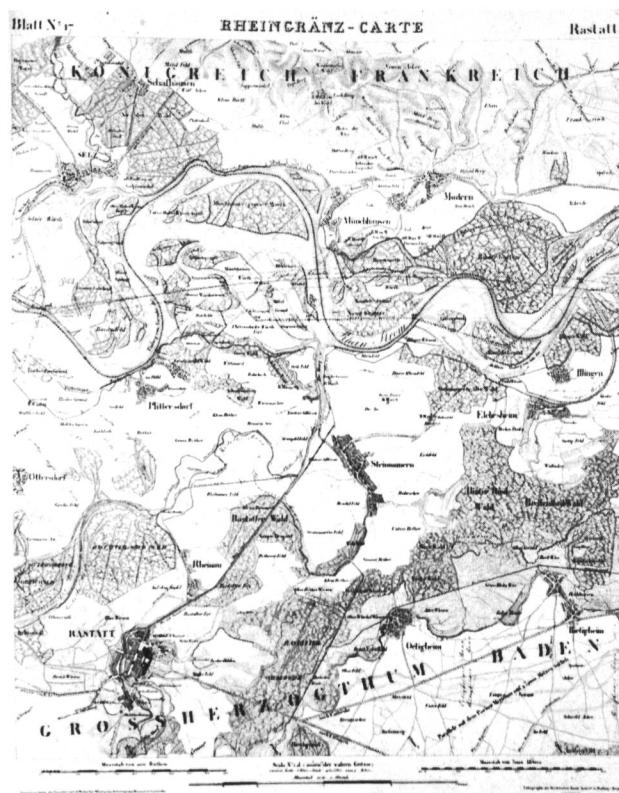


Bild 5 Rheinstromkarte mit der Meanderzone bei Rastatt aus dem Jahre 1828.

Faschinen und sonstigem Holzwerk für die grossherzogliche Staatsbauverwaltung verlangt hatte. Aufgrund jener Entscheidung ist die heutige Wasserstrassenverwaltung des Landes Baden-Württemberg noch im Besitz dieses 90 m-Uferstreifens. Er hat sich seither für alle zwischenzeitlich durchgeföhrten flussbaulichen Veränderungsmassnahmen segensreich ausgewirkt, weil keine Grundstücksverhandlungen mit den Anliegern notwendig wurden.

Auch die von Tulla erstmals im grossen Stil entwickelte Faschinenbauweise hat sich bis in die 30iger Jahre des 20. Jahrhunderts gehalten. Erst mit dem Aufkommen von beständigeren Drahtgeflechten wurde die sehr umständliche und schwerfällige Faschinenbauweise aufgegeben.

Welche Leistungen Mensch und Strom für die Korrektion aufbringen mussten, sei durch folgendes Beispiel belegt:

Aus den Rheinstromkarten der Jahre 1828 bis 1838, 1852 und 1872 kann man in groben Umrissen für den Rheinabschnitt Basel—Strassburg auf 120 km Flusslänge ermitteln, welche Grössenordnung die Leistungen in der 40-jährigen Bauzeit ausmachten.

Von den Menschen wurden

- 240 km beiderseitige Rheindämme mit ca. 5 Mio m³ Dammkörper und nahezu der gleichgrosse Aufwand, nämlich:
- 200 km Querriegel und Parallelbauwerke mit ca. 4 Mio m³ Dammkörper hergestellt.

Vom Strom wurden

- ca. 10 Mio m² Inseln oder Halbinseln abgetragen bzw. durchgerissen, das entspricht etwa 40 % des neuen Flussbettes, oder
- ca. 25 Mio m³ Erdbewegungen (durch Erosion) vollzogen.

Berücksichtigt man, dass diese Leistungen ohne maschinellen Einsatz im Handbetrieb und Fronarbeit von Männern, Frauen und Kindern ausgeführt wurden, die enormen Steinmengen vom Schwarzwald mit Pferde- und Kuhfahrzeugen herangebracht werden mussten, im Winter bei Eis, Schnee und Kälte verbaut wurden, so stehen alle im 20. Jahrhundert gepriesenen Bauleistungen weit im Schatten dieser Tullaschen Korrektionsbauten.

4.2 Korrektionsarbeiten in der Mäanderzone

Im Rheinabschnitt unterhalb Karlsruhe waren die Strombauverhältnisse deshalb günstiger, weil der Rhein infolge seines geringeren Gefälles und damit seiner geringeren Schleppkraft sich nicht durch zahlreiche Haupt-, Neben- und Seitenarme zu Tal wälzte, sondern durch Verbreitern seines Flussbettes und durch Ausklingen seiner Energie in grossen Strombögen abfloss. Diese grossen Rheinschleifen oder -schlingen werden Mäander genannt, dessen Wort auf den stark geschlängelten kleinasiatischen Flusslauf mit dem Namen «Meandros» zurückgeht.

Die Entstehung dieser Mäander ist nach Prof. Schäfer als eine Funktion der hydraulischen Abflussgeschwindigkeiten zu betrachten und für den gesamten Flusslauf elementar.

«Der Stromstrich, als Zone höchster Wassergeschwindigkeit bezeichnet, liegt im gestreckten und reibungslosen Bett eines Wasserlaufs in der unteren Mitte des Wasserkörpers. Dieser Zustand der Gradlinigkeit kann unter natürlichen Bedingungen vom Flusslauf um so eher eingehalten werden, je stärker die Längsneigung des Untergrundes ist. Die Ener-

gie im Flussbett eines gerade fliessenden Stromes, soweit sie nicht für die Stofffrachtung gebraucht wird, äussert sich im Stromstrich als Tiefenerosion, ausserhalb des Stromstriches in den begleitenden Wasserwalzen als Seitenerosion. Je grösser nun die Hauptneigung und je höher die Strömungsenergie ist, desto mehr übertrifft die linear wirksame Tiefenerosion die Seitenerosion. Mit abnehmendem Gefälle und Abnehmen der Strömungsenergie gerät der Strom immer häufiger in seiner Laufrichtung unter die Einflüsse örtlicher Gegebenheiten im Strombett. Ueberwiegt die Seitenerosion und hat der Fluss an einem Ort mit dem Aufbau eines nach seitwärts ausschwingenden Bogens begonnen, so ist damit auch schon die nächste und übernächste Bogenkrümmung induziert. Die Weite der Mäanderausschläge ist eine Funktion von Untergrundneigung und bewegter Wassermasse.»

Die flussgestaltenden Elemente, wie Stromstrich bzw. Stromfaden, Seitenwalzen bzw. Wirbelschlüche, Erosionszonen mit Prallhang und Sedimentationszonen mit Gleithang mussten auch Tulla gegenwärtig gewesen sein, denn sein ganzes Konzept mit der leichtgeschwungenen Linienführung war auf diese Naturelemente abgestimmt. Selbstverständlich musste er dabei auch einen Mittelweg finden zwischen einer möglichst graden Linienführung (zur Verminderung von zu starken Quer- und Wirbelbildungen mit folgenden Mäanderwirkungen) und einer betont geschwungenen Linienführung (um eine Vergrösserung des Längsgefälles zu verhindern).

4.3 Tullas Leistung

Wenn heute beklagt wird, dass durch die Tullasche Korrektion das Gefälle des Rheins um ca. 60 bis 80 % vergrössert wurde, und sich der Rhein durch eine zu grosse und ungleichmässige Sohlenerosion (bei Rheinweiler unterhalb Basel ca. 7 m) an den Wasserbauern rächtet, so muss dabei abgewogen werden, welche Folgen flussbaulich eine andere, stärker gekrümmte Linienführung gebracht hätte.

Gerade die zahlreichen Durchbrüche in der Mäanderzone verursachten die grossen Gefällzunahmen, aber auch die grösste Entlastung der herrschenden Hochwassergefahren.

Wie gross die Freude, Anerkennung und Genugtuung unter der Rheinbevölkerung war, möge aus dem nachfolgenden Auszug aus einer Bekanntmachung zum Volksfest aus Anlass des Durchstiches bei Eckenstein am 20. Januar 1819 entnommen werden:

«Bekanntmachung

Seiner hochedelgeborenen Herrn Ingenieur Obrist Lieutenant der Freude des Rheindurchschnittes bey Eckenstein, d 20ten Janr. 1818 Nachmittags um 3½ Uhr und zugleich reiner Herzens Dank, vom Gericht und Rath, samt sämtlicher Inwohner des Ortes wegen Besorgung des Durchschnitts ... In allen Häusern hiesigen Ortes hört man reine lautere Freude, Greise riefen Jubel aus. Alte liessen die Stimme von sich höhren vivat. Es lebe noch lange Herr Obrist Lieutenant Tulla. Dank, Dank Innigen Dank ... Ortsauftrag der ganzen Bürgerschaft: Martin Dürr.»

Bedenkt man, dass für diesen Durchstich grosse Waldflächen unter militärischem Einsatz und mit Gewalt — gegen die Rheinanwohner erzwungen — gerodet werden mussten (aus der Chronik ist zu berichten, dass mehrfach 30 bis 50 Mann starke Truppen von den aufgebrachten Rheinbewohnern in die Flucht geschlagen wurden), dann kann man erst die ursprüngliche Angst der Bewohner vor Tullas Korrektion und dann ihre Freude über die Fertstellung ermessen. Allein für die Vorbereitung eines derartigen Durchstiches benötigte man seinerzeit rund 3 000 Mann, zuzüglich eines grösseren Kontingents an Soldaten.

Mit den Worten Tullas, die er als Zukunftsvision an den Schluss seines Rheinrektifikationswerkes gesetzt hatte, soll diese Dokumentation über die grösste wasserbauliche Leistung des 19. und 20. Jahrhunderts abgeschlossen werden:

«Wird aber der Rhein rektifiziert sein, so wird alles längs diesem Strom anders werden. Der Muth und die Tätigkeit der Rheinuferbewohner wird in dem Verhältnisse steigen, in welchem ihre Wohnungen, ihre Güter und deren Ertrag mehr geschützt seyn werden.

Das Klima längs des Rheins wird durch Verminderung der Wasserfläche 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 seyn!»

5. HOCHWASSERSCHUTZ-BAUMASSNAHMEN NACH DER TULLASCHEN KORREKTION

Bereits während der Korrektion um die Jahre 1850 stellte sich am Oberlauf unterhalb Basel eine wesentlich stärkere Sohlenerosion heraus, als sie von Tulla und seinen Nachfolgern angenommen und erwartet wurde (Bild 6).

Die freigesetzten Geschiebemassen wanderten über weite Stromstrecken talwärts, um im Uebergangsbereich zum kleineren Längsgefälle zu verlanden. Während dadurch die Hochwasserüberflutungen oberhalb abnahmen, vergrösserten sie sich im unteren Abschnitt. Deshalb wurde nach den grossen Hochwassern von 1876 und 1882/83 ein zweites grosses Hochwasserschutzprogramm durch den Bau eines durchgehenden Hochwasserdammsystems von Basel bis Karlsruhe beschlossen. Die nur gebietsweise vorhandenen alten Hochwasserdämme wurden in dieses durchgehende Dammsystem einbezogen. Damit setzte eine zweite umfangreiche und arbeitsintensive Flussbaumassnahme ein, um auch die Hochwasser bis rund 4 000 m³/s einzudämmen.

Das erforderliche Kiesmaterial wurde aus der Rheinaue entnommen, so dass es sich im wesentlichen um stationäre Handarbeiten handelte. Die Strassen- und Wegezugänge hatte man entweder über die Dämme durch Anrampungen

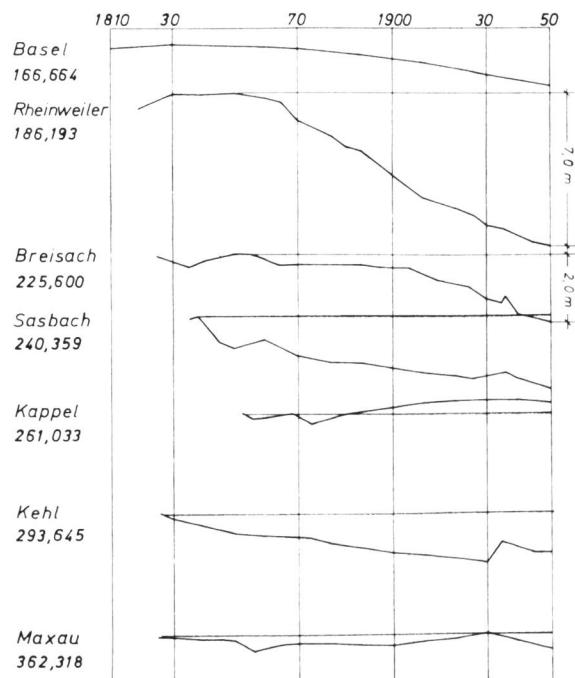


Bild 6 Sohlenerosion des Rheins zwischen Basel und Maxau.

überführt oder aber durch «Dammscharten» durchgeführt (Unterbrechungen des Hochwasserdamms mit eingebauten Widerlagern, in denen sich je zwei ca. 3 m distanzierte Schlitze befinden und die im Falle von Hochwasser durch seitlich gelagerte Holzdammbalken und Steine abgedämmt wurden). Zur Betreuung dieser Dammscharten wurde in jeder Gemeinde eine Hochwasserdammwehr gebildet und durch jährliche Übungen alarmbereit gehalten. Diese Hochwasserwehren waren im Oberrheingebiet zwischen Basel und Kehl bis in die 30iger Jahre noch aktiv, im Abschnitt Kehl—Karlsruhe bis zum Ausbau des Oberrheins durch die nachbeschriebenen Flussbaumassnahmen. Durch diese beiden grossen Wasserbaumassnahmen war der Wildstrom Rhein auch in seinem Hochwasserabfluss auf ca. 2 bis 3 km Breite eingeschränkt, und die Rheindörfer mit ihren Kulturländern wurden weitestgehend geschützt. Doch trotz dieser Hochwasserdämme brach der Rhein immer wieder durch gewaltige Hochwasser aus und zerstörte einzelne Dammsysteme, so beispielsweise letztmals im Jahre 1955.

Deshalb mussten im Rheinabschnitt zwischen Kehl und Karlsruhe in den Jahren 1960 bis 1970 mit einem Aufwand von ca. 12 Mio DM die alten Hochwasserdämme um ca. 2 m erhöht werden.

Was früher unter grösster Not erduldet wurde, musste heute als Hochwasserschaden von über 10 Mio DM registriert und behoben werden. Die Hochwassergefährlichkeit des wilden Rheins hat daher trotz oder wegen des Ausbaues im 19. und 20. Jahrhundert nicht nachgelassen.

Dagegen haben die von der Tullaschen Generation erstellten Rheinuferdämme bis heute im wesentlichen standgehalten. Dies ist um so erstaunlicher, als diese Dämme eine sehr steile wasserseitige Böschung mit Neigungen von 1:1 bis 1:1,5 aufwiesen.

6. WASSERBAUTEN ZUR SCHIFFBARMACHUNG DES OBERRHEINS

6.1 Zustand des korrigierten Rheinbettes

Nachdem durch die Tullasche Korrektion einheitlich ein 200 m breites Flussbett geschaffen wurde, bot sich mit der Entwicklung der Schifffahrt die Chance, den Oberrhein auch als «Verkehrsträger» zu erschliessen. Trotz des regelmässigen 200 m breiten Strombettes war dies deshalb nicht möglich, weil der Rhein in seinem korrigierten Bett adäquate Geschiebe- und Anlandungsvorgänge vollzog, wie früher in der uneingeschwängten Rheinaue. So verlagerte er jährlich nach dem Hochwasser eine Kieselinsel nach der anderen von der einen Seite auf die andere und verhinderte dadurch ein erforderliches gleichmässiges Schiffsprofil. Nur bei mittlerer Rheinwasserführung war eine eingeschränkte, brauchbare Fahrwasserrinne vorhanden.

Es galt daher, den Rheinstrom durch adäquate Flussbauwerke aus der Tullaschen Korrektion, durch sogenannte Buhnen, im korrigierten Rheinbett so zu regulieren bzw. einzuzwingen, dass die angestrebte Fahrwasserbreite von 75 m auf der Strecke Basel—Kehl und von 88 m Kehl abwärts mit einer Mindestfahrwassertiefe von 2 m bei einer Rheinwasserführung, die an 318 Tagen im Jahr nicht unterschritten werden sollte (GIW = Gleichwertiger Wasserstand), erreicht wird. Dieser Niedrigwasser-Regulierungsentwurf, aufgestellt von dem damaligen badischen Oberbaudirektor Honsell, stand im Wettbewerb mit einem Entwurf zur Errichtung eines besonderen Schiffahrtskanals mit Schleusen von 38,50 m Länge und 5,20 m Breite für seinerzeitige Schiffe von 300 t Tragfähigkeit.

Auf Beschluss der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt entschloss man sich zur Rheinregulierung. Sie wurde im Abschnitt Sonderheim/Speyer bis Strassburg im Jahre 1907 begonnen, durch den Krieg unterbrochen und im Jahre 1924 bis Mannheim abgeschlossen. Die anschliessende Rheinregulierung von Mannheim/Rheinau bis Kehl/Strassburg folgte 1920 bis 1930, von Kehl bis Istein in den Jahren 1930 bis 1939, letztere auf nachhaltiges Betreiben der Schweiz, die am Schiffahrtsanschluss grösstes Interesse hatte und deshalb an diesem Unternehmen 60 % der Kosten bestritt. Frankreich als «Angrenzer» beteiligte sich an dieser Wasserbaumaßnahme nicht, weil es sich durch den Versailler Vertrag das Recht auf den Bau eines Rheinseitenkanals zur Ausnutzung der Wasserkräfte ausgehandelt hatte.

6.2 Rheinregulierungsbauwerke

Die erforderlichen Wasserbauten für die Herstellung einer Niederwasserregulierungs-Fahrrinne entsprachen ähnlichen Bauwerksprinzipien, die Tulla für die Korrektion anwandte. Den hydrologischen Naturgesetzen der Spiral- und Querströmung folgend, wurde im geschwungenen Rheinbett eine nochmals in verschiedenen Bögen aufeinanderfolgende Fahrwassergrade festgelegt, die in der Regel im Abstand von km zu km von der rechten zur linken Rheinseite pendelte. Dadurch entsprach die Schiffahrtsrinne dem Mäanderprinzip der freien Pendelung des Abflusses zwischen den Ufern, um bei Wasserständen über den Buhnenrücken eine gleichgerichtete Geschwindigkeitsverteilung im unteren und oberen Teil des Bettes zu erhalten. Ansonsten wäre der gerade in diesem Zustand vorhandene Geschiebebetrieb durch Querströmung so gestört worden, dass mit örtlichen Geschiebestauungen in der Schiffahrtsrinne gerechnet werden musste. Um dieses geschwungene Fahrwasserprofil zu schaffen, wurden jeweils rechts und links, am Ufer beginnend, Buhnen im Abstand von ca. 80 bis 100 m etwa senkrecht in das Rheinbett hineingebaut. Die Buhnen selbst entsprachen wiederum Tullas Bauwerken, die anfangs aus Faschinen mit eingepackten Steinwürsten in einzelnen Lagen durch «Senkbrücken» (zwei zusammengekoppelte Schiffskörper mit je 26,0 m Länge und 4,0 m Breite) nach einem bestimmten Verlegesystem hergestellt wurden. Dabei musste der Rheinstrom drei Funktionen übernehmen, nämlich:

- das Ausräumen des angestrebten Fahrwasserprofils,
- das Einkiesen der Buhnen und deren Zwischenfelder,
- geringe Anhebung der Niedrigwasserstände (Bilder 7 und 8).

Diese Aufgabe vollzog der Rhein im wesentlichen plan und bedingungsgemäss. Von besonderem Interesse dürfte sein, dass die Wasserbauer «Vater Rhein» auch noch einen Teil der Buhnenherstellung aufbürdeten. Diese, in der Regel aus drei bis vier Lagen Senkwürsten (mit Durchmesser von ca. 60 bis 80 cm) bestehend, wurden jeweils immer nur in einer Lage so abgeworfen, dass die erste um etwa die halbe Länge aussermittig stromabwärts gelegt wurde, um vom Strom in einer Zwischenphase von ca. $\frac{1}{2}$ Jahr (Durchlauf einer Hochwasserwelle mit Geschiebegang) die obere Hälfte mit Kies aufgefüllt zu erhalten.

Im 2. Halbjahr wurde dann die 2. Lage auf die zwischenzeitlich vorausgekieste Buhne um nur noch etwa $\frac{1}{4}$ der Länge aussermittig abgelegt. Erst die 3. oder 4. Senkwurst kam dann in die Achse zu liegen.

Selbstverständlich war durch die erneute Krümmung das alte «Tullasche Rheinkorrektionsbett» an den Stellen, an denen die Fahrwasserrinne hart an die rechte oder



Bild 7 Senkbrücke aus der Regulierungszeit 1935.

linke Rheinuferseite anlangte, am Prallhang, sehr stark gefährdet. Mit Leitwerken (Senkwürste in Längsrichtung an den Uferfuss verlegt) konnte eine zusätzliche Sicherung durchgeführt werden.

Durch dieses Regulierungsbauvorhaben wurde der Rhein gezwungen, in zahlreichen Abschnitten sein eigenes Flussbett umzulagern. An Stelle einer Kiesinsel, die beispielsweise bei km 246,00 auf der rechten Rheinseite lag und gegenüberliegend den tiefsten Querschnittsbereich hatte, musste aufgrund der vorgeschriebenen Gradienten der Schiffahrtsrinne an dieser Stelle das Fahrwasser verlaufen. Durch den Buhnenbau mit den sich dadurch einstellenden Verlandungen der Buhnenfelder entstanden künstliche Auflandungen.

Trotzdem trat keine zusätzliche Hochwassergefährdung ein, weil der Rhein naturgemäß infolge einer weiteren Querschnittsverengung seine Durchflussgeschwindigkeit und damit seine Erosionskräfte erhöhte und eine zusätzliche Sohlenerosion bewirkte. Man versuchte, diese Erosion durch Einbau von Grundschwällen (buhnenartige Gebilde aus ein bis zwei Lagen von Senkwürsten), im Schiffahrtsprofil verlegt, zu bremsen. Der Erfolg blieb leider aus und



Bild 8 Senkwürste für den Bau von Buhnen zur Niederwasserregulierung des Oberrheins.

zwar deshalb, weil vor allem die Schiffahrt durch den durch die Grundschenken erzeugten Wellengang über den Grundschenken zu stark beeinträchtigt wurde und unterhalb der einzelnen Schwellen sich derartige Kolke einstellten, dass die Grundschenken wieder beseitigt werden mussten.

7. WASSERBAUTEN DES OBERRHEINAUSBAUES

7.1 Rheinseitenkanal: Basel / Kembs — Breisach / Vogelgrün

Unbeschadet der ausgeführten Rheinregulierung durch das Gemeinschaftsunternehmen Deutschland—Schweiz entschloss sich Frankreich, das im Versailler Friedensvertrag zugestandene Recht auf Ausbau des Oberrheins zur Kraftwasserstrasse auszuüben. Die erste Staustufe Kembs wurde 1928/30 noch von Deutschland erstellt. Ihr Bau lag damals auch im Interesse der Schweiz und Deutschlands, weil damit die «Isteiner Schwellen» (natürliche Felsenbarrieren), die für die Schiffbarmachung hinderlich waren, umgangen werden konnten. Mit den nach dem Zweiten Weltkrieg von Amerika zum Wiederaufbau Europas bereitgestellten Marshall-Geldern begann Frankreich 1948 mit einem grosszügigen Ausbau des sogenannten «Rheinseitenkanals» oder «Grand Canal d'Alsace». Mit dem Aufgebot aller in der Zwischenzeit entwickelten Grossbaugeräte erstellte Frankreich durch die staatliche Energiegesellschaft Electricité de France (EdF) den Rheinseitenkanal von Kembs bis Breisach mit drei weiteren Staustufen:

- Ottmarsheim, 1952
- Fessenheim, 1956
- Vogelgrün, 1959.

Der Kanal konnte jeweils im Trockenen ausgehoben und mit einem einheitlichen Profil:

Sohlenbreite = 80 m
Wasserspiegelbreite = 130 m
Kanaltiefe = 9 m
ausgebaut werden.

Die Schleusenanlagen — bestehend aus zwei Kammern mit 12×185 m und 24×185 m Längen sowie 14 bis 15 m Fallhöhen — welche als Auflage der internationalen Rheinzentralkommission zur Erhaltung der freien Rheinschiffahrt von der EdF gebaut, finanziert, unterhalten und betrieben werden mussten, waren ebenfalls zusammen mit den Kraftwerken im Trockenen zu erstellen, so dass sich wasserbaulich gesehen keine besonderen bautechnischen Probleme ergaben. Die Seitendämme dieses im Oberlauf im Einschnitt liegenden Kanalabschnittes, im Unterlauf bis zu 13 m über Gelände ragenden Dammsystems, wurden wasserseitig mit einer Betonplattenabdeckung versehen, die Sohle blieb bis auf die Einfahrten in die Schleusenvorhäfen sowie vor den Kraftwerkseinrichtungen ohne Befestigung.

7.2 Schlingenlösung Breisach/Vogelgrün — Kehl/Strassburg

Ab Breisach wurde im Zusammenhang mit einer internationalen Abmachung zur Schiffbarmachung der Mosel durch Frankreich ein von Deutschland angestrebtes Konzept für den weiteren Ausbau des Oberrheins nach dem Prinzip der sog. «Schlingenlösung» realisiert und hierfür mit Frankreich im Jahre 1956 ein Vertrag abgeschlossen.

Um die aussergewöhnlichen Eingriffe in die Landschaft und Störungen im Wasserhaushalt bei einem Weiterbau des Rheinseitenkanals zu vermeiden, wurde das Rhein-

wasser unterhalb des Kraftwerk Vogelgrün ab Breisach in das Tullasche Rheinbett zurückgeleitet. Erst in der 2. Hälfte der Stauhaltung wird das Rheinwasser durch ein Stauwehr wieder in den früher durchgehend geplanten Rheinseitenkanal umgeleitet. Dieses System wiederholt sich bei jeder Staustufe. Durch dieses Verfahren war es der EdF als Bauträgerin möglich, die in der Gründung sehr komplizierten Grossbauten für die Schleusen, das Wehr und das Krafthaus im Trockenen zu erstellen, ohne die freie Schiffahrt zu stören. Die alten Rheindämme aus der Tullaschen Korrektionszeit mussten jedoch entsprechend dem Aufstau um ca. 8 m erhöht werden. Nach diesem Prinzip wurden die Staustufen:

- Marckolsheim, 1961
 - Rhinau, 1963
 - Gerstheim, 1965
 - Strassburg, 1967
- erstellt.

7.3 Die neuen Rheindämme

Die von der EdF zwischen Breisach und Strassburg erhöhten Rheindämme sind technisch von besonderem Interesse, weil sie keine klassische Kerndichtung erhalten haben. Die EdF hatte nämlich trotz Modellversuchen, nach denen eine Kerndichtung erforderlich gewesen wäre, versuchshalber darauf verzichtet und lediglich das aus der Seitenentnahme gewonnene, stärker humusierte Kiesmaterial als Kerndichtung zusammengeschoben. Zur Aufnahme des Sickerwassers vom Rhein her und zur Abführung des durch den Aufstau über Gelände tretenden Grundwassers wurden rechts und links der erhöhten Dämme Sickerkanäle angeordnet, die in das jeweilige Unterwasser der einzelnen Stauehre entwässerten.

Bei Inbetriebnahme der Stauhaltungen durch rigoroses kurzfristiges Aufstauen wurden diese Dämme so stark durchsickert, dass innerhalb kurzer Zeit rechts und links über die Sickerkanäle je bis zu $25 \text{ m}^3/\text{s}$ abflossen. Doch stellte sich im Hinblick auf die stark schwebstoffführende Sommerwasserförderung des Rheins — zweifelsohne begünstigt durch die kolloidalen Stoffe der Basler Abwässer — sehr schnell eine natürliche Dichtung ein. Es entstand ein dünner Dichtungsfilm. Er verhinderte die Durchsickung innerhalb eines halben Jahres auf rund $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Nach etwa zwei Jahren war der Damm dicht.

Diese natürliche Selbstdichtung wurde allerdings durch ein ebenso rigoroses, vorübergehendes Abstaumanöver — zur Nachprüfung der neuen Dämme — jäh zerstört. Die entstandene dünne Dichtungshaut wurde durch den zu schnellen Abstau von rückwärts her durch das im Dammkörper sich befindende Sickerwasser aufgerissen. Beim Wiederaufstau entstand an den aufgerissenen Dichtungshaut-Stellen ein derartig konzentrierter Wasserdruck, dass im unteren Staubereich (bei etwa 8 m Wasserspiegendifferenz) schlagartig am Dammfuß Sickerquellen grosser Mächtigkeit entstanden sind.

Die EdF versuchte daraufhin, diese Sickerstellen zuerst durch eine umfangreiche Sandschüttung auf den wasserseitigen Dammfuß zu stoppen, jedoch ohne Erfolg. Der Sand wurde durch die reissende Strömung und die inzwischen immer weiter gewordenen Sickeradern durchgespült. Selbst ein zusätzliches Einspritzen von Bentonit war nur stellenweise erfolgreich.

Nur mit einer klassischen Spundwanddichtung konnte schliesslich wieder eine Dichtung erreicht werden.

8. WASSERBAUTEN FÜR BESONDERE WASSERWIRTSCHAFTLICHE AUFGABEN

8.1 Bau von festen Rheinschwellen in den Rheinabschnitten unterhalb der Stauwehre

Um eine Grundwasserabsenkung in den Rheinbereichen zu verhindern, in denen durch Umlenkung des Rheinwassers bis zu 1 400 m³/s in den unteren Rheinseitenkanalabschnitt nur noch eine Pflichtwassermenge von 15 m³/s durchfliessen würde, hatte sich Frankreich verpflichtet, zur Erhaltung eines mittleren Rheinwasserstandes zwei bis drei feste Wehrschenken je Stauhaltung zu errichten. Diese Schwellen sind einfache technische Anlagen. Sie bestehen aus einer einreihigen Spundwand, abgedeckt mit Längsholmen und abgestrebt durch Stahl-Schrägholme. Als Sturzbettsicherung wurde eine ca. 2 m dicke und 20 m lange Betonplatte, gegen Unterströmung mit einer ca. 8 m unter Sohle geschlagenen Spundwand, gesichert; die Wehrhöhe liegt bei den verschiedenen Wehren zwischen 3 und 4 m.

Trotz der technisch einfachen Konzeption haben sich diese festen Schwelleneinbauten bisher gut bewährt. Die Wehre selbst brachten der Stromlandschaft einen neuen Charakter, indem — bis auf Hochwasserzeiten — die einzelnen Staubereiche zu Stauseen geworden sind. Die angestrebten Erfolge zur Erhaltung und Sicherung der Grundwasserstände wurden erreicht.

8.2 Ausbau der Altrheine zur Grundwasseranreicherung und -stützung

Durch die ab Breisach praktizierte Schlingenlösung konnten die zu befürchtenden Grundwasserabsenkungen — infolge des ursprünglich geplanten Seitenkanalsystems nach Strassburg — nicht nur vermieden werden, sondern durch die Stauregelung war es sogar möglich, die bereits als Auswirkung der Tullaschen Rheinkorrektion im Raum Breisach/Kappel eingetretene Sohlenerosion in der Grösstenordnung von ca. 1 bis 2 m auszugleichen.

Dazu wurden außer den Sickerkanälen zusätzlich «Rheinspeisungsbauwerke» im oberen Drittel der jeweiligen

Stauhaltung angelegt, aus denen dem Rhein je nach Wasserführung ca. 0,5 bis 1,0 bis 2,0 m³/s Speisungswasser entzogen werden. Durch Ausbau, d. h. teilweises Ausbagern der schon stellenweise verlandeten Altrheine, durch Einbau von kleineren Stau- und Wehranlagen im Sickerkanalsystem und in den neu geschaffenen Altrheinzügen, konnte der Grundwasserspiegel im Raum Breisach/Sasbach über das eingetretene Absenkungsmass infolge der Rheinerosion bis auf 3 bis 4 km landeinwärts erhöht werden.

Den Wasserbauern wurden hierbei neben den eigentlichen Bauwerken am Rhein neue wasserwirtschaftlich und landeskulturell interessante und verantwortungsvolle Aufgaben übertragen.

8.3 Kulturwehr Breisach (Bilder 10 und 11)

Ein Wasserbauwerk von besonderer wasserwirtschaftlicher Bedeutung ist das Kulturwehr in Breisach. Es wurde im Zusammenhang mit dem Beschluss auf den Ausbau des Oberrheins ab Breisach nach der sog. Schlingenlösung auf Kosten der Bundesrepublik Deutschland ausschliesslich für wasserwirtschaftliche Zwecke erstellt, um die bereits in Breisach infolge Erosion eingetretene Grundwasserabsenkung und die durch den Bau des Rheinseitenkanals bis Breisach zu erwartende weitere Absenkung um ca. 2 m (durch Entzug des gesamten Rheinwassers bis zu einer Wasserführung von rund 1 400 m³/s) auszugleichen. Mit einem Aufwand von rund 25 Mio DM ist dieses Bauwerk schon eine einmalige wasserwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Leistung. Durch das Wehr konnte nicht nur die befürchtete Absenkung um 4 m vermieden werden, es gelang auch, den Grundwasserspiegel durch ein besonderes Regulierungssystem im Zusammenwirken mit einem vorhandenen Gewässer, der Möhlin, (die gleichzeitig auch ein regulierbares Stauwehr erhielt) oberhalb Breisach bis zum Tuniberg (ca. 10 km landeinwärts) zu beeinflussen.

8.4 Hochwasserüberflutungsbaumassnahmen

Da in den Rheinabschnitten, in denen das Rheinwasser zwar im alten Rheinbett verblieb, jedoch aufgestaut und



Bild 9
Altrheingewässer bei Kappel.



Bild 10
Bau des Kulturwehrs Breisach am Oberrhein, Stand 5. August 1963; links das Städtchen Breisach.

durch Dämme bis zum Katastrophennasserabfluss von 6 000 m³/s eingefasst wurde, keine Hochwasserüberflutungen mehr eintreten können, sind in den unterliegenden Bereichen mit den festen Rheinschwellen ausgleichende Massnahmen geplant und teilweise schon verwirklicht. Es werden dazu zur Zeit im Abstand von je ca. 2 km senkrecht zum Rheinlauf sog. Stauriegel (kleine Staudämme) geplant. Sie sollen in Zeiten hoher Rheinwasserführung über eine zusätzliche Speisung der Altrheinzüge durch eingebaute Regulierwehre überstaут werden, um kurzzeitige Grundwasserschwankungen und damit die natürlichen Durchfeuchtungen und Bodenbelüftungen wieder herzustellen. Entsprechende Grossversuche waren bisher erfolgversprechend.

Diese wasserwirtschaftlichen und kulturbaulichen Flussbaumassnahmen mussten mit besonderen landschaftsver-

bundenen Bauwerken und Baumethoden hergestellt werden, um den notwendigen Eingriff in diese Naturlandschaft so gering wie möglich zu halten. Außerdem musste ein umfangreiches Beobachtungsnetz an Oberflächen- und Grundwasser-Pegelanlagen eingebaut werden, die allein im Abschnitt Breisach/Kappel auf rund 35 km Länge rund 200 Messstellen erforderlich machten.

9. FOLGEN DER HOCHWASSERSCHUTZ- UND WASSERBAUTEN AM OBERRHEIN

Durch den Ausbau des Hochrheins durch Kraftwerke für die Energiegewinnung, des Oberrheins durch Kraftwerke und Schifffahrtsanlagen, verstärkt auch durch den Ausbau der schweizerischen Gewässer hätten sich unterhalb der Ausbaustrecke Strassburg zwei ursächlich zusammenhängende Folgewirkungen eingestellt:



Bild 11
Die Oberrheinebene zwischen Basel und Breisach; vorn in Bildmitte Stadt und Kulturwehr Breisach.

- eine zunehmende Erosion unmittelbar unterhalb der Ausbaustrecke der letzten Staustufe Strassburg,
- Eine Erhöhung und Beschleunigung der Hochwasserwellen.

Beide Erscheinungen stellen den Wasserbauern neue grosse Aufgaben.

9.1 Erosionsfolgen aus den Hoch- und Oberrheinbauten

Durch die zusammenhängenden Stauketten von Hoch- und Oberrhein bis Strassburg wäre der Rhein geschiebelos auf die aus relativ feinem Kiesgefüge anstehende, bewegliche Rheinsohle getroffen und hätte diese aufgrund seines Bedürfnisses zur Geschiebeanreicherung und zum Ausgleich seiner Erosionskräfte binnen weniger Jahre ähnlich wie unterhalb Basel nach der Tullaschen Korrektion erodiert.

Bereits beim Bau der einzelnen Staustufen musste diese Erosionswirkung festgestellt werden. So grub sich der Rhein innerhalb von drei Jahren während der Bauzeit der Staustufe Gerstheim im Bereich unterhalb der oberen Kraftwerksanlage um 3 m ein und bildete auf ca. 3 bis 4 km Länge einen Erosionskeil aus. Da Frankreich nach dem Bau der letzten Staustufe Strassburg kein Interesse mehr am Rhein-Kraftwerkausbau bis zur Lauterburger Grenze hatte, musste befürchtet werden, dass die Rheinsohle und damit auch der Rheinwasserspiegel unterhalb Strassburg — wie im Stauraum Gerstheim — innerhalb weniger Jahre um einige Meter absinken würde. Dies hätte verheerende Folgen für die gesamten Strassburger und Kehler Hafenanlagen gebracht. Allein zur Verhinderung dieser Folgen entschlossen sich daraufhin Frankreich und Deutschland, den Rheinabschnitt unterhalb Strassburg gemeinsam auszubauen.

9.2 Oberrheinausbau zwischen Kehl-Strassburg und Neuburgweier-Lauterburg

Die Bundesrepublik Deutschland und Frankreich haben deshalb untersucht, durch welche strombaulichen Massnahmen die Erosion des Rheinbettes unterhalb der Stufe Strassburg verhindert werden kann. Als Ergebnis der Untersuchungen wurde am 4. Juli 1969 der deutsch-französische Vertrag über den Ausbau des Rheins zwischen Kehl/Strassburg und Neuburgweier/Lauterburg abgeschlossen.

Danach bauen die Bundesrepublik Deutschland und die Französische Republik gemeinsam

die Staustufe Gamsheim bei Rhein-km 309,1
die Staustufe Iffezheim bei Rhein-km 334,0.

Die Staustufen bestehen im wesentlichen aus einem Querdamm im Strombett, einem beweglichen Wehr auf der einen Rheinseite, einer Schleusengruppe und einem Kraftwerk auf der anderen Rheinseite, Seitendämme mit Seitengräben längs der Stauhaltungen und den erforderlichen Nebenanlagen.

Bauherr für die Staustufe Gamsheim ist die Französische Republik, für die Staustufe Iffezheim die Bundesrepublik Deutschland. Die Kraftwerke an den beiden Staustufen werden von zwei deutsch-französischen Gesellschaften gebaut und betrieben. Partner dieser Gesellschaften sind je zur Hälfte die Badenwerk AG und die EdF.

9.3 Planungen gegen Erosionswirkungen unterhalb der Ausbaustrecke

Da mit Sicherheit zu erwarten ist, dass sich die Erosionskräfte auch unterhalb der letzten Stauwehranlage «Gamsheim» erneut — wenn auch gemässigter und auf eine grö-

sere Zeitspanne verteilt — auswirken werden, mit entsprechenden Folgen für den Hafen Karlsruhe und das Grundwasser dieses Gebietes, haben sich Deutschland und Frankreich vorerst geeinigt, eine 3. Staustufe nach dem Prinzip der oberliegenden Werke bei «Neuburgweier» zu erstellen.

Für den Rheinabschnitt unterhalb dieser geplanten Staustufe stehen als wasserbauliche Gegenmassnahmen zur Verhinderung weiterer Erosionsschäden drei Vorschläge zur Diskussion:

- Sicherung der Rheinsohle durch Auflage einer ca. 80 bis 100 cm starken Grobkiesauflage mit ϕ von 10 bis 15 cm als sogenannte «Panzerung»,
- Zugabe von jährlich rund 200 000 bis 300 000 m³ Kies als Geschiebeersatz, um eine lokale Sättigung des Geschiebedürfnisses des Rheins künstlich zu befriedigen,
- Bau weiterer Staustufen.

Der Vorschlag a) wurde bereits durch Modell- und Naturversuche geprüft. Die Ergebnisse waren negativ, weil auch eine gepanzerte Rheinsohle den Erosionskräften mit gleichzeitiger Belastung durch die Schifffahrt nicht standhalten würde.

Der Vorschlag b) wird zur Zeit nach einem Modellversuch in der Natur durch ein grossangelegtes Programm beim Wasser- und Schifffahrtsamt Offenburg geprüft. Sollte auch dieser Naturversuch negativ verlaufen, müsste der Oberrhein wahrscheinlich durch weitere Staustufen — allerdings auf grössere Zeitabschnitte verteilt — weiter ausgebaut werden.

9.4 Hochwassergefährdung des Rheinbereiches unterhalb Karlsruhe

Durch das bereits angesprochene Hochwasser von 1955 wurde erstmals richtig erkannt, dass die Hochwasserspitzen des Hoch- und Oberrheins infolge Wegfalls der Ueberflutungszonen innerhalb der Rheinaue nunmehr mit den HW-Spitzen von Neckar und Main zusammentreffen und dort die Ueberflutungsgefahren wesentlich vergrössern. Deshalb müssen Massnahmen geplant werden, um diese zusätzlichen Hochwassergefahren zu verhindern.

Zur Prüfung der Hochwasserabflussverhältnisse infolge Ausbau aller oberliegenden Gewässer und Seen wurde 1968 eine internationale Hochwasser-Studienkommission für den Rhein unter Beteiligung von Vertretern aus der Schweiz, aus Frankreich und Deutschland gebildet.

9.5 Aufgaben der Hochwasser-Studienkommission für den Rhein

Die Aufgaben dieser Kommission wurden bei deren Gründung am 21. Juni 1968 durch die Regierungsvertreter der beteiligten Staaten festgelegt:

- Feststellung der Hochwasser und ihre Entwicklung vom Beginn der Aufzeichnungen an;
- Einflüsse des Ausbaues des Rheins, seiner Nebenflüsse und der Seen auf die Hochwasser. Der heute schon übersehbare künftige Ausbau des Rheins, seiner Nebenflüsse und der Seen sind einzubeziehen.
- Derzeitiger Stand des Hochwasserschutzes;
- Empfehlungen für Massnahmen gegen die durch die Ausbaumassnahmen nach Ziff. 2 vergrösserte Hochwassergefahr.

Die Untersuchungen der Kommission sind inzwischen soweit fortgeschritten, dass Massnahmen gegen die erhöhten Hochwassergefahren vorwiegend durch Hochwasserrückhaltungen vorgeschlagen werden, die den Verlust

an den natürlichen Ausuferungsgebieten ausgleichen sollen.

Mit der Planung und dem Bau grosser Hochwasserräume kommen auf die Wasserbauer neue grosse Hochwasserschutz- und Wasserbauaufgaben zu!

QUELLENANGABEN:

1. Beitrag zur Untersuchung der Hochwasserverhältnisse am Oberrhein zwischen Basel und Maxau.
(Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Baden-Württemberg)
2. Der Oberrhein — sterbende Landschaft
(Prof. Wilhelm Schäfer, Senkenberginstitut, Frankfurt)
3. Johann Gottfried Tulla:
(Festschrift der Technischen Universität Karlsruhe)

Adresse des Verfassers:

Regierungsbaudirektor Dipl.-Ing. E. Kunz
Vorstand des Wasser- und Schiffahrtsamtes
Stadtstrasse 5, D-78 Freiburg i. Br.

Bildernachweis:

Bild Nr. 1 Oeffentliche Kunstsammlung, Basel; Nrn. 7/11 E. Kunz.

Wasserbauliche Massnahmen in der Gebirgsstrecke des Rheins zwischen Bingen und St. Goar

Karl Langscheid und Klaus Neven

DK 627.1 (282.243.1)

1. STROMBAUGESCHICHTE

Der Rhein bietet sich uns heute als leistungsfähige Wasserstrasse mit festgelegten, gut gesicherten Ufern, mit einer bei allen Wasserständen durchgehend benutzbaren Fahrinne und versehen mit Einrichtungen für die Verkehrsregelung dar, auf der moderne Schiffe in grosser Anzahl Güter wirtschaftlich und sicher befördern. Der Beobachter ist sich wohl kaum bewusst, welcher Anstrengungen und Kosten es bedurfte, den Urstrom «Rhein» zur meistbefahrenen Binnenwasserstrasse der Welt auszubauen.

Der Strombau in der Gebirgsstrecke wurde ausschliesslich von den Erfordernissen der Schiffahrt geprägt, zum Unterschied von Ober- und Niederrhein, wo daneben der Hochwasserschutz, die Erhaltung der Ufer und die Festlegung des Stromstriches eine grosse Rolle spielten. Infolge des engen und steilen Flusstales der Gebirgsstrecke konnte der Strom hier nicht ausufern.

Vor der Erfindung der Dampfmaschine wurde Schiffahrt auf dem Rhein in der Form betrieben, dass sich die Schiffe talwärts mit der Strömung treiben liessen, zuweilen unterstützt durch Segel. Auf der Bergfahrt wurde in der Regel mit Hilfe von Pferden getreidelt, wobei der Schiffahrtsweg in Ufernähe verlaufen musste. Von besonderer Bedeutung war dabei der Leinpfad, der wegen der örtlichen Verhältnisse jedoch nicht durchgehend vorhanden war. Um diese Stromstrecken überwinden zu können, musste mit Menschenkraft getreidelt oder gerudert werden.

Bis zum 19. Jahrhundert hat es zwar nicht an Versuchen gefehlt, örtliche Verbesserungen des Wasserweges vorzunehmen, diese beschränkten sich jedoch mit Ausnahme des Binger Lochs im wesentlichen auf den Ausbau und die Unterhaltung der Leinpfade.

Erst nach der Vereinigung eines grossen Teils des Mittel- und Niederrheins unter preussischer Staatshoheit Anfang des vorigen Jahrhunderts wurden die Arbeiten zur Sicherung der Ufer und zur Verbesserung der Wasserstrasse in verstärktem Masse in Angriff genommen. Im Jahre 1851 wurde die Rheinstrom-Bauverwaltung beim Oberpräsidenten der Rheinprovinz beauftragt, die Rheinregulierung durchzuführen.

Der Ausbauplan sah vor, für die Gebirgsstrecke aufgrund einer Vereinbarung zwischen Preussen und Nassau

als Ausbauziel — bei einem gemittelten Niedrigwasserstand von 1,50 m am Pegel Köln — eine Wassertiefe von 2,00 m zwischen Bingen und St. Goar bei einer Fahrinnenbreite von 56,30 m (15 Ruthen) für die Bergfahrt und 75,30 m (20 Ruthen) für die Talfahrt herzustellen. In Strecken ohne Fahrwasserspaltung sollte die geringste Breite 113 m (30 Ruthen) betragen.

Unterhalb des Binger Lochs, zwischen Assmannshausen und St. Goar, wurden bis zum Jahr 1900 im wesentlichen folgende Baumassnahmen ausgeführt:

- Bau von Buhnen zwischen Assmannshausen und Bacharach
- Verbindung des kleinen Lorcher Werths mit dem grossen Lorcher Werth durch ein Leitwerk
- Vorschubung des Ufers vor Bacharach zur Herstellung einer Anlegestelle für Dampfschiffe
- Felssprengungen und Bau eines Leitwerks im Bereich des «Wilden Gefährs»
- Felssprengungen, Baggerungen und Bau des 1,5 km langen Leitwerks zwischen Kauber Werth und der Kauber Pfalz zur Herstellung des Kauber Wassers mit einer Fahrinnenbreite von 60 m
- Felsbeseitigung zwischen Oberwesel (Rossstein) und Loreley
- Felssprengungen zwischen dem Geisenrücken und dem linken Ufer zur Schaffung eines zweiten Fahrwassers
- Bau eines 700 m langen, 2 m über Hochwasser liegenden Parallelwerks unterhalb der Loreley; die am rechten Ufer entstandene Bucht wird seitdem als Schutz- und Sicherheitshafen genutzt.

Nach Abschluss dieser Arbeiten, bei denen unter anderem 33 000 m³ Fels unter Wasser gesprengt und abgeräumt wurden, war die Rheinregulierung zwischen Assmannshausen und St. Goar abgeschlossen und das angestrebte Ausbauziel erreicht.

Am Binger Loch, beim Eintritt des Rheins in das Rheinische Schiefergebirge, versperrte eine außerordentlich harte Quarzitrippe, das Binger Riff, dem Strom den Weg. Selbst in vielen Jahrtausenden konnte der Fluss den harten Fels nicht abtragen.

Diese Quarzitrippe bildete ein natürliches Wehr, das sich quer über den Strom erstreckte und in der Regel zur