

Zeitschrift: Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft
Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft
Band: - (2005)

Artikel: Hydrotechnische Entwicklungen
Autor: Vischer, Daniel / Kalt, Leo
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-832682>

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: 30.01.2026

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

Hydrotechnische Entwicklungen

Daniel Vischer (Wallisellen) und Leo Kalt (St. Gallen)

1 FLUSSKORREKTIONEN

Als erste schweizerische Flusskorrektion wird meist die 1711–1714 verwirklichte Kanderumleitung in den Thunersee bezeichnet. Dort entschieden die dafür zuständigen «Gnädigen Herren von Bern» ziemlich eigenmächtig über das Wohl ihrer Untertanen. So wurde insbesondere den begründeten Protesten der Thuner und der anderen Seeanwohner gegen das Werk nicht Rechnung getragen, was dann Nachbesserungen erforderte, die bis weit ins 19. Jahrhundert hinein dauerten (VISCHER, 2003). Ganz anders war es bei der Linthkorrektion von 1806–1816. Dort wollten republikanisch gesinnte Kreise der ortsansässigen Bevölkerung eine bessere Lebensgrundlage schaffen. Das wurde anfänglich zwar von dieser Bevölkerung eher misstrauisch aufgenommen. Als sich aber am Ufer des Walensees bis nach Walenstadt sowie in der oberen Linthebene die Erfolge rasch und überzeugend einstellten, erhielt die Linthkorrektion den Nimbus einer grossen nationalen Tat und diente als Vorbild für weitere flussbauliche Vorhaben (Abb. 1.1).

1.1 Die Hinterrheinkorrektion im Domleschg von 1832–1892

Eine der ersten schweizerischen Flusskorrektonen nach der Linthkorrektion betraf den Hinterrhein im Domleschg. Wie immer in solchen Fällen gab eine Reihe von verheerenden Hochwassern den Anstoss dazu. Vorerst wurde als Träger eine Aktiengesellschaft unter Beteiligung des Kantons Graubünden und der Gemeinden gegründet. Dann begannen 1832 in Rodels und Cazis die Bauarbeiten unter der Leitung des Bündner Oberingenieurs Richard La Nicca (1794–1883). Bereits 1834 stellte ein erneutes Hochwasser das begonnene Werk auf die Probe, ohne grösseren Schaden anzurichten.

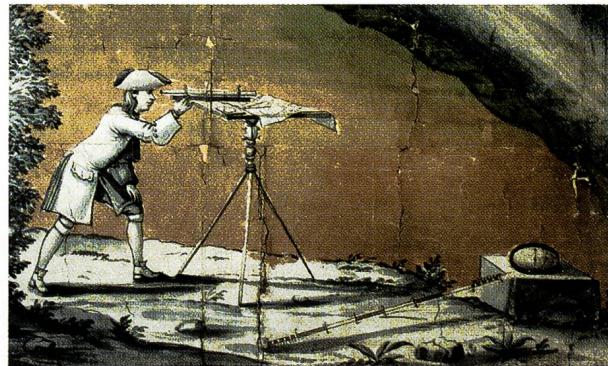


Abb. 1.1. Feldmesser in Stein am Rhein, 1730. Grösse Flusskorrektonen bedurften genauer Karten (Abbildung Museum Lindwurm, Stein).

Als einige Jahre später keine weiteren Aktien verkauft werden konnten und das Geld ausging, übernahm der Kanton Graubünden die Gesellschaft, vermochte aber mangels eigener Mittel die Arbeiten auch nicht zügig voranzutreiben. Letzteres geschah erst wieder, als der Bund aufgrund des Eidgenössischen Wasserbaupolizeigesetzes von 1877 Beiträge von 30 und dann 40% an die Kosten ausrichtete. 1892 war das Projekt La Nicca auf seiner ganzen Länge von Cazis bis Rothenbrunnen abgeschlossen.

Der Talboden des Domleschg bestand vor der Hinterrheinkorrektion in weiten Teilen aus Sand- und Kiesfeldern, das heisst aus Geschiebeablagerungen. Es galt also, dem Hinterrhein auf diesem Talboden einen eindeutigen Weg zuzuweisen und die ausserhalb davon liegenden Sand- und Kiesfelder einer landwirtschaftlichen Nutzung zuzuführen. Das geschah mit einer Methode, die bei anderen schweizerischen Flusskorrektonen Nachahmung fand und hier deshalb beschrieben werden soll: Zuerst wurde das zukünftige Hinterrheinbett als gestrecktes und einarmiges Gerinne festgelegt. Die entsprechenden Ufer bezeichnete man auf den Plänen als Korrektionslinien. Dann begann man von den beiden Talflanken her und praktisch rechtwinklig zu diesen Dämme zu schütten, die

schliesslich bei den Korrektionslinien endeten und dort mit Blöcken rundum gesichert wurden. Diese Sporren zwangen den Hinterrhein sukzessive in sein neues Bett, wo er sich eintiefe. Dann verband man die Sporrenköpfe mit so genannten Längswuhren und dämmte den Fluss damit ein. Links und rechts davon blieben also grosse vier-eckige Teilflächen zurück, die jeweils von einer Längswuhr, zwei Sporren und einer Talflanke eingefasst wurden (BISCHOFF A., 2001).

Diese abgeschlossenen Teilflächen dienten in der Folge als Kolmationsfelder. Das heisst, sie wurden temporär mit stark schlammhaltigem Wasser aus der bei Thusis in den Hinterrhein mündenden Nolla beschickt und überflutet. Dabei setzte sich der Schlamm ab, erhöhte so den Boden und machte ihn gleichzeitig fruchtbar. Pro Hektare wurden etwa 9000 m³ Schlamm benötigt (BISCHOFF CH., 1977), was einer Schlammhöhe von durchschnittlich 0,9 m entsprach. Mit einer solchen Kolmation oder Aufschlämmung der Felder bediente man sich einer seit Alters bekannten Bewässerungstechnik.

1.2 Die Korrekturen weiterer Zuflüsse des Alpenrheins

Die untersten Strecken der Landquart und der Ill weisen mit dem Unterlauf des Hinterrheins eine gewisse Ähnlichkeit auf, das heisst, sie durchmessen zum Teil breite Talböden. Deshalb wurden sie bald auf die gleiche Weise korrigiert – die Landquart beispielsweise von Küblis bis zum Rhein in den Jahren 1876–1895 und später.

Die Verbauung dieser und aller anderen Zuflüsse des Alpenrheins geschah in erster Linie zum Schutz ihrer Anwohner vor Überschwemmungen, Überschotterungen oder Erosionsschäden sowie zur Gewinnung von Kulturland. Bei den eigentlichen Wildbächen kam auch noch die Forderung nach Geschieberückhalt dazu. Diese Forderung wurde zum ersten Mal explizite von den Verantwortlichen der Linthkorrektion von 1806–1816 erhoben. Durch ihr Werk wollten sie ja der fortschreitenden Aufschotterung der Linthebene Einhalt gebieten. Das konnte dauerhaft nur gelingen, wenn der Geschiebeanfall durch die Linth und deren Seitenbäche erheb-

lich vermindert wurde. Deshalb entstanden im Einzugsgebiet der Linth ab 1840 auch die ersten modernen Wildbachverbauungen, und zwar aufgrund eines Gutachtens des Landesingenieurs von Tirol, Josef Duile (1776–1863). Sie umfassten Hangsicherungen in den Erosionstrichtern im Oberlauf, Sperrentreppen in den Schluchten (Tobel, Klamm) des Mittellaufs und Geschiebeauffangräume und Schussrinnen auf dem Schuttkegel im Unterlauf, beziehungsweise im Mündungsbereich. In gewissen Fällen wurden sie auch mit Lawinenverbauungen kombiniert.

Wie die Linthkorrektion für den Flussbau, so hatten auch die erwähnten ersten Wildbachverbauungen im Glarnerland für die ganze Schweiz Vorbildcharakter. Dazu trug der vom ETH-Professor Carl Culmann (1821–1881) ausgearbeitete «Bericht an den hohen schweizerischen Bundesrat über die Untersuchung der schweizerischen Wildbäche» von 1864 bei. Es handelte sich um ein über 600-seitiges Gesamtkonzept zur Stabilisierung der Wildbäche und Wildflüsse mit einer Fülle von detaillierten Vorschlägen für alle wichtigen Beispiele. So bezeichnete Culmann den Trübbach als einen der schlimmsten Wildbäche des Kantons St. Gallen, dessen Verbauung im Gefolge der Alpenrheinkorrektion sehr dringlich sei. Dementsprechend baute man dort schon 1866 15 steinerne Sperren ein (VISCHER, 2003).

Sehr viel bekannter als diese Trübbachverbauung wurde dann die 1870 begonnene Zähmung der Nolla. Sie soll hier stellvertretend für die vielen, ihr folgenden Wildbachverbauungen skizziert werden: Die Nolla entwässert ein weitgehend im Bündnerschiefer liegendes Einzugsgebiet von 25 km² Oberfläche. Sie fliesst unterhalb ihrer Erosionstrichter durch eine 6 km lange Schlucht, in die einige kleinere Wildbäche einmünden, und erreicht dann bei Thusis den Hinterrhein (Abb. 1.2). Ihr Wasser ist selbst in Mittelwasserzeiten stark schwebstoffhaltig. Damit trübt sie den Hinterrhein und macht sich selbst im anschliessenden Alpenrhein durch eine feine Trübung bemerkbar. Dass sie deswegen bei Thusis teilweise gefasst und in die Kolmationsfelder des Domleschggs geleitet wird,

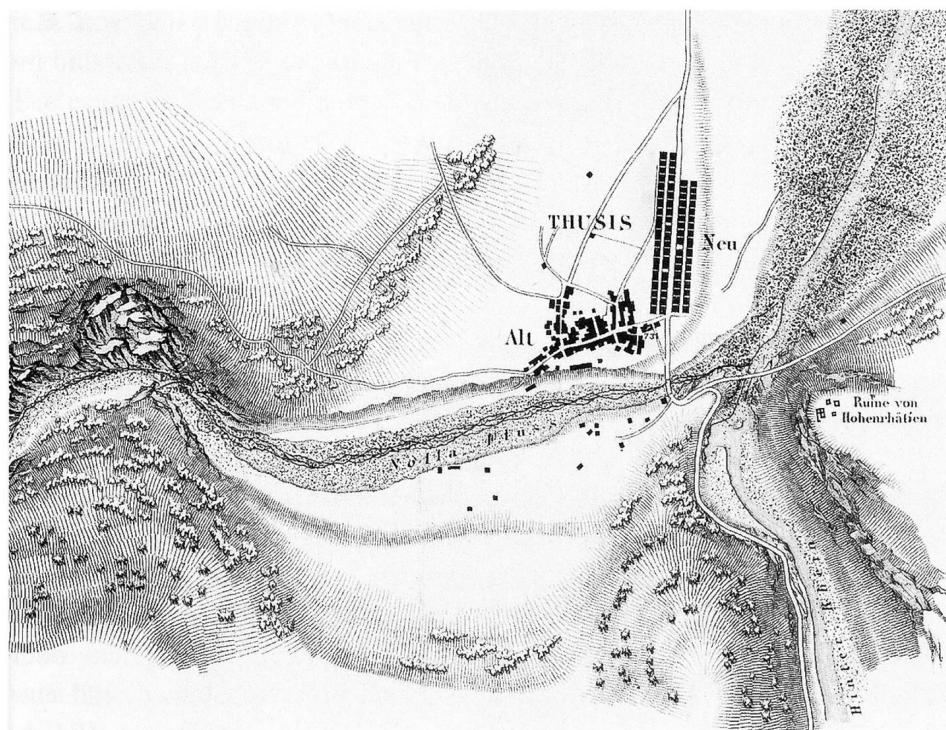


Abb. 1.2. Einmündung der Nolla in den Hinterrhein bei Thusis, nach A. von Salis, 1870.

wurde ja schon gesagt. In Hochwasserzeiten ist ihre Feststofffracht mit viel Geschiebe und Holz erst recht auffällig. Nicht selten dämmte sie damit den Hinterrhein auf, der anschliessend in einem reissenden Schwall ausbrach und das Domleschg heimsuchte. Dort brachte zwar die 1832 begonnene, aber erst Jahrzehnte später abgeschlossene Hinterheinkorrektion eine gewisse Remedur. Doch wussten die Verantwortlichen sehr wohl, dass diese ohne Nollaverbauung weder vollständig noch dauerhaft sein konnte.

Um 1860 entwarf Adolf von Salis (1818–1891), der Nachfolger von La Nicca als Bündner Oberingenieur, eine Reihe von Steinsperren. Andere Fachleute, wie insbesondere Culmann, glaubten aber nicht, dass man solche in der wenig stabilen Nollaschlucht genügend sicher zu fundieren vermöge. Culmann schlug 1864 an ihrer Stelle Faschinensperren vor, die später durch Holzkastensperren verstärkt werden sollten, das wäre viel billiger. Doch beendete die Nolla diese Meinungsverschiedenheiten, indem sie nach einer fast 30-jährigen Pause 1868, 1869 und 1870 derart heftig aus ihrer Schlucht stürzte, dass sich die früheren Aufstau- und Schwallmechanismen im Hinterrhein wiederholten und der laufenden

Hinterheinkorrektion schwer zusetzen. Dementsprechend fand von Salis nun mit seinem mutigen Projekt sowohl bei seinem Kanton wie beim Bund Gehör. Er sah 1870 im hinteren Teil der Schlucht 8 Steinsperren von 15 bis 30 m vor und begann sogleich mit dem Bau der ersten drei. Als zwei davon 1872 ihre Endhöhe von 15 und 16 m erreicht hatten, stürzte die eine infolge Unterkolkung ein. Darauf wurde beschlossen,

inskünftig die Höhe von 12 m nicht mehr zu überschreiten und die Kolksicherung jeweils mit einer kleinen Gegenschwelle am Sperrenfuss zu gewährleisten.

Die zwei verbleibenden Sperren bestanden aus Trockenmauerwerk, waren im Grundriss leicht gekrümmt und besaßen keinen Anzug. Sie waren bemerkenswert schlank, hielten aber den Beanspruchungen bis heute stand. Die weiteren grossen Sperren wurden zusammen mit vielen kleineren im Oberlauf erst später in Angriff genommen und bis 1902 vollendet. Neben konventionellen Hangsicherungsarbeiten wurde bei Tschappina noch ein 2,6 km langer Hangkanal zur Entwässerung von Rutschgebieten erstellt. Weil Adolf von Salis 1871 zum eidgenössischen Oberbauinspektor ernannt wurde, standen die Bauarbeiten hauptsächlich unter der Leitung des ihn ablösenden Bündner Oberingenieurs Friedrich von Salis (1825–1901).

Der Erfolg der Nollaverbauung stellte sich insofern bald ein, als an ihrer Mündung kein Aufstau des Hinterrheins in Thusis mehr vorkam. Infolge der verbreiteten Instabilitäten im ganzen Einzugsgebiet kamen die Bauarbeiten an der Nolla aber bis heute noch nicht zur Ruhe.

In anderen Worten: Bei der Stabilisierung des Nollabetts wurden im unteren Bereich relativ gute Erfolge erzielt. Die Stabilisierung des oberen Bereichs, das heisst die Verbauung der Runsen und anderer Schuttherde, dauert aber noch an (VISCHER, 2003).

Eine ähnliche Entwicklungsgeschichte liesse sich selbstverständlich auch für die Hunderte von anderen mehr oder weniger berüchtigten Wildbächen schreiben, die im Einzugsgebiet des Alpenrheins ebenfalls verbaut wurden, aber später oft wieder neue Sorgen verursachten und noch nach weiteren Massnahmen rufen. Eine beeindruckende Zusammenstellung der Anstrengungen in der Schweiz, in Liechtenstein und in Österreich findet sich im Jubiläumsband 1992 der Internationalen Rheinregulierung (BISCHOFF A., 1992; GUNZENREINER, 1992; WENZEL, 1992; FISCHER, 1992).

1.3 Die Korrektion des Alpenrheins

1.3.1 Der grösste Wildfluss der Alpen?

Der Alpenrhein wird etwa als der grösste Wildfluss der Alpen bezeichnet. Eine solche Bewertung wirft natürlich die Frage nach den Kriterien auf. Doch soll dieser Frage nicht weiter nachgegangen werden. Sicher verbindet man das Wort wild mit den Unterschieden zwischen dem Nieder-, Mittel- und Hochwasser. Über die ersten beiden wird im Kapitel Hydrologie berichtet. Hier soll in Ergänzung dazu noch auf das Hochwasser eingegangen werden. Als Grundlage dient eine neuere, von der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein in Auftrag gegebene Studie (IRKA, 2003).

Die Hochwasser des Alpenrheins entstehen durch Starkniederschläge, die auf einem grossen Teil des Einzugsgebiets niedergehen. Dabei hat die Lage der Nullgradgrenze einen entscheidenden Einfluss. Liegt sie hoch, wird ein grosser Teil der Starkniederschläge sofort abflusswirksam, während nur ein kleiner Teil als Schnee zurückgehalten wird; liegt sie tief, sind die Verhältnisse natürlich umgekehrt. Die Schneeschmelze allein vermag den Alpenrhein zwar anzureichern, führt aber nicht zu Spitzenhochwassern. Die Saison, in der die Hochwasser

gewöhnlich entstehen, erstreckt sich von Mai bis September. Eigentliche Extremwerte sind im Juli, August und September zu erwarten.

In den letzten 800 Jahren traten am Alpenrhein viele Hochwasser auf. Von diesen können 17 als extrem gross oder gar katastrophal eingeordnet werden. Es sind dies die Ereignisse von 1206, 1276, 1343, 1374, 1480, 1566, 1570, 1618, 1640, 1750, 1762, 1764, 1834, 1868, 1927, 1954 und 1987. Wie auch in anderen Regionen der Schweiz gab es hochwasserreiche und hochwasserarme Perioden. Das 20. Jahrhundert gehörte zu den hochwasserarmen. Der grösste Wert wurde im Juli 1987 registriert und entsprach, statistisch gesehen, etwa der hundertjährlichen Spurze. Eine solche Spurze wird innerhalb eines Jahrhunderts also einmal erreicht oder überschritten. Noch grössere Spurzen sind entsprechend seltener. Der zitierte Bericht (IRKA, 2003) mündet in die statistischen Angaben gemäss Tabelle 1.1 aus.

Tab. 1.1. Statistische Hochwasserspitzen am Alpenrhein in m^3/s (IRKA, 2003)

Jährlichkeit	Bad Ragaz	Diepoldsau
30	1950	2450
100	2550	3050
300	3100–3600	4000–4600

Um noch einmal auf das Attribut «wild» für den Wildfluss Alpenrhein zurückzukommen, kann man den Unterschied zwischen der höchsten gemessenen Spurze und dem langjährigen Mittelwert der Abflüsse betrachten, indem man beispielsweise das Verhältnis bildet. Dieses beträgt für den Rhein in Diepoldsau rund 11 und liegt damit über dem Wert von knapp 8 der Rhone in Porte du Scex. Doch reicht es nicht an die Zahlen von 22 des Tessins in Bellinzona und von 24 der Thur in Andelfingen heran. Das widerspiegelt den bekannten Umstand, dass der Alpenrhein und die «Alpen»-Rhone weniger wild sind als etwa die Flüsse auf der Südabdachung der Alpen oder in den nördlichen Voralpen.

1.3.2 Streichwehre, Schupfwuhren, Hinterdämme

Die ersten Massnahmen zur Abwehr von Überschwemmungen und Ufererosionen wurden nach WEY (1890) etwa im 11. Jahrhundert ergriffen. Es war der Anfang eines Wuhrwesens, das bis zum Ende des 18. Jahrhunderts dauerte. Zunächst wurden Streichwuhren und Schupfwuhren erstellt. Die Streichwuhren waren Längswerke, die unmittelbar die Ufer verstärkten und damit erosionsfester gestalteten. Die Schupfwuhren bestanden aus einzelnen buhnenartigen Querwerken, die die Strömung von den Ufern wegweisend. Sie hielten damit «ihre» Ufer von Strömungsangriffen frei, belasteten aber grundsätzlich die Gegenufer. Das führte zwangsläufig zu Streitereien, die vor allem vom 15. Jahrhundert an dokumentiert sind. Sie stellten aber nicht den einzigen Streitpunkt dar. WEY (1890) berichtete auch von Kontroversen um anders geartete, aber schlechte Wuhrarbeiten oder wegen der Unterlassung derselben. Einzelheiten über die historische Entwicklung bis 1853 trug insbesondere HUNGERBÜHLER (1854) zusammen.

Unter dem Eindruck einer Häufung von Hochwassern im 18. Jahrhundert begann man auch längere Rheinstrecken zu sichern. Dies geschah einerseits durch eine örtliche Vermehrung der Schupfwuhren und damit deren Verdichtung zu eigentlichen Buhnenreihen. Andererseits wurden in einigen flachen Gebieten Hinter- oder Binnendämme aufgeschüttet.

Die Akteure waren im Wesentlichen die Anlieger des Rheins und bei grösseren Vorhaben allenfalls auch die Rücklieger. Im Grundsatz

war der Hochwasserschutz eine Angelegenheit der Rheintal-Gemeinden. Diese befestigten in der Regel ihre Ufer nur flussaufwärts und neben ihren Dörfern, um vor allem diese zu schützen. Flussabwärts unternahmen sie wenig oder nichts (KAISER, 2003). Das führte natürlich trotz allen Anstrengungen immer wieder zu Rückschlägen in Form von Überschwemmungen, Erosionen und Zerstörungen.

Die zunehmende Belastung der Wuhrpflichtigen und die endlosen Streitigkeiten führten auf der schweizerischen Seite schliesslich zum Eingreifen der eidgenössischen Tagsatzung. Den unmittelbaren Anlass dazu boten die katastrophalen Hochwasser von 1762 und 1764. Die Tagsatzung und die Zürcher Regierung beorderten den Zürcher Ingenieur-Hauptmann Hans Conrad Römer (1724–1779) vor Ort, wo dieser den Rheinlauf in Karten aufnahm (Abb. 1.3), die bestehenden Verbauungen beurteilte und Weiterungen vorschlug. Zu seinem Gutachten gehörten auch genaue Anweisungen für den Bau von Wuhren und Dämmen sowie ein Pflichtenheft für die von ihm als notwendig erachteten Wuhrmeister. Das begründete zwar noch keine Rheinkorrektion, aber zumindest eine gewisse «unité de doctrine», nach der sich das Wuhrwesen fortan ausrichtete.

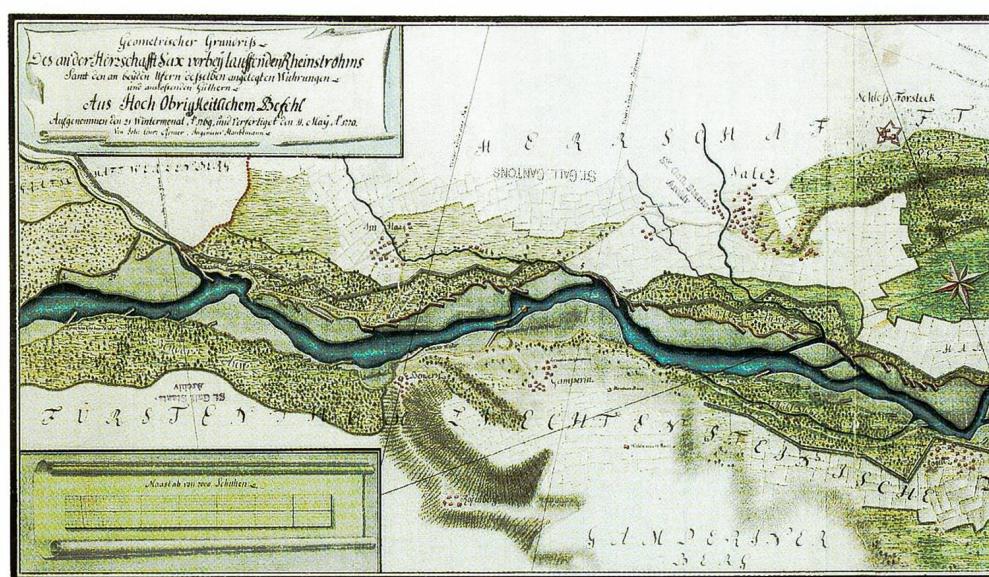


Abb. 1.3. Schupfwuhren und Hinterdämme am Rhein bei Haag (Fliessrichtung von links nach rechts) aus einem Plan von H.C. Römer, 1700.

1.3.3 Zwei Schlüsselstellen

1817 machte ein grosses Hochwasser im Rheintal zwei Schlüsselstellen sichtbar: die Ebene bei Sargans und den Raum unterhalb der Illmündung. In der Ebene von Sargans liegt die Wasserscheide zwischen dem Rheintal und dem Gebiet des Walen- und Zürichsees nur wenige Meter über dem höchsten Rheinspiegel. Von den entsprechenden Sorgen wurde bereits im Kapitel «Hydrologie» berichtet (siehe auch VISCHER, 2003). Das Interesse der Wasserbauer konzentrierte sich aber auch auf den Raum unterhalb der Illmündung (siehe nächster Abschnitt). Schliesslich fasste der Kanton St. Gallen die ganze 60 km lange Rheinstrecke von der Tardisbrücke oberhalb von Ragaz bis zum Bodensee ins Auge und setzte sich mit den anderen Anliegerstaaten, das heisst mit Liechtenstein und Österreich, in Verbindung. Insbesondere schloss er 1837 mit Liechtenstein den «Vertrag... über die Uferbauten am Rhein längs der ganzen beidseitigen Gränze» ab. Schon zwei Jahre vorher hatte der kantonale Strassen- und Wasserbauinspektor Alois Negrelli (1799–1858) seinen «Normalplan» vorgelegt, der praktisch ein durchgehendes Doppelprofil zwischen Hochwasserdämmen vorsah. Den gleichen Bestrebungen widmete sich dann auch sein Nachfolger Friedrich Wilhelm Hartmann (1809–1874). Die Öffentlichkeit wurde aber erst durch eine Hochwasserserie ab 1846 aufgerüttelt (KAISER, 2003).

1853 begannen ernsthafte Planungsarbeiten. Im selben Jahr trat im Kanton St. Gallen das «Gesetz über eine durchgreifende Rheinkorrektion» in Kraft, wobei die Verantwortung für den Hochwasserschutz am Rhein von den Gemeinden an den Kanton überging. Ähnliche Kompetenzregelungen wurden auch in den andern Anliegerstaaten vorgenommen. Zudem wurden neue Kostenteiler festgelegt, so seitens der Schweiz erstmalig mit einer Beteiligung des Kantons St. Gallen und des Bundes. 1861 einigten sich die Uferstaaten auf so genannte Recesslinien, denen die neuen Hochwasserdämme folgen mussten (STUBER, 1949). Von der Tardisbrücke bis zur Illmündung sollte in der Regel ein einfaches Trapezprofil und von da bis Monstein (an der Grenze zwischen Au und St. Margrethen) ein Doppeltrapezprofil gewählt werden, wobei man das erste als Hochwuhr und das zweite als Doppellinien-System bezeichnete (Abb. 1.4).

1.3.4 Die Regulierung von Ragaz bis Monstein (so genannte St. Galler Korrektion)

Die Bauarbeiten begannen anfangs der 1860er Jahre. Hartmann, der verantwortliche St. Galler Oberingenieur, teilte seine Strecke in drei Sektionen ein, die je einem Sektionsingenieur unterstanden. Die Ausführenden waren ursprünglich Wuhrpflichtige sowie Ortsgenossen und später

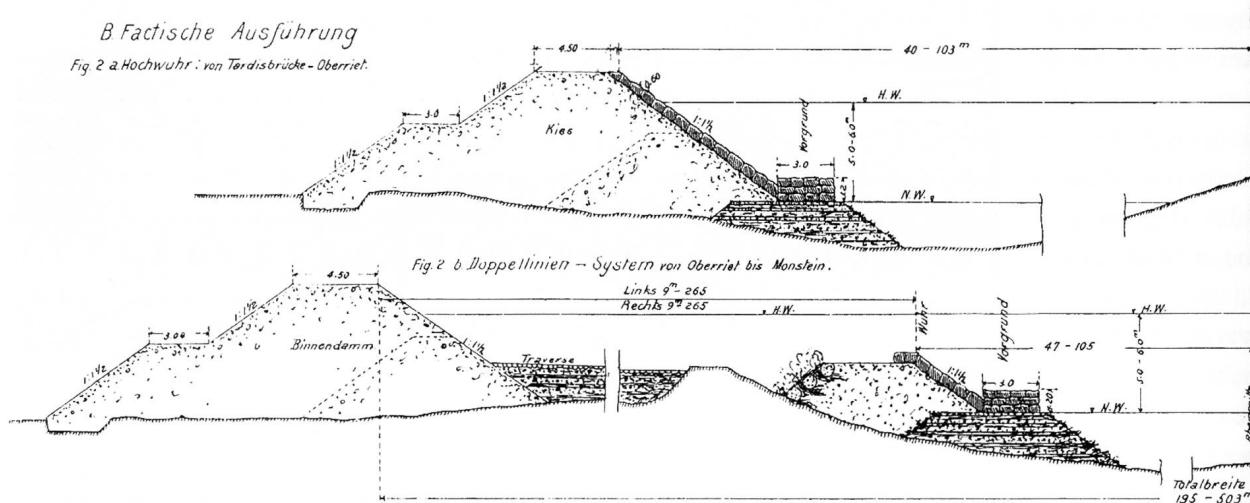


Abb. 1.4. Dammtypen für die St. Galler Rheinkorrektion, oben Hochwuhr, unten Doppellinien-System nach J. Wey, 1909.

zunehmend Bauakkordanten. Gearbeitet wurde von Hand. Nur allmählich wurde der Transport durch Rollbahnen erleichtert; die erste Baulokomotive fuhr ab 1874 (KAIser, 2003).

Beim einfachen Trapezprofil wurden die Hochwasserdämme aus Kies geschüttet und wasserseitig mit einem Steinbesatz gegen Erosion geschützt. Der Böschungsfuss wurde zusätzlich durch Steinlagen (Vorgrund) beschwert und ruhte im Niederwasserbereich auf einem Faschinenwerk. Die bald einsetzenden Auflandungen der Rheinsohle machten dann mehrere Damm erhöhungen erforderlich. Dort, wo landseitig alte Binnendämme lagen, wurden die von ihnen definierten Überschwemmungsflächen aufgehoben. Um diese intensiver kultivieren zu können, wurden sie teilweise aufgeschlämmt. Das bis zu mehreren Metern starke Ablagerungsgut stützte dann auch die neuen Hochwasserdämme landseitig. Nach WEY (1890) wurden im linken Hochwasserdamm zwischen Ragaz und Salez 5 Kolmationsschleusen eingebaut. Rechtsufrig wurde auf solche Massnahmen verzichtet.

Beim Doppeltrapezprofil wurden die Hochwasserdämme auf die gleiche Art aus Kies geschüttet, besassen aber ausser einer Grasnarbe keinen Erosionsschutz. Das Mittelgerinne wurde seitlich durch steinbesetzte Längswerke eingefasst, die etwas über das Vorland hinaufragten. Ihr wasserseitiger Fuss war ähnlich verstärkt und gegründet wie die Hochwasserdämme des einfachen Trapezprofils. Das Vorland wurde später bei Hochwasser folglich nur dann beansprucht, wenn das Wasser über die Längswerke stieg.

Die Koordination mit den rechtsufrigen Anliegerstaaten war bloss eine lockere, was zu Schwierigkeiten führte, wie beispielsweise zu einigen vermeidbaren Auflandungen im Rheinbett (VON SALIS, 1883). Auch schütteten die Liechtensteiner die Hochwasserdämme weniger hoch als die St. Galler (OSPELT, 1990), so dass sie schlechter geschützt waren. Dieser Unterschied wurde auch bei den späteren Dammerhöhungen nie ganz ausgeglichen und begünstigte schliesslich den einzigen grösseren Ausbruch des Rheins nach Abschluss der Regulierung, nämlich die

katastrophale Überschwemmung Liechtensteins von 1927.

Hingegen wurden die jeweils laufenden Bauarbeiten durch mehrere ausbrechende Hochwasser behindert und verzögert. Das grösste war jenes des Jahres 1868, in welchem auch andere Gebiete unter verheerenden Überschwemmungen litten. Neben den Siedlungen und Kulturen wurde auch die 1858 erstellte Eisenbahnstrecke Rorschach–Chur betroffen. Besondere Sorgen bereiteten die schon erwähnten Sohlenhebungen im Rhein. Da und dort meldeten sich deshalb Zweifel an den Erfolgsschancen. Einer der Sektionsingenieure empfahl 1873 in einem Bericht sogar, dem Rhein grosse Gebiete wieder zu überlassen und die dortigen Dörfer auf die Talflanken zu verlegen. Der St. Galler Oberingenieur Hartmann starb 1874 und wurde 1879 durch Jost Wey (1843–1908) ersetzt.

1.3.5 Binnenkanäle und Brücken

Zu den flankierenden Massnahmen gehörten der Bau der Binnenkanäle. Diese sollten insbesondere die Seitenbäche aufnehmen, so dass deren Mündungen keine gefährlichen Lücken mehr in den Hochwasserdämmen bildeten. Der linksseitige Werdenberger Binnenkanal wurde 1886 vollendet. Sein rechtsufriges Pendant war der liechtensteinische Binnenkanal. Zu erwähnen bleibt noch, dass es bis zur Rheinregulierung von der Tardisbrücke bis zum Bodensee keine Brücken gab, dafür je etwa ein Dutzend Fähren und Furten. Dann entstanden im Zuge der Bauarbeiten 10 Holzbrücken und eine Stahlbrücke. Die gesamte Rheinregulierung von Ragaz bis Monstein gelangte etwa 1890 zum Abschluss. Als eidgenössischer Inspektor wirkte von 1865 bis 1885 der bekannte Waadtländer Ingenieur William Fraisse (1803–1885).

1.3.6 Die Suche nach möglichen Laufverkürzungen

Von Ragaz bis Diepoldsau konnte der Lauf des Alpenrheins nicht wesentlich verkürzt werden. Dort liessen sich nur wenige Flusskrümmungen etwas ausgleichen. Erst unterhalb bei Diepoldsau und Gaissau und damit längs der Grenze

zwischen der Schweiz und Österreich ergab sich die Möglichkeit, zwei richtige Schlingen abzuschneiden. Zudem bestand als weitere Möglichkeit, einen direkten Weg von St. Margrethen aus zum Bodensee einzuschlagen. Aber waren solche Verkürzungen überhaupt nötig? Es scheint, dass man sie anfänglich bloss als lokale Massnahmen sah. Mit der Zeit entwickelten sie sich jedoch zu einem zwingenden Bestandteil der gesamten Alpenrhein-Regulierung.

Zunächst kümmerte man sich um die Verhältnisse bei Gaissau. Dort wurde die als Eselschwanz bezeichnete Schlinge immer grösser. Deshalb plante der Wiener Oberbaudirektor Franz Baraga (Lebensdaten unbekannt) schon 1792 zwei Begradigungsvarianten. Die eine sah einen reinen Schlingendurchstich vor, die andere eine Ableitung des Rheins vom Schlingenscheitel auf dem kürzesten Weg in den Bodensee. Die eidgenössische Tagsatzung lehnte beide ab – die zweite vor allem, weil diese Rheineck mit seinem Umschlaghafen für Flosse und Rheinschiffe vom Rhein getrennt und damit wohl stark beeinträchtigt hätte. 1821 brach aber der Rhein praktisch entlang dem Trassee dieser zweiten Variante aus, so dass seitens von Österreich deren Verwirklichung gefordert wurde. Dabei konnte man sich in technischer Hinsicht auf den versierten Tiroler Baudirektionsadjunkten Joseph Duile (1776–1863) stützen. Der Widerstand der Schweizer blieb aber bestehen.

Unter der Leitung von Duile wurde das Rheintal 1825/26 von der liechtensteinischen Grenze bis zum Bodensee in einer schönen «Grossen Rheinkarte» aufgenommen. Diese verwendete Duile, um 1826 ein Projekt für eine untere Rheinregulierung auszuarbeiten. Dazu gehörten Vorschläge zu kleineren Begradigungen und zu einem Diepoldsauer sowie einem Gaissauer Durchstich. Als Alternative wurde aber auch eine Ableitung gemäss Baraga vom Eselschwanz in den Bodensee aufgeführt (GÖTZ, 1983; PESTALOZZI, 1872; ROHNER, 1992). Dieses Projekt wurde 1828 vom Zürcher Strassen- und Wasserbauinspektor Salomon Hegner (1789–1869) unter Weglassung der Durchstiche modifiziert. Die entsprechenden Korrektionslinien

fanden die Zustimmung beider Uferstaaten und flossen auch in das im vorangehenden Abschnitt beschriebene Rheinregulierungsprojekt von Ragaz bis Monstein ein. Das Hin und Her um den Durchstich bei Gaissau oder die Ableitung beim Eselschwanz dauerte aber an (KAISER, 2003).

1838 stellte Hartmann eine Ableitung des Rheins östlich von Fussach und damit den Fussacher Durchstich zur Diskussion. Als Reaktion auf das grosse Hochwasser von 1847 wurde diese Idee aufgegriffen und von beiden Uferstaaten durch zahlreiche Experten geprüft und dann entweder befürwortet oder abgelehnt. Auch entstanden noch einige andere Ableitungsvarianten (Abb. 1.5). Doch fühlten sich je nach Vorschlag bald die Österreicher, bald die Schweizer benachteiligt. Das änderte sich erst, als 1862 der österreichische Oberbaurat in Trient, Josef Meusburger (1822–1886), die Zweckmässigkeit des Fussacher Durchstichs bekräftigte und als Zusatzmassnahme den Diepoldsauer Durchstich empfahl. Da der eine auf österreichischem Boden zu liegen kam und der andere auf schweizerischem, ergab sich eine kompromissfähige «Opfersymmetrie». Von da an hiess die Lösung bei den österreichischen Stellen jedenfalls: «Entweder beide Durchstiche oder keinen!» (BERGMESTER, 1989; BERGMESTER & LEIPOLD-SCHNEIDER, 2000).

1.3.7 Der Staatsvertrag zwischen der Schweiz und Österreich von 1892

Die bilateralen Verhandlungen zwischen den beiden Anliegerstaaten zogen sich zunächst weiter hin, bis der Rhein erneut «mitredete». Das Rekordhochwasser von 1868, bei dem die Hochwasserdämme auf der Schweizer Seite an vier Stellen brachen, beschleunigte die Zustimmung der Schweizer. Und gleichsam auf den Wellen weiterer Ausbrüche schlossen Wien und Bern 1871 ein Präliminarabkommen ab, das beide Durchstiche vorsah. Auf Wunsch der Österreicher sollten diese unbedingt gleichzeitig verwirklicht werden, was technisch aber nicht sinnvoll war und deshalb zu langwierigen Disputen Anlass gab. 1888 und 1890 brach der Rhein dann auf der österreichischen Seite an

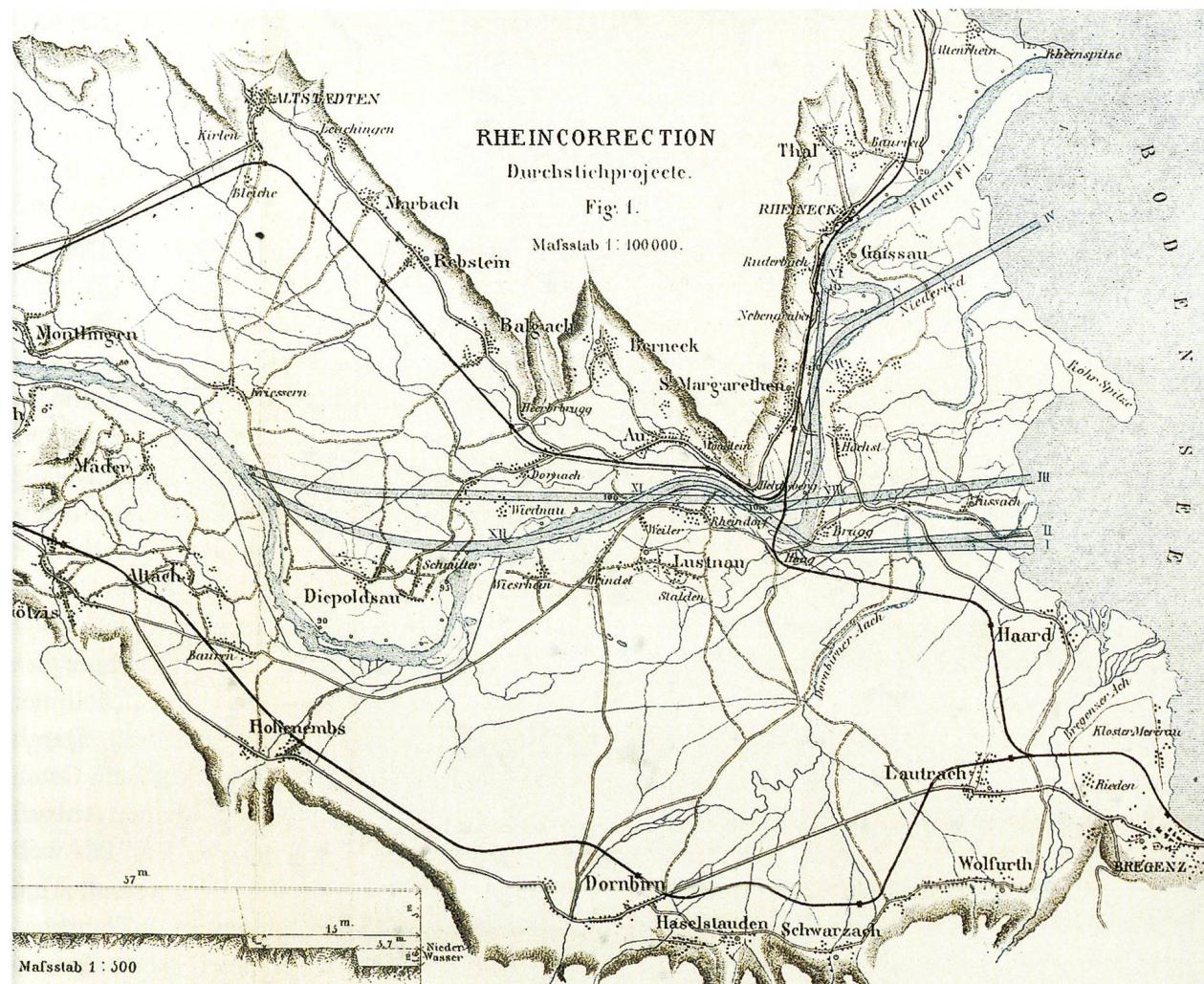


Abb. 1.5. Projekte für verschiedene Durchstiche im Unterlauf und Mündungsbereich des Rheins. Gemäss Staatsvertrag von 1892 wurden die Varianten XII (Diepoldsauer Durchstich) und II (Fussacher Durchstich) ausgeführt. Nach K. PESTALOZZI, 1872. (Norden ist rechts).

mehreren Stellen aus, was zum allseitigen Einlenken und zum Abschluss des Staatsvertrages von 1892 führte.

Bevor weiter auf diesen Vertrag eingegangen wird, soll noch auf zwei Entwicklungen hingewiesen werden. Erstens hatte die ab 1858 im Rheintal aufkommende Eisenbahn die dortige Rheinschifffahrt in wenigen Jahren überflüssig gemacht und auch den Niedergang der Flösserei eingeleitet. Auf diesen Flussverkehr brauchten die Pläne für die Durchstiche also nicht mehr Rücksicht zu nehmen – die Stilllegung des Umschlughafens Rheineck wurde belanglos. Zweitens war die Rheinregulierung von Ragaz bis Monstein Mitte der 1870er Jahre bereits weitgehend beendet (REIFF, 1990) und zeigte mit aller Deutlichkeit, dass die neue Rheinsohle nicht

auf der Sollkote verharrte. Die Sohle landete vielmehr auf und verminderte dadurch das Freibord. Darum wurde eine Erhöhung der Schleppkraft mittels einer Laufverkürzung im unteren Rheintal zwingend. Der Fussacher Durchstich brachte eine solche Verkürzung von 7 km und der Diepoldsauer Durchstich von 3 km – total also 10 km (PETER, 1955).

Der Staatsvertrag von 1892 zwischen dem österreichischen Kaiser und der Eidgenossenschaft wurde «zum Zwecke der Beseitigung der Überschwemmungsgefahr und der Versumpfung für die beiderseitigen Ufergebiete des Rheinstromes von der Illmündung stromabwärts bis zur Ausmündung desselben in den Bodensee» abgeschlossen. Er sah vor, folgende Werke auf gemeinsame Kosten auszuführen (KOENIG, 1992):

- Fussacher Durchstich
- Diepoldsauer Durchstich
- Normalisierung der Zwischenstrecke und der Strecke oberhalb
- Anpassung der Strassen, Bahnen (Brücken) usw.

Dabei sollte das früher schon für die Regulierung des Alpenrheins unterhalb der Illmündung vorgesehene Doppeltrapezprofil zur Anwendung gelangen. Die einzelnen Teile wurden dann auch ähnlich gestaltet, bis auf die Hochwasserdämme, die zumindest streckenweise gezont, das heißt mit einem Lehmkerne und einem Stützkörper aus Kies oder Steinbruch-Schutt erstellt wurden.

1.3.8 Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee bis 1900

Die Bauarbeiten der «Internationalen Rheinregulierung», wie das Vorhaben fortan genannt wurde, begannen 1895 am Fussacher Durchstich. Sie standen unter der Leitung des österreichischen Rheinbauleiters Philipp Krapf (1854–1939) und beschäftigten über 1000 Arbeitskräfte. Zur Unterstützung der beträchtlichen Handarbeit wurden dampfbetriebene Baubahnen, Transportschiffe und Maschinen eingesetzt. Als schweizerischer Rheinbauleiter amtete Jost Wey. Weil das 5 km lange Trassee durch die damals noch in Fussach in den Bodensee mündende Dornbirner Ache zweigeteilt wurde, wählte Krapf entsprechend zwei Bausektionen. Nach WAIBEL (1992) bestand die untere Sektion «vornehmlich aus Schwemmsand (Laufletten) und wurde dazu noch durch den Seerückstau sowie durch das Wasser der Dornbirner Ache nachteilig beeinflusst». Der Erdaushub erfolgte mittels Schwimmbagger, und das Baggergut wurde im See verklappt oder mit Rollwagen an Land gebracht. Das in der oberen «Sektion anstehende Bodenmaterial war zum grössten Teil ein Gemisch von Torf und Lehm. Es wurde mit Trockenbaggern gewonnen, im Quer- und Längstransport zum Hochwasserdamm gefahren und dort zur Herstellung des Dammkerns wieder verwendet. Der

Transport erfolgte bei geringen Entfernungen mit Schubkarren oder mit von Hand geschobenen Rollwagen (Muldenkipper), bei Längstransport auf einer 75-cm-Spur-Rollbahn im Lokomotivbetrieb.»

Insgesamt wurden rund 2 Millionen m³ Material ausgehoben, 1,1 Millionen m³ Dämme und Vorländer aufgeschüttet sowie 220 000 m³ Blöcke eingebaut (KAIER, 2003). Die vor allem dem Erosionsschutz im Mittelgerinne dienenden Blöcke wurden in drei Steinbrüchen bei Hohenems gewonnen und mit einer Baubahn vor Ort gefahren (Näheres in HEER, 1992). Das für die Faschinenteppiche unter den Leitwerken benötigte Weiden- und Erlenholz im Ausmass von fast 60 000 m³ musste mehrheitlich aus Bayern und Baden-Württemberg bezogen werden.

Die Fertigstellung und Inbetriebnahme des Fussacher Durchstichs – einschliesslich dreier Stahlbrücken – erfolgte im Mai 1900. Damit wurde die Rheinmündung um 8 km nach Osten verlegt. Zurück blieb bloss ein kleiner Altlauf, der so genannte Alte Rhein (Abb. 1.6). Die weiteren, im Staatsvertrag von 1892 vereinbarten gemeinsamen Arbeiten folgten im 20. Jahrhundert. Der Bau der begleitenden Binnenkanäle war linksufrig Sache der Schweiz und rechtsufrig Sache Österreichs. Linksufrig handelte es sich vor allem um den in den Alten Rhein ausmündenden Rheintaler Binnenkanal. Die gleiche Arbeitsteilung galt aber auch bei der Anpassung der Nebengewässer, wie beispielsweise



Abb. 1.6. Der seit der Eröffnung des Fussacher Durchstichs 1900 abgeschnittene alte Mündungsarm des Rheins, so genannter Alter Rhein, hat sich seither zu einer schönen Flusslandschaft entwickelt (Foto aus KALT, 1992).

rechtsufrig bei der bedeutenden Korrektion der Dornbirner Ache mit der Verlegung ihrer Mündung von Fussach nach Hard.

1.3.9 Der Diepoldsaer Durchstich und die weiteren Arbeiten im 20. Jahrhundert

Nach der Eröffnung des Fussacher Durchstichs stellten sich zunächst die erwünschten Verhältnisse ein. Das heisst, die Rheinstrecke flussaufwärts tiefe sich in den 1900er Jahren ein. Zunächst erfolgten dort deshalb nur Normalisierungsarbeiten, die im Wesentlichen aus Anpassungs- und Regulierungsarbeiten am Mittelgerinne bestanden. Gemäss dem Staatsvertrag von 1892 sollte weiter flussaufwärts nun noch der Diepoldsaer Durchstich gebaut werden. Angeichts der erwähnten Sohleneintiefungen sträubten sich die Vertreter der Schweiz anfänglich dagegen. Doch erfolgte 1908/09 der Baubeginn unter der Leitung des schweizerischen Rheinbauleiters Karl Böhi (1869–1945). Entgegen den Absichten dauerten die Bauarbeiten für den 5,5 km messenden Durchstich verhältnismässig lange. Als Ursache dafür werden unvorhersehbare Ereignisse, wie die Setzungsabläufe in den Torfstrecken, angegeben. Zudem wirkte sich der Erste Weltkrieg von 1914–1918 in einem Mangel an Arbeitskräften aus (WAIBEL, 1992). Erst im Frühjahr 1923 war die Projektverwirklichung genügend weit fortgeschritten, um den Rhein umzuleiten. An der Sprengung des Absperrdams und der damit verbundenen Freigabe des Durchstichs am 18. April 1923 nahmen Tausende von Schaulustigen teil.

Nun galt es, auch an der flussaufwärts davon bis zur Illmündung gelegenen Strecke die erforderlichen Normalisierungsarbeiten durchzuführen. 1924 wurde zwischen Österreich und der Schweiz ein weiterer Staatsvertrag abgeschlossen, der neben einer Verschiebung der Bautermeine auch die auf dem wachsenden Delta im Bodensee notwendigen Vorstreckungsarbeiten festschrieb (siehe nächster Abschnitt). Schliesslich konnten alle zwischen den beiden Staaten bisher vereinbarten Bauarbeiten 1934 beendet werden. Damit nahm die Rheinstrecke von der

Illmündung bis zum Bodensee im Wesentlichen die heutige Gestalt an. Dasselbe galt seit etwa 1890 auch für die Rheinstrecke von Reichenau bis zur Illmündung. War die Alpenrheinkorrektion damit abgeschlossen?

Diese Frage kann bejaht werden, wenn man nur die Lage des Flusslaufs betrachtet. Sie muss aber verneint werden, wenn man an die laufend erforderlichen Unterhalts- und Anpassungsarbeiten denkt. Ein Wildfluss vom Ausmass des Alpenrheins bleibt ja mit oder ohne Korrektion ein dynamisches Gewässer (siehe Abschnitt über das Regime des Alpenrheins). Zwar wird im korrigierten Fluss seine Breite mit Dämmen fixiert. Dafür reagiert seine Sohlenlage umso empfindlicher auf den stets wechselnden Geschiebeanfall. Und genau das konnte man jetzt am Alpenrhein überall beobachten. Noch vor Beendigung der Bauarbeiten am Diepoldsaer Durchstich zeigten sich dort mächtige Geschiebeablagerungen (WAIBEL, 1992). Beim gewählten Doppelprofil füllte sich namentlich das Mittelgerinne. Wider Erwarten brachte also die Verkürzung des Flusslaufs von der Illmündung bis zum Bodensee von 35 auf 25 km keine Vertiefung oder zumindest Stabilisierung der Rheinsohle. Es drohte nun vielmehr eine Hebung und damit eine Verringerung der Abflusskapazität, beziehungsweise der Hochwassersicherheit. Der korrigierte Rhein war offensichtlich nicht in der Lage, das aus dem Einzugsgebiet anfallende Geschiebe bis in den Bodensee weiter zu transportieren.

Anfänglich begegnete man den Auflandungen mit dauernden Baggerungen. Doch betrachtete man das nicht als nachhaltige Lösung – umso mehr als sinnvolle Deponien für das Baggergut fehlten. Man strebte bald bauliche Eingriffe in Form einer Anpassung des Abflussquerschnitts an. Bei einem Doppelprofil gilt grundsätzlich Folgendes:

- Der Gesamtquerschnitt muss das Bemessungshochwasser bei einem genügenden Freibord aufnehmen; im Fall des Alpenrheins unterhalb der Illmündung ging es um die Ableitung von $3100 \text{ m}^3/\text{s}$ bei 1 m Freibord bis zur Dammkrone.

- Das Mittelgerinne muss bei Geschiebeanfall die Geschiebeweiterführung gewährleisten – und das bis zum Bemessungshochwasser.

Darum bezog sich die geplante Anpassung in erster Linie auf das Mittelgerinne, was zwei Fragen aufwarf: Wie gross war damals die Geschiebeführung, das heisst der Geschiebeanfall und -durchgang in m^3/s ? Wie musste das Mittelgerinne gestaltet sein, damit es diese Geschiebeführung weitergab und so weder Sohlenhebungen noch -eintiefungen erfuhr?

Diese Fragen liessen sich vor 1930 nicht beantworten. Die Wissenschaft des Geschiebetransports war noch nicht so weit. Folglich zog die Internationale Rheinbauleitung den ETH-Professor Eugen Meyer-Peter (1883–1963) bei, der einerseits Formeln für den Geschiebetransport entwickelte und andererseits in seiner 1930 eröffneten Versuchsanstalt für Wasserbau in Zürich hydraulische Modellversuche durchführte (Abb. 1.7). Die erste so genannte Geschiebetriebformel veröffentlichte er 1934 zusammen mit seinen Mitarbeitern Henry Favre (1901–1966) und Hans-Albert Einstein (1904–1973). Sie galt zunächst für eine einheitliche Korngrösse. Später trug er noch einer naturnahen Kornmischung Rechnung und veröffentlichte 1948 mit seinem Mitarbeiter Robert Müller (1908–1987) jene Geschiebetriebformel, die ihn weltbekannt machte. Diese Zusammenarbeit zwischen den Rheinbauleitern und den Forschern in Zürich, die sich auch in Feldversuchen äusserte, ist ein herausragendes Beispiel für eine fruchtbare Interaktion von Praxis und Wissenschaft.

Das Ergebnis aller Anstrengungen mündete nach einem umfangreichen Variantenstudium in das so genannte Umbauprojekt IIIb aus, das eine sukzessive Verengung des Mittelgerinnes vom Diepoldsauer Durchstich flussabwärts sowie andere Flussbauarbeiten vorsah. Der Baubeginn erfolgte 1944, doch machte der Umfang des Projekts eine neue internationale Vereinbarung in Form des Staatsvertrags von 1954 erforderlich. Dessen Wortlaut hielt die technischen Ziele nochmals klar fest: Gewährleistung des Bemessungsabflusses von $3100\ m^3/s$ und des



Abb. 1.7. Modelle des Mittelgerinnes des Rheins in der Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW) der ETH Zürich, 1938 (Foto VAW).

Geschiebedurchgangs. Das wurde in der Folge durch eine Erhöhung, Verstärkung und Zurücksetzung der Dämme sowie einer Ausweitung des Lichtraumprofils unter den Brücken und einer Umgestaltung des Mittelgerinnes erreicht. Die entsprechenden Bauarbeiten dauerten bis etwa 1970.

Abschliessend muss hier betont werden, dass in diesem Abschnitt nur die Arbeiten der Internationalen Rheinregulierung beschrieben wurden. Gleichzeitig liefen seinerzeit auch bedeutende Arbeiten oberhalb der Illmündung. Ein Hinweis auf die dortige Dynamik des Rheins und die damit verbundenen Probleme vermittelt der Abschnitt über «dramatische Sohlenveränderungen» im Kapitel Hydrologie.

1.3.10 Die Rheinvorstreckung im Bodensee

Wenn es gelingt, einen Fluss wie den Alpenrhein bezüglich seines Bettes – das heisst seiner Breite und seiner Höhenlage – im Gleichgewicht zu halten, so verlagert sich seine Dynamik

zwangsläufig an die Mündung. Oder noch einschlägiger ausgedrückt: Wenn der Alpenrhein auf seiner immerhin rund 90 km langen Strecke keine Feststoffe ablagert und ihm auch keine entnommen werden, so gelangen diese volumnäßig an die Mündung, wo sie sich manifestieren. Dort formen das Geschiebe und der gröbere Schweb ein wachsendes Delta; dort setzt sich der feinere Schweb weiträumig und insbesondere in strömungsarmen Buchten ab; dort breitet sich das anfallende Geschwemmsel aus! An sich könnte man dieser Dynamik den Lauf lassen, wenn sie für die Anwohner keine unliebsamen Folgen hätte. Solche Folgen treten aber bei der Rheinmündung auf:

- Der immer länger werdende Alpenrhein verliert an Gefälle, was zumindest in seinem unteren Teil zu Sohlenhebungen durch Geschiebeablagerungen und damit zu einer Verminderung der Hochwassersicherheit führen kann.
- Die mündungsnahen Buchten werden zunehmend vom Delta überdeckt und die etwas entfernteren können allmählich infolge von absinkenden Schwebstoffen verlanden.

Dabei kommt der zweiten Folge insofern ein besonderes Gewicht zu, als sie für die Betroffenen seit 1900 – also seit der Vollendung des Fussacher Durchstichs – neu ist, das heisst mensch- und nicht naturgemacht.

Es wurde schon gesagt, dass sich die für das Delta zuständige Internationale Rheinregulierung im Staatsvertrag von 1924 auf eine bestimmte Deltagestaltung verpflichtete. Die Veranlassung dazu gaben vor allem die Verlandungen gegen Hard. Man versuchte in der Folge, den mündenden Rhein nicht bald dahin, bald dorthin oder mehrarmig ausströmen zu lassen, sondern ihn durch einen mit Leidämmen eingefassten Lauf über das Delta zu den grossen Seetiefen zu lenken. In diesen Seetiefen würde sich das Deltawachstum zwangsläufig verlangsamen. Ein solcher Lauf wird in der Fachsprache als Vorstreckung bezeichnet.

Es dauerte aber einige Jahrzehnte, bis die Vorstreckung die grossen Seetiefen erreichte – ja erreichen konnte. Deshalb musste man nach

dem Zweiten Weltkrieg von 1939–1945 feststellen, dass sowohl die Fussacher wie die Harder Bucht von Rheinsedimenten stark verfüllt waren (WAIBEL, 1992). Dementsprechend arbeitete die Internationale Rheinregulierung neue Varianten aus und wurde im Staatsvertrag von 1954 auf die Verwirklichung einer – wie es heisst – «Vorstreckung der Regulierungswerke des Fussacher Durchstiches auf dem Schuttkegel im Bodensee» verpflichtet. Die Varianten zeichneten sich alle dadurch aus, dass sie eine Ablenkung der Vorstreckung von der bisherigen Nordrichtung nach Nordwesten anstrebten. Damit sollte das Delta nicht mehr quer zum See und gleichsam auf Lindau ziellend weiter wachsen, sondern längs dem See. Entsprechend hätte die Harder Bucht weitgehend von weiteren Verlandungen verschont werden können; die Fussacher Bucht gedachte man mit einem Schutzdamm vor der Deltabildung abzuschirmen. Die Variantenwahl erfolgte in Zusammenarbeit mit der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich sowie mit dem früheren Leiter derselben, Professor Gerold Schnitter (1900–1987), und führte zum Vorstreckungsprojekt 1972, das zur Ausführung gelangte und später nach Massgabe neuer Einsichten mehrmals leicht geändert wurde. Es liegt in der Natur der Sache, dass diese Arbeiten heute noch in Gang sind.

1.3.11 Naturierungsbestrebungen

Im Wort Korrektion steckt das lateinische «rectus», das unter anderem gerade, in gerader Richtung und richtig bedeutet. Eine ähnliche Interpretation lässt sich für das Wort Regelung oder Regulierung anführen. Damit ist auch klargestellt, was die Flusskorrekturen oder Flussregulierungen ursprünglich anstrebten: eine Begradigung der Flüsse! Damit wollte man die Abflussverhältnisse so verbessern, dass die Anwohner und deren Lebensgrundlagen fortan weder Hochwässern noch Versumpfungen ausgesetzt werden. Und wenn das gelang, so betrachtete man die Begradigung als Erfolg. Dies war fast uneingeschränkt im 19. Jahrhundert der Fall, wo die hiesige Gesellschaft ohnehin daran war, eine wohlgeordnete Kulturlandschaft auf-

zubauen, in der auch Felder, Strassen und Waldränder geometrische Formen annahmen.

Die gleiche Auffassung einer Kulturlandschaft hielt sich weit bis ins 20. Jahrhundert hinein. Ja, auch die heutige Gesellschaft ist sich weitgehend darin einig, dass es eigentlich diese Kulturlandschaft ist, die es zu pflegen und zu erhalten gilt. Aber was ist eine Kulturlandschaft? Ist das eine Landschaft, die nur vom Menschen genutzt wird – also eine ausschliesslich nützliche Landschaft? Oder gibt es darin noch Gebiete, die ungenutzt bleiben, etwa als Denkmal unberührter Natur oder als Refugium für darauf angewiesene Tiere und Pflanzen? Eine allseits anerkannte Definition der Landschaft gibt es nicht. Doch besteht heute ein Konsens darüber, dass die Kulturlandschaft möglichst naturnah gehalten und von «Oasen» einer Naturlandschaft durchsetzt sein soll.

In diesem Sinn passten die Instanzen des Wasserbaus um 1980 ihre Ziele an. Seither gilt, dass bauliche Hochwasserschutzmassnahmen von Naturierungsmassnahmen begleitet werden. Und bei den Letzteren geht es um die Schaffung von Lebensraum für jene Tiere und Pflanzen, die im betroffenen Gewässer oder an dessen Ufern leben. Es geht aber auch um die Erreichung einer gewissen Ästhetik der Gewässerlandschaft. In manchen Fällen können die Naturierungsmassnahmen sogar für sich – also nicht bloss als Begleitung anderweitig ausgerichteter Flussbauten oder Wildbachverbauungen – ergriffen werden.

Am Alpenrhein suchen die Anliegerstaaten diesbezüglich nach einem gemeinsamen Entwicklungskonzept. Als Plattform dient die «Internationale Regierungskommission Alpenrhein» (IRKA), die aus Vertretern des Landes Vorarlberg, des Fürstentums Liechtenstein und der Kantone St. Gallen und Graubünden besteht. Zurzeit sind unter ihrer Leitung mehrere Studien- und Projektgruppen an der Arbeit. Was sind die Hauptprobleme? Es gibt solche politischer, rechtlicher, finanzieller und technischer Art. Augenfällig ist der Umstand, dass der Alpenrhein samt seinen Dämmen vielerorts gleichsam in einem Korsett von angrenzenden Verkehrswegen und Gebäuden steckt, so dass

es schwierig ist, dort den notwendigen Raum für Änderungen am Flusslauf zu finden. Aber man hat doch auch schon einige Vorbilder, wie man an anderen Flüssen unter ähnlichen Voraussetzungen vorgegangen ist.

Vorbilder für Strecken, die nicht oder nur wenig korsettiert sind, bietet der Alpenrhein bereits selber. 1994–1996 wurde nämlich am Alpenrhein bei Felsberg eine Aufweitung des Flussbetts realisiert. Das war hydraulisch und geschiebetechnisch machbar, weil sich der Fluss dort tendenziell eintieft. Denn eine Aufweitung wirkt einer solchen Erosion grundsätzlich entgegen. Ein weiteres Beispiel ist an der Mündung der Ill in den Alpenrhein zu sehen. Die 1999 durch ein Illhochwasser erfolgte Zerstörung einer 6 m hohen Blockrampe wurde dort zum Anlass für eine Umgestaltung genommen. Die Mündung wurde dabei abgekrümmt und mit zwei kleineren Blockrampen geschützt. Damit die neue Mündungsstrecke für Fische durchgängig ist, wurde gleichsam als zweiter Mündungsarm der Ill ein kleines, rampenloses Umgehungsgerinne geschaffen (KALT, 2004).

Noch grössere Gestaltungsmöglichkeiten ergeben sich an der Rheinmündung in den Bodensee. Sie werden nach Massgabe der anfallenden Feststoffe schon seit den 1990er Jahren laufend ausgenutzt, das heisst, dass die Rheinvorstreckung sowohl auf die flussbaulichen Ziele und die Erholungsbedürfnisse des Menschen als auch auf die Erhaltung und Förderung einer artenreichen und schönen Deltalandschaft ausgerichtet ist. Die Rheinmündung liegt ja in einem Naturschutzgebiet von europäischer Bedeutung: Dort gedeihen Pionerpflanzen, dort gibt es unberührte Brutplätze für Wasservögel, dort halten zahlreiche Zugvögel Rast (KALT, 2004). Abb. 1.8 zeigt ein aktuelles Luftbild des Gebietes. Es lohnt sich, das Rheindelta unter kundiger Führung zu besuchen, einmal der Fauna und Flora wegen, dann aber auch wegen der einzigartigen Landschaft. «Augenzwinkernd» sei hier noch angeführt, dass im hohen Norden Europas an Mitternachtssonnen-Begeisterte Ansichtskarten verkauft werden, die eigentlich den Sonnenuntergang vom Rheindelta aus zeigen.



Abb. 1.8. Luftbild der Rheinvorstreckung im Mai 2004 (aus DWA – Landesverband Bayern, Mitglieder-Rundbrief 1/2005).

2 DIE NUTZUNG DER WASSERKRAFT

Die Wasserkraftnutzung ist im hier betrachteten Rheingebiet seit 2000 Jahren heimisch. Das wird anschliessend in einem kurzen Streifzug durch die Geschichte erläutert. Dann folgt eine zusammenfassende Darstellung der heutigen Wasserkraftwerke.

2.1 Von der Wassermühle zum allgemeinen Antrieb durch Wasserräder

Welche Hilfen standen dem Menschen vor dem heutigen technischen Zeitalter zur Verfügung, um schwere Arbeiten zu leisten? Es waren einerseits «belebte Motoren» – also von menschlicher oder tierischer Muskelkraft angetriebene Geräte vom Hebel zur Kurbel bis zum Hand- oder Trettrad und Göpel (Rundlauf). Andererseits bestand die Möglichkeit, Wasser- oder Windkraft für den Antrieb solcher Geräte zu nutzen, sofern die entsprechenden Ressourcen vorhanden waren. Letzteres traf im hier betrachteten Rheingebiet nur für die Wasserkraft zu.

Es wird allgemein angenommen, dass die Römer die Wasserkraftnutzung in unseren Breiten einführten. Man hat tatsächlich Beispiele von römischen Wassermühlen aus den ersten Jahrhunderten n. Chr. gefunden, das heisst ausgegraben (GÄHWILER und SPECK, 1991). Denkbar wäre ja auch, dass die Kelten noch vorher solche Mühlen erstellt hätten, wurden sie doch gerade von den Römern als geschickte Wagenbauer und damit gleichsam als Mechaniker bezeichnet. Doch fehlen entsprechende Beweise. Nun waren die Römer bezüglich technischen Kenntnissen und Organisationstalent für die Erstellung von nützlichen Geräten und Bauten prädestiniert. Ihre Macht und Leistungsfähigkeit beruhten aber auch auf einer sehr ausgedehnten Sklavenhaltung. Und sie setzten ihre Sklaven bei Bedarf rücksichtslos für «belebte Motoren» ein – so insbesondere beim Antrieb von Mühlsteinen. Deshalb erfuhren die römischen Wassermühlen keine sehr grosse Verbreitung.

Die römische Mühlebautechnik ging nach dem Untergang des weströmischen Reiches im Jahr 476 vielerorts verloren. Als eine Art Kulturrkorridor ins Mittelalter hinein wirkten aber die damals aufkommenden Klöster. Den Benediktinern wurde sogar durch ihren Ordensgründer das Betreiben einer Mühle vorgeschrieben, um sie von weltlichen Dienstleistern unabhängig zu machen. Andere Orden folgten ihnen diesbezüglich (VISCHER, 2004). Im germanischen Einflussbereich verschwand die Sklavenhaltung weitgehend. Zwar gab es dafür Leibeigene, die aber gewisse Rechte besassen und von ihren geistlichen und weltlichen Herren nicht beliebig für «belebte Motoren» bemüht werden konnten.

Ein erster Aufschwung des Wassermühlensbaus setzte im 8. und 9. Jahrhundert unter den Franken ein. Aus dieser Zeit stammen in unserem Gebiet denn auch die ersten schriftlichen Erwähnungen von Mühlen. Einen zweiten und noch viel bedeutenderen Aufschwung brachte das 11. und 12. Jahrhundert, weshalb diese Zeit etwa als «erste industrielle Revolution» bezeichnet wird. Nun wurden nicht mehr vorwiegend natürliche Gewässer genutzt, sondern zunehmend auch künstliche, das heisst Mühlekanäle

mit Mühleteichen. So konnte man sich den Gefahren von Hochwassern und Eisgängen besser entziehen. Eine historische Arbeit in einem englischen Gebiet zeigt, dass es dort damals auf 250 Einwohner eine Mühle gab. Im Raum des Alpenrheins und des Bodensees dürften es zu folge der andern landwirtschaftlichen Gegebenheiten deutlich weniger Mühlen gewesen sein (SCHNITTER, 1992). Sie standen in den Städten oder in eigentlichen Mühleweilern oder dann allein abseits der Siedlungen.

Bis zur «ersten industriellen Revolution» handelte es sich bei den Mühlen fast ausschliesslich um Getreidemühlen. Das Wort Mühle hängt deswegen mit dem Wort Mahlen zusammen. Von da an benutzte man aber das Wasserrad auch ausserhalb des Müllereigewerbes. Denn mit diesem Rad erzeugte man neben der Drehbewegung nun noch Auf- und Ab- sowie Hin- und Herbewegungen. Dementsprechend traten neben die Getreidemühlen andere Mühlen für das Dreschen, das Zermalmen von Malz zum Bierbrauen, das Klopfen von Hanf, das Walken von Tüchern, die Zerkleinerung von Rinde und anderer Materialien zur Herstellung von Farbe oder Gerblauge, das Sägen von Holz und Stein, das Zerstampfen von Erzen, den Antrieb von Blasebälgen in Erz- und Glashütten, das Schmieden von Eisen usw. Aber auch die Drehbewegung diente nicht mehr bloss dem Umlauf der Mühlesteine, sondern dem Bohren, Schleifen, Drechseln und Pressen mittels Kollergängen usw.

Das Wasserrad in seinen verschiedensten Formen wurde bald zum Universalantrieb des Gewerbes (Abb. 2.1). Diese Entwicklung dauerte über das Ende des Mittelalters hinaus bis weit in die Neuzeit. Auf eine Aufzählung von Beispielen im betrachteten Gebiet soll hier aber verzichtet werden. Allein im Prättigau könnte man sich dabei schon verweilen (SIMMEN, 1993). Hingegen sei noch vermerkt, dass es ab dem 15. Jahrhundert ausser den an Land stehenden Anlagen noch schwimmende, in Form von Schiffsmühlen gab. Vermutlich kamen sie hauptsächlich auf der unteren Strecke des Alpenrheins vor. Jedenfalls lassen sich zwischen



Abb. 2.1. Mulin Schnaus bei Ilanz (historisches Objekt). Wasserrad aus Holz mit Blechschaufeln als Antrieb für eine mechanische Werkstätte mittels Seiltransmission (Foto Ueli Giger, Schnaus).

Ruggell und Gaissau 20 einstige Standplätze lokalisierten (BURMEISTER, 1992). Aber auch im Seerhein in Konstanz soll es anfangs des 15. Jahrhunderts eine Schiffsmühle gegeben haben (GRIM, 1995).

2.2 Vom Direktantrieb zur Stromerzeugung

Die Wasserräder waren mit den Maschinen, die sie antrieben, mechanisch verbunden. Sie gaben ihre Kraft also direkt an den zugehörigen Gewerbebetrieb ab. Oder noch besser gesagt: Sie waren Bestandteil dieses Betriebs. Deshalb musste sich das auf Antriebskraft angewiesene Gewerbe also an einem Bach, Fluss oder Kanal niederlassen. Die Verfügbarkeit von Wasserkraft war einer der wichtigsten Standortfaktoren. Freilich war die Kraft der Wasserräder begrenzt, so dass auch der Umfang der Gewerbebetriebe begrenzt blieb.

Das änderte sich im 19. Jahrhundert, als die Turbinen aufkamen. Sie vermochten gegenüber den Wasserrädern mehr Wasser und höhere Drü-

cke bei meist besserem Wirkungsgrad zu verarbeiten. Das ermöglichte eine Kraftversorgung für grössere Gewerbebetriebe und schliesslich für Fabriken. Deshalb wurden vielerorts die Wasserräder durch Turbinen ersetzt, was einen Umbau der «Mühlen» erforderte. Andernorts erstellte man neue kleine Wasserkraftwerke – eben Werke, die Kraft liefern –, die der Turbinentechnik besser angepasst waren. Aber auch die Turbinen trieben die Maschinen mechanisch an. Das heisst, die Turbinenhäuser waren ebenfalls Bestandteil eines Gewerbebetriebs oder einer Fabrik. Doch war diese Verbindung nicht immer bequem, stand doch das Turbinenhaus oft in einem Tobel, wo sich die Fabrik nur schlecht hineinzwängen liess.

Man ersann deshalb Kraftübertragungen, um die Fabrik etwas abseits des Turbinenhauses – also zum Beispiel auf der Schulter eines Tobergs – errichten zu können. Das hätte man schon im Zeitalter der Wasserräder machen können, doch waren diese meist zu schwach, um grössere Übertragungsverluste zu überwinden (Abb. 2.1). Bei den Turbinen gab es diesbezüglich mehr Möglichkeiten. Nach der Erfindung des Drahtseils um 1840 entwickelte man Seiltransmissionen («transmissions télédynamiques», wie die Welschschweizer sagen). Mit ihnen liess sich die Turbinenkraft über mehrere hundert Meter «weiterreichen». Oder man trieb mit den Turbinen direkt Wasserpumpen oder Kompressoren an und leitete die Energie durch Rohre in Form von Druckwasser oder Druckluft weiter. Auf diese Weise liessen sich Distanzen von einigen Kilometern überwinden. Der Konsument musste das Druckwasser dann durch Hausturbinen und andere Wassermotoren in mechanische Kraft zurückverwandeln oder die Druckluft mit entsprechend andern Wandlern.

Im 19. Jahrhundert kam aber neben der Wasserturbine ein Konkurrenzanztrieb auf: die Dampfmaschine! Sie besass den Vorteil, nicht ortsgebunden zu sein. Somit liess sie sich dort einsetzen, wo man Kraft brauchte – sogar auf Fahrzeugen, sprich Lokomobilen und Lokomotiven. Ihr Nachteil war, dass ihr Rohstoff, nämlich Brennholz und Kohle, nicht gratis

anfiel. Dennoch hätte die Dampfmaschine die Wasserturbine wohl längerfristig weitgehend verdrängt, wenn nicht Ende des 19. Jahrhunderts ein idealer Energieträger verfügbar geworden wäre: der Strom! Mit seiner Hilfe konnte die Energie jeder Kraftmaschine und damit auch der Wasserturbine weit herum verteilt werden – ja, über Fahrdrähte oder Stromschielen selbst an Fahrzeuge. Die Folge war, dass ab etwa 1900 alle Kraftwerke und damit auch die Wasserkraftwerke sukzessive zu Stromerzeugern umgebaut oder als solche neu gebaut wurden. Von da an versorgten die Wasserkraftwerke bald nicht mehr ein benachbartes Gewerbe oder eine Industrie im Direktantrieb mit Kraft, sondern produzierten Strom, der in ein Übertragungsnetz eingespeist wurde. Heute ist die Bezeichnung Wasserkraftwerk deshalb ein Synonym für eine Stromfabrik mit Wasserturbinen.

2.3 Das Beispiel Schaffhausen

Es ist bekannt, dass hinter der Industrialisierung des hier betrachteten Rheingebiets die eben geschilderte Möglichkeit und Entwicklung der Wasserkraftnutzung steht. Das kann man beispielsweise bei den vielen Textilbetrieben sehen, die diese Industrialisierung einleiteten und lange Zeit trugen. Darauf sei jedoch nicht eingegangen, sondern auf die Verhältnisse in Schaffhausen.

Längs den Stromschnellen in Schaffhausen, den so genannten Lächen, waren die Bedingungen für eine Wasserkraftnutzung in Stadt Nähe verhältnismässig günstig. Sicher gab es dort schon im Mittelalter einige am Ufer angeordnete Mühlen. Für den Beginn der Neuzeit zeigt ein Prospekt von 1644 einen langen und zwei kurze Uferkanäle mit insgesamt 18 Wasserrädern. Anfangs des 19. Jahrhunderts, das heisst 1831 und 1850/51, erstellten dort Industrielle zwei in Ufernähe stehende Kleinkraftwerke. Und 1864 bis 1866 wurde fast der ganze Bereich der Lächen vom ersten eigentlichen Hochrheinkraftwerk in Beschlag genommen. Wegen seinem auffälligen Damm und als Hommage an den Initianten Heinrich Moser (1805–1874) bezeichnete man diese Anlage als Moserdamm.

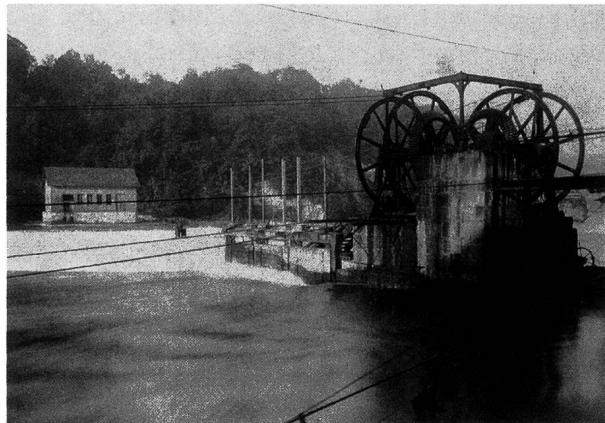


Abb. 2.2. Moserdamm in Schaffhausen, Inbetriebnahme 1866; links das Maschinenhaus, Mitte der Damm und das Wehr, rechts das Getriebe für die Richtungsänderung der Seiltransmission (Foto Elektrizitätswerk Stadt Schaffhausen).

Das Kraftwerk Moserdamm bestand aus vier Elementen: einem den ganzen Rhein querenden Damm, einem am linken Ufer stehenden Maschinenhaus, einem im felsigen Rheinbett ausgesprengten gedeckten Ableitungskanal und einer fast 500 m langen Seiltransmission. Letztere war nötig, um die von zwei Turbinen erzeugte Kraft zu den am rechten Ufer entstehenden Fabriken zu übertragen (Abb. 2.2). Eine dritte Turbine gab ihre Kraft mittels einer 120 m langen Torsionswelle an eine linksufrige Fabrik ab. Das Stromzeitalter begann dann 1882, als im Maschinenhaus eine kleine Dynamomaschine installiert wurde. Da der Energiebedarf weiter anstieg, ergänzte man die Anlage 1890/91 durch ein zweites Maschinenhaus mit 5 Turbinen. Zwei Turbinen dienten der elektrischen Kraftübertragung durch Gleichstrom, drei trieben neue Seiltransmissionen an. Diese imposanten Transmissionen wurden erst 1900 nach der vollständigen Elektrifizierung beider Maschinenhäuser abgebrochen (VISCHER, 2000).

An der Stelle des einstigen Moserdamms steht heute das 1960–1963 gebaute moderne Niederdruckkraftwerk Schaffhausen mit zwei grossen Kaplan-turbinen von 5,9 m Durchmesser.

2.4 Der heutige Kraftwerkspark und seine Einflüsse

Es wurde bereits betont, dass die ersten Kraftwerke zunächst nur einem benachbarten Betrieb

oder einer nahen Siedlung dienten. In der Pionierzeit der Elektrifizierung wurde ihr Strom dort ausser in Kraft auch in Licht umgewandelt. Dementsprechend trugen sie häufig den Namen Licht- und Kraftwerke. Sie arbeiteten im so genannten Inselbetrieb, das heisst ohne Verbindung untereinander.

Das änderte sich mit dem Bau der Übertragungsnetze und der langen Hochspannungsleitungen. Damit konnten mehrere Kraftwerke zusammenarbeiten und viele, selbst weit abgelegene Nutzer versorgen. Dieser so genannte Verbundbetrieb setzte um 1910 ein. Wie schon angedeutet, ermöglichte er eine örtliche Trennung der Kraftwerke als Stromfabriken von den Stromkonsumenten. Das machte Regionen mit reichlichem Wasserkraftpotential für den Bau von grossen Wasserkraftwerken attraktiv. So wie man eben in anderen Gebieten Kohle für die Dampfmaschinen und Heizungen schürfte, so gewann man hier nun die «weisse Kohle», das heisst den Strom.

Zu einer solchen Region der «weissen Kohle» wurde auch der alpine Raum des hier betrachteten Rheingebiets. Dort wurden deshalb – zuerst zögerlich, dann immer umfassender – grosse Wasserkraftwerke, ja ganze Systeme von Wasserkraftanlagen gebaut. Die Initianten und Träger waren zum grössten Teil die Energieversorgungsunternehmen der bedeutenden Städte und der Wirtschaftsregionen nördlich der Alpen bis ins deutsche Rheinland hinunter. Der Aufschwung dauerte etwa von 1910 bis 1945 (Abb. 2.3). Dann setzte nach dem Zweiten Weltkrieg bis anfangs der 1970er Jahre eine eigentliche Blütezeit des Wasserkraftwerkbaus ein.

Eine weitere wichtige Gewinnungsstätte für die «weisse Kohle» war der Hochrhein, wo nach den kleinen Wasserkraftwerken am Rheinfall und dem Kraftwerk Moserdamm in Schaffhausen 10 grosse Wasserkraftwerke unterhalb des Rheinfalls erstellt wurden. Das erste, Rheinfelden, ging 1898 in Betrieb, das letzte, Säckingen, 1966. Weil diese Niederdruckanlagen aber am Rand oder ausserhalb des betrachteten Rheingebiets liegen, wird hier bloss auf die Verhältnisse im alpinen Raum eingegangen.

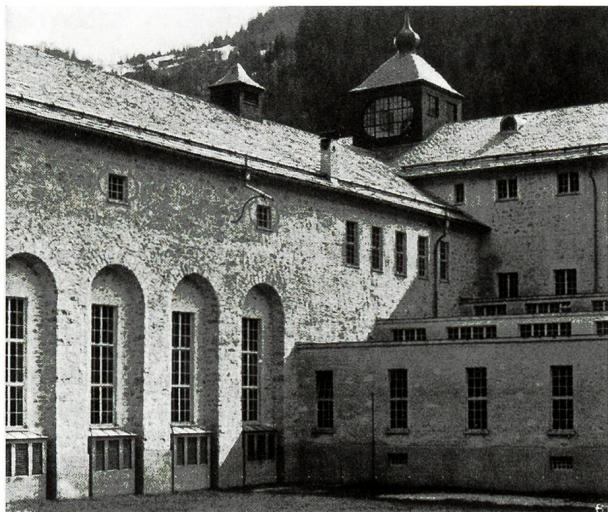


Abb. 2.3. Kraftwerkzentrale Küblis, Inbetriebnahme 1922. Teilansicht aus Norden (Fotoarchiv Rätiaenergie, Küblis).

Für die Alpenkraftwerke gab es eine Bauweise, die international etwa als die «alpine» bezeichnet wird. Es handelt sich um Kraftwerke, die eine grosse Fallhöhe ausnützen, das heisst um Hochdruckanlagen. Von der Fassung des Triebwassers an einem Wildbach führt ein Druckstollen durch die Talfanke oder zu einem Nachbartal und endet im Wasserschloss. Dieses gleicht die Druckschwankungen aus, die sich bei raschen Produktionsänderungen ergeben. Vom Wasserschloss wird das Triebwasser über eine offen geführte Druckleitung oder in einem Druckschacht hinunter zum Maschinenhaus geleitet. Dort beaufschlagt es die Turbinen – bei sehr hohen Drücken sind es Peltonturbinen und bei mittleren Drücken Francisturbinen – und wird dann an den nächsten Wildbach oder an die nächste Hochdruckanlage abgegeben. Diese Turbinen sind direkt mit Generatoren gekuppelt, deren Strom in Mittelspannung anfällt und für den Abtransport ins Unterland auf Hochspannung transformiert wird. Denn bei Hochspannung sind die Übertragungsverluste in den Hochspannungsleitungen am kleinsten.

In der Regel folgen sich mehrere solche Hochdruckanlagen, die man deshalb als Kraftwerkstufen bezeichnet. Auch diese Mehrstufigkeit ist für die alpine Bauweise typisch. Die oberste Stufe weist in der Regel anstelle einer Bachfassung einen Stausee auf. Dieser gleicht

den unregelmässigen Wasseranfall aus. Wenn im Winter im Einzugsgebiet «Stein und Bein» gefroren ist, ist dieser Wasseranfall naturgemäß klein. Im Sommer steigt er dann infolge der Schnee- und Eisschmelze sowie der Regenfälle auf ein Mehrfaches an. Der Stausee dient nun als Speicher, der einen Teil der reichlichen Sommerzuflüsse zurückhält, um die spärlichen Winterzuflüsse aufzubessern. Deshalb wird er Saisonspeicher genannt. Im Unterschied dazu gibt es noch kleinere Becken, die auf einen Ausgleich des Triebwasserbedarfs – etwa zwischen Tag und Nacht oder auch in kleineren Perioden – ausgerichtet sind und als Ausgleichsbecken bezeichnet werden. Sie sind nicht bloss am Kopf der obersten Stufen – dann gleichsam als Minstaueseen – zu finden, sondern auch zwischen den Stufen.

Zu den bekannten mehrstufigen Hochdrucksystemen gehören die Vorderrheinkraftwerke, die Hinterrheinkraftwerke, die Kraftwerke Zervreila (Abb. 2.4), die Kraftwerke an der Julia und Albula, die Kraftwerke im Prättigau, die Kraftwerke im Sarganserland, die Vorarlberger Illwerke und die Kraftwerke an der Bregenzer Aach.

Die einzige grössere Niederdruckanlage am Alpenrhein steht in Reichenau. Von den Niederdruckanlagen am Hochrhein war ja bereits die Rede. Weitere, an Reichenau flussabwärts anschliessende Fluss- oder Kanalkraftwerke wurden verschiedentlich projektiert, aber nicht

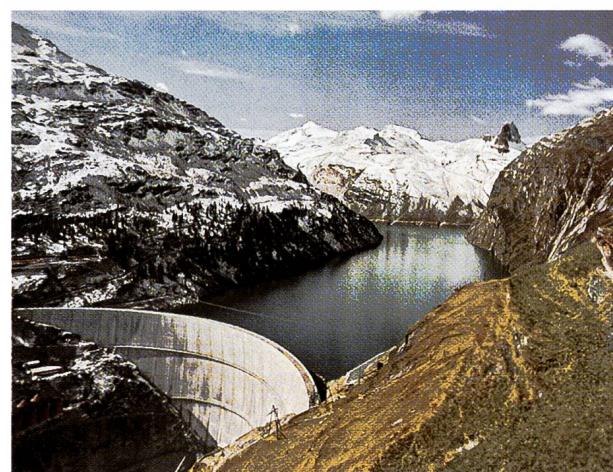


Abb. 2.4. Staumauer und Stausee Zervreila, 1957, kurz vor der Vollendung (Foto Rostetter, Ilanz).

gebaut. Sehr ernsthaft weiterverfolgt wurde ein Projekt für 5, sich an der liechtensteinisch-schweizerischen Grenzstrecke aneinander reihende Flusskraftwerke. Ein erstes Konzessionsprojekt erreichte die zuständigen Behörden hüben und drüben 1981. Dann folgten wegen vielen Bedenken und Einsprachen mehrere Abklärungen und Projektanpassungen. Der in der Schweiz gesetzlich vorgeschriebene Umweltverträglichkeitsbericht konnte erst 1990 vorgelegt werden (STREICHENBERG, 1990). Schliesslich fiel die behördliche Umweltverträglichkeitsprüfung negativ aus. Den Ausschlag dazu gaben die möglichen negativen Folgen für die grossen anstehenden Grundwasservorkommen, für die Fischerei und für die Natur. Auch ist zu sagen, dass die Wirtschaftlichkeit dieser Niederdruckanlagen aus damaliger Sicht eher marginal erschien. Der Alpenrhein hat dort für die Wasserkraftnutzung im Verhältnis zu seiner Wasserführung offensichtlich ein zu niedriges Gefälle. So kommt es, dass der Rhein von Reichenau bis Schaffhausen kein einziges Wasserkraftwerk antreibt.

Es ist hier nicht möglich, alle Wasserkraftwerke im Hoch- und Niederdruckbereich zu beschreiben. Eine gute Übersicht über die österreichischen Anlagen vermitteln MATT (1992) und über die schweizerischen WEBER und ZGRAGGEN (1992). In der zweitgenannten Publikation werden allein für die zum betrachteten Rheingebiet gehörenden Teile Graubündens, St. Gallens und Appenzells 61 Kraftwerkszentralen mit mehr als 300 kW Ausbauleistung aufgeführt, sowie 28 Stauteen mit Talsperren, die eine gewisse Grösse aufweisen und darum bezüglich Sicherheit der Aufsicht des Bundes unterstehen. Die Entwicklung der Architektur widerspiegelt sich besonders bei den Anlagen in Graubünden (CLAVUOT und RAGETTLI, 1991; Abb. 2.3).

Über den Einfluss der Wasserkraftwerke auf den Abfluss wurde bereits im Abschnitt Hydrologie geschrieben. Gerade die alpinen Hochdruckanlagen leiten ihr Triebwasser aus einem Wildbach ab und geben es kilometerweit unterhalb wieder an diesen oder einen anderen Wild-

bach zurück. Dadurch schaffen sie zwischen der Fassung und der Rückgabe ins Gewässernetz eine Restwasserstrecke. Mit den Saisonspeichern bewirken sie unterhalb der Rückgabe eine Anreicherung der Winterabflüsse zu Lasten der Sommerabflüsse. Und weil ihre Produktion eng den Konsumwünschen folgt, erzeugen sie dort zudem tägliche Abflussschwankungen. Sowohl die saisonalen wie die täglichen Abflussänderungen überlagern sich natürlich im Alpenrhein und werfen auch dort gewisse ökologische Probleme auf. Deshalb ist heute eine Diskussion in Gang, wie man diese Probleme lösen oder zumindest mildern könnte.

2.5 Die Rolle der Speicherseen

Um die Produktionsweise der mit einem Speicher versehenen Kraftwerke, das heisst der Speicherkraftwerke, zu verstehen, sei nochmals daran erinnert, dass heute das Produkt aller Kraftwerke aus Strom, das heisst aus Kilowattstunden besteht. Und diesen Strom kann man nicht speichern. Darum muss jede Kilowattstunde, die verbraucht wird, im selben Moment erzeugt werden. Wenn also eine Hausfrau ihre Kochplatte anstellt, muss irgendwo eine Turbine (oder der Verbund aller Turbinen) sekundenschnell reagieren und den entsprechenden Zusatzbedarf produzieren. Dasselbe gilt für einen Lokomotivführer, der mit seinem Zug anfährt und damit einen Zusatzbedarf schafft, der von den Kraftwerken unverzüglich abgedeckt werden muss. Die Zusatzproduktion, die einem solchen Zusatzbedarf gegenübersteht, kann aber nur dort erfolgen, wo eine Rohstoffreserve vorhanden ist, also im Fall der Wasserkraft durch Speicherwasser. Der umgekehrte Vorgang ergibt sich, wenn die Hausfrau ihre Kochplatte abschaltet und der Lokomotivführer seinen Zug anhält. Dann entfällt der Zusatzbedarf, die Turbine produziert sofort weniger und die Rohstoffreserve an Speicherwasser wird entsprechend geschont.

Im Verbundnetz der allgemeinen Stromversorgung übernehmen deshalb die mit Saisonspeichern und Ausgleichsbecken versehenen Hochdruckanlagen die sekundenschnelle Abstimmung der Stromproduktion an die Konsu-

mentenwünsche, eine Betriebsweise, die man als Spitzendeckung bezeichnet. Die Kraftwerke ohne Speicher und insbesondere die Niederdruckanlagen an den Flüssen mit ihren nicht bewirtschaftbaren Stauhaltungen vermögen diese Abstimmung nicht zu leisten. Sie können höchstens das im Fluss momentan anfallende Wasser nutzen.

Nicht abstimmungsfähige Wasserkraftanlagen, wie eben die Niederdruckanlagen oder die Dampfkraftwerke, produzieren zeitweise Strom, der im Moment gar nicht gebraucht wird – zum Beispiel im Sommer in den Stunden nach Mitternacht. Dann ist es sinnvoll, den Überschussstrom zu den Hochdruck-Speicherwerken zu leiten und dort Speicherpumpen zu betreiben. Diese fördern Wasser von einem niederen Speicher hinauf zu einem höheren und ergänzen so die dortige Rohstoffreserve. Damit übernehmen sie die Rolle von Ladegeräten für eine grosse Batterie. Aus diesem Grund sind verschiedene der genannten grossen Systeme von Hochdruckanlagen mit solchen Pumpen ausgerüstet und betreiben neben der natürlichen Speicherung auch eine so genannte Pumpspeicherung. Das erste derartige Ladegerät entstand allerdings nicht in den Alpen, sondern 1909 in Schaffhausen. Dieses kleine Pumpspeicherwerk arbeitet dort zwischen dem Rhein und einem rund 160 m höher gelegenen Speicherbecken, dem Engweiher.

3 IDEEN ZU EINER BODENSEE-REGULIERUNG

3.1 Extremzustände und Regulierziele

Ein Teil der Bodenseehydrologie wird bereits im Abschnitt «Der Bodensee, ein stehendes, aber dennoch dynamisches Gewässer» beschrieben. Als Ergänzung dazu sollen hier noch andere Studien über die Verhältnisse am Bodensee zusammengefasst werden (VISCHER, 2001).

Nach den laufenden Erhebungen der Landeshydrologie ergeben sich die mittleren und extremen Seestände im Ober- und Untersee gemäss Tab. 3.1. Nun ist für die Seeanwohner und -benutzer natürlich wichtig, wie häufig extrem

niedrige und extrem hohe Seestände auftreten. Mit Blick auf die Hochstände führte die schweizerische Landeshydrologie deshalb eine Analyse der mittleren Wiederkehrperioden durch. Dabei konnte sie sich auf ungewöhnlich lange Messreihen stützen, nämlich auf 134 Jahre (1866–1999) am Obersee und auf 114 Jahre (1886–1999) am Untersee. Als Schadengrenze gilt am Obersee die Kote 397,14 m ü. M. und am Untersee die Kote 396,85. Tab. 3.2 zeigt, wie oft im Mittel diese Koten sowie höhere Koten überschritten werden: Der Bodensee steigt dementsprechend alle 3 bis 4 Jahre über die Schadengrenze. Wie allgemein bekannt, sind die Verhältnisse am Untersee etwas prekärer als am Obersee.

Die Höchststände treten gewöhnlich zwischen Mai und September auf. So etwa 1890 am 3. September im Obersee und am 4. September im Untersee oder 1999 am 11. Juni im Obersee und am 24. Mai im Untersee. Für die Betroffenen besonders unangenehm ist die lange Dauer der zugehörigen Ausuferungen. 1987 lag bei-

Tab. 3.1. Mittlere und extreme Seestände im Bodensee in m ü. M.

	Obersee	Untersee
Mittelwert (Periode 1930–1999)	395,60	395,40
Tiefstwert (Januar 1949)	394,59	394,31
Höchststand (September 1890)	398,00	397,76
Höchststand 1999 zum Vergleich	397,89	397,67

Tab. 3.2. Mittlere Wiederkehrperiode schädlicher Hochwasserstände in Jahren

Überschreitung	Obersee	Untersee
der Schadengrenze	4	3–4
0,2 m darüber	7–8	7
0,4 m darüber	15–20	15
0,6 m darüber	40–50	40
0,8 m darüber	150	100–150

spielsweise der Obersee während 6 Wochen über der Schadensgrenze und der Untersee während 7 Wochen, und das im Sommerhalbjahr, das heisst in der Vegetations- und Touristiksaison. Die Tiefstände sind demgegenüber eher eine Erscheinung des Winterhalbjahres, und zwar vor allem der Monate Januar bis März.

Mit Blick auf die Hochstände lassen sich folglich die Regulierziele klar formulieren: Weder der Ober- noch der Untersee sollen über ihre Schadensgrenzen steigen. Das erfordert eine Vergrösserung des Abflusses aus beiden Seen während den Hochwasserperioden und bringt den Unterliegern somit mehr Wasser. Deshalb muss als Einschränkung beachtet werden, dass der Rheinabfluss von Stein bis Neuhausen nicht über eine gewisse Grenze – gedacht wird an $1050 \text{ m}^3/\text{s}$ – steigen darf.

Etwas weniger scharf umreissbar sind die Regulierziele hinsichtlich der Tiefstände. Diese könnten beispielsweise um 0,2 bis 0,3 m über die bisherigen Extremwerte angehoben werden, um der Entblössung der Ufer vorzubeugen, eine genügende Überdeckung der Abwasserleitungen zu gewährleisten und die Schiffahrt zu erleichtern. Zu diesem Zweck müsste der Abfluss aus beiden Seen während den Niedrigwasserperioden gedrosselt werden. Dabei wäre freilich den Unterliegern von Stein bis Neuhausen ein Minimalabfluss im Rhein von $115 \text{ m}^3/\text{s}$ zu garantieren; das entspricht dem bisherigen Minimalwert.

Die Ermöglichung eines grösseren Abflusses in Hochwasserperioden erfordert zwangsläufig eine Ausweitung (Verbreiterung, Vertiefung) des Abflussquerschnitts. Das würde jedoch auch einen grösseren Abfluss in Niedrigwasserperioden verursachen und beiden Seen niedrigere Tiefstände bescheren als bisher. Das will man, wie gesagt, nicht; im Gegenteil, man möchte höhere Tiefstände. Deshalb braucht es im erweiterten Abflussquerschnitt ein Regulierwehr, das in Mittel- und Niedrigwasserperioden die erforderliche Abflussdrosselung besorgt. Da beide Seen hydraulisch eng zusammenhängen, käme nur am Ausfluss des Untersees ein solches Regulierwehr zu stehen.

Die hier dargestellten hydrologischen Gegebenheiten und die Regulierziele entsprechen den heutigen Verhältnissen. Im Folgenden soll aber noch auf frühere Ideen und Projekte mit zum Teil anderen Voraussetzungen eingegangen werden.

3.2 Rückbau eines alten Wehrs in Konstanz und erste Regulierungsprojekte

Schon im Mittelalter baute man im Seerhein Fischfachen, Mühlen und andere Anlagen ein, die den Ausfluss aus dem Obersee behinderten. Im 15. Jahrhundert kombinierte man die Mühlen dann mit der Konstanzer Rheinbrücke. Schliesslich lehnten sich an diesen Übergang einige stattliche Gewerbebetriebe mit mehreren Räderwerken an. Um deren Kraft zu erhöhen, wurden seewärts Fangdämme (Leitwerke) und zwischen den Pfeilern Schwemmen angeordnet, letztere zum Teil mit Stellfallen, das heisst mit kleinen aufgesetzten Schützen (Abb. 3.1). Auf diese Weise entstand gleichsam ein Wehr, das den Oberseespiegel entsprechend anhob. Der Aufstau dürfte zwar bloss im Dezimeterbereich gelegen haben, was bei Nieder- und Mittelwasser belanglos war, aber bei Hochwasser doch störte. Bei den betroffenen Seeanliegern spielte wohl, wie in ähnlichen Fällen, auch eine gewisse psychologische Überhöhung des Effekts mit. Als die Brücke 1856 samt ihren Mühlen abbrannte, erwirkten jedenfalls die damaligen Uferstaaten Baden, Bayern, Österreich, Schweiz und Württemberg, dass die Mühlen nicht wieder erstellt und die Leitwerke und Schwemmen beseitigt wurden, was man als Rückbau bezeichnen kann. Die Ratifizierung dieser Vereinbarung, die auch eine Entschädigung an Konstanz festgeschrieb, erfolgte 1858 (GRIM, 1995).

Die Ausbaggerungen, die damals und später im Konstanzer Trichter und im Seerhein erfolgten, geschahen zu Gunsten der Schiffahrt und beeinflussten das Seeregime nicht. Ebenso wenig wirkten sich einige kleinere Abgrabungen am Eschenzerhorn aus, die im Nachgang zu den verheerenden Ausuferungen von 1876 und 1890 vorgenommen wurden. In dieser Zeit begann

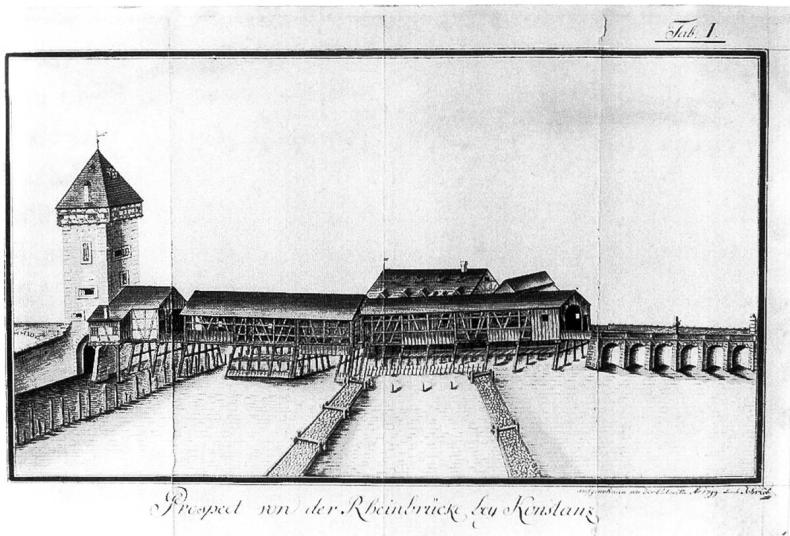


Abb. 3.1. Konstanzer Rheinmühlen und Rheinbrücke. Aquarell von J. v. Lob, 1799 (Rosgarten-Museum, Konstanz).

man aber bereits umfassende Sanierungspläne auszuarbeiten. Ausschliesslich auf den Hochwasserschutz ausgerichtet war das Projekt von Max Honsell (1843–1910), Wasserbauingenieur des Grossherzogtums Baden (KONOLD, 2000). Honsell schlug darin 1879 die Baggerung einer Rinne in der Rheinsohle von Stein bis zur Bibermündung vor, sowie den Einbau von grossen Schützen im Moserdamm bei Schaffhausen. Dieser Damm querte damals den Rhein zu Gunsten eines Kraftwerks, das seine Energie über Seiltransmissionen an die Industrie abgab. Ein weiterreichendes Projekt präsentierte 1891 der Linthingenieur Gottlieb Heinrich Legler (1823–1899), der ausser einer Absenkung der Hochstände im Bodensee auch eine Nieder- und Mittelwasserhaltung vorsah. Deshalb empfahl er neben einer Baggerung im Rhein von Stein bis zum Moserdamm auch die Umwandlung dieses Damms in ein bewegliches Wehr sowie den Bau eines Bodensee-Regulierwehrs bei Stein oder am Eschenzer Horn.

Bis ins 19. Jahrhundert hinein bestand die Meinung, der Untersee würde von den Felsen am Rheinfall oder den felsigen Stromschnellen in Schaffhausen, den «Lächen», eingestaut oder zumindest vom 1864–1866 dort erstellten Moserdamm. So wurde ja bereits im Abschnitt «Einige Besonderheiten des Hochrheins bis zum Rheinfall» auf eine 1821 publizierte Idee

hingewiesen, das Rheinbett in Schaffhausen durch einen grossen Umleitstollen zu ergänzen, der im Unterwasser des Rheinfalls ausmündet. Im gleichen Abschnitt wird aber auch gesagt, dass der Abfluss aus dem Untersee weder vom Rheinfall oder den Lächen in Schaffhausen noch vom einstigen Moserdamm und dem heute dort stehenden Kraftwerk Schaffhausen bestimmt wird, sondern von der Rheinstrecke zwischen Stein und Hemishofen.

3.3 Regulierprojekte des 20. Jahrhunderts und eine neue Idee

Der Schwerpunkt fast aller Projekte des 20. Jahrhunderts bestand in einem Regulierwehr im Hochrhein zwischen Eschenz und Hemishofen. Dazu wurden mehr oder weniger umfangreiche Ausweitungen im Hochrhein von Öhningen bis Diessenhofen und im Seerhein vorgesehen. Wenn in den gleichen Projekten überdies noch Massnahmen im Rhein bei Schaffhausen Erwähnung finden, so zielen diese auf den dortigen Hochwasserschutz ab und nicht auf die Bodenseeregulierung. Die wichtigsten Projekte datieren von 1902, 1912, 1922, 1924, 1926, 1953, 1972 und 1973.

Das Letztgenannte wurde von der Firma Locher von Zürich im Auftrag des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft und mit Begleitung durch einen Internationalen Technischen Ausschuss mit Vertretern aus den drei heutigen Bodensee-Anliegerstaaten Deutschland, Österreich und der Schweiz erstellt. Dieses so genannte Projekt Locher 1973 entsprach einem ausgereiften Bauprojekt mit einem detaillierten Kostenvoranschlag und einem Regulierreglement, das den weiter oben erwähnten Regulierzielen gerecht wurde. Es schlug Sohlenbaggerungen im Konstanzer Trichter von 0,2 Millionen m³ vor und in der Rheinstrecke von Stiegen bei Öhningen bis Schupfen oberhalb von Diessen-

hofen von 4,5 Millionen m³. Das Regulierwehr sollte bei Hemishofen, 1,3 km unterhalb der alten Eisenbahnbrücke und der seither gebauten hohen Strassenbrücke zu stehen kommen. Sein 110 m langer Wehrkörper hätte 4 mit Schützen versehene Wehröffnungen enthalten. Der grösste Aufstau wäre bei Niedrigwasserabfluss mit 2,8 m und bei Hochwasserabfluss mit 0,1 m aufgetreten. An Nebenanlagen wurden eine Schiffsschleuse von 110 m Länge und 12 m Breite sowie eine Kleinbootschleuse und ein Fischpass projektiert.

Das Projekt Locher 1973 fußte im Wesentlichen auf dem in ähnlicher Weise entstandenen Projekt Locher 1953. Doch wurde Letzteres später durch eine Schleuse von 165 m Länge und 12 m Breite erweitert und zu einem Bestandteil eines 1964 vom Auftraggeber veröffentlichten Projekts für «Die Schiffbarmachung des Hochrheins» gemacht (EAW, 1964). Gegen diese Schiffbarmachung erhob sich eine starke Opposition, die den Hochrhein und damit insbesondere den Rheinfall möglichst naturnah sowie den Bodensee frei von europäischen Güterschiffen mit den zugehörigen Umschlaghäfen halten wollte. Schliesslich versammelte sich die Opposition 1969 zu einer Grosskundgebung in Hemishofen, wo sie sich unter anderem vehement gegen die Wehr- und Schleusenprojekte im dortigen Raum richtete. Eines der auffälligsten Ergebnisse war dann eine erfolgreiche Verfassungsinitiative im Kanton Thurgau, die dessen Regierungsrat 1973 verpflichtete, sich gegen jede Bodenseeregulierung zu stellen (VISCHER, 1989).

Da die Opposition offensichtlich stark am geplanten Regulierwehr mit Grossschleuse in Hemishofen Anstoss nahm, versuchte man noch Projekte ohne einen solchen Eingriff auszuarbeiten. So entstand unter anderem das Projekt «Bächtold und Stadelmann 1972». Es hätte mit weniger Ausbaggerungen die Regulierziele in Hochwasserperioden nicht ganz erreicht und den Untersee im Niederwasserfall um rund 1 m abgesenkt. Das erschien jedoch als untragbar. Deshalb stellten die Projektverfasser noch zwei Zusatzprojekte zur Diskussion: Das eine versuchte, die Nachteile durch verschiedene

Erbbewegungen an den Ufern des Unter- und Obersees sowie des Seerheins zu mildern, das andere führte ein Regulierwehr in Form eines langen Schlauchwehrs mit Schiffsschleuse zwischen Öhningen und Eschenz ein (Abb. 3.2).

1973 veröffentlichte der bereits erwähnte Internationale Technische Ausschuss eine Begutachtung und wies am Rande auf eine Alternative hin: Das Hochwasserproblem liesse sich statt mit flussbaulichen Massnahmen auch mit einem Entlastungsstollen lösen (INTERNATIONALER TECHNISCHER AUSSCHUSS, 1973). 1976 konkretisierte der im Eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft für Seeregulierungen zuständige Sachbearbeiter diese Möglichkeit wie folgt: Am Ufer des Untersees zwischen Mammern und Eschenz könnte ein gut 6 km langer Stollen zur Thur nordwestlich von Frauenfeld ausgebrochen werden, der als Hochwasserentlastung dienen würde. Er käme dort in die Molasse zu liegen und müsste so bemessen sein, dass er bis 500 m³/s zu fassen vermöchte. Auf diese Weise liesse sich ein Ansteigen des Bodensees über die Schadengrenze ohne Ausbaggerungen im Hochrhein vermeiden. Selbstverständlich würde das Thurbett unterhalb der Stollenausmündung dadurch zeitweise stärker beansprucht als heute. Weil die Thurbach nur kurz andauern und meist ablaufen, bevor die Höchststände im Bodensee erreicht sind, gäbe es dort aber kaum Kapazitätsprobleme.

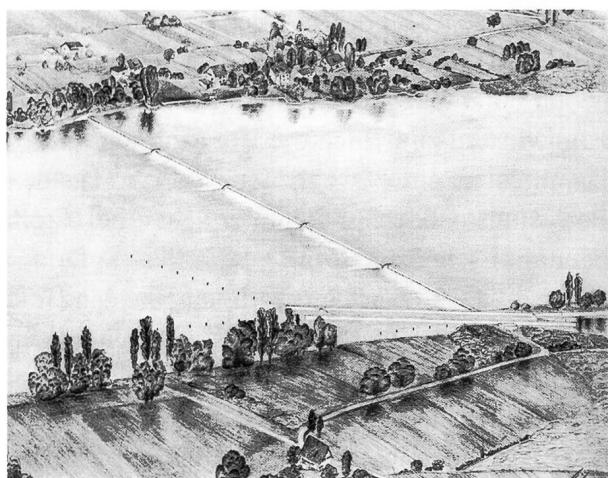


Abb. 3.2. Zusatzprojekt von Bächtold 1973 mit überflutbarem Schlauchwehr zwischen Öhningen–Eschenz und Schiffsschleuse.

Eine solche «Überlausicherung» mittels Stollen liesse sich theoretisch auch noch anders lösen, zum Beispiel durch einen Umleitstollen, der den Engpass im Rhein von Stein bis Rheinklingen oder Hemishofen seitlich umginge. Er käme aber ganz oder zum grossen Teil in grundwassergesättigte Schotter zu liegen und wäre wohl zu aufwändig. Auf jeden Fall würde ein Stollen nur das Hochwasserproblem am Bodensee lösen, nicht aber das Niederwasserproblem. Für das letztere müssten Ergänzungsmassnahmen in Form eines Regulierwehrs im Raum Eschenz – Hemishofen oder durch eine andere Drosselinrichtung in Betracht gezogen werden. Wegen der bestehenden Schifffahrt mit Booten und Gastschiffen – die grösste Einheit ist das Motorschiff Schaffhausen mit 50 m Länge und 9,3 m Breite – wäre auch dieses Regulierwehr mit einer Schleuse zu versehen. Aus dem gleichen Grund könnte die alternative Drosselinrichtung nicht aus einer festen Wehrschwelle bestehen; in Frage käme dafür eine Erhöhung der Rheinsohle von Stiegen bis Rheinklingen im Umfang von 0,3 m. Ein eigentliches Projekt dafür wurde aber nicht erstellt (VISCHER, 2001).

3.4 Frühe Umweltverträglichkeitsberichte und ein bleibendes Problem

Die Arbeiten für das Projekt «Locher 1973» und das alternative Projekt «Bächtold-Stadelmann 1972» wurden ab 1968 durch eine vom Eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft eingesetzte Expertenkommission für Natur- und Heimatschutz begleitet. Diese stützte sich unter anderem auf hydrobiologische Untersuchungen von Jaag (JAAG, 1946, 1968). Dort beklagte jener insbesondere die Auswirkungen einer Regulierung auf die «so charakteristischen und einmaligen Lebensgemeinschaften der Kalktuffgerölle am Stromgrund sowie der so genannten Schnegglisande, die bei den Inseln Werd... zur Entwicklung gelangen und vom wissenschaftlichen und naturschützerischen Standpunkt aus ein Kleinod von Untersee und Rhein darstellen». (Vgl. SCHLÄFLI, in diesem Buch.)

Die Expertenkommission setzte sich intensiv mit dem durch die Regulierung veränderten

Wasserkörper am Untersee und am anschliessenden Rhein auseinander. Dann beurteilte sie den Einfluss der entsprechenden Wasserstände, Strömungen und Sohlenveränderungen sowie der vorgesehenen Wehr- und Schleusenbauten auf die Umwelt. Aus den Akten geht hervor (KLÖTZLI, 1975/1976), dass sie sich schwergewichtig an folgenden Hauptfragen orientierte:

- Landschaft
- Avifauna (Wasservögel)
- Schilffelder und Ufervegetation
- Biologie des flachgründigen Flussbetts
- Fische und Laichplätze.

Abschliessend erstellte die Expertenkommission drei Berichte, und zwar je einen über das Projekt «Locher 1973», das Projekt «Bächtold-Stadelmann 1972» und den Vergleich beider Projekte. Das Ergebnis war, dass sie das Projekt «Bächtold-Stadelmann» gegenüber dem Projekt «Locher» eindeutig bevorzugte, sich aber grundsätzlich gegen jede Regulierung aussprach. Diese drei Berichte wurden 1975/76 abgeliefert, also zwei bis drei Jahre nach der Inkraftsetzung des Thurgauer Verfassungsartikels von 1973. Sie können als Vorbilder der im Umweltschutzgesetz von 1983 vorgesehenen Umweltverträglichkeitsberichte betrachtet werden, die den zuständigen Behörden die Umweltverträglichkeitsprüfung ermöglichen.

Weil der Bodensee und der Hochrhein internationale Gewässer sind, kommt die Zuständigkeit dem Bund zu. Er müsste also die Verantwortung für eine Bodenseeregulierung übernehmen und das Einvernehmen mit den betroffenen Stellen Deutschlands und Österreichs suchen. Angeichts der Opposition stellte er 1973 aber seine diesbezüglichen Bemühungen ein – und seitdem wirkt die verfassungsmässige Verpflichtung des Thurgauer Regierungsrats gegen die Bodenseeregulierung wie ein Moratorium.

Die immer wieder zu hoch steigenden und zu tief fallenden Bodenseestände blieben aber als Problem zurück: Die Ufer des Bodensees werden weiterhin alle drei bis vier Jahre bis zu 7 Wochen lang überschwemmt (Tabelle 3.2). Das betrifft allein auf der Schweizer Seite von Altenrhein bis Eschenz mehr als 20 Ortschaften (und auf der

deutschen und österreichischen doppelt so viele). Damit wird ein Gebiet einer Hochwassergefahr ausgesetzt, wie man sie heute in dieser Häufigkeit und Ausdehnung keiner vergleichbaren Region der Schweiz mehr zumutet. Und wenn etwa gesagt wird, dass man als Gegenmassnahme einfach alle Ufer mit den darauf stehenden Bauten und Verkehrswegen auf eine hochwassersichere Kote heben solle, wirkt das eher leichtfertig. Denn eine solche Massnahme wäre nur an wenigen Stellen möglich. Sie würde überall dort, wo sie historische Siedlungskerne betrifft, an jeder Umweltverträglichkeitsprüfung scheitern.

Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass sich nach den starken Seeausuferungen von 1999 (Abb. 3.3) ein Nationalrat und 10 Mitunterzeichner durch ein Postulat an den schweizerischen Bundesrat wandten, um dessen aktuelle Ansicht über eine Bodenseeregulierung zu erfahren. Die Antwort zeigte, dass der Bund in dieser Sache nur aufgrund einer Initiative der Kantone aktiv werden könnte und würde. Selbstverständlich wären für eine solche Initiative aber auch die anderen Uferstaaten zuständig. Denn auch dort gibt es bei den extremen Bodenseeständen Probleme. Längerfristig dürfte etwa die IRR (Internationale Rheinregulierung) mit Blick auf die Vorstreckung des Alpenrheins bei Fussach an einer Begrenzung der Höchststände interessiert sein. Ja, in Deutschland wurden schon mehrfach Stimmen laut, den Bodensee zwecks Steigerung der Trinkwasserentnahme selbst bei mittleren Wasserständen zu regulieren (GRIM, 1995).



Abb. 3.3. Überschwemmung von Ermatingen im Juni 1999 (Foto Keystone, Christoph Ruckstuhl).

4 LITERATUR

- BERGMEISTER, U. 1989. Die Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee. – Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1, 23–28.
- BERGMEISTER, U. & LEIPOLD-SCHNEIDER, G. 2000. Umstritten und freudig begrüßt – 100 Jahre Fussacher Durchstich 1900–2000. – Vierteljahresschrift für Geschichte und Gegenwart Vorarlbergs 52, 1, 49–80.
- BISCHOFF, A. 1992. Wildbachverbauungen im Rhein-Einzugsgebiet des Kantons Graubünden. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 309–311.
- BISCHOFF, A. 2001. Fluss- und Wildbachverbauungen zur Zeit La Niccas und heute. Manuskript für ein Buch über La Nicca (vom Verfasser erhalten), 8 pp.
- BISCHOFF, CH. 1977. Graubünden. In: «100 Jahre Bundesgesetz über die Wasserbaupolizei», Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau, Bern, 126–135.
- BURMEISTER, K.H. 1992. Die Rheinmühlen. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 75–78.
- CLAVUOT, C. & RAGETTLI, J. 1991. Die Kraftwerke im Kanton Graubünden. Verlag Bündner Monatsblatt, Chur, 247 pp.
- EAW 1964. Die Schiffbarmachung des Hochrheins, Projekt 1961. Mitteilung Nr. 44 des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft, Bern, 103 pp.
- FISCHER, A. 1992. Wildbachverbauung im österreichischen Rhein-Einzugsgebiet. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 301–308.
- GÄHWILER, A. & SPECK, J. 1991. Die römische Wassermühle von Hagendorf bei Cham ZG. Helvetia archaeologica 86, Schwabe & Co., Basel, 34–75.
- GÖTZ, A. 1983. Gewässerkorrektionen im Wandel der Zeit. In: «Die Geschichte der Gewässerkorrektionen und der Wasserkraftnutzung in der Schweiz», PRO ACQUA, (Bd. 9E, p. 2.1–2.16), – Eigenverlag, Basel.
- GRIM, J. 1995. Die «alte Rheinmühle» in Konstanz und ihre Wirkung als Regulierwehr. Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft, H. 19, Bonn, 59–69.
- GUNZENREINER, U. 1992. Wildbachverbauung im Rhein-Einzugsgebiet des Kantons St. Gallen. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 312–315.

- HEER, A. 1992. Die Dienstbahn. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 247–256.
- HUNGERBÜHLER, J.M. 1854. Denkschrift über den Uferschutz am Rhein und die neuesten Bestrebungen für eine durchgreifende Stromregulierung von Ragaz bis zur Mündung des Rheins in den Bodensee. Huber und Komp., St. Gallen und Bern, 1854.
- INTERNATIONALER TECHNISCHER AUSSCHUSS 1973. Bodenseeregulierung. Projekt 1973, Gesamtbericht Deutschland, Österreich, Schweiz. Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern, unveröffentlicht, 30 pp.
- IRKA 2003. Hydrologie Alpenrhein. Hrsg. Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Flussbau. Verfasser: Ingenieurbüro Heierli, Ingenieurbüro Hunziker, Zarn und Partner, Tergeso, Büro für Umweltfragen, 36 pp.
- JAAG, O. 1946. Untersuchung zur Abklärung hydrobiologischer Fragen der Bodenseeregulierung. Bericht an das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern, unveröffentlicht, 256 pp., sowie Ergänzungsbericht von 1968, unveröffentlicht, 49 pp.
- KAISER, M. 2003. Alpenrhein und Landschaftswandel. In: «Die Zeit des Kantons 1861–1914», SANKT-GALLER GESCHICHTE 2003, Bd. 6, Amt für Kultur, St. Gallen, 125–142.
- KALT, L. 1992. Die Gestaltung des Alten Rheins vom Bruggerhorn bis zum Bodensee. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 266–272.
- KALT, L. 2004. Alpenrhein. In: «Flussbau in der Schweiz, Entwicklung und Ausblick», MINOR, H.E. und W.H. HAGER, Gesellschaft für Ingenieurbaukunst, Bd. 6, 38–53.
- KLÖTZLI, F. 1975/76. Diverse Akten über die Tätigkeit der vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft eingesetzten Expertenkommission für Natur- und Heimatschutzfragen, unveröffentlicht.
- KOENIG, F. 1992. Der Staatsvertrag Schweiz – Österreich von 1892. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 172–189.
- KONOLD, W. 2000. Die Regulierung des Bodensees: eine alte Geschichte. Der Bürger im Staat. 50. Jg., H.2, Stuttgart, 82–86.
- MATT, P. 1992. Österreichische Kraftwerke im Rhein-Einzugsgebiet. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 352–354.
- OSPELT, A. 1990. Die Rheinkorrektion entlang der st. gallisch-liechtensteinischen Grenze. Werdenberger Jahrbuch 1990, 104–107. Historisch-Heimatkundliche Vereinigung des Bezirks Werdenberg, Buchs.
- PESTALOZZI, K. 1872. Über die Rheincorrection im Canton St. Gallen. Separatdruck aus Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Zürich.
- PETER, E. 1955. Die Korrektion des Rheins im Kanton St. Gallen. Schweizerische Bauzeitung 73, 25, 3–8.
- REIFF, H. 1990. Die Vorbereitung und Ausführung der Rheinkorrektion in der Zeit von 1848 bis 1927. – Werdenberger Jahrbuch 1990, 82–92, Historisch-Heimatkundliche Vereinigung des Bezirks Werdenberg, Buchs.
- ROHNER, H. 1992. Baragas-Plan von 1792 und Korrektionsvarianten im Vorfeld des Staatsvertrages von 1892. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 144–151.
- SCHNITTER, N. 1992. Die Geschichte des Wasserbaus in der Schweiz. Olymthus, Oberbözberg, 242 pp.
- SIMMEN, H. 1993. Es klappert die Mühle. In: «Wasser, ein Bündner Lesebuch», AG BÜNDNER KRAFTWERKE, Klosters, 149–153.
- STREICHENBERG, A. 2000. Das Rheinkraftwerkprojekt Schweiz-Liechtenstein. Werdenberger Jahrbuch 1990. Buchsdruck, Buchs, 180–182.
- STUBER, R. 1949. Das Rheintal in seinem Kampfe gegen den ungebändigten Rhein. – Jahrbuch unser Rheintaler, 21–35.
- VISCHER, D. 1989. Ideen zur Bodenseeregulierung; Ziele, Altes und Neues. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik Nr. 1, Luzern, 32–37.
- VISCHER, D. 2000. Von der Wasserstrasse zur Energieachse, Geschichte und heutiger Stand der Wasserkraftnutzung am Hochrhein. Der Bürger im Staat, 50, 2, Stuttgart, 93–98.
- VISCHER, D. 2001. Verminderung der Hochwasserstände im Bodensee und Anhebung der Niederwasserstände. Bericht über die Möglichkeiten und Grenzen an das Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel, unveröffentlicht, 41 pp.

- VISCHER, D. 2003. Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz von den Anfängen bis ins 19. Jahrhundert. Bericht des Bundesamtes für Wasser und Geologie, Serie Wasser, Nr. 5, Bern, 208 pp.
- VISCHER, D. 2004. Klösterliche Wasserwirtschaft im hohen Mittelalter, erläutert an schweizerischen Beispielen. Wasser, Energie, Luft, 96, 9/10, Baden, 253–259.
- VON SALIS, A. 1883. Das Schweizerische Wasserbauwesen; Organisation, Leistungen und Bausysteme. Stämpfli, Bern.
- WAIBEL, F. 1992. Die Werke der Internationalen Rheinregulierung. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 206–235 pp.
- WEBER, G. und ZGRAGGEN, R. 1992. Schweizerische Kraftwerke im Einzugsgebiet des Rheins. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 355–359.
- WENZEL, H. 1992. Wildbach- und Rüfenverbauungen im Rhein-Einzugsgebiet des Fürstentums Liechtenstein. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 316–319.
- WEY, J. 1890. Geschichtliche Darstellung der technischen Entwicklung der Rheinrection. – Schweizerische Bauzeitung, XV, 4, 19–34.

Prof. em. Dr. Dr. h.c. D. Vischer, c/o Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich, E-Mail: vischer@vaw.baug.ethz.ch

Dipl. Ing. ETH L. Kalt, Rheinbauleiter, Baudept. St. Gallen, CH-9001 St. Gallen,
E-Mail: leo.kalt@sg.ch