



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000302782

DIE
REGULIRUNG DER RHONE

VON

R. JASMUND

REGIERUNGS- UND BAURATH IN COBLENZ

MIT 12 ABBILDUNGEN UND 3 TAFELN

Z. No. 23 469



BERLIN 1900

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN
(GROPIUS'SCHE BUCH- UND KUNSTHANDLUNG)

*G 43
78.*



IV 35229

Sonderdruck aus der Zeitschrift für Bauwesen,
Jahrgang 1900.

Nachdruck verboten.

Akc. Nr. 1294 / 52

Unter den über wasserbautechnische Fragen in den letzten Jahren erschienenen Werken hat der im Jahre 1894 auf dem VI. internationalen Binnenschiffahrts-Congress im Haag vom Chefingenieur der Rhone, Herrn Girardon, vorgelegte Bericht über „Flussregulirung bei niedrigem Wasserstande“ in allen Ländern die größte Aufmerksamkeit auf sich gelenkt. War doch die darin behandelte Frage, in welcher Weise ein Fluß mit sicherer Aussicht auf Erfolg für Niedrigwasser verbessert werden könne, von hoher Bedeutung für manches hochentwickelte Culturland, eine Lebensfrage für manches industriereiche Stromgebiet. Insbesondere für Norddeutschland bildet die Niedrigwasserregulirung seit einer Reihe von Jahren die brennende Tagesfrage, von der die weitere Entwicklung der wirthschaftlichen Grundlagen weiter Landstriche nicht unwesentlich berührt wird.

Zwar bot nun gerade für den norddeutschen Wasserbau-techniker Girardons Schrift verhältnißmäßig wenig neue Gesichtspunkte. Das langsame, umsichtige Vorgehen, die stetige, sorgfältige Beobachtung der natürlichen Vorgänge, der enge Anschluß an die allgemeinen und örtlich besonderen Vorbedingungen wird bei uns schon seit den 40er Jahren, wo nach Einführung der Schlepsschiffahrt die Regulirung unserer Ströme in steigender Entwicklung möglich wurde, nach den wohl für alle Zeit grundlegenden Vorschriften unseres Altmeisters, des Oberlandes-Baudirectors G. Hagen, fort und fort geübt. Die Theorie und die Rechnung haben bei unseren Bühnenbauten niemals die Rolle gespielt wie beim Parallelwerkbau in Frankreich. Die Bauweise mit Bühnen forderte das Vertrauen in rechnerische Ergebnisse nicht unbedingt heraus, sondern gestattete ein allmähliches Vorgehen und die Anbringung nachträglicher Verbesserungen, wenn die gehegten Erwartungen nicht voll in Erfüllung gingen, oder wenn mit steigender Entwicklung des Verkehrs sich die Ansprüche der Schiffahrt an Fahrtiefe änderten. Thatsächlich sind am Rhein und an der Elbe die Normalbreiten im Laufe der Zeit wiederholt weiter eingeschränkt worden, weil die Anforderungen der Schiffahrt sich um so mehr steigerten, je mehr die Fahrzeuge in ihren Abmessungen sich vergrößerten. Das Vorgehen im Wege des Versuches (*par tâtonnement*), das Girardon empfiehlt, war unserer Bauweise schon von jeher eigen, war von Anfang an ihr besonderer Vorzug.

Auch das Haupthilfsmittel, das Girardon in Anwendung bringt, die Unterwasserbuhnen (*épis noyés*), sind bei uns nicht unbekannt. Sie sind vielmehr genau dasselbe, was die schon seit fünfzig Jahren in Norddeutschland gebräuchlichen Grundschwellen oder Stromschwellen sind. Die Verwendung der „*épis noyés*“ an der Rhone führt sogar unmittelbar auf deutsche Vorbilder zurück. Die Bauweise der Elbe, Oder und des Rheins war es, die der Vorgänger Girardons, der Chefingenieur der Rhone Jacquet, auf Grund einer Bereisung dieser Ströme im Jahre 1880 mit Erfolg auf die Rhone übertragen hat, und die Bauweise, die Girardon heute bei Durchführung seiner Grund-

gedanken zu Grunde legt, entspricht im wesentlichen den Vorschlägen, die Jacquet 1880 auf Grund seiner Reise gemacht hat.

Immerhin zeigten aber die von Girardon aufgestellten Grundsätze über die Regulirung eines Flusses bei Niedrigwasser eine weitere, selbständige Entwicklung der früheren Vorschläge nach gewissen Richtungen hin, die auch bei den preussischen Technikern die Aufmerksamkeit wach rufen mußten. Fremdartig berührt uns zunächst z. B. wohl der Vorschlag Girardons, dem Ausgleich des Gefälles vollständig zu entsagen, die Bestimmung von Normalbreiten oder Normalquerschnitten über Bord zu werfen, und auf alle Rechnung ein für allemal Verzicht zu leisten. Dem früheren französischen Vorgehen gegenüber hatte der Generalingenieur Fargue jedenfalls recht, wenn er die Mittheilungen Girardons auf dem Congresse als „un véritable événement en hydraulique fluviale“, als „une révolution“ bezeichnete.

Mit der Aufstellung eines neuen Entwurfes zur weiteren Vertiefung des Rheines beauftragt, konnte ich den Wunsch nicht unterdrücken, in das Arbeitsfeld und in die Arbeitsweise an der Rhone einen näheren Einblick zu gewinnen. Möglicherweise ergaben sich Gesichtspunkte, die auch für die weitere Regulirung des Rheines von Bedeutung waren, obwohl bekanntermaßen in den Gefällverhältnissen, Wassermengen und Sinkstoffbewegungen beider Ströme wesentliche Unterschiede bestehen. Der Herr Minister der öffentlichen Arbeiten genehmigte den geäußerten Wunsch, und im Jahre 1897, Anfang November, konnte ich, mit einem höflichen Einladungsschreiben des französischen Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten ausgerüstet, nach Lyon aufbrechen, wobei der Regierungs-Baumeister Ortloff sich mir anschloß.

Der gewählte Zeitpunkt war außerordentlich günstig. Bis Ende October war der Wasserstand der Rhone mehr und mehr zurückgegangen. Bei unserer Ankunft in Lyon stand er schon seit einigen Tagen 30 cm unter dem als kleinstes Niedrigwasser der Regulirung zu Grunde liegenden Niedrigwasserstand vom Jahre 1878, eine Erscheinung, die nach Angabe der französischen Ingenieure in diesem Umfange seit sechzig Jahren nicht eingetreten war. Sämtliche Schiffahrt auf der Rhone war eingestellt; auch die Personendampfer, die sonst zweimal wöchentlich von Lyon nach Avignon hin und zurück fahren, waren außer Betrieb und lagen in der unteren Saone vor Anker. Der einzige Dampfer, der bei 80 cm Tiefgang allenfalls die Fahrt wagen durfte, war das Dienstfahrzeug des Chefingenieurs Girardon. Dieser trug indessen Bedenken, die, wie wir später uns überzeugen konnten, in der That nicht unbegründet waren, und schlug vor, einige Tage mit der Fahrt zu warten. Unter Hinweis auf frühere Zeiten, wo der niedrigste Wasserstand der Rhone immer nur wenige Tage angehalten hatte, rechnete er sicher auf baldiges Eintreten eines höheren Wasserstandes, bei dem die Befahrung mit weniger Gefahr verbunden sein würde. Allerdings bestätigte diese Hoffnung sich nur in geringem Mafse; die Trockenheit,

das schönste Wetter und der tiefe Wasserstand von 20 bis 30 cm unter Niedrigwasser hielten den ganzen Monat November hindurch an.

Inzwischen stellte Girardon uns die Stromkarten und Zeichnungen des Längengefälles der Rhone für Gewinnung eines Ueberblickes zur Verfügung und erläuterte in täglichen Zusammenkünften in entgegenkommendster Weise die technische Eigenart der Rhone und ihrer Regulirung, die angestellten Versuche und Beobachtungen, die bestehenden Schwierigkeiten, die gewonnenen Erfahrungen und auch die erzielten Misserfolge. Es war höchst fesselnd, auf diese Weise einen Einblick in die Arbeitskammer dieses bedeutenden Mannes zu gewinnen.

Girardon ist in dreifacher Thätigkeit wirksam. Als Chefingenieur der Rhone ist er die selbständige Spitze der Strombauverwaltung und dem Minister der öffentlichen Arbeiten unmittelbar unterstellt; als Departementsingenieur des Département du Rhône ist er der technische Beirath des Präfecten in Lyon, als Professor der Nationalökonomie hält er an der Handelsschule in Lyon regelmässige Vorlesungen. An der Rhone sind ihm die Localbeamten in Lyon (Hr. Clarard), in Valence (Hr. Godard), in Avignon (Hr. Armand) und in Arles (Hr. Domergue) unterstellt, von denen jeder für etwa 80 km Stromlänge acht technisch vorgebildete „conducteurs“ und „commis“ für den Bureau- und Aufsendienst zur Verfügung hat. Der Ingenieur Clarard ist als ältester Localbeamter zugleich Stellvertreter des Chefingenieurs. Die jährlichen Ausgaben für die Unterhaltung der Rhone von Lyon bis zur Mündung betragen etwa eine Million Franken.

Neben den täglichen Vorbesprechungen wurden auf Empfehlung Girardons auch die in der Nähe Lyons liegenden Wehranlagen der Saone bei La Mulatière und bei Ile-Barbe besichtigt, sowie die für Gewinnung von Betriebskraft oberhalb Lyons im Bau begriffene Umleitung der Rhone, eine besonders grosartige Anlage, die Regierungs-Baumeister Ortloff dann in einer besonderen Angabe näher beschrieben hat. *)

Da auf der Rhone ein wesentliches Ansteigen des Wasserstandes nicht eintreten wollte, so entschloß sich Girardon nach achttägigem Warten — er merkte wohl auch unsere Ungeduld —, die Fahrt auf der Rhone zu wagen. Am 20. November 1897 begann die Befahrung, an der in vollem Umfange ausser Girardon noch der Ingenieur Hr. Godard aus Valence und der Director der „compagnie générale de la navigation du Rhône“, Hr. la Rue, auf einzelnen Strecken die Ingenieure aus Arles und Avignon theilnahmen. Uebnachtet wurde zunächst in Tournon. Als am nächstfolgenden Tage kurz unterhalb Valence bei Kil. 124 der Pafs von Fraysse unter einigen unsanften Berührungen mit der steinigen Sohle glücklich überwunden war, stellte Girardon offenbar frohen Herzens die Weiterfahrt „jusqu'au bout“ in Aussicht und hat uns bis zum 22. November die Rhone hinab bis zur Mündung ins Meer begleitet, wobei er uns in zuvorkommender Weise auf die einzelnen Bauwerke aufmerksam machte, die vorliegenden Schwierigkeiten auseinandersetzte, einzelne Entwürfe zu Sonderausführungen uns erläuterte, dabei den freigebigsten Wirth spielte und uns auch an der „beau paysage“ des Rhoneufers nicht achtlos vorüberfahren liefs. Es war eine wundervolle Fahrt. Auf der Rückreise von St. Louis mit der Bahn haben wir dann noch die Quaianlagen von Marseille, Arles und Avignon eingehend besichtigt.

Die Rhone ist in der That ein eigenartiger Strom. Insofern sie die einzige Wasserstrafse bildet, die vom mittelländischen Meere aus auf nennenswerthe Entfernung sich nach Norden erstreckt, reicht die Geschichte ihrer Schifffahrt bis in die ältesten geschichtlichen Zeiten zurück. Die allgemeine Geschichte der Rhone ist der Oeffentlichkeit bekannt geworden durch das 1892 herausgegebene, eingehende Werk „le Rhône, histoire d'un fleuve“, von Charles Lenthéric, ingenieur des ponts et chaussées, das auf dem Binnenschiffahrts-Congresse in Paris 1892 an die Abgeordneten der fremden Staaten zur Vertheilung gelangte. Ausser mehreren Einzelheiten, die sich zerstreut im ganzen Werke finden, bietet insbesondere das 11. Capitel in Band II, Seite 498 bis 549 unter der Ueberschrift „le Rhône moderne“ eine hydrotechnische Beschreibung dieses Flusses und seiner Regulirung, die um so werthvoller ist, als sie ebenfalls durchweg auf amtlichem Material beruht und vielfach auf Erläuterungsberichte zu aufgestellten Entwürfen oder auf Sonderberichte Bezug nimmt. Die Schriften von Girardon und Lenthéric ergänzen sich gegenseitig in glücklicher Weise. Leider fehlt dabei eine zusammenhängende Stromkarte in angemessenem Mafsstabe, wie solche im Mafsstabe 1:20 000 bei der Strombauverwaltung der Rhone vorhanden ist. Im öffentlichen Buchhandel sind nur die Karten des Generalstabes im Mafsstabe 1:80 000 erlangbar, haben aber für diesen Zweck keinen Werth, da sie die Strombauwerke nicht enthalten, sondern den Zustand vor der Regulirung darstellen. Von Nutzen erschien mir eine im Mafsstabe von etwa 1:900 000 gezeichnete hydrographische Karte des ganzen Rhonegebietes, die im Jahre 1858 unter der Leitung des Chefingenieurs der Rhone, Herrn Kleitz, hergestellt und öffentlich käuflich ist. Aus ihr ist diesem Berichte eine hydrographische Uebersichtskarte (Abb. 7 Bl. 1 u. 2) der Rhone in verkleinertem Mafsstabe beigegeben.

Die Rhone entspringt 1752 m hoch über dem Meere auf dem Rhonegletscher seitlich vom Furka-Pafs, dem westlichen Gletscher der St. Gotthard-Gruppe. Von dieser Höhe fällt sie auf 30 km Länge bis Brig auf 770 m und bis zum Genfer See auf 374 m über dem Meere. Bis Martigny in südwestlicher, dann bis zum Genfer See in nordwestlicher Richtung durchströmt sie den Schweizer Canton Wallis, „la vallée par excellence“. Die Berner Alpen, die Penninischen und Lepontischen Alpen, deren höchste Kuppen in der Jungfrau, dem Finsterarhorn, Simplon, Monte Rosa bis über 4000 m sich erheben, begrenzen das Thal mit ihren sich eng an einander reihenden Gletschern, deren Ausdehnung so gewaltig ist, dafs die Rhone oberhalb Genf 1037 qkm oder 13 v. H. des Niederschlagsgebietes an Gletscherfläche besitzt, während am Rhein oberhalb Basel nur 750 qkm oder 2 v. H. des Stromgebietes von ewigem Eise bedeckt sind. Einzelne Zuflüsse, wie die Viège (Visp) und die Dranse führen vom Monte Rosa und dem Grofsen St. Bernhard bei Hochwasser mehr Wasser als die Rhone selbst. Mit einem Längengefälle über 1:300 ist die Rhone von Brig bis St. Maurice hin, wo das Delta im Genfer See beginnt, ein Gebirgsflufs. Bei Durchströmung des Genfer Sees äufsert sich nach Lenthéric's Angaben eine wahrnehmbare Schwankung des Wasserstandes. Sowohl in der Längen- wie in der Querrichtung pflanzen sich regelmässige Wellenbewegungen fort, deren Schwingungsdauer bei Genf etwa 72 Minuten betragen soll. Die Länge des Sees ist 73 km, die grösste Breite 14 km, die Oberfläche rund 60 000 ha grofs. (Der Bodensee ist 52 830 ha grofs und liegt 21 m höher als der Genfer See.) Der Höhenunterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande im Genfer See ist 2,8 m;

*) S. Centralblatt der Bauverwaltung, Jahrgang 1900.

im Durchschnitt ändert sich der Wasserspiegel des Sees nur um 1,15 m (der Bodensee um 2,13 m), sein durchschnittliches Aufspeicherungsvermögen beträgt rund 700 Millionen cbm (am Bodensee 1125 Millionen cbm). Der Hochwasserstand des Genfer Sees tritt gewöhnlich im August, das Niedrigwasser im März ein. Eine gesetzmäßige, vereinbarte Anspannung des Genfer Sees zwecks Aufspeicherung des Wassers zu gunsten der Schifffahrt findet nicht statt, was Girardon gelegentlich des herrschenden Niedrigwassers sehr bedauerte. Am Ausflusse der Rhone aus dem Genfer See sind große Turbinen aufgestellt, die für die Beleuchtung der Stadt Genf und für gewerbliche Zwecke elektrische Betriebskraft liefern. Die Wassermenge der Rhone beim Ausflusse aus dem Genfer See schwankt im allgemeinen zwischen 80 und 550 cbm. Gleich der erste Zufluss, den die Rhone dicht unterhalb Genfs aufnimmt, die Arve, die vom Mont Blanc her bei Niedrigwasser 35 cbm, bei Hochwasser 700 cbm, also mehr Wasser zuführen soll, wie das fast viermal größere Gebiet der oberen Rhone, zeigt den mildern Einfluss, den der Genfer See auf die Hochwasser der Rhone ausübt.

Von Genf bis Bellegarde fließt die Rhone auf 50 km Länge zwischen hohen, steil abfallenden Kalksteinfelsen mit einem Durchschnittsgefälle von rund 1:500, eine fast ununterbrochene Reihe von Wasserfällen bildend. Der unterirdische Lauf der Rhone („la perte du Rhône“) bei Bellegarde besteht zwar nicht mehr, da er freigelegt ist, aber an Schifffahrt ist oberhalb Bellegarde nicht zu denken. Erst mit Erweiterung des Thales und Verringerung des Gefälles auf etwa 1:700 wird diese unterhalb Bellegarde möglich, hat aber bis Lyon hin keine Bedeutung. Abgesehen von einigem Ortsverkehr, so z. B. aus den Asphaltminen von Pyremont nach Seyssel u. a. gehen nur geringfügige Holz- und Steinmengen zu Thal, zu Berg dagegen fast nichts. Der Schifffahrt sind hier besonders die Stromschnellen in den Thalengen von Pierre Chatel, von Bugey und von Le Sault hinderlich. Zwischen diesen Thalengen oder vielmehr Felsenthoren liegen seenartige Erweiterungen des Stromthals, besonders unmittelbar oberhalb Lyons, wo die Rhone das Thalgelände in einer großen Zahl kleiner Flusarme durchfurcht hat. Girardon beschreibt den hier hergestellten Canal von Miribel und die Misserfolge, die mit diesem Canal erreicht sind, so eingehend, dass hier davon abgesehen werden kann. Neuerdings ist hier auf 15 km Länge die „dérivation du Rhône“, die auch der Schifffahrt dienen soll, angelegt worden.

Die Saone, die bei Lyon mündet, bildet ihrer Natur nach den geraden Gegensatz zur Rhone. Während letztere als ein Strom der Alpen im Winter, wo ihr Niederschlagsgebiet in Eis und Schnee liegt, den niedrigsten Wasserstand hat und im Sommer, wo der Sonne Strahl an den Gletschern nagt, ihr Hochwasser empfängt, entspricht die Saone, die den bewaldeten regenreichen Höhen der Vogesen entströmt, unseren norddeutschen Flüssen, die im Sommer ihren niedrigsten, im Frühjahr ihren höchsten Stand erreichen. Die Saone ist der natürliche Regulator der Rhone. Abwechselnd speist bald der eine, bald der andere Zufluss vorwiegend den Hauptstrom unterhalb Lyons. Dabei überwiegt das (28 548 qkm große) Niederschlagsgebiet der Saone nicht unwesentlich das (19 267 qkm große) Gebiet der Rhone bei Lyon.

Das Stromgebiet der Rhone unterhalb Lyon zeigt am rechten Ufer (côté royaume) nur eine geringe Breite (von 17 bis 90 km); die wesentlichsten Zuflüsse kommen von den Cottischen Alpen und den Seealpen auf dem linken Ufer (côté empire). Die

beiden größten Nebenflüsse des linken Ufers sind die Isère mit 11 295 qkm und die Durance mit 14 814 qkm, beides wilde Gebirgsflüsse, die zur Hochwasserzeit außerordentliche Wassermengen und schweres Geschiebe dem Hauptstrome zuführen. Bei Niedrigwasser bieten beide Flüsse den Anblick großer Steinwüsten, in denen ein winzig kleines Flüschen mit vielen Windungen sich entlangzieht. Beide sollen zu römischer Zeit schiffbar gewesen sein, wenigstens ist das Bestehen besonderer Schiffergilden sowohl für diese Flüsse, wie auch für die Ardèche und Ouvèze geschichtlich verbürgt. Auch die Drôme, Baume, Roubion, Cèze, Aigues Sorgues sind Wildbäche, die bald trocken liegen, bald gefährliche Anschwellungen erleiden. Die Nebenflüsse des rechten Ufers, die von den naheliegenden, über 1000 m hohen Kuppen der Cevennen mit starkem Gefälle herunterstürzen, sind dabei meistens noch wilder und wasserreicher als die des linken Ufers.

Ueber die verhältnismäßig große Ergiebigkeit des Niederschlagsgebietes der Rhone und ihrer Nebenflüsse habe ich aus den Angaben Girardons und Lenthérics unter Benutzung der hydrographischen Karte eine Uebersicht zu schaffen gesucht und in der nachstehenden Zusammenstellung wiedergegeben. Zum Vergleich habe ich einerseits den Rhein herangezogen, andererseits

Vergleich des Wasserreichthums der Rhone mit demjenigen des Rheins, der Elbe, Oder und Weichsel.

Nummer	Fluss	Stromstelle	Größe des Flusgebietes qkm	Ergiebigkeit beim Niedrigwasser		Ergiebigkeit beim Mittelwasser		Ergiebigkeit bei Hochwasser	
				cbm	Liter pro qkm	cbm	Liter pro qkm	cbm	Liter pro qkm
1	Weichsel	Montauer Spitze .	192814	240	1,2	1330	6,9	8250	42,8
2	Oder	bei Breslau	20600	—	0,76	—	—	—	63,7
	"	" Schwedt	110000	—	1,47	—	—	—	39,0
3	Elbe	" Torgau	55162	63	1,1	274	4,9	4500	81,6
	"	" Magdeburg . . .	94046	123	1,3	467	4,9	—	—
	"	" Lauenburg	134933	175	1,3	639	4,7	—	—
4	Rhein	" Linz	140039	608	4,3	1879	13,4	11000	78,5
	"	" Cöln	144612	675	4,6	2087	14,4	10300	71,2
	"	" Rees	159683	787	4,9	1983	12,4	9250	57,9
5	Rhone	" Genf	6901	70	10,1	—	—	575	83
	"	oberhalb Lyons . .	19267	130	6,8	—	—	5600	291
	"	unterhalb d. Saone	47815	150	3,1	—	—	7000	146
	"	unterh. d. Isère . .	63564	250	3,9	—	—	9625	151
	"	" d. Ardèche	71114	300	4,2	—	—	11900	167
	"	" d. Durance	91150	370	4,1	1712	18,8	13900	152
	"	an der Mündung	3512	—	—	—	—	3200	911
6	Ain	" " "	28548	—	—	—	—	3700	129
7	Saone	" " "	11295	—	—	—	—	2575	228
8	Isère	" " "	14814	—	—	—	—	6000	405
9	Durance	" " "	1946	35	18,0	—	—	700	360
10	Arve	" " "	1736	—	—	—	—	1750	1008
11	Drôme	" " "	2429	—	—	—	—	7000	2882
12	Ardèche	" " "							

die Elbe, Oder und Weichsel. Aus dieser Zusammenstellung geht die große Aehnlichkeit zwischen Rhone und Rhein bei Niedrigwasser hervor, sowie die Thatsache, dass beide Ströme ein derartiges Niedrigwasser, wie es Elbe, Oder und Weichsel führen, nicht kennen. Die Wasserführung der Rhone und des Rheins entspricht vielmehr bei Niedrigwasser einer Ergiebigkeit des Flusgebietes, die an der Elbe, Oder und Weichsel erst bei Mittelwasser vorhanden ist. Dieser Wasserreichthum, der sich aus dem Vorhandensein des Genfer Sees und des Bodensees, aus den alpinen Zuflüssen und den Abflüssen der Mittelgebirge herleitet, kommt der Schifffahrt natürlich wesentlich zu statten. Abweichend von allen deutschen Strömen, auch abweichend vom Rhein leidet die Rhone aber an übermäßig großem Hochwasser. Die Hochwasserführung der Rhone entspricht einer Ergiebigkeit von 151 bis 291 Liter/qkm und steigt bei kleineren Nebenflüssen

noch weit über dieses Maß hinaus, während unsere norddeutschen Ströme kaum über 80 Liter/qkm hinauskommen. Die Rhone muß daher durchweg als ein mächtiger Gebirgsstrom betrachtet werden. Michelet nennt ihn in seiner „histoire de France“ einen „taureau furieux descendu des Alpes, qui court à la mer“. Lenthéric schreibt die Ursache der großen Hochwassermengen außer der geographischen Lage hauptsächlich der fast vollständigen Entwaldung der Gebirge zu. Wäre dies der Fall, so böte die Rhone allerdings ein erschreckendes Beispiel, zu welchen Zuständen eine Vernachlässigung der Waldwirtschaft zu führen vermag. Auch in Frankreich sind Bestrebungen auf Wiederaufforstung der Abhänge im Gange; so ist z. B. der Mont Ventoux, nordöstlich von Avignon, zum größten Theil neu bepflanzt worden, aber dem Fortkommen dieser Culturen ist ein anderer Umstand hinderlich. Durch die Entwaldung der Höhen ist der „Mistral“, ein Sturmwind aus Nordost, der von den Höhen der Cevennen und Vavaraise von Zeit zu Zeit das Rhonethal mit außerordentlicher Heftigkeit heimsucht, groben Sand und Kies aufwirbelt, die jungen Pflänzlinge abbricht oder im Schutt begräbt, eine noch heftigere Landplage geworden, als der „βορῆας“ des Strabo es schon in alter Zeit gewesen zu sein scheint. Zum Schutz der Culturen gegen den Mistral, der oft mehrere Tage hinter einander anhält, findet man vielfach auf den Höhen Steinmauern errichtet, hinter denen auch Hirt und Heerden Schutz suchen. Was die reichlichen Niederschläge gelockert haben, führt der Mistral sonst in großen Staubwolken fort, sodafs die Anhöhen fast von jeder Spur von Mutterboden entblöfst und unbedeckt sind. Der Boden ist daher fast undurchlässig, die starken Niederschläge fließen fast in vollem Umfange dem Strome zu.

Aus diesen Vorbedingungen ergibt sich neben der großen Hochwassermenge naturgemäß auch die außerordentliche Geschiebeführung, an der die Rhone und besonders ihre Nebenflüsse leiden. Einen Beweis für die Geschiebebewegungen der Durance bieten z. B. die berühmten „craus de Provence, de Languedoc, d'Arles und de St. Remy“, die sich zwischen Avignon und Marseille als die alten Schuttkegel der Durance darstellen. Es sind dies Steinablagerungen ohne jede Beimischung von Humus in einer Ausdehnung von rund 20000 ha, denen erst in neuerer Zeit durch die Canäle von Craonne aus der oberen Durance, von Cadenet her, im Wege der Bewässerung wenigstens zum Theil eine Bedeckung gegeben ist.

Diesen vorgeschichtlichen geologischen Bildungen steht die Entwicklung des Rhonedeltas in der geschichtlichen Zeit gegenüber. Arles lag noch am offenen Meer, als die Phoker 599 v. Chr. G. dorthin übersiedelten, der römische Feldherr Marius grub bereits einen Canal zur Verbindung von Arles mit dem Meer. Am bekanntesten ist die Thatsache, daß der Leuchtturm von St. Louis, der jetzt 8 km landeinwärts liegt, im Jahre 1737 am offenen Meere erbaut worden ist. Aus dem regelmäßigen Fortschritt des Deltas, der auch jetzt noch statt hat, ist hergeleitet worden, daß die Rhone im Jahr durchschnittlich 21 Millionen cbm Sinkstoffe ins Meer führt.

So beträchtlich diese Mengen sein mögen, so haben sie doch mit der eigentlichen Geschiebeführung der Rhone nichts zu thun. Wohl nirgends tritt der Unterschied zwischen Sinkstoff- und Geschiebeführung so klar zu Tage wie an der Rhone. Die Sinkstoffe, die bei und unterhalb Arles' sich im Rhonedelta abgelagert haben, bestehen ausschließlich aus feinem Sand mit geringen Kalk- und Thonbeimischungen. Dieser feine, staubförmige Sand ist anscheinend dem Rhonewasser in derselben Weise beigemischt,

wie bei unseren Strömen der Schlick, nur daß der Sand das Rhonewasser nicht sehr trübt, sondern so klar läßt, daß bei geringer Tiefe, bis zu 1,5 m etwa, die Beschaffenheit der Sohle zu erkennen ist. Am 22. November zeigte Girardon uns in der kleinen Rhone, die sich oberhalb Arles' westwärts nach St. Maries abzweigt, einen in der Ausführung begriffenen Regulierungsbau, der mir hierfür eine Bestätigung zu bieten scheint. Ich verbinde mit der Beobachtung zugleich die Schilderung des Bauwerkes. Der Canal von Beaucaire nach Aigues-Mortes, der die Binnenschiffahrtsverbindung von der Rhone nach Cette bildet, genügt seinen Zwecken nicht mehr, insbesondere wäre die Schleuse

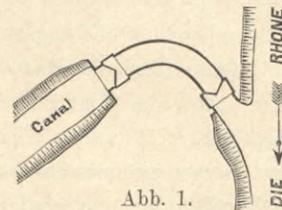


Abb. 1.

bei Beaucaire, die nach den Andeutungen (Text-Abb. 1) im Viertelkreisbogen gebaut ist, neu herzustellen. Zur Abkürzung der Canalverbindung und Kostenersparnis beabsichtigt man nun, das obere Ende des Canals aufzugeben und die Schifffahrt in der kleinen Rhone entlang zu führen, etwa bis St. Gilles. Von dort soll dann ein Verbindungscanal mit Schleuse die Schiffe dem zu erweiternden unteren Ende des bestehenden Canals nach Cette zuführen. Bei Regulierung der kleinen Rhone, die also in Frage kommt, handelte es sich um eine gekrümmte Stromstrecke kurz unterhalb ihrer Abzweigung. Veranschlagt waren die Bauten in Massivbau als Steinschüttung. In der Einbuchtung des linken Ufers, wo ein Leitwerk *ab* in Niedrigwasserhöhe, die Buhnen oder Querbauten 1 bis 4, sowie

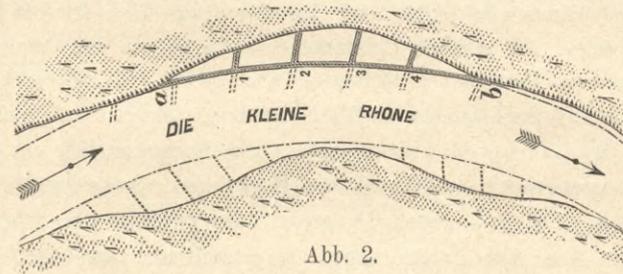


Abb. 2.

die vorliegenden Stromschwellen geplant waren (Text-Abb. 2), hielt man auch hieran fest. Auf dem rechten ausbuchtenden Ufer wurden indes „clayonnage“-Bauten, die unseren Schlickzäunen ähnlich sind, angewandt. Jedes dieser Werke bestand aus einer Reihe von etwa 15 cm starken Pfählen, die quer zum Strom in 1 m Abstand mit der Handramme senkrecht eingetrieben waren. Auf der stromaufwärts liegenden Seite dieser Pfahlreihe wurden 2 m breite Rahmen aus Latten, deren Fläche ein mattenartiges Weidengeflecht ausfüllte, heruntergeschoben, vom Strom gegen die Pfähle gedrückt und hier mit Draht befestigt. Die Länge der Rahmen war je nach der Tiefe verschieden bemessen, sodafs sie oben eine von Niedrigwasser allmählich nach dem Ufer zu ansteigende Linie bildeten, entsprechend der beabsichtigten Oberfläche der Sandbank, und unten etwas in den Boden hineinreichten. Die Wassertiefen waren bis 3 m groß. Weder der Kopf der Pfahlreihen, noch der Fuß der Zäune war durch Steine gesichert, die Köpfe schnitten nach dem Strome zu auch senkrecht ab. Eine Reihe von Zäunen, die 14 Tage vor unserem Besuche ausgeführt waren, hatte bereits in der oberen Ausbuchtung des Ufers eine vollständige Verlandung und eine regelmäßige Ausbildung des Ufers erzeugt. Hinter einem in Ausführung begriffenen und vom Lande aus in halber Länge fertigen Zaun hatte am Morgen unserer Besichtigung sich innerhalb zwei Stunden bereits eine Sandwelle von

etwa 10 m Breite und 40 cm Höhe mit steil abfallenden Rändern angesammelt, dabei war das Wasser der Rhone so klar, daß man die Beschaffenheit der Sohle erkennen konnte. Der Umstand, daß bei Niedrigwasser und bei anscheinend voller Reinheit des Wassers sich doch eine so bedeutende Sinkstoffbewegung vollzog, war trotz der ausbuchtenden Lage des Ufers überraschend und weist darauf hin, daß das Rhonewasser wahrscheinlich sehr oft mit den feinen Sinkstoffen, wie sie sich hier und auf der Barre abgelagern, gesättigt sein muß.

Ganz anderer Art ist die Geschiebebewegung auf der Rhone oberhalb Arles', wo es sich um grobes Gerölle oder mindestens um groben Kies handelt. Diese Bewegung geht anscheinend nur bei hohen Wasserständen vor sich, vollzieht sich also mit Unterbrechungen. Bei Befahrung der Rhone fällt dabei die eigenthümliche Erscheinung auf, daß bei Soujean (kurz oberhalb Arles'), wo das Gefälle der Rhone unvermittelt von 1:3846 in 1:43478 übergeht, sich also um mehr als das zehnfache abschwächt, auch in der Größe des Geschiebekorns ein unvermittelter Wechsel bemerkbar ist. Der Charakter des Stromes wird plötzlich ein ganz anderer; die Breite verdoppelt sich. Die Grenze zwischen dem groben Kies der Rhone und dem feinen Sand des Deltas kann auf der Sandbank, die am unteren Ende der beiderseitigen Leitwerke liegt, örtlich scharf gezogen werden. Dabei ist ein merkbares Vorrücken dieser Kiesgrenze stromabwärts, wie solche bei lebhafter Geschiebebewegung vom Oberstrom her gefolgert werden müßte, nicht beobachtet, auch eine entsprechende Ansammlung von Kiesmassen nicht bemerkbar. Die Kieszufuhr der Rhone kann daher nicht sehr beträchtlich sein. So wild die Strömung bei Hochwasser sein mag, so stark die Veränderungen der Ufer und Vorländer nach Maßgabe der hervorgerufenen Umgestaltungen sein mußten, die Thatsache, daß der Gefällbruch bei Soujean sich überhaupt hat bilden und bis jetzt an derselben Stelle sich hat erhalten können, läßt es zweifelhaft erscheinen, daß große Geschiebemassen in regelmäßigem Fortschritt in der Rhone zu Thal wandern. Die Geschiebeführung der Rhone findet jedenfalls in Soujean ihre Grenze, die Sinkstoffe des Deltas, die der Strom schwebend fortführt, sind anderer Art.

Gleichviel ob die Sinkstoffe nun von den einzelnen Zuflüssen der Rhone zugehen, ob der Mistral sie südwärts führt oder ob sie aus dem Abrieb des Geschiebes ihre Herkunft nehmen, ihrer großen Menge ist es jedenfalls zuzuschreiben, daß es bisher nicht gelungen ist, auf der Barre in der Mündung der Rhone eine Wassertiefe von mehr als 2 m zu erzielen. Allerdings kann auch von einem ernstesten Vorgehen, Besserung zu schaffen, nicht geredet werden. Der alte Festungsbaumeister Vauban erklärte die Mündungen der Rhone einst überhaupt für „incorrigibles“. Das Einzige, was geschehen ist, besteht in der Anschüttung eines Hochwasserleitdammes von St. Louis ab auf dem linken Ufer bis über die Lotsenstation hinaus zur Mündung. Dieser Leitdamm hat aber neben der Aufgabe, den Wassermassen der Rhone wenigstens auf der einen Seite eine Führung nach der Barre hin zu leihen, ebenso sehr den Zweck, einen Durchbruch der Wassermassen in den Golf von Fos und eine Versandung dieses Meerbusens zu verhüten, aus dem seit 1870 vom Hafen von St. Louis aus ein 3,5 km langer Seecanal mit 6 m Tiefe und 60 m Sohlenbreite den Seeverkehr zur Rhone vermittelt. Der 14 ha große Hafen von St. Louis, nach dem Seecanal hin offen, ist nach der Rhone durch eine Schleuse (160:22:7,5 m) abgeschlossen. Die Umladung vollzieht sich im Hafen. Hier ist auch die einzige Verbindung zwischen Rhoneschiffahrt und

Eisenbahn. Die Eisenbahngesellschaft Paris—Lyon—Méditerranée hat sonst jede Verbindung zwischen Eisenbahn und Rhone zu Zwecken des Verkehrs bisher schroff abgelehnt, selbst in Lyon.

Die Mündung der Rhone bietet ein eigenartiges Bild. Das Land geht ganz allmählich in Wasser über. Je nach der Richtung und Stärke des Windes schwankt die Wasserspiegelgrenze in großen Abständen. Die Ebbe und Fluth ist kaum spürbar, die Höhe der Windfluth beträgt nach Lenthéric nur 60 cm. Je nach dem Wasserstande wird eine größere oder geringere Zahl von Inseln (theys) sichtbar, zwischen denen ein bald schwächerer, bald stärkerer sandgesättigter Strom hindurchzieht und die Grenze des festen Landes immer weiter ins Meer vorschiebt.

Auf der etwa 50 km langen Strecke von St. Louis bis Soujean, wo die Breite der Rhone von 900 m auf 500 m abnimmt, sind auch bei Niedrigwasser größere Sandbänke nicht sichtbar. Das Ufer ist an vielen Stellen scheinbar zufolge des Wellenschlages in Abbruch. Das Gefälle ist außerordentlich gering, die Tiefen mehr als ausreichend groß. Eine besondere Bedrohung der Ufer durch die Strömung findet im allgemeinen nicht statt. Zu umfassenden Regulierungen lag daher kein Anlaß vor, und nur an wenigen Stellen sind Bühnen in großen Abständen, dann aber auch in beträchtlicher Länge sichtbar, nur vereinzelt sind niedrige Leitwerke und Stromschwelen angelegt. Bisher waren diese Bauwerke ebenso wie an der oberen Rhone in massiver Steinschüttung errichtet; da indes in dem feinen Sande häufig Versackungen eintraten und Nachschüttungen erforderlich machten, sollen hier neuerdings auch leichtere Werke (œuvres de clayonnage) zur Verwendung kommen, nachdem die angestellten Versuche günstig ausgefallen sind. Die eigentliche Rhoneregulierung erstreckt sich auf diese Strecke sonst nicht, sie reicht nur von Lyon bis Soujean, d. h. bis zu dem Brechpunkt des Gefälles 7 km oberhalb Arles' und 3 km oberhalb der Abzweigung der kleinen Rhone. Diese seit einer Reihe von Jahren mit Aufwendung außerordentlicher Geldmittel betriebenen Arbeiten bildeten den Hauptgegenstand der Besichtigung und mögen nachstehend, soweit ein Eingehen auf dieselben angezeigt erscheint, beschrieben werden.

Die regulirte Rhone hat von Lyon bis Soujean eine Länge von 276 km. Das Stromthal ist in ganzer Länge auf beiden Seiten von hohen Bergzügen begrenzt, die mehrfach mit steilen Abhängen nahe an das Strombett herantreten. Insbesondere auf dem rechten Ufer liegen die größeren Höhen fast durchweg der Rhone sehr nahe, während am linken Ufer diese mehr vereinzelt vorspringen und zur Bildung der Thalengen von Givors, Tournon und Donzère Anlaß geben. Zwischen diesen Vorsprüngen breiten sich die fruchtbaren Ebenen von Valence, Montélimar, Orange und Avignon aus. Ueberall bietet die Gegend einen landschaftlich schönen Anblick, die Höhen sind vielfach von alten Burgen und Ruinen gekrönt, zahlreiche Festungswerke alter Zeit zeugen von den Kämpfen, die im Mittelalter hier getobt haben, die alten Culturstätten Vienne und Valence, das mächtige Städtebild von Avignon, die alten Amphitheater von Arles und Orange, die malerischen Bilder von Roquemaure und Rochemaure, von la Roche de Glun und zahllosen anderen landschaftlichen Schönheiten, die Ueberreste der alten Brücke St. Bénédet und viele geschichtliche Erinnerungen fesseln in ununterbrochener Folge das Auge, sodafs die Befahrung der Rhone schon an sich eine der anregendsten Vergnügungsreisen bildet.

Das Rhonethal ist nicht breit, nur selten geht es über 2 km hinaus. Das Flußbett selbst war von Natur 300 bis

400 m breit, hat aber durch die Regulirung eine wesentliche Einschränkung erfahren, das Vorland besteht in seinem Untergrunde meistens aus Kies, der oben mit Sand überlagert ist. Gewachsener Felsen findet sich im Strombette selten. Da es der starken Strömung nicht schwer fällt, die oberen Sandmassen zum Abtrieb zu bringen, so ist das Vorland besonders an den Mündungen der Nebenflüsse von einer großen Anzahl von Stromarmen (lônes) durchzogen, die meistens recht beträchtliche Abmessungen angenommen haben. Zum Theil bis 200 m breit und bis unter Niedrigwasser ausgespült, müssen diese Nebenarme schon bei Mittelwasser der Rhone bedeutende Wassermengen entziehen, denn meistens sind sie unverbaut. An vielen Stellen, wo am unteren Ende eines derartigen Nebenarms die Regulirung des Hauptstroms zur Durchbauung desselben gezwungen hatte, waren die Abdämmungen nicht geschlossen, sondern in ihrer Mitte war eine wohl 50 m breite Oeffnung erhalten worden. Am oberen Ende waren die Nebenarme meist nur in Niedrigwasserhöhe geschlossen. Eine wesentliche Verlandung der Seitenarme war kaum zu bemerken, die Ufer lagen vielmehr an vielen Stellen im Abbruch. Besonders zahlreich und wichtig sind die Nebenarme zwischen St. Esprit und Avignon, wo selbst noch bei Niedrigwasser vollständige Stromspaltungen in großer Länge bestehen, so z. B. der Bras de Caderousse an der Mündung der Cèze, der Bras des Arméniens u. a. Der Bras d'Avignon ist der einzige, der am oberen Ende hochwasserfrei abgeschlossen ist. Eine natürliche Folge des Fortbestehens der vielen Nebenarme ist das regelmäßige Auftreten von Untiefen im Hauptstrom an den Stellen, wo der Nebenarm abzweigt und wo er wieder einmündet. Bei dem niedrigen Wasser während der Befahrung waren besonders die letzteren Kiesbänke, die der Nebenarm in den Hauptstrom vorgeschoben hatte, an vielen Stellen deutlich zu erkennen, und es steht zu befürchten, daß diesen Schwierigkeiten, die ein Hochwasser in unabsehbarer Umfange herbeizuführen vermag, auch die beste Niedrigwasserführung nicht zu begegnen vermag. Eine Regulirung des Hochwassers stößt anscheinend aber wieder in anderer Hinsicht auf Bedenken, sodaß hier eine wesentliche Lücke vor der Hand bestehen bleiben mußte.

Das Flußbett besteht im allgemeinen aus Kalksteingeröll, dessen Stärke dem Gefälle entsprechend abnimmt. Steine von 15 bis 20 kg Gewicht führt der Strom nicht selten über hohe Dämme hinweg, obwohl die Verlandungen hinter den Leitwerken im allgemeinen aus wesentlich leichteren Massen, theilweise sogar aus feinem Sand sich zusammensetzen. Die Schüttsteine, die bei den Bauten verwandt werden, sollen ein kleinstes Gewicht — dieses ist der Prüfstein ihrer Abnahme — von 60 kg aufweisen.

Das Gefälle der Rhone ist sehr verschieden. In großen Zügen erhellt es aus dem Längenschnitt (Abb. 2 Bl. 3) vom Jahre 1889 für die Strecke von Lyon bis St. Louis. Für die Strecke von St. Esprit bis Arles liefert der in Abb. 1 Bl. 3 dargestellte Längenschnitt der Rhone vom Jahre 1878 und 1884 eingehendere Angaben. Das Durchschnittsgefälle der Rhone berechnet sich danach

	km	m/km
1. von Lyon bis Tournon,	0 bis 90, $J = 0,488 = 1 :$	2050
2. von Tournon bis Valence,	90 bis 110, $J = 0,634 = 1 :$	1580
3. von Valence bis Donzère,	110 bis 170, $J = 0,811 = 1 :$	1230
4. von Donzère bis St. Esprit,	170 bis 190, $J = 0,713 = 1 :$	1400
5. von St. Esprit bis zur Cèze,	190 bis 215, $J = 0,590 = 1 :$	1690
6. von d. Cèze b. z. Durance,	215 bis 245, $J = 0,474 = 1 :$	2110
7. von d. Durance b. Soujean,	245 bis 276, $J = 0,314 = 1 :$	3180
8. von Soujean bis St. Louis,	276 bis 323, $J = 0,019 = 1 :$	52630

Aehnlich wie der Rhein zerfällt die Rhone also in zwei hydrographisch getrennte Theile. Am Rhein liegt der Scheidungspunkt des Oberlaufs vom Unterlauf in Bingen, an der Rhone bei Valence. Die Rhone oberhalb Valence vom Genfer See ab bildet ein Ganzes für sich, die Rhone von Valence bis Soujean ebenfalls. Auf letzterer Strecke nimmt das Durchschnittsgefälle so regelmäsig ab, daß sich dafür fast genau ein mathematischer Ausdruck setzen läßt. Das kilometrische Gefälle verringert sich hier auf jedes Kilometer um 0,0048 (beim Rhein um 0,00046, also den zehnten Theil). Der Längenschnitt der Rhone von Valence bis Soujean entspricht also fast genau einer Parabel von der Form $h = 0,0024 (326 - k)^2 - 4,4$. Der Scheitel der Parabel läge 3 km unterhalb St. Louis' und 4,4 m unter dem heutigen Meeresspiegel. Die Ausbildung des Längenschnitts der Rhone unterhalb Valence erfolgte anscheinend zur Eiszeit, wo die Gletscher der oberen Rhone und der Isère den Forschungen zufolge, die Lenthéric Band I Seite 43 anführt, bis Valence hin gereicht haben sollen; das Rhonethal oberhalb Valence wäre postglacialer Natur.

Der Fluthwechsel der Rhone, d. h. der Unterschied zwischen dem größten Hochwasser von 1856 und dem niedrigen Wasserstande (étiage) von 1878 war zu Lyon 5,28 m, steigt bis Tournon auf 7,61 m, verringert sich bis zur Mündung der Drôme, wo das größte Durchschnittsgefälle herrscht, auf 5,43 m und erreicht an der Mündung der Cèze seinen Höchstwerth von 8,62 m. Dieser Höchstwerth verringert sich bis Soujean nur wenig, sodaß bei Hochwasser zwischen Soujean und dem Meer sich ein Gefälle von rund 1 : 7000 ergibt.

Die Regulirung der Rhone bildete lange Jahre hindurch den Gegenstand vieler Entwürfe und Streitschriften. Eine Canalisirung des Stromes, wie solche bei anderen Strömen Frankreichs möglich war, liefs das starke Gefälle der Rhone nicht zu. Die Zahl der Schleusen wäre ins unmögliche gewachsen. Canal-freunde befürworteten daher die Ausführung eines Parallelcanals. Nach dem Vorgang älterer Entwürfe von Céard aus dem Jahre 1808 und von Cavenne aus dem Jahre 1822 schlug Krantz im Jahre 1873 einen Seitencanal auf dem rechten Ufer vor, dessen Kosten er auf etwa 100 Millionen Franken schätzte. Dabei war allerdings Marseille als Endpunkt nicht erreichbar. Auch die Städte Vienne, Valence, Orange, Montélimar, Avignon, Arles, die alle am linken Ufer liegen, hatten keinen Anschluß. Auf dem linken Ufer war der großen Nebenflüsse halber ein Canal aber nicht durchführbar, sodaß man auch diese Absicht aufgab und die Regulirung der Rhone versuchte.

Es lassen sich drei verschiedene Zeiträume unterscheiden, je nach der Art der befolgten Regulirungsgrundsätze und zwar:

1. Die Bauweise der Längsdämme und der Bedeichung bis zum Jahre 1880.
2. Der Ausbau der Krümmungen mit Grundschwellen etwa bis zum Jahre 1885.
3. Die Regulirung der Uebergänge seit 1885.

Als man sich entschloß, die Rhone zu reguliren, sah man ein, daß eine Einschränkung nöthig sein werde. Da das Geschiebe des Stromes schwerer war als die Bestandtheile des Ufers, so war der Strom an Breite fort und fort gewachsen und hatte an Tiefe verloren. Eine Befestigung des Ufers und Einschränkung der Breiten mußte dieser Entwicklung ein Ziel setzen. Als Bauweise wurden in Frankreich in allen ähnlichen Fällen früher Längsdämme angewandt, die bis Mittelwasser oder etwas darüber hinaufreichten. Als Normalbreite wurde

1. von Lyon bis St. Vallier das Mafs von 180 m
2. von St. Vallier bis zur Isère 200 m
3. von der Isère bis zur Ardèche 200 bis 250 m
4. von der Ardèche bis Soujean 250 bis 300 m

zu Grunde gelegt. Die Höhe der Längsdämme wurde angenommen

1. von Lyon bis zur Isère auf 2,0 m über N. W.
2. von der Isère bis zur Ardèche 2,5 m „ „
3. von der Ardèche bis Soujean 3,0 m „ „

Nach Bewilligung der Geldmittel wurde energisch vorgegangen. Wie Girardon mittheilt, wurden von den bewilligten 45 Millionen Franken in der Zeit von 1878 bis 1884 rund 32500000 Franken ausgegeben.

Wohl waren nun in der ersten Zeit gewisse Erfolge dieses Vorgehens sichtbar. Der Wasserstand war der Einschränkung entsprechend gehoben, die Tiefe vermehrt. Aber es ist erklärlich, daß bei mittleren und hohen Wasserständen durch die von den Längsdämmen und einer Reihe hochwasserfreier Deiche herbeigeführte Einschränkung auch eine Steigerung der Geschwindigkeiten bedingt wurde, die auf die Gestaltung der Sohle nicht überall in günstigem Sinne einwirken konnte. Wohl wurden einzelne tiefe Kolke, die aus dem unregelmäßigen Verlauf der Ufer herrührten, dadurch gemindert, daß die Lage und Richtung der neuen Leitdämme sich in ununterbrochenen, regelmäßigen Linien der allgemeinen Grundform des Stromlaufs anschloß, daß übermäßig starke Krümmungen gemildert und die einzelnen Ausbuchtungen verbaut wurden, aber in den neu geschaffenen, regelmäßig verlaufenden Krümmungen, die zum Theil der gegebenen Grundform entsprechend immer noch verhältnißmäßig stark sein mußten und dem Strome dabei eine glatte Führung boten, bildete sich an Stelle der vereinzelt, sehr tiefen Kolke jetzt ein einziger, zusammenhängender tiefer Stromschlauch aus. Die früheren Unregelmäßigkeiten, die vielen Wirbel und Querströmungen waren zwar beseitigt, aber in dem einheitlichen Strombette war die Kraft des Stromes in Richtung der Stromachse gewachsen, und im Verlauf der Krümmungen vergrößerten sich die Tiefen. Dementsprechend verringerte sich das Gefälle in den Krümmungen und vereinigte sich um so schärfer auf den Uebergängen. Das Ergebniss war, daß dem schärferen Gefälle auf den Uebergängen entsprechend sich eine Verminderung der Fahrtiefe einstellte. Allerdings entsprach die Lage des Uebergangs der Grundform, sie war auch unbeweglich und unverändert, aber mit der Vertiefung der Sohle in den Krümmungen festigte sich allzusehr der Zusammenhalt des Stromstrichs mit dem Ufer. Dicht an den Leitwerken zog sich ein allzu tiefer Stromschlauch entlang, der die Führung der Leitwerke so lange wie möglich festhielt, noch festhielt, wenn am andern Ufer zufolge der nächsten Krümmung sich bereits ein anderer, neuer Stromstrich ausbildete. Auf dem Uebergange zwischen diesen beiden Stromschläuchen fehlte die Verbindung. Es bildete sich die Eigenart des schlechten Passes: an jedem Ufer Thalsenkungen, zwischen denen in der Strommitte ein hoher Rücken liegen blieb. Und dieser Rücken war um so höher, der Uebergang um so schlechter, je schärfer die Tiefen in den benachbarten Krümmungen und die den Auslauf dieser Tiefen bildenden Thalsenkungen ausgeprägt waren. Der Längenschnitt nahm mehr und mehr eine treppenförmige Gestalt an, und je schärfer dieser Treppenschnitt ausgebildet war, desto geringer war die Fahrtiefe auf dem Uebergang.

Diesem Mißstande suchte im Jahre 1880 der Chefsingenieur der Rhone Jacquet durch Uebernahme der preussischen Grund-

schwelen zu begegnen. Auf dem Expertencongress an den Donau-Katarakten hatte er im Jahre 1879 vom Herrn Geheimen Oberbaurath Kozlowski von der guten Wirkung der Grundschwelen an der Elbe und den übrigen preussischen Stömen gehört, kam 1880 nach Berlin, bereiste die Weichsel, Oder, Elbe und den Rhein und beantragte in seinem Berichte vom 28. September 1880 nach einer eingehenden Schilderung der deutschen Bauweise beim Ministerium in Paris die Einführung der Grundschwelen an der Rhone. Dieser Bericht Jacquets erscheint für die Regulirung der Rhone sowohl, wie auch vom allgemeinen technischen Standpunkte aus so bedeutungsvoll, daß er im Anhang auszugsweise wiedergegeben wird.

Anfangs scheint Jacquet mit seinem Antrage auf große Schwierigkeiten gestofsen zu sein, setzte es aber schließlich durch, Versuche anstellen zu dürfen. Wie sehr dieses Vorgehen damals vielfach überraschte — zu einer Zeit, wo in Deutschland selbst die Stimmen über die Zweckmäßigkeit dieser Bauweise noch sehr getheilt waren und selbst von technischer Seite die Unzweckmäßigkeit der ganzen Stromregulirung nachzuweisen gesucht wurde —, geht insbesondere aus dem Werke des Directors der Moskwa-Schiffahrt Janicki, das der Baumeister Klett ins Deutsche übersetzt hat, hervor. Janicki bedauerte den Entschluß der Franzosen, erachtet die Gelder für fortgeworfen und war überzeugt, daß die Rückkehr zu den Canalisirungsentwürfen an der Rhone nicht lange werde auf sich warten lassen. Auch der Bevölkerung an der Rhone wollte es, wie Lenthéric sagt, anfangs nicht verständlich erscheinen, daß ein Fluß, der an zu geringer Tiefe litt, dadurch verbessert werden sollte, daß man die Stellen, wo wirklich noch Tiefen vorhanden waren, mit Steinwällen verbaute. Aber gleich die ersten Versuche fielen günstig aus, und bald sah man ein, die Deutschen hatten recht: „Die Tiefen consumiren das Gefälle“. Dieser Ausspruch, den Jacquet und Lenthéric beide als deutsches Schlagwort anführen, ist zwar bei uns wohl kaum allgemein bekannt und an sich wohl etwas dunkel. Aber an der Rhone folgert man daraus, daß die großen Tiefen verbaut werden müßten, um Gefälle wiederzugewinnen, um zu verhindern, daß in den großen Tiefen das Gefälle verloren geht.

Mit außerordentlicher Beharrlichkeit sind dann an der Rhone fast in allen starken Krümmungen die großen Tiefen mit Grundschwelen verbaut worden, sodafs der Umfang dieser Arbeiten die bei uns an Elbe und Rhein ausgeführten Arbeiten weit übertrifft. Der Abstand der meist in wagerechter Lage mit Kopfschwelen nach dem Ufer zu angelegten Werke ist im allgemeinen 75 m, ihre Krone liegt 2,5 m bis 4,0 m unter Niedrigwasser. Als Beispiel für die geschlossene Durchführung dieser Bauweise habe ich die Stromkarte von Kil. 226 bis 231 in Abb. 8 Bl. 1 u. 2 beigelegt, aus der hervorgeht, daß die Arbeiten sich fast vollständig auf die Verbauung der großen Tiefen in den gekrümmten Stromstrecken beschränkten. Noch deutlicher erhellt dies aus der in Abb. 1 Bl. 1 u. 2 dargestellten Strecke von Kil. 219 bis Kil. 233, wo die größten Tiefen und die Grundschwelen eingetragen sind. Die französischen „épis noyés“ (Text-Abb. 3) bestehen aus Steinschüttung mit der Böschung 1:1 stromauf und 1:2 stromabwärts. Die Kronenbreite ist 1,0 bis 1,5 m. Vielfach ist stromabwärts ein Abfallboden aus Schüttsteinen angefügt. Ihre Richtung ist inclinant, ähnlich wie bei den Bühnen.

In der Mitte des Stromes, wo kein Anschluß ans Ufer möglich war, sind bisweilen auch sparrartig angeordnete

2. Wien
zu verheeren
den Ufer
prägen zu
verfügen

Schwellen erbaut worden, um auf Verlandung hinzuwirken (Text-Abb. 4), die Zahl solcher Werke ist indes gering. Wie Girardon bemerkte, ist ein wesentlicher Nutzen mit diesen Werken nicht erzielt worden, aber auch die entgegengesetzte Wirkung, die man nach der Wirkungsweise der gebrochenen Bühnen annehmen sollte, d. h. Auskolkung der Sohle, ist nicht beobachtet worden. Sie kommen fast nur auf Uebergängen oder kurz oberhalb derselben vor, selten in Krümmungen.

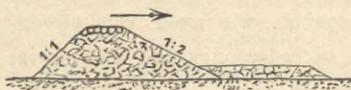


Abb. 3.

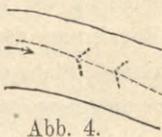


Abb. 4.

Die Herstellung der „épis noyés“ erfolgte unter Verwendung besonderer Vorrichtungen, die nach Art unserer Betonsenkstätten gefertigt sind. In Abb. 3 bis 10 Bl. 3 ist eine derartige Vorrichtung dargestellt. Diese Versenkgerüste haben sich bewährt und sind noch heute im Gebrauch, nachdem man von dem Versuche, Schütttrichter zu verwenden, die in eisernem Lattenwerk hergestellt waren, zurückgekommen ist. Die Oberfläche der Grundschwellen wird mittels Taucherglocke oder Taucheranzuges eingeebnet, die in der Krone liegenden Steine werden pflasterartig versetzt.

Dieser sorgfältigen Herstellungsart, die auch bei dem nach dem Ufer zu ansteigenden Theile angewandt wurde, ist es offenbar zuzuschreiben, daß die Grundschwellen der Rhone trotz des starken Gefälles sich auch bei Niedrigwasser an der Oberfläche kaum kennzeichnen. Wiederholt habe ich mich bei ruhigem Wetter überzeugen können, daß auch bei Niedrigwasser auf den Grundschwellen, deren Lage und Richtung allgemein am Ufer durch rothe Zeichen kenntlich gemacht war, kaum die Spur eines wehrartigen Ueberfalls wahrgenommen werden konnte. Das Gefälle war anscheinend ganz gleichmäßig, die Oberfläche des Wassers fast spiegelglatt. Erst wenn am Ende einer Reihe von Grundschwellen die natürliche Flußsohle begann, trat das in starken Gefällstrecken übliche Aufwallen der Grundwirbel wieder ein. Wo eine Schwelle durchbrochen oder beschädigt war, gab sich dies an der Oberfläche durch örtlich begrenzte Beschleunigung der Geschwindigkeit zu erkennen. Die Verlandung der durchbauten Tiefen zwischen den Grundschwellen war anscheinend größer als bei uns, obwohl eine vollständige Verlandung dort ebenfalls zu den Ausnahmen gehört.

Wesentliche Erfolge sind mit diesem Vorgehen an der Rhone nicht erzielt worden. Das Gefälle der Rhone ist trotz umfassender Verbauung der großen Tiefen kaum nennenswerth verändert. Ein Vergleich der Längsschnitte von 1878 und 1884 Abb. 1 Bl. 1 und 2 läßt trotz der großen Zahl von Grundschwellen, die 1882/83 auf dieser Strecke erbaut wurden, nur geringfügige Besserungen erkennen. Allerdings haben die Stromspaltungen dabei anscheinend verhängnisvoll mitgespielt. Immerhin konnte Girardon mit Recht sagen: „nous avons essayé de relever la pente avec des épis noyés; nous n'avons pas réussi d'une façon qui vaut la peine d'en parler“. Auf die Verbesserung der Tiefe auf den Uebergängen wirkte die Verbauung der großen Tiefen in den Krümmungen ebenfalls nur wenig ein. Wohl verringerten sich die Thalsenkungen etwas, die von den Krümmungen aus am Ufer entlang über den Wendepunkt der Grundform hinab- und hinaufreichten, aber der trennende Rücken, der schlechte Pafs blieb bestehen. Nach wie vor verlief der Stromstrich in getrennten Zweigen.

Es ist das Verdienst Girardons, diesen Uebelstand erkannt und anscheinend das richtige Mittel zur Bekämpfung desselben gewählt zu haben. Es ist bekannt, wie er auf dem Haager Congress die Führung des Stromes auf den Uebergängen als Hauptgrundsatz in den Vordergrund stellte. Ausgehend von der Beobachtung, daß hohe und steile Ufer den Strom anziehen und die Bildung größerer Tiefen fördern, geht er darauf aus, in Krümmungen die einbuchtenden Ufer möglichst wenig hoch und möglichst wenig steil auszubilden. Er steht nicht auf dem vom Generalingenieur Fargue betonten Standpunkte, daß er zu gunsten einer größtmöglichen Beständigkeit der Sohlenlage in den Krümmungen die Ausbildung großer Tiefen zu fördern suchen sollte. Die Erfahrungen, die mit den hohen Längsdämmen an der Rhone gemacht waren, sind zu klar. Er verwendet in den Krümmungen daher nicht die Spiralvolute oder Lemniscate, die eine Steigerung der Krümmung auf den erreichbaren Höchstwerth zur Folge haben und daher auch die Steigerung der Tiefe auf den höchsten Werth herbeiführen müssen. Die Grundform der Rhone ist vielmehr aus einzelnen Kreisbögen zusammengesetzt mit der Maßgabe, daß einerseits in den Krümmungen möglichst große Halbmesser gewählt werden und daß andererseits das Krümmungsverhältniß vom Wendepunkt zum Scheitel der natürlichen Grundform sich anpassend in einzelnen Abstufungen thunlichst regelmäßig zunimmt. Es sind also gewissermaßen Korbbögen. Lange gerade Linien sind vermieden, die Anzahl der Uebergänge bleibt thunlichst groß erhalten. In der Krümmung sucht Girardon die Lage der größten Tiefe nicht dem Ufer, sondern thunlichst der Strommitte zuzuschieben, wenn dies natürlich auch nicht überall möglich ist.

In gekrümmten Stromstrecken sind mit Leitwerken Versuche gemacht worden, deren Krone in der Höhe der erstrebten Sohle, also 2,5 m unter N.W. lag; indessen ist man hiervon zurückgekommen, da der Erfolg ausblieb. Girardon legt heute die Kronenhöhe der vorhandenen Leitdämme in der Krümmung auf 1,0 m über Niedrigwasser an und läßt sie nach dem Uebergange hin auf die Höhe von Niedrigwasser auslaufen. Von Lyon bis Valence sind die früher in 2,0 m über N.W. hergestellten Leitdämme bereits alle auf diese Höhe abgetragen, und mit den gewonnenen Steinen sind die Queranschlüsse nach dem Ufer hin verstärkt oder die Grundschwellen ergänzt worden. Die alten Strombauwerke sind die Steinbrüche, denen die neue Bauweise zum großen Theil ihre Baustoffe entnimmt. Von Valence bis St. Esprit ist nach den neuen Grundsätzen erst wenig geschehen, ebenso sind auch abwärts von St. Esprit erst wenige Leitdämme abgetragen oder tiefer gelegt worden. In dem geringen Bedarf an neuen Baustoffen und in dem Bestreben Girardons, langsam und vorsichtig vorzugehen, liegt ein Hauptgrund für die von Girardon hervorgehobenen geringen Kosten der neuen Bauweise.

Das Hauptaugenmerk wird von Girardon auf den Ausbau der Uebergänge gerichtet. Zwischen Valence und St. Esprit waren noch mehrere Uebergänge in ihrer natürlichen Beschaffenheit vorhanden, die bei dem niedrigen Wasserstande der Befahrung uns in voller Schroffheit die Schwierigkeit vor Augen führten, denen die Schifffahrt und die Regulirung hier gegenüberstehen. Wenn stromab fahrend der Sand des ausbuchtenden Ufers allmählich ausläuft und das Wasser die ganze Breite des Stromes einnimmt, lenkt das Fahrzeug mehr und mehr quer zum Stromlauf einer wellenförmig, wild bewegten Fläche am gegenüberliegenden Ufer zu (Text-Abb. 5). Aengstlich schaut der Lotse aus, denn auch das Dienstfahrzeug des Chefindgenieurs bediente sich bei der

Thalfahrt der Hülfe der Lotsen. Unter fortwährendem Peilen am vorderen und hinteren Schiffsende, denn die Rhonedampfer sind im Verhältniß zur Breite sämtlich außerordentlich lang

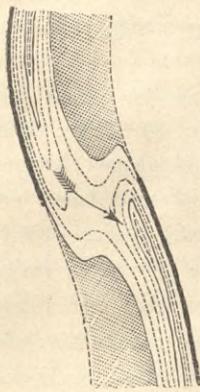


Abb. 5.

gebaut, gleitet das Schiff in möglichst langsamer Fahrt, aber doch in beschleunigtem Maße eben noch steuerfähig über den steinigen Grund fort; hier und dort eilt es an einzelnen größeren Steinen vorüber, die bei dem klaren Wasser aus der Tiefe hervorleuchten; verschiedentlich streift der Boden des Schiffes die rauhe Grundfläche, bis das Fahrzeug mit reifender Geschwindigkeit in eine von mehr als 1 m hohen stehenden Wellen bedeckte schmale Strombahn einlenkt — der Uebergang ist durchfahren. Wohl 10 bis 12 solcher Uebergänge haben wir mit ängstlicher Spannung verfolgt, immer war dasselbe Spiel. Ein Handkahn hätte sich in den Strom und Wellengang nicht wagen dürfen.

Anderer Art waren die Uebergänge am Oberrhein, wo wir auf der Rückkehr von Lyon Ende November unter der lebenswürdigen Führung des Herrn Ministerialraths, Wasserbaudirector Willgerodt den Rhein von Straßburg ab auf 30 km Länge bis Söllingen mit einem Ruderboot befuhren, ebenfalls bei sehr niedrigem Wasserstande, wo die Dampfschiffahrt nicht mehr möglich war. Es ist bekannt, daß die in rund 1000 m Abstand liegenden Kiesbänke hier regelmäßig zu Thal wandern. Am unteren Ende des Uebergangs traten hier aber weniger hohe Wellen, als mächtige Strudelbewegungen hervor, denen gegenüber es der ganzen Aufmerksamkeit des Steuermanns bedurfte. Die Strömung war nicht so stark wie an der Rhone. Von hoher Bedeutung sind gewiß die gesammelten Beobachtungen über die Regelmäßigkeit, mit der die Bildung und Verschiebung der Kiesbänke vor sich geht, da sie offenbar ein bestimmtes gesetzmäßiges Verhalten der Geschiebebewegung darthun. Auf der Rhone wandern die Sandbänke und Uebergänge nicht, sind auch keine Strudel vorhanden, obwohl das Gefälle fast doppelt so groß ist wie am Oberrhein. Allerdings ist auch das Geschiebe der Rhone wohl mehr als doppelt so schwer.

Um die Uebergänge zu reguliren, geht Girardon von der Grundbedingung aus, daß den Strom hier kein hohes oder steiles Ufer fesseln darf. Wo Leitdämme auf Uebergangsstrecken vorhanden sind, läßt er sie bis auf Niedrigwasser abtragen und verwendet die gewonnenen Steine, um durch vorgelegte Stromschwelle die Thalsenkungen am Ufer zu verbauen, der Strömung am Ufer den Weg zu verlegen. Während in den Krümmungen die Grundschwelle meist in einer Höhe von 2,5 m unter N.W. ans Ufer anschließen, steigt diese Anschlußhöhe nach dem Uebergange hin vielfach bis zum Niedrigwasserspiegel an. Das Gefälle der Stromschwelle im Querschnitt ist verschieden je nach dem erstrebten Querschnitt. Wo auf den Uebergängen bisher noch keine Leitdämme errichtet waren, verzichtet Girardon auf die Herstellung derselben und sucht mit den Stromschwelle allein sein Ziel zu erreichen. Ein Beispiel letzterer Art ist in Abb. 5 und 6 Bl. 1 u. 2 wiedergegeben. Die Tiefenlinien vor Anlage der Schwelle sind in Abb. 5 dargestellt und zeigen das ausgesprochene Bild eines schlechten Uebergangs, die Tiefenlinien in Abb. 6 geben den Zustand nach Ausführung der Schwelle wieder und lassen die Umwandlung erkennen, die sich in der Sohlengestaltung vollzogen hat. Ein grundsätzlicher Erfolg ist unverkennbar. In

Abb. 2, 3 u. 4 Bl. 1 u. 2 sind noch mehrere derartige Beispiele beigelegt, in Wirklichkeit sind eine ganze Reihe derartiger Fälle zwischen Lyon und Valence vorhanden.

Wenn indessen Girardon in seiner Denkschrift 1894 sich dahin ausspricht, daß er den Ausbau eines Normalquerschnitts verwerfe, daß er auf Einschränkung des Strombettes und auf Ausgleich des Gefälles Verzicht leiste, daß er vielmehr die Ausbildung des Längengefälles in Treppenform befürworte, so ist dies doch cum grano salis zu verstehen und nicht wörtlich zu nehmen. Ich habe in eine Reihe neu aufgestellter Sonderentwürfe Einsicht nehmen dürfen, die über das dabei eingeschlagene Verfahren eingehenden Aufschluß gaben. Girardon legt, wie er sagt, Hauptwerth auf einen guten Entwurf. Das Vorgehen bei Aufstellung dieser Entwürfe ist ein sehr sorgfältiges. Erst nach Vorlage mehrerer aus verschiedenen Zeiten stammenden Aufnahmen des Stroms, wobei die Aufmerksamkeit sich besonders einer genauen Darstellung der Sohlen- und Bodengestaltung zuwendet, wird in Erwägungen eingetreten, welches Endziel erreichbar sein möchte. Dieses Endziel, das angestrebt werden soll, wird zeichnerisch dargestellt sowohl im Längen- und Querschnitt, wie insbesondere im Grundriß mit bestimmten Tiefenlinien, Stromstrich usw. Dieses Endziel enthält geminderte Tiefen in der Krümmung und vergrößerte auf dem Uebergange, ohne daß an der durchschnittlichen Größe der Querschnitte wesentlich geändert wird. Für die Form der erstrebten Querschnitte des Stroms wird die Parabel zu Grunde gelegt. Die Achse der Parabel entspricht der Lage des in Korbform verlaufenden Stromstrichs. Die Sohlenlage in Richtung des Stromstrichs ist nicht dem Wasserspiegel parallel, sondern der Scheitel der Parabel liegt am höchsten auf dem Uebergange, am tiefsten in der Krümmung, und zwar um so tiefer, je schärfer die Krümmung ist. Der Längenschnitt der größten Tiefe ist auch im Entwurfe daher ein wellenförmiger. Die Wassermasse wird bei Aufstellung des Entwurfes nicht berücksichtigt, die Querschnittsgrößen werden nicht hydraulisch berechnet, sondern in der Größe beibehalten, die sie durchschnittlich besitzen, ohne daß dabei bei jedem Entwurfe durchweg eine bestimmte Querschnittsgröße gewählt würde. Die gemessenen Querschnittsgrößen werden vielmehr zeichnerisch dargestellt und durch eine Ausgleichlinie die Veränderlichkeit der Querschnittsgröße festgestellt. Es findet keinerlei Rechnung auf Grund von Geschwindigkeitsformeln statt. Soweit die Tiefen über das erstrebte Endziel hinausgehen, werden sie durch Grundschwelle verbaut, jedoch zunächst nicht bis zur vollen Höhe, sondern die Krone bleibt annähernd 0,5 m tiefer liegen, ungefähr parallel zur erstrebten parabolischen Begrenzung des Querschnitts. Eine Baggerung der fehlenden Tiefen findet nicht statt. Diese Arbeit verbleibt im allgemeinen der natürlichen Strömung. Für den Verlauf des Wasserspiegels im Längenschnitt wird zwar keine Grade, aber doch eine sich derselben sehr annähernde Linie zu Grunde gelegt.

Die Bauweise Girardons nimmt also ebenfalls die Herstellung von Normalquerschnitten, sogar solcher von bestimmter Form in Aussicht, nur daß die Größe und Form derselben je nach der Oertlichkeit einer bestimmten Veränderlichkeit freigegeben wird; sie nimmt ferner auch Einschränkungen in Aussicht, und zwar sowohl in der Breite als in einzelnen Querschnittsgrößen, nur daß sie nicht überall dieselbe Breite anwendet; sie arbeitet ferner auf einen Ausgleich des Gefälles hin, nur daß sie davon absieht, auf den Uebergängen und in den Krümmungen überall dasselbe Gefälle herstellen zu wollen. In diesem Sinne wird gewiß jeder

den Vorschlägen Girardons nur voll beistimmen, wenn wir auch eine vollständige Verzichtleistung auf jede Rechnung schwerlich als geboten anerkennen werden. Zur Prüfung und Vergleichung der Einzelwerthe wird die Rechnung wohl immer noch einen gewissen Platz beanspruchen dürfen, so mangelhaft die hydraulischen Formeln und theoretischen Anhaltspunkte zur Zeit auch noch sind.

Auch in anderer Beziehung ergeben sich danach von unserem Vorgehen gewisse Unterschiede. Während wir gröfsere Stromregulirungen nur schrittweise auszuführen pflegen und nach jedem Schritte wieder überlegen, was zur Erzielung weiterer Verbesserungen fernerhin zu geschehen hat, immer unter fortlaufender Beobachtung der thatsächlichen Verhältnisse, während wir dieses Vorgehen so weit fortsetzen, bis wir einen berechtigten Anforderungen genügenden und dauernden Zustand erreicht haben, bedarf der französische Ingenieur von vornherein eines Generalentwurfes, eines Endziels auch bei einzelnen beschränkten Regulirungen. Es ist dies derselbe Gegensatz, der z. B. schon 1849 bei der internationalen Rheinstrombefahrung zwischen G. Hagen und Couturat, dem Urheber der Regulirung des Oberrheins, sich bemerkbar machte. Auch Girardon bleibt bei seinem Vorgehen „par tâtonnement“ ein guter Entwurf die Hauptsache.

Ein fernerer Unterschied besteht darin, dafs an der Rhone fast vollständig Abstand genommen wird von Baggerungen. Der Strom soll im allgemeinen die Arbeit allein verrichten. Vor 20 oder 30 Jahren war dies auch bei uns Grundsatz, und viele alte Wasserbautechniker haben sich bei uns gegen Baggerungen lange gesträubt oder wenigstens doch die Kraft des Stromes zum Betrieb der Bagger oder zu Kratzvorrichtungen zu verwenden gestrebt. Die steigende Leistungsfähigkeit der Bagger und immer billigere Verwendung derselben hat diesem alten Vorurtheil bei uns endlich den Boden entzogen, denn, wie auf dem internationalen Congrefs zu Brüssel hervorgehoben wurde, in keinem Lande sind die Baggerungen zur Zeit so an der Tagesordnung, wie in Norddeutschland. Und das mit vollem Recht. Es ist eben etwas anderes, den festgelagerten Boden in Bewegung zu setzen, als die Ablagerung neuen Geschiebes zu verhüten. Durch Einschränkung allein läfst sich der durchschnittliche Querschnitt der meisten Uebergänge auf Abmessungen zurückführen, die auf Vollkommenheit keinen Anspruch mehr haben. Die Sohle hat sich vielfach so fest gelagert, dafs die geringe Geschwindigkeitsvermehrung machtlos bleibt, oder das Geschiebe ist so schwer, dafs selbst gewöhnliche Hochwasser ohne Einwirkung über dasselbe hinziehen. Hat der Bagger die feste Kruste erst gebrochen oder das schwere Material beseitigt, so kann die Geschwindigkeitsvermehrung aber sehr wohl einer neuen Ansammlung gleich schweren Geschiebes vorbeugen. So sind am Rhein in den letzten zwanzig Jahren eine Reihe von Uebergängen hauptsächlich durch Baggerung erweitert und vertieft worden, ohne dafs neue Versandungen eingetreten oder Spiegelsenkungen beobachtet wären. Auf 72 Uebergängen ist am Rhein der kleinste Querschnitt durchschnittlich um 124 qm d. h. um etwa 20 v. H. vergrößert, in vier Fällen sogar bis zu 250 qm, also um 40 v. H. Dafs ein Entwurf hätte von vornherein eine so weit gehende Aufräumung des Uebergangs ins Auge fassen können, ist wohl ausgeschlossen, jedenfalls wenn man sich bei Bemessung der Querschnittgröfsen lediglich mit den bestehenden Durchschnittsgröfsen begnügt hätte. Ohne Baggerung wäre ein derartiger Erfolg gar nicht erreichbar gewesen; mit ihnen gingen allerdings Einschränkungen unter Niedrigwasser Hand in Hand. Sind also die Bagge-

runge bei uns auch nicht die einzigen Hilfsmittel zur Regulirung der Uebergänge, wie Timonoff es für die Wolga im Auge hat, so sind sie doch für uns unentbehrliche Mittel und werden es wohl noch in höherem Mafse in der Zukunft werden, wenn die Hoffnungen, die man den grofsen Saugbaggern entgegenbringt, sich verwirklichen sollten.

Ein weiterer Vergleich des Vorgehens an der Rhone mit unseren norddeutschen Verhältnissen führt zu der Frage: War es nothwendig, die Längsdämme auf den Uebergängen bis auf Niedrigwasser abzutragen und welcher Vortheil wird damit erreicht? Die Längsdämme an der Rhone stellen eine Mittelwasserregulirung dar, während sie durch die Abtragung lediglich Glieder der Niedrigwasserregulirung werden. Die Frage läfst sich daher auch dahin auslegen: War es nothwendig, die Mittelwasserregulirung zu gunsten der Niedrigwasserregulirung zu beseitigen?

In Norddeutschland pflegt die Niedrigwasserregulirung im allgemeinen als eine Ergänzung der für Mittelwasser angelegten Bauwerke, als der feinere Ausbau betrachtet zu werden, der zur Herstellung regelmäfsiger Querschnittsformen in den Rahmen der bisherigen Werke nachträglich nach Bedarf hineingefügt wird. Die Mittelwasserwerke bleiben unverändert erhalten. Die Buhnen und Grundswellen bilden ein zusammengehöriges Ganzes, ebenso wie die Deckwerke oder Leitwerke, die bei uns vorhanden sind, in den davor liegenden Grundswellen erst ihren vollen Ausbau erhalten. Nicht überall ist es zwar bei uns nothwendig gewesen, diesen vollen Ausbau durchzuführen. Es giebt viele Stromstrecken, wo die Vertheilung der Stromgeschwindigkeiten und demzufolge auch der Wassertiefen schon von Natur aus eine so günstige war, dafs es besonderer Grundswellen nicht bedurfte; es giebt viele Krümmungen, wo die Ausbildung des ausbuchtenden Ufers mittels Grundswellen oder durch Schlickzäune und Pflanzungen sich so regelmäfsig ausbilden liefs, dafs es besonderer Mittelwasserwerke nicht bedurfte. Es liegen wohl vereinzelt Fälle vor, dafs Buhnen, die in stark ausbuchtenden Ufern angelegt waren, abgetragen worden sind, aber auf Uebergängen, wo der Strom von einem Ufer zum andern übergeht, sind in erster Linie bei uns Werke in Mittelwasserhöhe für unumgänglich gehalten worden.

Ein wesentlicher Unterschied in den örtlichen Verhältnissen besteht dabei zwischen der Rhone und den norddeutschen Flüssen nicht, insofern im allgemeinen hier wie dort der Niedrigwasserstand etwa 2 m unter Mittelwasserhöhe und letztere etwa 2 m unter Uferhöhe zu liegen pflegt. Hier wie dort sind die natürlichen Strombreiten auf den Uebergängen meistens gröfsere als in den Krümmungen. Während in den gekrümmten Strecken, besonders in starken Bögen, es sich im allgemeinen nur um eine Vertheidigung und angemessene Ausrundung der einbuchtenden Ufer handelt, kommt bei Uebergängen, Graden oder schwach gekrümmten Strecken dagegen eine merkbare Einschränkung in Frage.

Auf eine Einschränkung der Strombreite werden wir dabei auf den Uebergängen schwerlich Verzicht leisten können, denn auf ihr beruht hauptsächlich der Erfolg, den wir in der Herstellung gröfserer Fahrtiefen erreicht haben. Der Umstand, dafs selbst bei bordvollem Wasser der Strom durch die hohe Lage der Mittelwasserwerke gezwungen ist, seine Hauptwassermasse im engeren Strombett zwischen den Buhnen abzuführen, wird etwaigen Versandungen auf den Uebergängen am wirksamsten vorbeugen. Wenn nur Niedrigwasserwerke vorhanden sind, so ist die Leistungs-

fähigkeit der über den Werken gelegenen Querschnittstheile weit größer, da die Geschwindigkeit von 2 m bis 4 m Wassertiefe merkbar zunimmt. Die Wassermenge, die den Uebergang selbst überströmen muß, wird merkbar verringert und demzufolge im engeren Strombett sich eine merkbare Verringerung des Querschnitts zu ungunsten der Wassertiefe ergeben. Beim Sinken des Wasserstandes mag vielleicht der Strom diese Auflandung wieder beseitigen, und zwar um so leichter, je besser der Strom in seinem Niedrigwasserbett geführt wird, aber die Veränderlichkeit der Höhenlage des Uebergangs zu stärken, kann allgemein kaum als Vortheil gelten. Bei der Verschiedenartigkeit, die das Geschiebe jedes Flusses seiner Größe, Form und Schwere nach zeigt, wäre es nicht immer mit Sicherheit verbürgbar, daß die Geschwindigkeit bei Niedrigwasser ausreicht, um das Geschiebe fortzuführen und die bestimmte Bahn für das Fahrwasser in der erforderlichen Breite freizulegen.

Der Höhenunterschied, um den die Oberfläche eines Uebergangs zwischen Hochwasser und Niedrigwasser schwankt, ist an der Rhone durch Beobachtungen festgestellt und soll an manchen Stellen bis zu 1,0 m betragen. Aus den fortlaufenden Aufzeichnungen liefs sich eine regelmässige, stete Schwankung dieser Höhe im Sinne der Wasserstandsbeziehung erkennen, derart, daß dem steigenden Wasserstande eine Erhöhung des Uebergangs und umgekehrt dem fallenden Wasserstande eine Senkung desselben entspricht. Gleiche Beobachtungen am Rhein haben eine derartige sichere Beziehung nicht hervortreten lassen, sondern die Zahl der Fälle, daß bei höherem Wasser eine höhere Lage des Uebergangs festgestellt wurde, ist der Anzahl von Fällen annähernd gleich, daß das Gegentheil sich ergab. Abgesehen von einigen Ausnahmen, ist am Rhein auch das Mafs der Schwankung durchschnittlich weit geringer.

Wenn nun thatsächlich an der Rhone die anhaltenden Hochwasser der letzten Jahre auf der Stromstrecke von Lyon bis Valence, wo die Leitwerke fast durchgängig auf den Uebergängen bis auf Niedrigwasser abgetragen und die Grundswellen fertig hergestellt sind, keine merkbare Verschlechterung der Uebergänge erzeugten, so läfst dies vielleicht doch dem Zweifel Raum, ob dieser Erfolg mehr der Niederlegung der Dämme oder der verbesserten Führung des Stroms durch Grundswellen zuzuschreiben ist. Ueberdies waren auf dieser Stromstrecke die Ufer schon vor der Regulirung ziemlich regelmässig ausgebildet, die Breiten waren nicht übermäfsig große und die Gefällverhältnisse ziemlich gleichmäfsige. Unterhalb Valence liegen die Verhältnisse aber weit ungünstiger. Das Gefälle ist stärker und ungleichmäfsiger vertheilt, die Breiten, Querschnittsflächen und Wassermengen schwanken bei ausgedehnten Stromspaltungen in weiten Grenzen. Während bei dem Wasserstande von 0,30 m unter N.W. bei der Befahrung auf den Uebergängen oberhalb Valence ziemlich gleichmäfsig eine Fahrtiefe von 1,40 m gepeilt wurde, verringerte diese sich unterhalb Valence mehrfach auf 1,20 m, auf dem Uebergang von Fraysse Kil. 124 bis auf 1,0 m.

Hervorzubeben ist ferner, daß die Anzahl der schlechten Uebergänge nach Angabe Girardons in den letzten Jahren, wo hohe Wasserstände herrschten, wieder zugenommen hat. Der Pafs von Fraysse war unter den schlechten Uebergängen, die Girardon in der zeichnerischen Darstellung seines Berichtes im Haag vorführte, nicht enthalten, bestand also 1894 noch nicht in dem Umfange. An und für sich ist allerdings im allgemeinen in einer bei ungünstigen Wasserständen vorübergehend eintretenden Verschlechterung einzelner Uebergänge oder im Auftreten neuer

Hindernisse noch kein Misserfolg zu erblicken. Bis zum Eintritt vollständig gesicherter Verhältnisse wird sich dies wohl noch wiederholt ereignen, während doch im allgemeinen eine günstige Entwicklung sich vollziehen kann. Eine Folgerung läfst sich in dieser Hinsicht nur an der Hand vollständigerer Unterlagen ziehen, als sie bei einer doch immerhin nur oberflächlichen Befahrung erlangbar waren. Für die Stromstrecke unterhalb Valence erachtet Girardon überdies die Regulirung für Niedrigwasser kaum als begonnen und rechnet für Durchführung derselben noch auf eine Reihe von Jahren.

Ein weiterer Umstand, der für Beibehaltung der Mittelwasserwerke spricht, liegt aber bei unseren mit Buhnen ausgebauten Strömen in den Eisverhältnissen. Die Buhnenköpfe sind feste Punkte, die im allgemeinen hinreichend stark sind, dem Eisabgange Widerstand zu leisten. Bauwerke, die in ihren Abmessungen den Grundswellen gleichen, würden den Angriffen eines Eisaufbruchs schwerlich gewachsen sein. Für die Rhone fällt diese Rücksicht allerdings fort, da die Eisgänge dort ohne besondere Gefahr verlaufen und äußerst selten sind.

Wenn demnach die Niederlegung der Längsdämme auf den Uebergängen an der Rhone von Mittelwasser auf Niedrigwasser nicht durchweg auf unsere Verhältnisse zutrifft oder Nachahmung fordern mag, so geht daraus jedenfalls eine Bestätigung der auch anderweit gemachten Erfahrung hervor, daß hohe Längswerke für die Ausbildung der Fahrinne keinen günstigen Einfluß geübt und das ihnen früher entgegengebrachte Vertrauen nicht verdient haben. Mit dem Vorzuge einer festen Begrenzung des Stromlaufs verbinden die Längswerke den Nachtheil, daß sie den Strom anziehen, neben sich leicht große Tiefen schaffen und dafür in der Strommitte einen hoch liegenden Mittelgrund entstehen lassen. Statt einer einzigen in der Strommitte liegenden Fahrinne bilden sich deren zwei, an jedem Ufer eine, von denen natürlich jede einzelne in ihren Abmessungen entsprechend kleiner ausfallen muß. Je niedriger die Längswerke gehalten werden, desto weniger werden zwar diese Nachtheile bemerkbar werden, aber desto mehr geht auch ihr Vortheil, daß sie von vornherein ein festes Ufer schaffen, verloren. Sie geben dem Strome dann nicht mehr die sichere Führung, werden stärker überströmt, und es scheint begreiflich, was Schattauer auf dem Haager Congrefs für die Oberweser anführte, daß die Niedrigwasserleitwerke allein nicht zu halten waren, sondern durch Grundswellen und stark ansteigende Queranschlüsse geschützt werden mußten. Auch an der Rhone war man nach dem beigefügten Berichte Jacquets schon vor 1880 allmählich zu niedrigen Leitwerken übergegangen, und auch dort hielt Jacquet die Hinzufügung von Grundswellen für geboten. Sind auch die Vortheile, die Jacquet sich von der Wirkung der Grundswellen versprochen hat, nicht durchweg in Erfüllung gegangen, ist insbesondere die vollständige Verlandung derselben und eine wesentliche Erhöhung des Gefälles ausgeblieben, so haben sie doch wenigstens das Eintreten merkbarer Spiegelsenkungen, wie diese den Längswerken im allgemeinen zu folgen pflegen, nicht aufkommen lassen. Durch die Kraftverluste, die sie der Strömung bereiten, vermindern sie die Geschiebeführung des Stromes in um so höherem Mafse, je mehr der Strom einer Senkung zustreben sollte. Wenn aber die Niedrigwasserlängswerke doch der Grundswellen als ergänzenden Ausbaus bedürfen, dann erscheint das Vorgehen Girardons gerechtfertigt, daß er auf Uebergängen, wo bisher noch keine Leitwerke vorhanden waren, auch von niedrigen Längswerken Abstand nimmt und sich lediglich auf den Bau von Grundswellen beschränkt,

denn die Längswerke haben dann keinen Zweck mehr. Anders liegen natürlich die Verhältnisse an kleinen Flußläufen, wo ein sicherer Uferschutz überhaupt nur durch Längswerke oder Deckwerke erreichbar ist, wie an der Saale oder an den Gebirgsflüssen Süddeutschlands. Aber auch hier hat man, wie z. B. an den Schwarzwaldflüssen Badens, den Ausspülungen der Sohle durch Schwellen vorbeugen müssen, ebenso wie die Schweiz an der oberen Rhone die Ufer mittels Grundschwellen gegen Unterspülung gesichert hat.

Die größte Schwierigkeit auf der Rhone unterhalb Lyon liegt jedenfalls in dem ungünstigen Einfluß der Seitenarme und Nebenflüsse. An der Mündung der Ardèche z. B. war neuerdings die Breite des Wasserspiegels auf etwa 50 m bei Niedrigwasser eingeengt. Ein breiter Schuttkegel des Nebenflusses hatte den Strom in zwei Drittel seiner Strombreite gesperrt. Aehnliche Unregelmäßigkeiten bestanden in großer Zahl, bald stärker, bald schwächer. Sie bezeugen die außerordentliche Geschiebezufuhr der Nebenflüsse. Die erschwerenden Umstände, die ein einziges Hochwasser in wenigen Tagen der Regulirung zu bereiten imstande ist, müssen sich fort und fort in solchem Umfange geltend machen, daß neben der Regulirung des Hauptstroms eine Festlegung des Geschiebes in den Zuflüssen und Seitenarmen sich als unvermeidlich erweisen dürfte. Auch der beste Entwurf wird Ereignissen, die mit so elementarer Gewalt und in solcher Mächtigkeit plötzlich hereinbrechen, nicht zu begegnen imstande sein.

Die Beobachtung dessen, was geschieht und was die Natur verlangt, wird übrigens an der Rhone mit seltener Gründlichkeit gepflegt. Alle zwei Jahre findet eine vollständige Verpeilung wichtigerer Stromstrecken in längerer Ausdehnung statt. Bei niedrigem Wasser werden sämtliche Uebergänge wöchentlich einmal, bei höherem Wasser alle 14 Tage auf ihre Höhenlage hin untersucht. Durch eine große Reihe von Pegeln — es stehen solche durchschnittlich in jedem Kilometer vier Stück — ist es möglich, das Verhalten des Stromes und etwaige Aenderungen fortlaufend zu überwachen. Eine eigene Fernsprechleitung am Strome entlang erleichtert die Uebersicht über alle Arbeiten und Vorgänge, sodafs die Localbaubeamten stets voll unterrichtet sind. Die Seele des Ganzen, auch bei den einzelnen Bauausführungen, ist aber Girardon selbst, der in bewundernswerther Arbeitskraft und Vielseitigkeit alle Einzelheiten verfolgt und doch die großen Gesichtspunkte im Auge behält.

Von dem Verkehr und der Schifffahrt auf der Rhone vermochten wir natürlich bei dem niedrigen Wasserstande, wo sie vollständig ruhten, eine Anschauung nicht zu gewinnen. Da zwischen Eisenbahn und Strom, wie gesagt, keine Verbindung besteht aufer in St. Louis, so beschränkt sich die Schifffahrt im wesentlichen auf die unmittelbare Zufuhr, die in Lyon, Avignon, Beaucaire und besonders von der Eisenindustrie im Thale bei Givors oder einzelnen Fabriken statthat. Dafs in den letzten Jahren wesentliche Neuanlagen von Fabriken am Strom erfolgt seien, war, abgesehen von einer großen chemischen Fabrik im Rhonedelta, nicht zu bemerken. Die ganze Schifffahrt liegt in den Händen der „Compagnie générale“ zu Lyon, die neben der Personendampfschifffahrt auch den gesamten Güterverkehr vermittelt. Privatschifffahrt wird fast garnicht geübt. Die alten „Grappins“, d. h. Schiffe, deren Räder bis auf die Sohle des Flusses hinabreichen, sind nicht mehr im Betrieb. Die neuen Dampfer sind große, starke und außerordentlich schlank gebaute Räderschiffe, bei denen die Länge wohl das achtzehnfache

der Breite betragen mag. Besonders anziehend war die Besichtigung eines Schleppdampfers der Tauerei, den uns der Director La Rue auf der Befahrung zu zeigen die Güte hatte. Bei der großen Veränderlichkeit der Flußsohle wagt man nämlich nicht, das Tau dauernd auf den Grund zu verlegen, sondern jeder Tauer zwischen Tournon und St. Esprit, wo die Tauerei betrieben wird, hat für seine Strecke ein Drahtseil von etwa 15 km Länge an Bord, das er bei der Thalfahrt in die Fahrinne verlegt und an den er sich unmittelbar darauf bei der Bergfahrt wieder hinaufzieht. Dieses Tau mußte, um das Schiff möglichst wenig zu belasten, thunlichst leicht hergestellt werden und besteht im Querschnitt bei 23 mm Gesamtstärke aus einer doppelten Ringlage von viereckigen etwa 4 mm starken Stahlröhren. Um einer Verdrehung des Taus vorzubeugen, ist der innere Ring in anderem Sinne gedreht wie der äußere. Auf dem Tauer befanden sich besondere Maschinen für die Thal- und für die Bergfahrt, für Verschiebung des Auslegerschlittens, für Steuerung des Anhangs durch Anziehen oder Nachlassen der beiderseitigen Schlepprossen usw.

Anziehend war auch die Besichtigung der altherwürdigen Brücke bei St. Esprit, die in den Jahren 1265 bis 1307 von der alten Brückenbrüderschaft erbaut wurde. Mit ihren 23 gewölbten Bögen und 480 m Länge einstmals ein Wunder der Baukunst, ist sie neuerdings auch dem Fuhrwerkverkehr voll zugänglich gemacht, und durch Herausnahme eines Stropfweilers ist der Schifffahrt eine bessere Durchfahrt geschaffen. Ueberhaupt besteht über der Rhone eine auffallend große Zahl neuerer Brücken, die meist als einfache Hängebrücken mit großen Spannweiten nur dem Fußgängerverkehr dienen, zum Theil aber auch ältere feste Bogenbrücken, wie bei St. Andréol und Givors, wo durch die weit vorspringenden Unterbauten der eng gestellten Pfeiler der Schifffahrt besonders bei Niedrigwasser gefährliche Schwierigkeiten erwachsen, sowie neuere eiserne Brücken für Eisenbahn und Landstraßen. Von der alten Brücke St. Bénézet bei Avignon, die ebenso alt ist wie diejenige von St. Esprit, und über deren Erbauung eine Reihe von Sagen besteht, ist nur noch der auf dem linken Vorlande befindliche, allerdings ziemlich beträchtliche Theil mit der Capelle erhalten geblieben. Die Bögen, welche die eigentliche Rhone überspannten, sind eingestürzt und nicht mehr vorhanden.

Es wäre wohl noch mancher Eigenart zu gedenken, aber die Grenzen dieses Berichtes müssen sich beschränken auf den Zweck der Reise und den erteilten Auftrag. Schwer nur reifst sich der Gedanke los von den vielseitigen Eindrücken der belehrenden Fahrt. Möge es mir nur noch gestattet sein, auch hier mit besonderem Danke das freundliche Entgegenkommen der Collegen, insbesondere die ausgezeichnete Führung des Chefingenieurs Girardon hervorzuheben, der in vollendet lebenswürdiger Form uns den Aufenthalt an der Rhone zu einer unvergeßlichen Lebenserinnerung gestaltet hat.

R. Jasmund, Regierungs- und Baurath.

A n h a n g.

Bericht des Chefingenieurs der Rhone L. Jaquet über die Verbesserung der Ströme auf beweglicher Sohle mittels Grundschwellen.

Lyon, den 22. September 1880.

Bei dem Auftrage, den ich im Laufe des vorigen Jahres mit dem Generalinspector Gros in Ungarn auszuführen hatte, traf ich mit dem preussischen Elbstrombaudirector, jetzigen Ge-

heimen Oberbaurath Kozlowski zusammen. Naturgemäß haben wir uns vielfach über die Vorgänge auf der Elbe und auf der Rhone unterhalten. Neben manchen anderweiten nützlichen und bemerkenswerthen Fragen hat sich dabei unsere Aufmerksamkeit besonders einer in Frankreich wenig bekannten Bauweise zugewandt, die am Rhein, an der Elbe und an den anderen Strömen Deutschlands zu den besten Erfolgen geführt hat. Ich meine die bei uns als „*épis noyés*“ bezeichneten Werke, die der Deutsche zutreffender „Grundschnellen“ nennt.

Obwohl die deutschen Ströme im Bereiche ihrer Schiffbarkeit nur ein im Vergleich zur Rhone schwaches Gefälle besitzen, haben die deutschen Baumeister sich stets die Aufgabe gestellt, das Gefälle zu vertheilen und möglichst gleichförmig auszubilden. Sie vermeiden ebenso wie wir in der Fahrinne die Bildung allzutiefer Kolke, welche durch Aufhebung des Gefälles in mehr oder minder beträchtlicher Ausdehnung auf die Bildung oder Verschärfung der Stromschnellen stromauf hinwirken. Sie drücken den störenden Einfluß dieser Kolke mit den Worten aus: „die Tiefen consumiren die Gefälle“.

Die deutschen Baumeister suchen also wie wir die übermäßigen Tiefen zu verringern, aber sie gehen dabei anders vor, als wir es bis heute gethan haben. Während wir die Kolke durch niedrige Längsdeiche abschließen und die Fahrinne vom Hochufer abdrängen, verwenden sie Grundschnellen in der Absicht, die Verlandung und Aufhöhung der Stromsohle ohne Verlegung des Niedrigwasserbettes zu erreichen.

Die nachstehenden Text-Abb. a und b geben eine Vorstellung von der Bauweise, wie ich sie den Ausführungen des Herrn Kozlowski entnommen hatte. Während wir in der einspringenden und sehr tiefen Bucht das niedrige Längswerk *mmm* ausgeführt haben würden, hätten die Deutschen

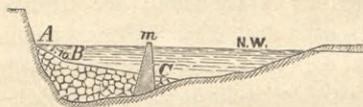


Abb. a.

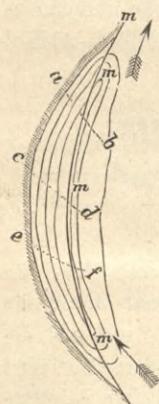


Abb. b.

eine Reihe von Grundschnellen *ab, cd, ef* hergestellt, die vom Ufer aus je nach Umständen unter einem Winkel von 60 bis 80 Grad quer zum Strom gerichtet sind. Die Kronenhöhe der Schwelle senkt sich vom Ufer aus auf eine gewisse Länge *AB* mit einem Gefälle von 10 bis 15 cm auf 1 m, danach vom Punkte *B* ab mit einem schwächeren Gefälle bis zum Schnittpunkt *C* mit dem gegenüberliegenden Ufer. Die Linien *AB* und *BC* werden bestimmt unter Berücksichtigung der herzustellenden Fahrtiefe, der Länge des zu durchbauenden Kolkes usw.

Auf Grund dieser kurz zusammengefaßten Angaben hatte ich versuchsweise für die Rhone zwei Entwürfe bearbeiten lassen, die nach Genehmigung des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 31. März und 3. April 1880 gegenwärtig in der Ausführung begriffen sind.

Die Bereisung der deutschen Ströme, die ich mit dem Ingenieur Petit dem ertheilten Auftrage des Herrn Ministers vom 24. Mai d. J. zufolge ausgeführt habe, hat uns Gelegenheit geboten, die Bauweise der Grundschnellen vollständiger zu studiren und die Vorzüge derselben für die Verbesserung der Rhone zu erfassen. Wir glauben von diesem Theil unseres Auftrages mit Rücksicht auf die Wichtigkeit, die den Grundschnellen sowohl ihres Erfolges als ihrer verschiedenartigen Beurtheilung wegen beigelegt werden muß, einen eingehenden Sonderbericht erstatten zu sollen. Wir theilen unseren Bericht in die Erläuterung der deutschen Bauweise der Grundschnellen und in die Vorschläge für Anwendung derselben bei Verbesserung der Rhone.

I. Verwendung der Grundschnellen an den Strömen Deutschlands.

Im allgemeinen werden diejenigen Werke als Grundschnellen bezeichnet, die unter der Normalsohle des Flusses zur Befestigung und Sicherung des Strombettes oder zur Aufhöhung zu tiefer Kolke hergestellt werden. Die Grundschnellen werden fast in derselben Weise und aus denselben Baustoffen gefertigt, wie die über Wasser tretenden Buhnen. Sie bestehen aus Steinen, wo bei den Strombauwerken Steine verwandt werden, und aus Faschinen, wo die Verwendung der Steine, wie dies sehr häufig in Deutschland der Fall ist, zu kostspielig sein würde.

Das älteste Beispiel für Verwendung der Grundschnellen hat uns der Geheime Baurath Hagen angegeben. Es ist an der Ruhr, einem kleinen Flusse, der sich bei Ruhrort in den Rhein ergießt, und dem der westfälische Kohlenverkehr vor dem Bau der Eisenbahnen eine außerordentliche Bedeutung verlieh. Die Ruhr ist auf 75 km Länge mittels 11 Schleusen canalisirt derart, daß die einzelnen Haltungen ein gewisses Gefälle behalten haben. Vor etwa 30 Jahren hatte eine von diesen Haltungen sich vertieft, und das Gefälle bei Niedrigwasser sich so weit verringert, daß der Unterdrempel der oberen Schleuse zu Tage trat; die Schifffahrt war demzufolge unterbrochen. Die Baumeister stellten das Gefälle wieder her, indem sie in dieser Haltung eine Reihe von unter Wasser liegenden Querdämmen erbauten, die auch vor Aufhöhung der Sohle das Gesamtgefälle derart vertheilten, daß bei Niedrigwasser wieder die erforderliche Fahrtiefe geschaffen war. Die Größe des zurückgewonnenen Gefälles schätzte Herr Hagen, da ihm die Entwurfspläne nicht vorlagen, auf 0,70 m. Dieses Beispiel der Ruhr ist um so bemerkenswerther, weil es sehr alt ist und das erreichte Ergebniss genau dem Ziele entspricht, das wir auf der Rhone im Auge haben, abgesehen von den übrigen Vortheilen, die mit dieser Bauweise verbunden sind.

Verwendung der Grundschnellen auf der Elbe. In ausgedehntem Mafse sind die Grundschnellen bei Verbesserung der Elbe zur Anwendung gelangt, und man kann sagen, daß die deutschen Baumeister hier durch die natürliche Entwicklung des gewählten Ausbaues auf sie geführt worden sind. Ebenso wie wir an der Rhone, haben sie die Verbesserung der Fahrinne mittels Einschränkung angestrebt, indem sie im natürlichen Strombett ein kleineres Bett geschaffen haben, dessen Breite unter Berücksichtigung der Widerstandsfähigkeit der Sohle je nach dem Gefälle und der Wassermenge des Stromes bemessen wurde. Aber anstatt dieses schmalere Bett mit Längsdämmen abzugrenzen, haben sie es geschaffen durch die Herstellung staffelförmiger Buhnen, die quer zum Strom mit einer leichten Neigung stromauf von beiden Ufern aus in den Strom vortreten und auf der für das ideelle oder zukünftige Ufer des engeren Strombettes angenommenen Streichlinie endigen.

Wie zu erwarten war, hatten die Köpfe dieser Buhnen allgemein unter dem Stromangriff zu leiden; es bildeten sich vor ihnen Auskolkungen, die den Bestand der Buhnen gefährdeten und die Regelmäßigkeit der Fahrinne beeinträchtigten. Die Baumeister wurden also dazu geführt, ihre Buhnen unter Wasser in das eigentliche Strombett selbst weiter vorzuschieben, um ihren

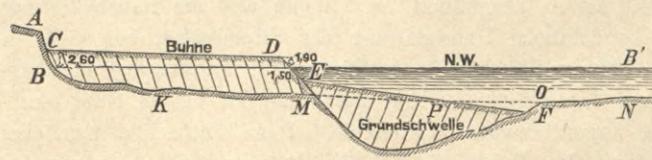


Abb. c.

Bestand zu sichern und die Unregelmäßigkeiten in der Sohle zu beheben. Eine Buhne, wie sie an der Elbe heute besteht, ist ein aus mehreren Theilen zusammengesetztes Bauwerk, von dem die nebenstehende Text-Abb. c eine Vorstellung giebt.

ABKMPON ist der natürliche Stromquerschnitt vor Ausführung der Arbeiten, *CDE* ist die Buhne, die das natürliche Strombett einschränkt, *MGF* ist die Auskolkung vor dem Bühnenkopf, *EF* ist die Krone der Grundschwelle, die den Kolk durchsetzt und den Bühnenkopf schützt. Im allgemeinen liegt die Krone der Buhne *CD* an ihrer Wurzel bei *C* 2,60 m über Niedrigwasser und am Bühnenkopf 1,90 m über N. W. Die Grundschwelle beginnt bei *E* ungefähr 1,50 m unter N. W., und die Krone *EF* hat eine Neigung von 1:25 bis 1:12.

Derartige Grundswellen haben den Erwartungen der Baumeister vollständig entsprochen. Sie haben durch Beförderung der Anschwemmung entschieden auf eine Ausfüllung der Kolke und eine Verlandung der Bühnenzwischenfelder hingewirkt. Sie haben dadurch die vollständige und gewissermaßen endgültige Sicherung der Bühnen zuwege gebracht. Aber dies ist nicht der einzige Vortheil. Vom Standpunkt der Schifffahrt aus betrachtet haben die Grundswellen die noch viel wichtigere Folge nach sich gezogen, daß sie die Hauptströmung vom Kopf der Buhne abdrängten und weit in den Strom hinein auf eine Stelle verlegten, wo sie zur Erhaltung der größten Tiefen beitrug. Die mit dem Stromstrich zu Thal fahrende gewöhnliche Schifffahrt und die Flöße, die Segelschiffe und Schleppzüge wurden fortan nicht mehr auf den Kopf der Bühnen gedrängt, sondern verblieben in der Mitte des engeren Strombettes oder wenigstens in einer hinreichenden Entfernung vom Ufer. Die Grundswellen haben also den einen Nachtheil, den man der Einschränkung durch Bühnen mit Recht zum Vorwurf machte, daß für die Schifffahrt gefährliche Klippen geschaffen wurden, beseitigt. Diese Besserung ist so entscheidender Natur, daß selbst außerordentlich starke Krümmungen, deren Begradigung man früher forderte, heute thatsächlich keine Gefahr mehr bieten und ihre Erhaltung endgültig in Aussicht genommen werden konnte.

Die vorbeschriebenen Grundswellen sind im allgemeinen ziemlich kurz. Falls indessen sich beträchtlichere Auskolkungen bilden oder befürchtet werden können, haben die Grundswellen nicht allein den Schutz der Buhne, sondern auch die regelmäßige Ausbildung der Sohle und des Gefälles im Auge. So hat die Regulierung der Elbe in großer Ausdehnung auf gleichmäßige Tiefen hingewirkt. Einstmals bot der Fluß, wie die Rhone, eine Reihe von mehr oder minder tiefen Strecken, die durch Stromschnellen getrennt waren. Die Stromgeschwindigkeit ist allerdings in diesen tiefen Stromstrecken vermehrt worden, aber die Vortheile eines regelmäßigen Fahrwassers in ganzer Ausdehnung der Fahrstraße und alle damit verbundenen Vorzüge lassen diese Unbequemlichkeit nicht bemerkbar werden.

Während die Grundswellen also denselben Dienst leisten wie endgültige Bauwerke, sind sie nicht minder nützlich für die Vorbereitung und billigere Ausführung anderer Werke. Bei Verwendung von Bühnen vollzieht sich die Regulierung des Stromes nicht unmittelbar mit einem Mal, wie dies nothwendigerweise bei Erbauung von Längswerken geschehen muß. Die Herstellung der Bühnen findet statt unter peinlichen Vorsichtsmaßregeln, wobei dem Baumeister eine große Freiheit in der Wahl der Mittel und durch Ausführung im Selbstbetriebe auch die Möglichkeit hierzu eingeräumt ist. Wenn also die Bauausführung eine beträchtliche Umgestaltung des Strombettes, besonders in einbuchtenden Strecken, herbeiführen will, beginnt man mit Ausführung der Bühnen auf nur kurze Längen bis zu einer einstweilig angenommenen Streichlinie. Dann beobachtet man eine Zeit lang den Erfolg. Greift die Strömung die Sohle vor den Köpfen an, so verlängert man die Bühnen, wie wir oben gesehen haben, mit Grundswellen, die später den Unterbau des folgenden Theiles der Bühnen zu bilden bestimmt sind, einstweilen aber die Ausspülung der Sohle hindern und die Anlandungen festlegen. Dieses allmähliche Vorgehen, dieser fortschreitende Ausbau

der Bühnen gelangt nicht nur in Richtung der Strombreite, sondern auch hinsichtlich ihrer Höhe zur Anwendung. Hat man eine bestimmte Höhe erreicht, beginnt man mit Grundswellen, die später nach und nach, je nachdem der erwartete Erfolg sich einstellt, weiter erhöht werden. Man erreicht auf diese Weise beträchtliche Verlandungen, und Bühnen, die man sonst in großen Tiefen nur mit großen Kosten hätte herstellen können, lassen sich nach und nach auf angesammelten Anlandungen ohne Schwierigkeiten und mit geringen Kosten zu Ende führen.

Am ausspringenden Ufer stellte der Erfolg sich außerordentlich rasch ein. In einspringenden Uferstrecken lieferten die Bühnen weniger befriedigende Ergebnisse. Die Ausspülung am Kopfe der Bühnen, die regelmäßig eintrat, konnte nur durch die vorbeschriebenen Vorsichtsmaßregeln und durch allmähliches Vorgehen bekämpft werden. In diesem Umstande liegt, wie ich glaube, die Ursache, weshalb die deutschen Baumeister dazu gelangt sind, den Grundswellenbau aufzunehmen und in so bemerkenswerther Weise zu verallgemeinern; denn die übrigen Vorzüge dieser Bauweise konnten erst nach Ausführung derselben durch die Erfahrung sich ergeben. In der That bieten die beiden Ufer der Elbe in der ganzen Ausdehnung, in der sie den preussischen Baumeistern unterstehen und in der Grundswellen angewandt sind, zur Zeit eine sehr beachtenswerthe Regulierung, die sich jeden Tag vervollkommnet, bis die Lücken zwischen den Bühnen sich durch Verlanden schliessen und man ein neues regelmäßiges Ufer haben wird, gleich demjenigen, das wir durch Längsdämme erreichen.

Verwendung der Grundswellen an der Oder. An der Oder sind die Arbeiten nicht so weit vorgeschritten wie an der Elbe, und Beispiele von der Verwendung der Grundswellen trifft man nicht so allgemein an. Aber die Verwendung ist dieselbe, ausgenommen daß der Uebergang von der höher gelegenen Buhne zur niedrigeren Grundschwelle durch ein Zwischenwerk gebildet wird, das von den Baumeistern mit „Stromschwelle“ bezeichnet und in Niedrigwasserhöhe abgeglichen wird. Ein vollständiges Strombauwerk an der Oder wird ein sehr zusammengesetztes Ganzes bilden, von dem ich den Querschnitt (Text-Abb. d)

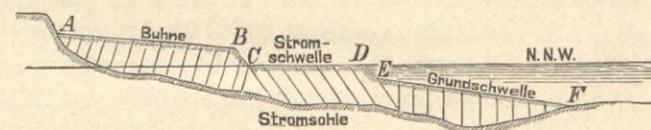


Abb. d.

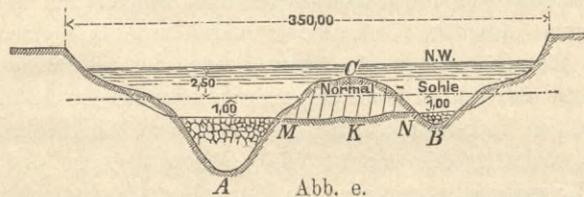
hier beifüge. Die Buhne *AB* und die Grundschwelle *EF*, die an der Elbe allein vorkommen, sind hier getrennt durch die Stromschwelle, die den Uebergang bildet. Die Bauart und die Vorsichtsmaßregeln bei allmählicher Ausführung derselben sind die gleichen wie an der Elbe. Der Erfolg der Arbeiten ist ebenfalls an allen Punkten, wo diese Bauweise angewandt worden ist, ein vollkommener.

Verwendung der Grundswellen am Rhein. Am Rhein finden sich Beispiele aller Bauweisen, die auf Einschränkung des natürlichen Strombettes und auf Herstellung des engeren Strombettes abzielen. Am meisten sind allerdings Bühnen zur Anwendung gelangt, aber man bemerkt auch Längsdämme und vielseitige Verbindung von Längswerken mit Bühnen. Die Grundswellen sind ebenso wie an der Elbe zur Vertheidigung und zum Schutze der Bühnenköpfe oder der Längsdeiche gegen Unterspülung verwandt. In dieser Hinsicht findet sich demjenigen, was weiter oben für die Elbe erwähnt ist, nichts hinzuzufügen.

Eine Besonderheit am Rhein ist indessen die Verwendung der Grundswellen zur Erzielung einer regelmäßigen Querschnittsform. Die deutschen Baumeister haben in dieser Hinsicht eine fast ängstliche Vervollkommnung angestrebt und untersucht, wie

im Querschnitt eines Stromes sich eine künstliche Fahrrinne mit gleichförmiger Tiefe ähnlich der eines Canals dürfte durchführen lassen. Für diese Untersuchungen kamen natürlich keine Stromengen wie diejenige der Loreley in Frage, wo bereits beträchtliche Tiefen vorhanden waren, wie an der Rhone in den Deichengen von Pierre Châtel oder von St. Alban und an der Donau in den Stromengen des Kasan. An diesen Stellen kommt die Herstellung eines engeren Strombettes nicht in Betracht. Aufser Uferausbauten, Häfen und Leinpfaden hat der Mensch dort für die Schifffahrt nichts zu thun. Es handelt sich vielmehr nur um die Vervollkommnung eines durch Einschränkung in einem zu breiten natürlichen Strombett künstlich geschaffenen engeren Strombettes, um in ihm ein thunlichst regelmässiges und für die Schifffahrt ausreichendes Fahrwasser zu erzielen. Die Breite des engeren Strombettes im Rhein zwischen St. Goar und Köln ist 350 m. In einem so breiten Strombett tritt häufig der Fall ein, das zufolge mangelhafter Führung des Stromes oder zufolge ungünstiger Richtung der Hochufer der Querschnitt unregelmässig ist und neben übergroßen Tiefen hochliegende Bänke auftauchen. Der Schifffahrt sind diese Bänke beschwerlich, weil sie gezwungen ist, bei Wahl ihres Fahrweges die hochliegenden Gründe, die oft mitten im Fahrwasser liegen, zu umgehen, und weil sie dabei starken Querströmungen je nach Lage der großen Tiefen begegnet. Es erwächst hierdurch der Schifffahrt eine ernste Unbequemlichkeit, besonders wenn mehrere Fahrzeuge gleichzeitig an demselben Punkte sich begegnen.

Die gleichförmige Ausbildung der Fahrrinne wird nun verwirklicht durch Anwendung der Grundschnellen, mittels deren die Baumeister die großen Tiefen durchbauen und in einer etwa 0,5 bis 1,0 m unter Normalsohle liegenden Höhe abgleichen, wie dies nebenstehende, von Herrn Schmid in Coblenz herrührende Text-Abb. e ergibt. In einem Querschnitt, der eine



tiefe Rinne A oder auch eine geringere Senkung B neben einem hochliegenden Grunde C darstellt, würde man Grundschnellen einbauen, die diese Rinnen bis zu 1,0 m unter Normalsohle, d. h. bis 3,50 m unter N.W. abschleifen. Diese Grundschnellen haben im allgemeinen eine Abspülung der höher liegenden Theile der Sohle und demgemäß ein Abtreiben des hochliegenden Grundes C, möglicherweise bis zur Linie MKN, zur Folge. Diese Wirkung tritt nicht allein in dem Querschnitt ein, in dem die Grundschnellen liegen, sondern in ganzer Länge des Ueberganges, wenn mehrere Werke in einer zur Verbauung der Gräben A und B in ganzer Länge hinreichend nahe liegenden Folge angeordnet werden. Sind diese Werke einmal gut ausgeführt und mit Erfolg in Wirksamkeit getreten, so erscheinen sie nicht wieder und können nicht wiedergefunden werden. In dieser Weise ist den uns gemachten Angaben zufolge der Uebergang bei Braubach, 10 km oberhalb Coblenz, durch 16 Grundschnellen, deren Entfernung ungefähr 125 m beträgt, und die Fahrstraße bei Zoll-Engers, 8 km unterhalb Coblenz, wo eine etwa 1 km lange Rinne nahe am rechten Ufer vorhanden war, vor 15 Jahren durch vier Grundschnellen in 250 m Abstand ausgebaut worden.

Die Wirkung der Schnellen wurde unterstützt durch Abaggerung des hoch liegenden Grundes, der sich seitlich am übermächtig tiefen Thalweg entlang zog. Heute zeigt der Längenschnitt in Richtung der alten Rinne, dass die Ausfüllung zwischen den

Grundschnellen fast vollendet ist. Die Schnellen sind verschwunden. Auf ihnen tritt bei der Fahrt eine kaum bemerkbare Wellenbewegung, in den Zwischenräumen eine nur schwache Senkung des Wasserspiegels in die Erscheinung.

Verwendung der Grundschnellen an der Mosel. Wir haben die Mosel zwar nicht besichtigt, aber in Erfahrung gebracht, dass dort die Grundschnellen ähnlich wie am Rhein verwandt worden sind, theils zur Vertheilung des Gefälles, wie wir es an der Rhone versuchen, theils zum Schutz der Strombauwerke und zur Regulirung der Querschnittsform des engeren Strombettes. Der Regierungs- und Baurath Schmid in Coblenz hat uns über diese Arbeiten einige Einzelheiten mitgetheilt. Wir haben uns die Thatsache aufgezeichnet, dass die Mosel auf eine Strecke von 105 km zwischen Trarbach und Coblenz ausgebaut und in regelmässiger Form schiffbar gemacht worden ist. Das mittlere kilometrische Gefälle dieser Strecke ist 0,33 m, die kleinste Fahrtiefe bei Niedrigwasser ist 0,60 m, während die kleinste Wassermenge 40 cbm in der Secunde nicht erreicht. Diese Verbesserung ist möglich geworden durch Verwendung von Grundschnellen, welche die tiefen Stromstrecken und demnach die Stromschnellen haben verschwinden lassen und die eine regelmässige Vertheilung des Gefälles herbeigeführt haben.

Auf den ersten Blick erscheint dieses Ergebniss von geringer Bedeutung. Man möchte eine Wassertiefe von 0,60 m wohl unzureichend finden. Die Deutschen waren nicht der Meinung. Die allerniedrigsten Wasserstände sind selten und von kurzer Dauer. Für gewöhnlich ist die Mosel sehr wohl schiffbar. Die Baumeister ziehen es vor, den Strom lieber frei fließen zu lassen, als die Fahrtiefe durch Stauanlagen zu vergrößern. In der That sind sie dazu gelangt, auf der Mosel eine Schifffahrt zu sehen, die wenigstens an der Mündung bei Coblenz sehr blühend zu sein scheint.

Die Weser und die Weichsel. An der Weichsel ist die Regulirung noch im ersten Anfange ihrer Entwicklung, und wir haben nicht gesehen, dass man bereits dazu gelangt ist, die Werke über die Streichlinien hinaus bis in das engere Strombett mittels Grundschnellen vorzuschieben. Die bis jetzt ausgeführten derartigen Werke sind vielmehr wirkliche Grunddeckungen, die den Zweck haben, die Sohle auf der Baustelle oder an den Buhnenköpfen gegen befürchtete Ausspülungen festzulegen. Es ist aber ersichtlich, dass diese Grunddeckungen als der Ausgangspunkt der Grundschnellen betrachtet werden müssen. Uebrigens ist die Theorie und Bauweise der Baumeister an der Weichsel in dieser Hinsicht genau dieselbe wie diejenige der Baumeister an den anderen Strömen.

Die Weser haben wir nicht gesehen. Was man uns von ihr gesagt hat, ist hinsichtlich der Verwendung von Grundschnellen sehr bemerkenswerth. Aber anscheinend unterscheiden die Arbeiten sich nicht wesentlich von denjenigen der Elbe, Oder, Weichsel und des Rheins. Mit Bedauern haben wir der freundlichen Einladung der Bauleitung der Weser nicht entsprechen können, um die Dauer unseres Auftrages nicht allzusehr auszudehnen.

Schlussbetrachtung. Aus den vorstehenden Ausführungen geht hervor, dass die deutschen Baumeister sich nicht, wie wir es an der Rhone gethan haben, auf eine Regulirung der Ufer ihrer Ströme beschränken, sondern dass sie auf die regelmässige Gestaltung der Sohle ein nicht geringeres Gewicht legen. Die Erfahrung, dass bisweilen in der Fahrrinne selbst Unordnung sich geltend macht, und die Ausspülung, die immer vor den Einschränkungswerken hervorgerufen wurde, musste naturgemäß und unvermeidlich zu der Folgerung führen, dass die Unterhaltung der Ufer und Herstellung eines engeren Strombettes nicht genügte, sondern dass es galt, auch die unveränderliche Lage der Stromsohle sicherzustellen. Die deutschen Baumeister

haben also den Gedanken verwirklicht, daß sie die Sohle ebenso behandeln wie das Ufer, in gleichartigem Vorgehen oder wenigstens durch Werke, deren Aehnlichkeit unbestreitbar ist. Mit einer Reihe von Buhnen legen sie die Grenzen des engeren Strombettes fest, mit einer Reihe von Querbauten oder Grundschnellen ziehen sie die Grenzen, über die hinaus die Sohle sich nicht vertiefen soll. In gleicher Weise wie die neuen Ufer des engeren Strombettes sich ausbilden und durch die vom Strom zugeführten Anschwemmungen sich regelmäÙig gestalten, ebenso wird die Sohle erhöht und geebnet durch die Niederschläge der Strömung zwischen den auf einander folgenden Grundschnellen. Den gleichen Ursachen entspricht in beiden Fällen der gleiche Erfolg. Es hat nur einer bald erreichten Erfahrung bedurft, um diejenige Entfernung der Werke von einander zu bestimmen, die zur Sicherung der Anlandung bei Ausbildung des Ufers oder der regelmäÙigen Sohle geboten war.

Durch die Verwendung der Grundschnellen erreichte man bereits in beträchtlicher Ausdehnung — und man beabsichtigt es überall — eine vollkommene Regulirung, deren Hauptvorzüge folgendermaßen zusammengefaßt werden können:

1. Eine nahezu gleichmäÙige Vertheilung des Gefälles; infolge dessen eine Beseitigung der Stromschnellen, in denen sich eine der allgemeinen Natur des Flusses entsprechende Fahrtiefe ausbildet.

2. Der Schutz der Regulirungswerke und aller durch Uferströmungen bedrohten Bauten.

3. Die Verlegung der Linie der größten Tiefe und der größten Geschwindigkeit auf eine gewisse Entfernung vor den Uferbauten und demzufolge die Beseitigung der Gefahr, die von den Buhnen oder selbst von Längswerken für die Thal-schiffahrt oder für jedes zu Thal treibende Fahrzeug und Floß ausgeht.

4. Die regelmäÙige Vertheilung der Tiefen und Geschwindigkeiten in demselben Querschnitt.

5. Endlich die gleichmäÙige Ausbildung der Fahrwassertiefe in ganzer Ausdehnung gleichartiger Stromstrecken, bisweilen sogar wie auf der Elbe in ganzer Länge des Stromes, sodafs die Schiffahrt überall fast dieselbe Fahrtiefe vorfindet.

II. Anwendung der Grundschnellen zur Verbesserung der Rhone.

Die in bestimmter Wassertiefe abgeglichenen und demnach immer unter Wasser liegenden Werke sind nicht ganz unbekannt an der Rhone. So giebt es zahlreiche Beispiele in den Oeffnungen der Längsdämme, wo wir für Erhaltung des Leinpfades sorgen mußten, und in den Abzweigungen wichtiger Nebenarme, die erhalten bleiben sollten, wie z. B. der Arm von Villeneuve bei Avignon und der Arm von Tarascon. Aber bis in die neueste Zeit sind Unterwasserwerke noch nicht verwandt im Hauptstrom in der Absicht, auf Regulirung der Sohle hinzuwirken, und eine unserer wichtigsten Aufgaben in Deutschland war gerade das Studium dieser besonderen Bauwerke, in denen wir noch keine Erfahrung besitzen.

Im Bericht vom 1. Juli 1878 über die Verbesserung der Rhone zwischen Lyon und dem Meere habe ich die Bauweise erläutert, die früher bei Ausführung der Strombauwerke an der Rhone befolgt worden war, und ausgeführt, wie ich bei den durch das Gesetz vom 13. Mai 1878 gebotenen Arbeiten davon Gebrauch zu machen gedachte. Ich hatte ausdrücklich darauf hingewiesen, daß man sich an mehreren Stellen merkbar verrechnet hätte, und die ernste Gefahr betont, die mit einer Senkung des Wasserstandes verbunden war, da diese bei eng begrenzter Regulirung nothwendige Folgeerscheinung die Schwierigkeiten nur verlegen, nicht aber zu beseitigen vermöge. Ich will die allgemeinen Erörterungen hier nicht wiederholen. Diese Ausführungen haben

nur den Zweck, die Verwendbarkeit der Grundschnellen darzuthun, und ich beschränke mich darauf, die einzelnen Schwierigkeiten, die sich mittels dieser Bauweise abschwächen oder vielmehr beheben lassen, einer kurzen Einzelbetrachtung zu unterziehen.

Bekanntlich ist das Gefälle der Rhone weit davon entfernt, gleichmäÙig vertheilt zu sein, selbst in sehr kurzer Ausdehnung. Das kilometrische Gefälle, das oft als eine der wichtigsten Unterlagen für die Wirkung der verschiedenen Stromquerschnitte angegeben wird, ist eine ideelle Linie, von welcher das wirkliche Gefälle in den verschiedenen Höhen bisweilen sehr beträchtlich nach oben oder nach unten hin abweicht. In einigen tiefen Kolken ist das Gefälle außerordentlich schwach, vereinzelt findet man unterhalb starker Stromschnellen auf kurze Längen sogar ein Gegengefälle im Wasserspiegel, während in den Stromschnellen selbst das Gefälle beträchtlich ist und 0,005 m auf 1 m erreicht. Die Niedrigwasserlinie setzt sich abwechselnd aus schwachen und starken Gefällstrecken, entsprechend den tiefen und flachen Stromstrecken, zusammen. Unsere Lagepläne und Längenschnitte lassen klar erkennen, daß der Strom eine Reihe von Kolken, d. h. mehr oder minder tiefen Rinnen bildet, die durch hochliegende Gründe mit einer für die Schiffahrt bisweilen unzureichenden Fahrtiefe von einander getrennt sind. Sie geben vollständige Gewißheit, daß ebenso, wie man dies an allen Flüssen mit beweglicher Sohle bemerkt, in dem Wechsel der Tiefe eine Art von gesetzmäßiger Schwankung besteht, und sie zeigen uns, daß die großen Tiefen sich allgemein am einbuchtenden Ufer bilden, während die hochliegenden Gründe (Schnellen) sich an den Wendepunkten finden, wo der Strom von einem zum andern Ufer übergeht. Das Gefälle ist schwach in den tiefen Kolken und wird mehr oder weniger stark auf den Untiefen. Bei starker Wasserführung treten die Ungleichheiten der Sohle weniger hervor, und die Schwankungen des Oberflächengefalles weniger in die Erscheinung. Aber bei Niedrigwasser bildet der Abfluß einer geringen Wassermenge in den tiefen Kolken ein sehr wenig bemerkbares Gefälle, während auf einigen Schnellen ein wirklicher Wassersturz vorhanden ist, mittels dessen eine Rinne sich quer in die nächstfolgende ergießt. Diese Beobachtungen sind von allen Wasserbaumeistern über die Form des Niedrigwasserbettes und über die Beziehung zwischen Niedrigwassergefälle und Wassertiefe gemacht worden und in den Annales des ponts et chaussées wiederholt hervorgehoben. Man kann diese oft beobachtete Thatsache als einen Hauptgrundsatz der Flußbaukunde bezeichnen.

Die vorstehenden Entwicklungen lassen die Hauptschwierigkeiten der Rhoneregulirung erkennen. Es erscheint von vornherein als handgreiflich und ist auf einer großen Zahl von Uebergängen durch die Erfahrung bestätigt, daß dieser Strom bei seiner großen Niedrigwassermenge derart nutzbar gemacht werden kann, daß er jederzeit eine für die Schiffahrt ausreichende Fahrtiefe bietet. Wir finden schon jetzt ziemlich beträchtliche Theile, wo der Zustand bei Niedrigwasser ausgezeichnet ist, obwohl das Gefälle daselbst über das mittlere Gefälle hinausgeht. Die Schwierigkeit liegt in dem Umstande, daß das allgemeine Gefälle nicht regelmäÙig genug vertheilt ist, daß beträchtliche Stromlängen tiefe Kolke bilden, wo das Gefälle bei Niedrigwasser fast Null ist, und daß demzufolge sich Stromschnellen finden, wo das Gefälle sehr stark, ja an bestimmten Punkten mit der Bildung einer regelmäÙigen Fahrinne von ausreichender Tiefe durchaus unvereinbar ist. In diesen starken Stromschnellen, die wahre Wehrüberfälle der oberen Woogstrecke darstellen, kann eine Verbesserung nur durch Verringerung des Gefälles herbeigeführt werden, aber eben diese Verringerung des Gefälles hat möglicherweise eine Verschlechterung der oberhalb gelegenen Uebergänge zur Folge. Aehnlich liegt wenigstens die Sache auf

allen Punkten, wo man eine Vertiefung des Bettes erreicht hat, sodafs man fast überall sagen kann, dafs die Verbesserung der Schiffahrtsrinne von einer mehr oder minder grofsen örtlich begrenzten Senkung des Niedrigwasserstandes begleitet gewesen ist.

Wir müssen demnach bestrebt sein, das unregelmäßige Strombett der Rhone gleichmäßiger zu gestalten, derart, dafs im Gefälle unbedeutendere Schwankungen auftreten. Um dies zu erreichen, haben wir bei allen vorgelegten Entwürfen zur Herstellung des Schiffahrtsweges bisher die folgenden Bedingungen zu verwirklichen gesucht:

1. Erhaltung des vorhandenen Gefälles an allen Punkten, wo es nur wenig vom Durchschnittsgefälle abweicht.
2. An denjenigen Stellen, wo der Absturz der Stromschnellen mit den Anforderungen einer Schiffahrtstrasse unvereinbar war, die möglichste Abschwächung des Gefälles und die Einschränkung der Spiegelsenkung im Oberwasser auf das kleinste Mafs.
3. Ausgleich der an gewissen Punkten unvermeidlichen Spiegelsenkungen durch Wiederherstellung des Gefälles, so weit es möglich ist.

Mit Rücksicht auf diese letzte Bedingung hatten wir die Verwendung der Grundschwelen zuerst vorgeschlagen und die beiden Entwürfe aufgestellt, die unterm 31. März und 3. April 1880 vom Herrn Minister genehmigt wurden und gegenwärtig in Ausführung sind. Die Rücksicht auf diesen besonderen Zweck giebt uns auch Anlafs, in eine allgemeine Darlegung unserer Ansicht über die Verwendbarkeit der Grundschwelen an der Rhone einzutreten.

Erhöhung des Niedrigwasserspiegels in tiefen Kolken durch Erbauung von Grundschwelen. Wir haben im vorhergehenden die Nothwendigkeit nachgewiesen, in gewissen Stromtheilen das Gefälle zu vergrößern in der Absicht, einen Ausgleich zu schaffen für die aus einer Verbesserung der Stromschnellen nothwendig hervorgehenden Spiegelsenkungen. Wir beziehen uns auf unsern Bericht vom 1. Juli 1878, in dem wir die Grundzüge einer besonderen Bauweise erläuterten, die in damals neuer Art zur Behebung der tiefen Kolke und der dadurch geschaffenen wahren Seebildungen und Gefällverluste dienen sollte. Ich wiederhole diese Ausführung wörtlich:

„Es ist eine vollständig allgemeine Thatsache, dafs in einbuchtenden Krümmungen bei hinreichend festem Ufer sich sehr tiefe Kolke ausbilden, die bei Niedrigwasser kein Gefälle zeigen. Die Erklärung dieser in Lehrbüchern oft erwähnten Erscheinung ist einfach, und ich werde sie kurz wiederholen.

Betrachten wir den Stromfaden, der mit dem einbuchtenden Ufer in unmittelbarer Berührung steht, so trifft dieser Faden in seiner Bewegung die feste Oberfläche des Ufers unter einem gewissen Winkel und wird aus seiner Richtung abgelenkt. Die benachbarten Fäden, die den ersteren treffen, erfahren eine ähnliche Wirkung. Welches nun immer die Molecularwirkung bei Berührung und Durchdringung der Stromfäden im einzelnen sein mag, Thatsache ist, dafs die ganze Masse von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt wird und dabei auf das Ufer mit einer um so gröfseren Kraft wirkt, je stärker die Krümmung und je beträchtlicher die abgelenkte Wassermasse ist. Wenn das Ufer keine ausreichende Widerstandsfähigkeit besitzt, weicht es zurück und wird abgebrochen. Ist das Ufer fest, so wirkt die Stromkraft auf die bewegliche Sohle und veranlafst die Ausspülung des Bettes, die Bildung eines Kolkes.

Wenn wir in dieser Voraussetzung die einbuchtende Krümmung eines Ufers $QPAMN$ (Text-Abb. f) betrachten, das widersteht und sich 4 bis 5 m über N.W. erhebt, so sind wir sicher — und alle Beispiele bestätigen es —, dafs wir am Fuß dieses Ufers einen tiefen Kolk finden. Der Querschnitt der Sohle

in der Richtung von ABC wird eine solche Linie sein, wie sie im Querschnitt (Text-Abb. g) mit $AJKHOC$ abgebildet ist

Bei jedem Wasserstande, selbst bei Niedrigwasser, wird die Ablenkung der Stromfäden an dem gekrümmten Ufer eine Spülkraft erzeugen, die fortschreitend wächst in dem Mafse, wie der Wasserstand steigt. In dem Augenblick, wo der Wasserstand die Höhe VA des bordvollen Wassers erreicht, wird die Beschleunigung der Spülkraft, wenn man sich so ausdrücken darf, seinen Höchstwerth annehmen, und das Anwachsen dieser Wirkung wird sich verringern, wenn die Ausuferung beginnt. Es ist klar, dafs die auf die bewegliche Sohle ausgeübte Spülkraft um so beträchtlicher ist, je gröfser die Höhe AJ des festen Ufers über Niedrigwasser ist. Wenn das Vorland statt in AD in der Höhe ad läge, ist es klar, dafs die Spülkraft geringer wäre, die Tiefe des Kolkes sich ermäßigen und die Lage der Sohle sich heben würde.

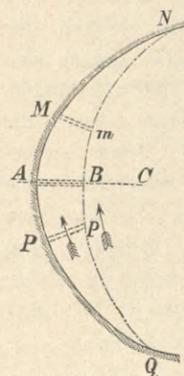


Abb. f.

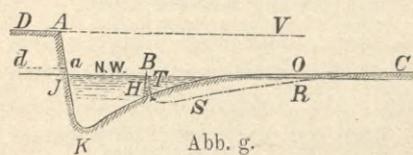


Abb. g.

Nun liegt es nicht in unserer Hand, die Höhe des Vorlandes zu erniedrigen. Aber wir können den Thalweg verlegen vor die Krümmung $QPAMN$ durch einen Leitdamm $QpBmN$, dessen Höhe nicht über ad hinausragt, und wir sind sicher, dafs wir vor diesem Damm geringere Ausspülungen erhalten werden, als vom alten Ufer AJ hervorgerufen wurden. Der neue Querschnitt wird z. B. $BTSRC$ sein. In dieser Weise können wir den Thalweg aus den tiefen Kolken, die heute bestehen, verschieben und ihm einen Weg anweisen, dessen Tiefe wir sozusagen nach Belieben durch Verringerung der Krümmung und durch Erniedrigung der Höhe der Leitdämme regeln. In dieser Weise werden wir das Niedrigwassergefälle an den Stellen, wo es heute vollständig verschwunden ist und der Abflufs des Niedrigwassers sich wie in einem See vollzieht, wiederherstellen. Bei genügender Entfernung des neuen Leitdamms vom alten einbuchtenden Ufer werden wir die grofsen Tiefen vermeiden und werden nur Bauwerke zu errichten haben, die nicht viel theurer sind als unsere gewöhnlichen Längsdämme.

Begreiflicherweise wird das Hochwasser bei dem beträchtlichen Abstände beider Uferlinien und bei den grofsen Tiefen, in die der Strom seiner natürlichen Richtung folgend einfällt, schwere Verwirrung anrichten können. Es wird nöthig sein, diesen Zwischenraum zu befestigen. Um zu verhindern, dafs sich hier störende Strömungen bilden, wird es genügen, die beiden Uferlinien durch Querwerke Pp, AB, Mm (Abb. g) zu verbinden. Die Richtung der letzteren wird untersucht werden müssen, anscheinend wird es zunächst gut sein, sie senkrecht zum Ufer anzuordnen, um die geringsten Längen zu erreichen.

Was wir über die Kolke am einspringenden Ufer ausgeführt haben, trifft auch zu für die sich an hohen Deichen entlang ziehende Fahrinne. Es ist durch die Erfahrung nachgewiesen, dafs der Strom an hohen Ufern ebenfalls den Fluß angreift, und wir müssen allgemein dahin streben, den Schiffahrtsweg hohen Ufern fern zu halten.

Im Laufe der Ausführung haben wir an mehreren Stellen Werke errichtet, die, wie eben ausgeführt, den Zweck haben, die tiefen Kolke abzuschneiden. Diese Bauweise hat sich zwar noch nicht in der Erfahrung vollständig bewährt, aber der Erfolg ist nicht zweifelhaft. Das Mafs, um welches das Gefälle gesteigert wird, kann im voraus nicht angegeben werden. Dafs eine Steigerung eintritt, ist indessen vollkommen sicher, unbestimmt ist nur das Mafs der Steigerung.“

Nach diesen Gesichtspunkten vom Jahre 1878 ist eine große Zahl von Bauten ausgeführt worden, von denen einige fast vollendet sind, namentlich der Damm von Casseyrolles, von la Roque d'acier, der Damm von Vallabrègues, von Issards, von Colombier und Codolet, der Damm von Saussac unterhalb der Brücke von St. Esprit, der Damm von St. Jean oberhalb der Isèremündung usw. Ueberall scheinen unsere Erwartungen sich erfüllt zu haben, wenn auch die Wasserstände eine vollständige Verwirklichung nicht gestattet haben. Insbesondere müssen wir die Dämme von Limony und von St. Pierre de Boeuf hervorheben, wo bei Niedrigwasser im Frühjahr eine bemerkenswerthe Hebung des Wasserspiegels festgestellt worden ist. Bei St. Pierre de Boeuf reicht dieselbe auf 6 km stromauf. Indessen kann man aus Beobachtungen, die unmittelbar nach Beendigung solcher Werke angestellt worden sind, kein Endurtheil fällen. Wir sind nicht sicher, ob spätere Ausspülungen des Bettes nicht die vielleicht unsicheren Erfolge abschwächen oder gar verschwinden lassen werden. Man kann noch nicht behaupten, daß unsere Arbeiten endgültig sich in der Erfahrung bewährt haben.

Ich bin heute des Glaubens, daß diese Bauweise vervollständigt und vielfach vollständig ersetzt werden muß durch diejenige der Grundswellen. Am Anfange dieses Berichtes habe ich gesagt, daß die deutschen Baumeister nicht darauf ausgehen, die tiefen Kolke durch Längsdämme, die den Schiffahrtsweg abschneiden, zu verdecken, sondern die Sohle mittels Stauwerke, durch Verwendung der Grundswellen zu heben. Ihre Bauweise hat zahlreiche Vorzüge. Nach obigen Ausführungen können die an verschiedenen Stellen, namentlich bei St. Pierre de Boeuf mit Leitdämmen erreichten Ergebnisse noch nicht als endgültige betrachtet werden, weil in dem neuen Bett die Beweglichkeit der Sohle und demzufolge die Möglichkeit von Ausspülungen bestehen bleibt. Diese Dämme haben aber noch andere Unzuträglichkeiten. An allen Stellen, wo das einbuchtende Ufer am Kolk entlang ziemlich regelmäßig ausgebildet ist, muß man es bedauern, daß vor den alten Werken ein neuer Damm herzustellen ist, der unter großen Kosten eine unnütze Begradigung bewirkt, dem Niedrigwasser den Zutritt zum Ufer verwehrt und die Treidelei erschwert. Uebrigens setzen diese Arbeiten das Vorhandensein eines ziemlich breiten Strombettes voraus, damit man außerhalb des abgeschnittenen Kolkes Platz findet für das neue Strombett. In einer großen Zahl von Fällen ist bei diesem Vorgehen die Verbesserung vollständig unmöglich. Endlich ist der Bau der Dämme, die den Schiffahrtsweg kreuzen, ohne beträchtliche Störung der Schiffahrt nicht ausführbar. Es ist sehr schwer, im Laufe der Bauausführung an einem gewissen Punkte einen Zustand zu vermeiden, der vorübergehend für die Schiffahrt thatsächlich Gefahr bietet.

Ich bin daher der Ansicht, daß in einer großen Zahl von Fällen die Wiederherstellung des Gefälles nicht durch Längsdämme, die die Kolke verdecken, sondern durch Grundswellen, die die Auffüllung derselben hervorrufen, erlangt werden sollte. Ich würde anstreben, die Tiefe der Kolke auf einen Mindestwerth von etwa 2,50 m zurückzuführen, durch eine Reihe künstlicher Schwellen, die nicht allein den Zweck hätten, die Sohle zu heben, sondern auch durch ihre verschiedene und wohl abgemessene Neigung vom Ufer nach der Mitte des Fahrwassers hin die Strömung des Flusses vom Ufer entfernen, sie in das Strombett weiter vorschieben und auf den schädlichen Uebergängen unter Verhütung von Querströmungen dem Wasser eine sichere Leitung geben. Es leuchtet ein, daß derartige Werke unvergleichlich billiger sind als der entsprechende Längsdamm. Wenn wir zum Beispiel der Gesamtheit der Grundswellen eine gleiche Baulänge gäben wie derjenigen eines Längsdammes, wobei in der Mitte sich ein ungefährer Abstand zwischen Damm und Ufer von 80 m ergeben würde, so würde dies auf die Aus-

führung eines zwar gleich langen, aber in der Höhe um ungefähr 4 m niedrigeren Dammes hinauslaufen. Zuzufolge der fast dreieckigen Form unseres Querschnitts kann man annehmen, daß die Querschnittsflächen nahezu mit dem Quadrat der Höhe in Beziehung stehen. In der That hat die Erfahrung uns schon erkennen lassen, daß die Grundswellen unvergleichlich billiger sind als die entsprechenden Längsdämme.

Die Annahme des Grundswellenbaues wird zahlreiche Vortheile im Gefolge haben, deren wesentlichste sich wie folgt zusammenfassen lassen:

1. Ersparung mehrerer Millionen bei den gesamten Arbeiten zur Verbesserung der Rhone und Vervollkommnung der Schiffahrtstrasse an Punkten, wo keine andere Bauweise verwendbar ist.
2. Erhaltung der bestehenden Ufer und demzufolge der Treidelei an allen Punkten, wo die Ufer ihrer bereits vorhandenen Regelmäßigkeit wegen einer Begradigung nicht bedürfen.
3. Ausführbarkeit der Arbeiten ohne Störung der Schiffahrt.
4. Die Möglichkeit, überall die zu tiefen Kolke verschwinden zu lassen und eine bessere Vertheilung der Gefälle und der Geschwindigkeiten zu erreichen.
5. Endlich die sichere Regulirung des Stromes auf den Uebergängen von einem Ufer zum andern.

Diese Vortheile sind beachtenswerth, und selbst wenn auf eine gewisse billigere Ausführung nicht gerücksichtigt würde, sind sie derartig, daß ich die Bauweise der Grundswellen als eine unentbehrliche Ergänzung der zur Verbesserung der Rhone unternommenen Arbeiten erachten muß.

Allerdings gebe ich vollkommen zu, daß Werke von einer bisher in Frankreich noch vollständig unbekanntem Form sehr eingehend erörtert werden müssen, und ich muß mit ernster Aufmerksamkeit die Einwendungen in Erwägung ziehen, die bei Einreichung der ersten Entwürfe erhoben worden sind. Zunächst muß ich auf dem wesentlichen Punkte beharren, daß die Einführung der Grundswellen in keiner Weise das Aufgeben der Längsdämme in sich schließt. Die letzteren bleiben immer die Grundlage der Verbesserung der Rhone, wie dies aus meinen übrigen vorgelegten Entwürfen zu ersehen ist und wie es erkennbar ist aus den Anwendungsbeispielen, die ich noch zu erörtern gedenke. Mein heutiger Vorschlag beschränkt sich nach den in Deutschland gemachten Studien auf eine Beigabe zu den Längswerken, die bestimmt ist, deren Wirkung zu vervollständigen, für neue Dämme, die eine Verdoppelung der alten gebildet haben würden, als Ersatz zu dienen und im großen und ganzen für die Sohle dasselbe zu leisten, was die Dämme für das Ufer leisten. Man kann sogar erstaunt sein, daß man so lange und so beharrlich die Nothwendigkeit verkannt hat, das Flußbett selbst ebenso zu befestigen, wie wir die Ufer befestigen, die Sohle zu erhalten oder selbst zu erhöhen in gleicher Weise, wie wir die Ufer vertheidigen und Einschränkungswerke ausführen.

Man hat gegen die vorgeschlagenen Schwellen den folgenden Einwand erhoben: Man giebt zwar zu, daß die einzelnen Felder zwischen den Grundswellen sich füllen werden, aber man fürchtet, daß die Ausfüllung lange auf sich warten lassen wird, daß jede Schwelle während dieser Wartezeit an der Oberfläche gleich vereinzelt Felsen eine Aufwallung des Wassers hervorruft und daß daraus eine Reihe von Ueberfällen hervorgeht, welche die Schiffahrt erschweren und bedauerlich wären, wenn dieser Zustand mehrere Jahre andauern würde. Was den ersten Einwand anlangt, so können wir hoffen und sogar versichert sein, daß die Ausfüllung der Felder schnell vor sich gehen wird. Es genügt, darauf hinzuweisen, welche aufser-

ordentliche Massen von Kies bei jeder Fluthwelle in Bewegung gerathen und selbst fortwährend auf der Sohle in Bewegung sind. Sache der Erfahrung wird es sein, den Abstand der Werke richtig zu bemessen. Wir haben zur Zeit bereits an mehreren Grundschwellen, die unter Umständen, die weiterhin erläutert werden sollen, erbaut sind, einige Erfahrungen gesammelt. An der grössten Zahl derselben ist die Wirkung an der Oberfläche so wenig spürbar, dafs, selbst wenn man ihre Lage weifs, das Auge Mühe hat sie zu entdecken. An einigen ist die Bewegung des Ueberfalles an der Oberfläche so weit bemerkbar, dafs man an ihr leicht die Baustelle zu erkennen vermag. Aber diese Bewegung ist ohne jeden Einflufs auf die Schiffahrt, hat zu keinerlei Schwierigkeit Anlafs gegeben und hat den Fahrzeugen nicht die geringste Unbequemlichkeit verursacht. Die Thatsache steht heute fest, dafs die Grundschwellen in 2,50 m Tiefe unter Niedrigwasser keinerlei störende Wirkungen an der Wasseroberfläche hervorbringen. Es geht daraus hervor, dafs, selbst wenn die Ausfüllung der Felder lange dauern sollte, dies ohne Belang wäre, und wenn die Grundschwellen ihre Aufgabe nicht sofort in vollem Umfange erfüllen sollten, sie es wenigstens in hohem Mafse thun werden. So lange die Ausfüllung nicht beendet ist, bildet jede Grundschwelle eine Grundwehr, und eine ganze Reihe von Grundwehren wird die Theilung der jetzt in den Stromschnellen vereinigten Fallhöhe zur Folge haben, eine Thatsache, die zur leichteren Ausführung der Längswerke nicht unwesentlich beiträgt. Die Schiffer behaupten sogar, dafs ohne diese dem Wasser als Stützpunkte dienende Werke gewisse Strecken, namentlich diejenigen bei Revestidou und bei Pizon, sehr grofse Schwierigkeiten und des Wasserabsturzes wegen, der sich während der Ausführung der Einschränkungsdämme hätte einstellen müssen, selbst ernste Gefahr geboten haben würden.

Man hat auch den Einwand erhoben, dafs nach Ausführung der Grundschwellen die Schiffahrt für die Grappins unmöglich würde. Ich trage kein Bedenken zu sagen, dafs diese Bauweise im Gegentheil den Grappins nur Vortheil bringen wird, insofern diese Kähne da einen festen Grund erhalten, wo sie ihn vorher nicht fanden. Wenn wir annähmen, dafs die Grundschwellen keinen Erfolg hätten, und demnach die Ausfüllung der Felder unterbliebe, so wird dadurch der Thatbestand nicht verändert, da die Grundschwellen nur in solcher Tiefe liegen, wo die Grappins nicht hinkommen. Diese Schiffe würden immer ebenso wie heute ihren Weg auf dem Sande nehmen, der neben den Kolken liegt, oder mit ihren Schaufeln sich fortbewegen. Wenn die Strömung in den verbauten Kolken so stark werden sollte, dafs sie mit ihrem Anhang nicht zu Berg zu fahren imstande wären, so würden sie das bekannte Verfahren einschlagen, dafs sie erst allein vorangehen und danach den Anhang mit der Winde nachziehen. Dabei ist hervorzuheben, dafs die Allgemeine Schiffahrtsgesellschaft, die thatsächlich die einzigen Grappins auf der Rhone in Betrieb hat, die Bauweise der Grundschwellen lebhaft begrüfst hat und der Leiter dieser Gesellschaft mir gegenüber oft den Wunsch ausgesprochen hat, dieselben in weiterem Umfange verwandt zu sehen.

Nach Erörterung der gegen die Grundschwellen erhobenen Einwände müssen wir einige Einzelheiten über die mit dieser Bauweise erreichbaren Erfolge mittheilen. In dieser Hinsicht werden wir die verschiedenen Verwendungen erläutern, die wir im Drange der Ereignisse bereits davon gemacht haben oder zu machen im Begriff sind.

Beispiele. (Im Bericht folgt die Besprechung einzelner Regulierungsentwürfe:

1. Die Strecke von Les Cornes Kil. 79/80, wo in starker Krümmung zwei Grundschwellen bis 15 m Wassertiefe erbaut wurden, während die Krone 4 m unter Niedrigwasser lag. Der anfangs bemerkbare Uebersturz des Wassers hat

sich bald verringert, sodafs die Schiffahrt keinen Schwierigkeiten begegnet. Der Erfolg war ein vollkommener.

2. Die Stromstrecke von Pizon Kil. 83/84, wo in mäfsiger Krümmung nach Herstellung eines Längsdammes sich das neue Strombett nicht selbständig ausbildete, sondern auch vor dem Längsdamm grofse Tiefen entstanden waren. Eine Abaggerung der Kiesbank nebst drei Grundschwellen durch den 8 m tiefen Kolk haben wesentliche Besserung geschaffen.
3. Die Stromstrecke von Les Dames Kil. 50, ebenfalls einer Krümmung, in der die grofsen Tiefen durch ein Niedrigwasserlängswerk verbaut waren. Die Wirkung dieses Werkes befriedigte nicht, da grofse Tiefen bis zu 11,50 m erhalten blieben. Erst die Einführung einer Reihe von Grundschwellen wird hier endgültigen Erfolg schaffen.
4. Die Stromstrecke von Solaise, wo derselbe Fall vorlag wie bei Les Dames, und wo durch Verwendung von Grundschwellen sehr grofse Ersparnisse dem Kostenanschlage gegenüber erreicht wurden. Die Wirkung dieser unter Wasser liegenden Werke war an der Wasseroberfläche nicht sichtbar, der Kies auf der gegenüberliegenden Ausbuchtung trieb ab, und es trat sehr bald eine Verbreiterung des Strombettes ein, während die oberhalb liegende Stromschnelle merkbar gebessert wurde.
5. Stromstrecke von Revestidou Kil. 218/223, wo durch Zuhülfenahme von Grundschwellen der Bau der Längswerke wesentlich erleichtert worden ist. Die grofsen Tiefen neben Revestidou und Montfaucon wurden durch sechs Grundschwellen verbaut und die Zwischenräume zwischen ihnen mit Baggermaterial ausgefüllt.
6. Besserung der Stromstrecke zwischen Morlon und Beauchastel Kil. 116 bis 124, wo drei sehr schlechte Uebergänge des Stromes von einem zum andern Ufer bestanden. Fast das ganze Gefälle war auf diesen drei Stromschnellen vereinigt, da zwischen denselben grofse Stromtiefen lagen. Hier wurden nicht nur die grofsen Stromtiefen mit Grundschwellen bis zu 2,50 m unter Niedrigwasser verbaut, sondern auch auf den Uebergangsstrecken durch geneigt liegende Schwellen, deren Wurzel auf 1,60 m unter N.W., also höher gelegt wurde, eine allmähliche Führung des Stromes von einem zum andern Ufer in Aussicht genommen.)

Schlussbetrachtung. Die vorhergehenden Beispiele lassen die von den Grundschwellen erwartete Wirkung erkennen. Es steht fortan die Erfahrung für uns fest, dafs diese Schwellen keine störenden Wallungen an der Oberfläche hervorrufen, wie man fürchten konnte, dafs vielmehr sehr oft die Stauwelle, die ihre Lage verräth, kaum bemerkbar ist. Die Verlandung der Zwischenfelder zwischen den Grundschwellen macht sich deutlich bemerkbar, aber wir können noch nicht sagen, ob die vollständige Verlandung lange Zeit erfordern wird. Voraussetzung ist dabei, dafs die Schwellen ziemlich nahe an einander liegen, etwa in 100 m Abstand, damit die Sohle vollständig und regelmäfsig verlandet. Die Erfahrung wird das weitere lehren. Auf den Strecken, wo bereits Grundschwellen erbaut sind, ist unbestreitbar festgestellt, dafs die oberhalb gelegenen starken Gefälle verringert worden sind, was übrigens nicht zweifelhaft sein konnte. Die Wiederherstellung des Gefälles in dem Kolk und die Besserung der Stromschnellen ist also ein bestimmter Erfolg dieser Bauweise. Die Verwendung der Grundschwellen ist in einer grofsen Zahl von Fällen das einzige Hilfsmittel, um die Ungleichheiten der Querschnitte zu verbessern und die schmale tiefe Rinne an einbuchtenden Ufern zu beseitigen. Schliesslich wird die Verbesserung der Uebergänge von einem zum andern

Ufer, und damit eine der schwierigsten Fragen der Regulirung durch zweckmäßige Anordnung von Grundswellen auf beiden Ufern oberhalb und unterhalb derselben mit Sicherheit lösbar. All diese Vortheile sind mit mäßigen Kosten erreichbar, was begreiflich erscheint, wenn man bedenkt, daß die Grundswellen im allgemeinen 4 m tiefer liegen als die Krone der gewöhnlichen Dämme. Es darf nicht in höherem Grade für ungewöhnlich gelten, daß man das Strombett regelmäßig auszubilden strebt, als wenn man den Ausbau der Ufer in Vorschlag bringt. Für die Rhone wie für jeden andern Fluß mit beweglicher Sohle hat die Erfahrung gelehrt, daß die Unbeständigkeit der Sohle für die endgültige Verbesserung eins der größten Hindernisse ist. Die Deutschen haben dies seit langer Zeit eingesehen und haben mit den Grundswellen an ihren Flüssen eine täglich vollkommener werdende Regelmäßigkeit erreicht.

An der Rhone, wo die Tiefenwechsel viel fühlbarer sind und wir bisweilen unterhalb hoher Schwellen tiefe Kolke von nahezu 20 m finden, haben diese Regulirungsarbeiten eine ganz andere große Bedeutung, ohne größeren Schwierigkeiten zu begegnen. Wir werden imstande sein, auf allen Punkten, wo sich übergroße Tiefen einstellen, den Wasserspiegel bis zur festgesetzten Höhe zu heben und denselben durch Grundswellen, die gleichsam das Gerippe des endgültigen Flußbetts herstellen, festzuhalten. Wir können sogar, und müssen demzufolge auch, in diesem neu geschaffenen Flußbett von vornherein die Linie

der größten Tiefen eintragen und die Uebergänge von einem zum andern Ufer vorzeichnen, wie dies der Ingenieur du Boys beim Entwurf der Regulirung zwischen Morlon und Beauchastel gethan hat. Auf allen Uebergängen, wo wir diese Regulirungsweise anwenden, werden wir hinsichtlich des Flußbettes einen Gewinn zu erwarten haben. In dieser Weise erreichen die Deutschen einen vollen Erfolg. Die so erreichten Verbesserungen verbürgen in sich Dauer und Bestand. Es leuchtet ein, daß wir durch regelmäsigere Gestaltung der Strömung die störenden Ursachen und die verheerenden Wirkungen verringern. Wir haben übrigens bereits erkennen können, wie sehr unsere neuerdings ausgeführten niedrigen Längswerke geringeren Angriff zu erleiden haben, als unsere alten Werke. Mit noch größerem Rechte wird dies von den Grundswellen auf der Sohle des Flußbettes zu erwarten sein. Werden die Grundswellen unserem Vorschlage gemäß angelegt, so bilden sie eine Reihe von auf einander folgenden Hindernissen, welche die verheerende Wirkung des Wassers beständig vertheilen derart, daß jede einzelne Schwelle nur ein schwaches Gefälle und eine kleine Wirkung auf sich zu nehmen hat. Das Hochwasser, das auf hohe Werke so lebhaften Angriff ausübt, wird auf die Grundswellen gerade die geringste Wirkung üben, da die Schwellen überströmten Grundwehren gleichen, deren Stauwirkung um so geringer zu werden pflegt, je höher das Wasser ansteigt, während sie bei Hochwasser fast vollständig verschwindet.



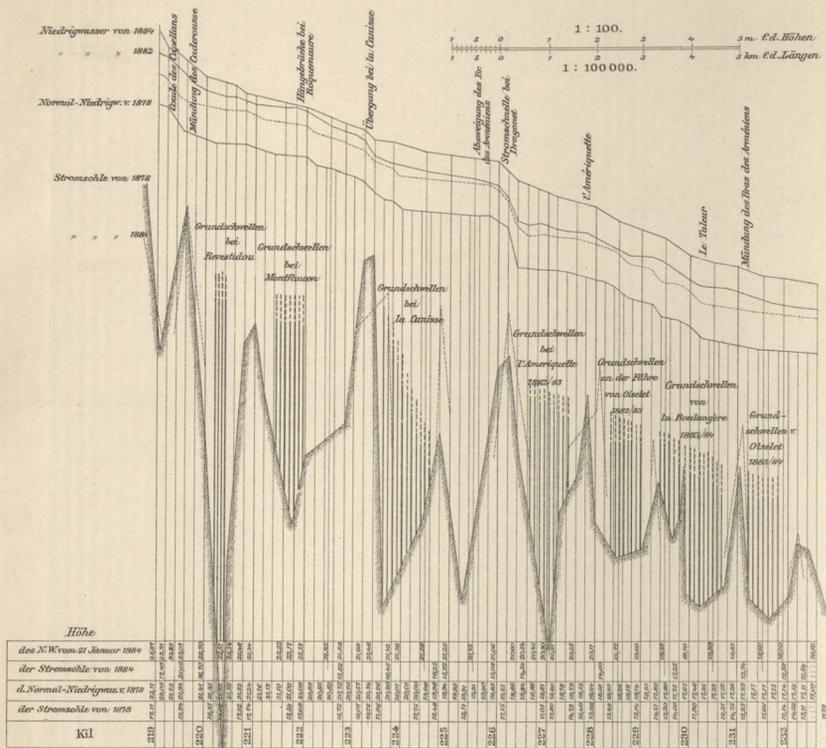


Abb. 1. Längenschnitt der Rhone von Kil. 219-233.

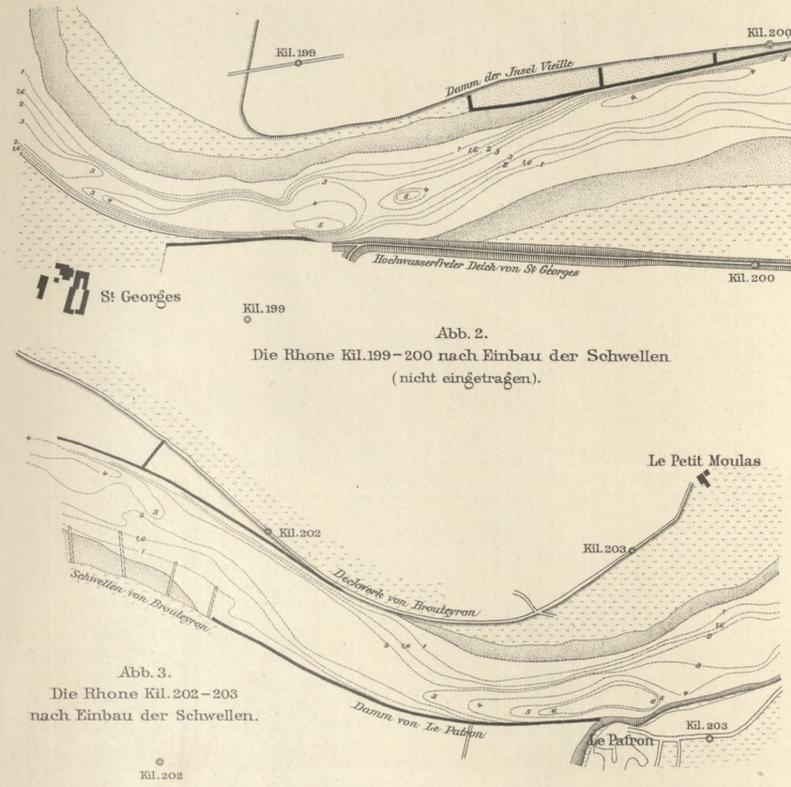


Abb. 2. Die Rhone Kil. 199-200 nach Einbau der Schwellen (nicht eingetragen).

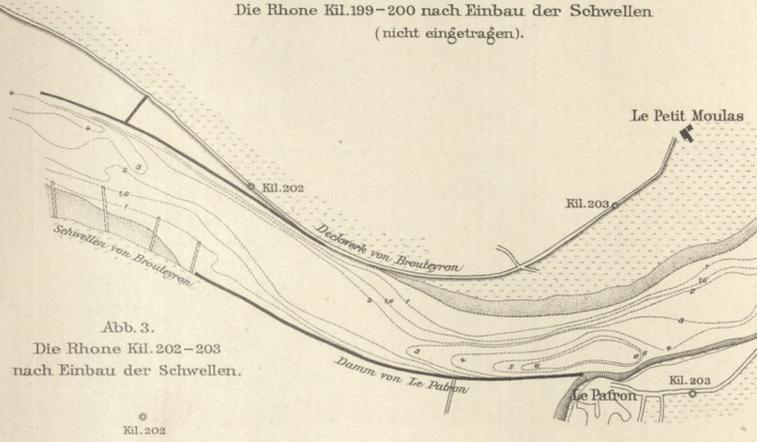


Abb. 3. Die Rhone Kil. 202-203 nach Einbau der Schwellen.

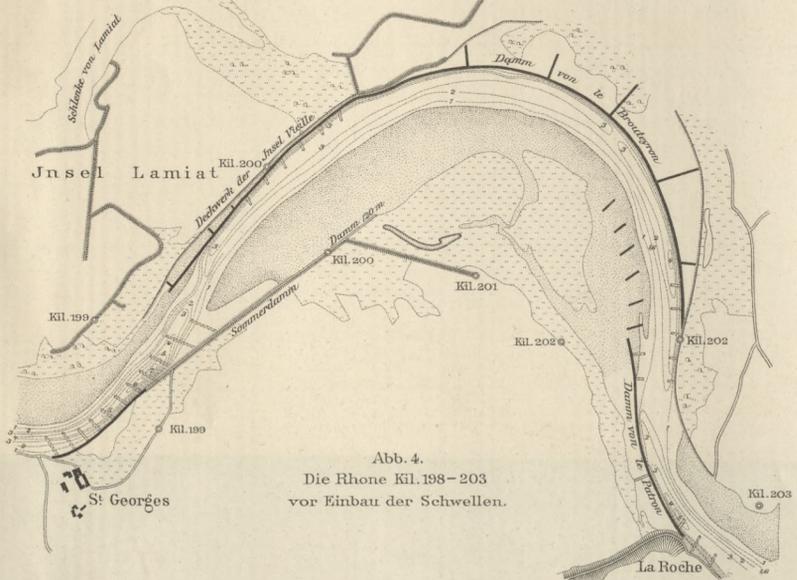


Abb. 4. Die Rhone Kil. 198-203 vor Einbau der Schwellen.

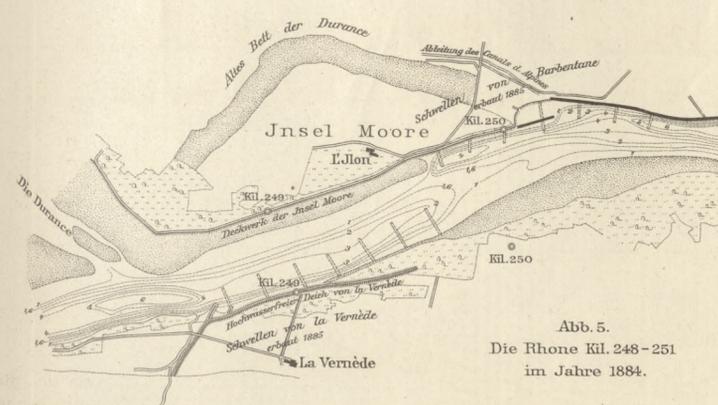


Abb. 5. Die Rhone Kil. 246-251 im Jahre 1884.

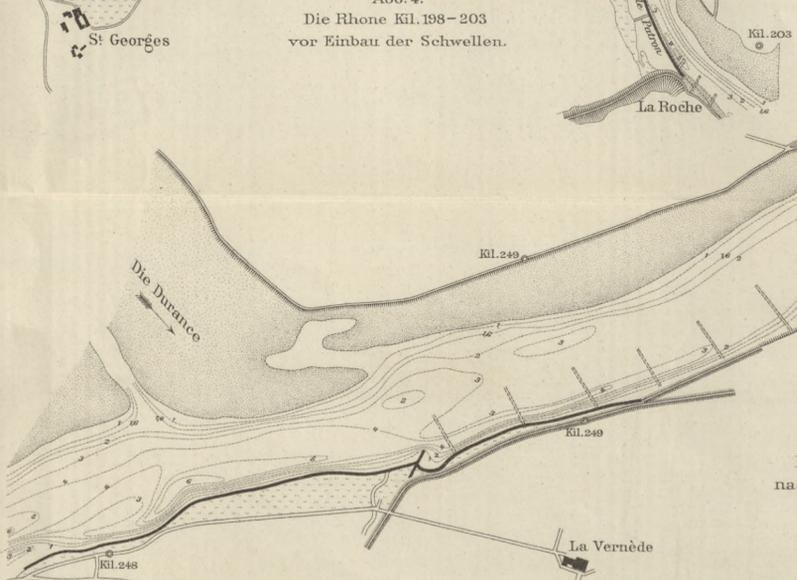


Abb. 6. Die Rhone Kil. 248-251 nach der Peilung von 1893.

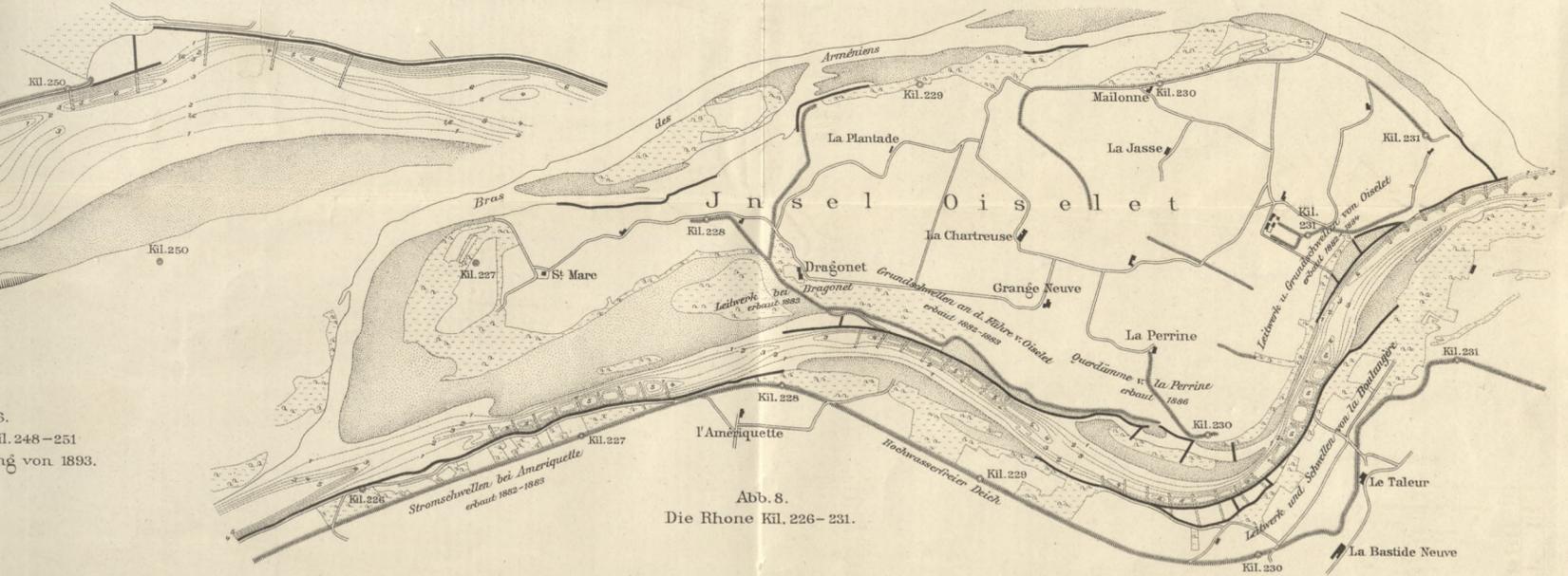


Abb. 8. Die Rhone Kil. 226-231.

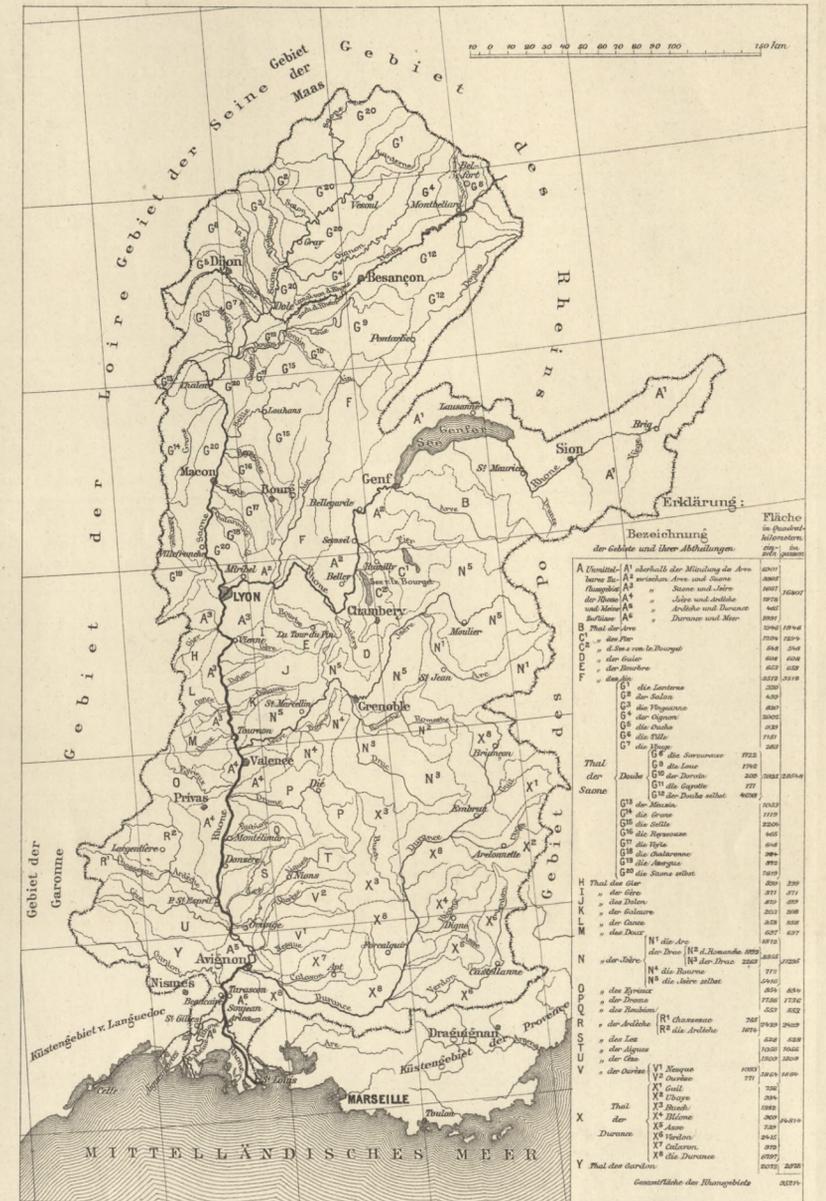


Abb. 7. Hydrographische Karte vom Niederschlagsgebiet der Rhone 1858.

S. 61 S. 2001

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

IV 35229
L. inw.

Kdł., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000302782