

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000302816

DIE
FELSENSTRECKE DES RHEINS
ZWISCHEN BINGEN UND ST. GOAR.

VON

UNGER,

WASSERBAUINSPECTOR IN BINGERBRÜCK.

MIT EINER DOPPELTAFEL UND 3 ABBILDUNGEN IM TEXT.

F. Nr. 22734



BERLIN 1898.

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.

GROPIUS'SCHE BUCH- UND KUNSTHANDLUNG.

*G. 40
32.*



IV 35146

Sonderdruck aus der Zeitschrift für Bauwesen,
Jahrgang 1898.

Nachdruck verboten.



Während der Rhein beim Durchströmen der oberrheinischen Tiefebene mehr und mehr das Wesen eines Flachlandflusses annimmt und im letzten Abschnitte dieses seines Laufes, von Mannheim bis Bingen, nur noch ganz schwache Gefälle aufweist, stellt er sich unterhalb Bingens wieder durchaus als Gebirgsstrom dar. Im Laufe der Zeiten haben hier seine Wasserfluthen in niemals rastender Arbeit das Rheinische Schiefergebirge durchbrochen und ein enges Thal tief in dasselbe eingeschnitten. Besonders in der Stromstrecke unmittelbar unterhalb Bingens bis nach St. Goar hin fällt der gebirgige Charakter dieses Flufsthals ins Auge, vielfach tritt an den steilen Thalwänden das nackte Gestein zu Tage, das Flußbett selbst wird großentheils von felsigem Untergrunde gebildet, und emporstrebende Felsbänke überragen hier und da den Wasserspiegel. In den bautechnischen und schiffahrttreibenden Kreisen am Rhein nennt man daher diesen Stromabschnitt kurzweg die Felsenstrecke. Die Schifffahrt hat hier von jeher mit besonders großen Schwierigkeiten zu kämpfen gehabt. Infolge der Felsenriffe im Fahrwasser war dessen nutzbare Tiefe so gering, wie an keiner anderen Stelle auf dem weiten Wege von Germersheim bis zur See; auch wurde der Schifffahrtsbetrieb durch scharfe Krümmungen und Einengungen in hohem Grade gefährdet. Zur Erschwerung und Gefährdung des Verkehrs trugen ferner die sehr starken Gefälle bei, die in dieser Stromstrecke vorkommen. Sie sind in dem in Text-Abb. 1 dargestellten Längenschnitt ersichtlich gemacht. Von den beiden daselbst aufgetragenen Gefälllinien ist die eine im Jahre 1884 längs des linken Stromufers bei einem Wasserstande von 79 cm am Pegel in Bingen aufgenommen, die andere im Jahre 1887 längs des rechten Ufers bei einem Wasserstande von 120 cm, das ist bei gemitteltem Niedrigwasser. Die angegebenen Kilometerstationen bedeuten die Entfernungen von der preussischen Grenze bei Biebrich.

Da die Rheinschifffahrt seit alten Zeiten von hervorragender volkswirtschaftlicher Bedeutung war, hat man sich auch schon frühzeitig bemüht, die mifslichen Schifffahrtsverhältnisse in der Felsenstrecke zu verbessern; so sollen z. B. in dem Bingerloch, einer kurz unterhalb Bingens befindlichen Stromenge, schon unter Karl dem Großen und unter Kaiser Heinrich IV. Verbesserungsarbeiten ausgeführt worden sein. Die ersten Felsensprengungen werden in den Anfang des 17. Jahrhunderts verlegt und auf das Betreiben eines angesehenen Frankfurter Handelshauses zurückgeführt. Die preussische Regierung hat in den Jahren 1830 bis 1832 zum ersten Mal Sprengarbeiten im Bingerloch ausführen lassen, und vom Jahre 1841 an sind diese Arbeiten auf die ganze Felsenstrecke ausgedehnt worden. Daneben haben seit dem

Jahre 1854 umfangreiche Verbauungen des Flußbettes mit Buhnen und Parallelwerken stattgefunden. Durch diese Maßnahmen wurde eine ganz wesentliche Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse herbeigeführt und das Fahrwasser auf eine Tiefe von 140 cm unter dem gemittelten Niedrigwasserstand, d. i. 120 cm am Pegel in Bingen, gebracht. Da aber der Verkehr von Jahr zu Jahr zunahm, und da man, um billigere Frachtsätze zu erzielen, die Abmessungen der Schiffsgefäße immer mehr vergrößerte, genügte das Fahrwasser doch keineswegs den Anforderungen der neuen Zeit. Es wurde daher eine weitere durchgreifende Regulirung der ganzen Felsenstrecke in Aussicht genommen, bei welcher es sich hauptsächlich um die Ausführung von Felsensprengungen handelte. Das Programm für diese Regulirung war bereits in der im Ministerium der öffentlichen Arbeiten herausgegebenen Denkschrift vom Jahre 1879, auf Grund deren für die Regulirung des preussischen Rheins 22 Millionen Mark bewilligt worden sind, enthalten. Danach sollte die Tiefe des Fahrwassers bei gemitteltem Niedrigwasser auf 200 cm gebracht, also um 60 cm gegen das seitherige Maß vermehrt werden und die Breite dieses neuen Fahrwassers 90 m betragen.

Die zur Ausführung dieses Programms erforderlichen Messungen, Untersuchungen usw. nahmen jedoch wegen ihrer Schwierigkeit und Behinderung durch den Schifffahrtsbetrieb eine Reihe von Jahren in Anspruch, während welcher Zeit Einbauten und Felsensprengungen nur in beschränktem Umfange ausgeführt werden konnten. Erst im Jahre 1889 waren die Vorarbeiten soweit gediehen, daß die Regulirung nach einheitlichen Entwürfen unter Aufwendung beträchtlicher Mittel durchgreifend betrieben werden konnte. Hierbei ergab sich dann auch das Bedürfnis, dem immer lebhafter werdenden Schiffs- und Flosverkehr dadurch Rechnung zu tragen, daß das Fahrwasser in besonders starken Krümmungen auf 120 m verbreitert wurde. Mit dieser Arbeit ist man zur Zeit noch beschäftigt.

Die Verbesserung des Fahrwassers war besonders am oberen Ende der Felsenstrecke zwischen Bingen und Aßmannshausen (vergl. die Karte, Kil. 27 bis 30) dringend erforderlich, und deshalb ist hier mit der Regulirung begonnen worden. Bei seinem Eintritt in diese Stromstrecke hat der Rhein zwei Fahrwasser, eins am preussischen, Rüdeshheimer Ufer und ein anderes am hessischen, Binger Ufer gelegen. Auch befinden sich daselbst auf der Binger Seite umfangreiche Liegeplätze für die Schiffe und unterhalb der Krausau Kil. 26,6 ausreichender Platz zum Aufdrehen der Schleppzüge. Im Verein mit dem starken Wechsel des Gefälles bei dem Uebergang aus der Rheingautstrecke in die Felsenstrecke machen diese Umstände die Binger Reede zu

einem der wichtigsten Haltepunkte für die Schifffahrt auf dem ganzen Rhein. Unterhalb Bingens, woselbst der vor der Nahemündung Kil. 27,5 lagernde, aus grobem Gerölle bestehende Nahegrund sich bis in die Mitte des Strombettes vorschiebt, vereinigen sich die beiden Fahrwasser in der rechtsseitigen Stromhälfte; aber schon bald darauf, an der Mäusethurminsel Kil. 28,2 findet bereits wieder eine Trennung statt, ein Fahrweg geht durch das bereits erwähnte Bingerloch, ein anderer an der Mäusethurminsel vorbei durch das in der linken Stromhälfte gelegene „zweite Fahrwasser“. Von Kil. 30 abwärts ist dagegen auf grössere Entfernung hin nur ein Fahrwasser vorhanden. Eine in grösserem Mafsstabe gezeichnete Karte dieser höchst bedeutsamen Stromstrecke findet sich auf Bl. 11 Abb. 1 u. 2 im Jahrg. 1897 der Zeitschr. f. Bauw. Das eigentliche Bingerloch liegt in Kil. 28,6 bis 28,7, Stromquerschnitt 70. Quer durch den Strom erstreckt sich daselbst eine gewaltige Felsbank. Diese liegt so hoch, dafs bei kleineren Wasserständen die Felsmassen an vielen Stellen zu Tage treten, und auch da, wo das nicht der Fall ist, ragen sie bis zu geringer Tiefe unter dem Wasserspiegel empor und werden dem Auge durch die darüber liegende starke Brandung bemerkbar. Nur an vereinzelten Stellen befinden sich tiefere Lücken, durch die der Strom mit grosser Gewalt abstürzt. Die grösste und tiefste dieser Lücken ist das Bingerloch; dieses ist unweit vom rechten Ufer gelegen und diente von alters her als der eigentliche Fahrweg durch diesen Stromabschnitt; nur bei hohen Wasserständen konnte man auch anderwärts fahren. Die nutzbare Tiefe war aber bei kleinen Wasserständen hier so gering und das von der Schifffahrt zu überwindende Gefälle so stark, wie an keiner anderen Stelle innerhalb der Felsenstrecke, dabei betrug die Breite des Fahrwassers nur wenig über 20 m. Man entschlofs sich daher in den Jahren 1860 bis 1868 in der linksseitigen Stromhälfte das bereits erwähnte „zweite Fahrwasser“ herzustellen. Zu diesem Zwecke wurden umfangreiche Flächen des Strombettes bis zur Burg Rheinstein hin mit Bühnen verbaut und zur Begrenzung des neuen Fahrwassers bei Kil. 28,4 bis 29,8 zwei Parallelwerke hergestellt, auch wurde die Flufssohle mittels Felsensprengung vertieft. Die auf diese Bauausführungen gesetzten Hoffnungen haben sich aber nicht ganz erfüllt; die erreichte Tiefe betrug 20 cm weniger, als die im Bingerloch vorhandene, und auch die Erwartung, dafs zwischen den beiden Parallelwerken ein namhafter Ausgleich des Gefälles stattfinden würde, ist nicht gerechtfertigt worden. In der oberen Hälfte ist das Gefälle stark zusammengedrängt, in der unteren Hälfte dagegen sehr flach; das mittlere Gefälle bei einem Wasserstand von 1,50 m am Pegel in Bingen beträgt oben auf 570 m Länge 1 : 670 unten auf 460 m Länge 1 : 3680. Dies kommt hauptsächlich daher, dafs in dem unteren Theile das Flussbett aus Kies bestand und sich vertiefen konnte, während im oberen Theile hochliegende Felsen dem Strome Widerstand leisteten.

Unter den hauptsächlichsten Punkten, die bei der neuerdings ausgeführten Regulirung in der betrachteten Stromstrecke zu berücksichtigen waren, befand sich zunächst die Forderung, dafs der Wasserspiegel oberhalb nicht gesenkt werden dürfe. Es wurde befürchtet, dafs bei Beseitigung der schädlichen Felsen am Bingerloch in der Rheingastrecke namhafte Wasserspiegelsenkungen eintreten und die für die

Schifffahrt schon jetzt kaum ausreichenden Wassertiefen dortselbst in nachtheiliger Weise vermindert werden würden. Die Rheingaubewohner haben in dieser Hinsicht stets sehr weitgehende Besorgnisse geäußert, und so war die Rücksichtnahme auf dieselben zunächst entscheidend für die Frage, ob die planmäfsige Tiefe in den beiden vorhandenen Fahrwassern herzustellen sei, oder nur in einem derselben. Gerade in dieser Stromstrecke ist das Vorhandensein von zwei Fahrwegen sehr vortheilhaft für die Schifffahrt, weil wegen der reifsenden Strömung die Bergfahrt langsam von statten geht und infolge dessen die Strecke häufig stark mit Schleppzügen besetzt ist. Um aber die Ausdehnung der Felsensprengungen und damit ihren Einflufs auf die obere Strecke möglichst zu beschränken, begnügte man sich damit, die Tiefe von 2,00 m unter Niedrigwasser vorerst nur in einem Fahrwasser herzustellen. Es wird weiter unten noch einmal auf diese Verhältnisse zurückzugreifen sein. Bei Entscheidung der Frage, in welchem der beiden vorhandenen Schifffahrtswege die Vertiefung vorzunehmen sei, und welche Bauweise sich dabei am meisten empfehle, war in erster Linie Rücksicht zu nehmen auf die grossen Schwierigkeiten, die der Schifffahrt aus dem vorhandenen sehr starken Gefälle und der reifsenden Strömung erwachsen. Diese Schwierigkeiten sind verschiedener Art. Abgesehen von dem häufig sehr grossen Zeitverluste bei verlangsamter Fahrt und dem dadurch bedingten grösseren Kohlenverbrauche tritt eine ganz namhafte Verminderung in der Leistungsfähigkeit der Dampfboote ein. Die grossen Schleppzüge, die in St. Goar vom Niederrhein her eintreffen, müssen wegen der starken Gefälle, die in der Felsenstrecke und ganz besonders im Bingerloch zu überwinden sind, in einzelnen Theilen nach Bingen geschleppt werden, und an diesem Platze werden sodann wieder neue grössere Schleppzüge für die weitere Bergfahrt gebildet. Dieser Schifffahrtsbetrieb ist umständlich und theuer. Um die Leistung bei jeder einzelnen Fahrt möglichst zu erhöhen, nahmen daher vor Ausführung der Regulirung fast alle Schleppzüge und Frachtdampfer im Bingerloch Pferdevorspann, und zwar bis zu 30 Pferden auf einmal. Von grossem Nachtheile sind auch die häufig vorkommenden Schiffsunfälle. Die Thalfahrt ist gefährlich wegen der grossen Geschwindigkeit, mit welcher sie von statten geht. Bei der Bergfahrt dagegen treten sehr häufig Unfälle ein durch Zerreißen der in der starken Strömung allzu sehr belasteten Schleppestränge, ferner durch Brüche an den Steuerrudern, Maschinen und dergleichen. Die Schiffe werden durch solche Zufälle vollständig hilflos, denn in der starken Strömung und der aus Felsen und Gerölle bestehenden Flufssohle hält kein Anker fest; wenn die Ankerschaukel irgendwo einhakt, so bricht sie entweder ab, oder der ganze Anker geht verloren. Die Rettung der betreffenden Schiffe ist in der Regel nur dadurch möglich, dafs sie rechtzeitig mit Tauwerk an den Mährpfählen oder Mähringen festgemacht werden, die in grosser Zahl an den Ufern angebracht sind. Gelingt das nicht, so treiben sie rückwärts und ohne Steuerfähigkeit zu Thal und kommen häufig, nachdem sie an den zahlreichen dortselbst befindlichen Felsen angerannt und leck geworden sind, zum Sinken. Es wäre ein grosser Fehler gewesen, wenn man bei Aufstellung der Bauentwürfe auf diese grossen Mühseligkeiten und Gefahren der Schifffahrt nicht weitgehende Rücksicht genommen hätte;

es mußten alle Anordnungen, die auf Vermehrung der Strömung hinwirken konnten, nach Möglichkeit vermieden und eingehende Erwägungen angestellt werden, ob es nicht möglich sei, durch anderweitige Mafsregeln eine Verminderung der bestehenden reifsenden Strömung herbeizuführen. Von vornherein schienen im zweiten Fahrwasser insofern die Verhältnisse günstiger zu liegen, als im Bingerloch. Zwar hatte man, wie bereits mitgetheilt wurde, durch die Anlage der beiden 1020 beziehungsweise 1460 m langen Parallelwerke nicht den Ausgleich im Gefälle herbeigeführt, der erwartet worden war; aber immerhin war doch in dieser Beziehung

Gefälle im Bingerloch wesentlich stärker sind, als im zweiten Fahrwasser; ein so rascher Absturz des Wassers, wie er im Bingerloch auf 17 m Länge stattfindet, ist im zweiten Fahrwasser auch nicht annähernd vorhanden. Auf gröfsere Entfernungen dagegen ist das Verhältnifs der beiderseitigen Gefälle ein wechselndes.

Diesen anscheinenden Vorzügen des zweiten Fahrwassers stand nun aber die bekannte Thatsache gegenüber, dafs die Schleppdampfer durch das Bingerloch eine weit gröfsere Last zu ziehen vermochten. Allerdings war dieses Fahrwasser gegen 20 cm tiefer als das erstere, auch befand sich daselbst

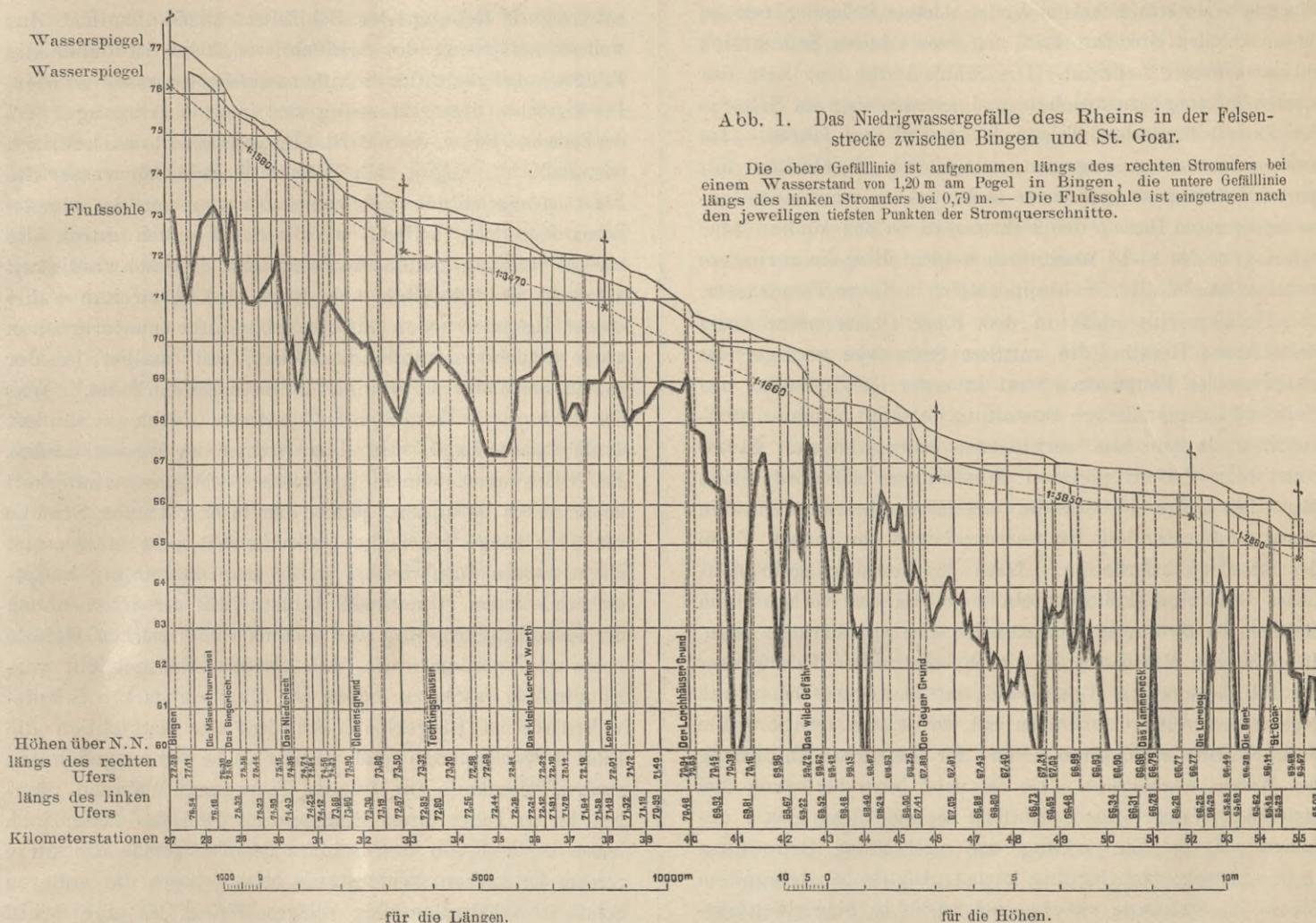


Abb. 1. Das Niedrigwassergefälle des Rheins in der Felsenstrecke zwischen Bingen und St. Goar.

Die obere Gefälllinie ist aufgenommen längs des rechten Stromufers bei einem Wasserstand von 1,20 m am Pegel in Bingen, die untere Gefälllinie längs des linken Stromufers bei 0,79 m. — Die Flußsohle ist eingetragen nach den jeweiligen tiefsten Punkten der Stromquerschnitte.

schon gut vorgearbeitet. Auch war der Weg durch das zweite Fahrwasser um 15 v. H. länger, als derjenige durch das Bingerloch, es konnte also schon aus diesem Grunde dort ein geringeres relatives Gefälle herbeigeführt werden als hier. Bei einem Wasserstande von 150 cm am Pegel in Bingen, das ist 30 cm über gemitteltem Niedrigwasser, wurden in beiden Fahrwassern die nachstehenden stärksten Gefälle gemessen:

auf 17 m Länge im Bingerloch	1 : 122;
„ 50 „ „ „	1 : 220; im zweiten Fahrwasser 1 : 260;
„ 100 „ „ „	1 : 380; „ „ 1 : 350;
„ 200 „ „ „	1 : 480; „ „ 1 : 520;
„ 400 „ „ „	1 : 610; „ „ 1 : 560.

Diese Aufnahmen haben nicht längs der Ufer, sondern mitten im Fahrwasser mit Hilfe von schwimmenden Nivellirlatten stattgefunden. Sie zeigen, dafs auf kurze Entfernungen die

ein wohlausgebauter Leinpfad, mittels dessen man reichliche Unterstützung durch Pferde finden konnte. Thatsächlich führen aber die Schleppzüge auch bei höheren Wasserständen, also auch dann, wenn auf beiden Wegen genügende Tiefe vorhanden war, ausschliesslich durch das Bingerloch, und auch die ohne Vorspann fahrenden Schiffe gaben, wenn beide Fahrwasser frei waren, stets dem Bingerloch den Vorzug. Diese Erscheinung konnte nur in den vorliegenden eigenartigen Strömungsverhältnissen ihre Erklärung finden; zur Aufklärung dieser Verhältnisse haben daher ausgedehnte Messungen stattgefunden. Bei Wasserständen von 1,50 m und 2,50 m am Pegel in Bingen (letzterer Wasserstand liegt 30 cm über Mittelwasser) wurde an 2900 Punkten der betrachteten Stromstrecke die Oberflächengeschwindigkeit gemessen, und indem man die so gefundenen Werthe in die Stromkarte eintrug und mit ihrer Hilfe Linien von gleicher Geschwindigkeit bildete, wurden

sehr übersichtliche Strömungsbilder erzielt. Im Jahrg. 1897 S. 75 der Zeitschr. f. Bauw. hat der Verfasser die Ausführung dieser Messungen, sowie auch der anderen Vorarbeiten in der Felsenstrecke eingehend beschrieben; auch ist dort (Abb. 2 Bl. 11) eins von den erwähnten Strömungsbildern abgedruckt. Es zeigte sich, daß bei 1,50 m am Binger Pegel die größte Geschwindigkeit in beiden Fahrwassern gleich ist, sie beträgt 3,00 m in der Secunde; bei 2,50 m ist sie im zweiten Fahrwasser etwas grösser, als im Bingerloch, sie beträgt dort 3,20 m, hier nur 3,00 m. Dabei sind im Bingerlochfahrwasser die Flächen mit starker Strömung im allgemeinen von geringerer Ausdehnung, als im zweiten Fahrwasser; von dem eigentlichen Bingerloch abwärts setzt sich die stärkere Strömung nur in einem schmalen Streifen fort, auf dessen beiden Seiten sich ruhigeres Wasser befindet. Die Schiffe können also hier der starken Strömung ausweichen und gewissermaßen im Schutze der oberhalb liegenden Felsen leichter zu Berg fahren. Im zweiten Fahrwasser dagegen dehnen sich die Flächen mit starker Strömung zu größerer Breite aus, sie nehmen stellenweise die ganze Breite des Fahrwassers ein und können also von den Schiffen nicht umgangen werden; daher die geringere Leistungsfähigkeit der Schleppdampfer in diesem Fahrwasser.

Die Thatsache, daß in dem Bingerlochfahrwasser trotz der stärkeren Gefälle die mittlere Stromstärke geringer ist als im zweiten Fahrwasser, ist in erster Linie offenbar auf die höchst unregelmässige Gestaltung dieses Stromlaufs zurückzuführen. In dem aus zerklüfteten Felsen gebildeten Flussbette finden die strömenden Wassermassen außerordentlich starke Bewegungswiderstände, und insbesondere an dem den Strom durchquerenden Bingerlochriff wird ein großer Theil der Stromkraft gebrochen. Nach den heutzutage gebräuchlichen Geschwindigkeitsformeln sollte bei den vorhandenen Gefällen die Strömung thatsächlich eine viel stärkere sein. In geringerem Mafse ist das auch beim zweiten Fahrwasser der Fall; denn wenn dieses auch in seiner Grundform einen regelmässigen Ausbau erhalten hat, so ist seine felsige Sohle doch ebenfalls sehr uneben und für die rasche Abführung des Wassers ungeeignet. Es ist dabei bemerkbar, daß bei steigendem Wasser dieser Einfluß der zerklüfteten Sohle abnimmt und die Einwirkung der regelmässigen Grundform mehr und mehr zur Geltung kommt, daß also bei steigendem Wasser die Strömung rascher wächst als im Bingerlochfahrwasser, und daß folglich eine weitere Verschlechterung der Schiffsverkehrsverhältnisse im Vergleich zu denjenigen des Bingerlochfahrwassers eintritt.

Die verhältnismässig günstigen Strömungsverhältnisse in der betrachteten Stromstrecke mögen zum Theil auch darauf zurückzuführen sein, daß die ganz starken Gefälle nur von geringer Ausdehnung sind, daß ihre Einwirkung auf die strömenden Wassermassen also nur von kurzer Dauer ist. Die Geschwindigkeitsformeln, die in der Praxis verwendbar sind, beziehen sich bekanntlich alle auf eine gleichförmige Bewegung, d. h. auf denjenigen Zustand, in dem die bewegende Kraft gerade gleich den Bewegungswiderständen ist. Wenn nun die strömenden Wassermassen aus einem schwächeren Gefälle in ein stärkeres übergehen, so ist dieser Gleichgewichtszustand zunächst nicht vorhanden, vielmehr wächst unter dem Einflusse der verstärkten beschleunigenden Kraft vorerst die Geschwindigkeit; gleichzeitig aber vergrößern sich auch die

Bewegungswiderstände, und zwar verhältnismässig rasch, so daß nach einer gewissen Zeit wieder Gleichgewicht eintreten muß. Ist aber eine Stromschnelle von geringerer Länge, wirkt also das vermehrte Gefälle nur kurze Zeit auf die strömenden Wassermassen ein, so wird der Zustand der gleichförmigen Bewegung auch nicht annähernd erreicht werden, und es können daher auch nicht diejenigen Beziehungen zwischen Gefälle und Strömung bestehen, wie man sie in regelmässig ausgebildeten Stromstrecken findet.

Die Größe der Schiffswiderstände hängt nicht lediglich von der Stromstärke ab, sondern es wirken darauf auch ein die Wassertiefe und das relative Gefälle, letzteres, weil eine entsprechende Hebung der Schiffslast stattfinden muß. Zur weiteren Aufklärung der Schiffsverkehrsverhältnisse ist daher die Fahrgeschwindigkeit der Schiffe unmittelbar gemessen worden. Die Ergebnisse dieser Messung sind in der im Jahrgang 1897 der Zeitschr. f. Bauw. Abb. 2 Bl. 11 gegebenen Karte zeichnerisch dargestellt. Es zeigte sich, daß im Bingerlochfahrwasser die Fahrt im allgemeinen gut von statten ging; nur im eigentlichen Bingerloch selbst, wo die Schiffe mitten durch die stärkste Strömung gehen mußten, nahm die Geschwindigkeit auf kurze Zeit plötzlich sehr stark ab. Im zweiten Fahrwasser dagegen wurden auf eine große Länge ununterbrochen starke Schiffswiderstände beobachtet, weil daselbst in der ganzen Breite der Fahrinne die Strömung stark ist. Was den Höchstwerth des Schiffswiderstandes angeht, so ändert derselbe seine Lage mit dem Wechsel des Wasserstandes. Bei Niedrigwasser wurde die kleinste Schiffsgeschwindigkeit im Bingerloch gefunden, jedoch nur in einer kurzen Strecke von 17 m Länge. Da die Strömung dort nicht stärker ist als im zweiten Fahrwasser, dürfte diese Erscheinung hauptsächlich auf dem Umstande beruhen, daß dortselbst neben der reißenden Strömung ein außerordentlich starkes Gefälle überwunden werden muß, daß also das Schiffsgewicht verhältnismässig rasch zu heben ist. Diese sehr starken Schiffswiderstände im Bingerloch behindern aber thatsächlich die Fahrt der Schleppzüge viel weniger als die weit ausgedehnten starken Widerstände im zweiten Fahrwasser. Während nämlich bei der Fahrt eines Schleppzuges durch das Bingerloch immer nur eins von den Schiffen desselben gerade die kurze Strecke der starken Widerstände befährt, liegen die anderen Schiffe in verhältnismässig ruhigem Wasser, das eine Schiff verbraucht viel Zugkraft, die anderen um so weniger; im zweiten Fahrwasser dagegen liegen sämtliche Schiffe des Schleppzuges gleichzeitig in starker Strömung, daher ist die Summe des erforderlichen Kraftaufwandes größer als im Bingerloch. Anders verhält es sich natürlich mit einzelnen Schiffen; ein schwacher Dampfer, bei dem es zweifelhaft ist, ob er die fragliche Stromstrecke überhaupt befahren kann, wird bei kleinem Wasser leichter durch das zweite Fahrwasser kommen, als durch das Bingerloch. Jedoch ziehen auch die einzelnen Schiffe fast stets das Bingerloch vor; so z. B. fahren die Personendampfer der Köln-Düsseldorfer Gesellschaft, wenn beide Fahrwege frei sind, stets durch das Bingerloch, weil sie alsdann für die ganze Fahrt weniger Zeit brauchen. Bei mittleren und höheren Wasserständen, also für den größten Theil des Jahres, verschlechtern sich dagegen, wie bereits bemerkt, die Schiffsverkehrsverhältnisse des zweiten Fahrwassers noch weiterhin im Vergleich zu dem-

jenigen des Bingerlochs; es liegt alsdann auch der Höchsthwerth des Schiffwiderstandes im zweiten Fahrwasser.

Aus allen diesen Beobachtungen ging hervor, dafs die regelmäfsige Ausbildung des Stromschlauchs mit Hilfe von Regulierungswerken nicht ohne weiteres als vortheilhaft betrachtet werden konnte; wenn dabei nicht ein besserer Ausgleich der Gefälle stattfindet, als dies beim zweiten Fahrwasser bisher der Fall war, so können im Gegentheil geradezu nachtheilige Wirkungen dadurch herbeigeführt werden. Ob nun mit Vortheil ein besserer Ausgleich der Gefälle herbeigeführt werden könne, oder ob es sich empfehle, hiervon Abstand zu nehmen, dafür waren die folgenden Erwägungen entscheidend. Wir haben bei Betrachtung des zweiten Fahrwassers gesehen, dafs zur Erreichung dieses Zweckes die Herstellung einer regelmäfsigen Grundform nicht genügt, sondern dafs aufserdem entweder durch Beseitigung der die Stromschnellen verursachenden Felsenriffe der Oberwasserspiegel gesenkt oder durch Verbauung der Tiefen unterhalb der starken Gefälle der Unterwasserspiegel gehoben werden müfste. Die erstere Mafsregel würde ohne Zweifel sehr wirksam sein, weil sich oberhalb der betrachteten Stromstrecke die sehr schwachen Gefälle des Rheingaus anschliessen; jedoch konnte abgesehen von den ganz bedeutenden technischen Schwierigkeiten und geldlichen Bedenken an ihre Durchführung schon deshalb nicht gedacht werden, weil aus den oben angegebenen Gründen an der Wasserspiegelhöhe im Rheingau nichts geändert werden sollte. Demnach verblieb als einziges Mittel die Hebung des Unterwasserspiegels durch Grundschnellen. Zur Beurtheilung des Gefälleausgleiches, der hierbei erzielt werden könnte, mögen hierunter die stärksten Gefälle des Bingerlochfahrwassers und der angrenzenden Stromstrecken für verschiedene Entfernungen angegeben werden; sie betragen bei 150 cm am Pegel in Bingen

auf 17 m Länge	1 : 122
„ 50 „ „	1 : 220
„ 100 „ „	1 : 380
„ 300 „ „	1 : 600
„ 600 „ „	1 : 690

bei 120 cm am Pegel in Bingen

auf 1000 m Länge	1 : 900
„ 2000 „ „	1 : 1150
„ 3000 „ „	1 : 1270
„ 4000 „ „	1 : 1310
„ 5000 „ „	1 : 1430
„ 6000 „ „	1 : 1550

Wenn sonach ein namhafter Ausgleich der Gefälle durch Anlage von Grundschnellen ohne Zweifel möglich wäre, so darf man sich andererseits nicht verhehlen, dafs solche Werke im vorliegenden Falle auch mancherlei Schattenseiten haben würden. Zunächst ist es ungewifs, wie sie den gewaltigen Eispressungen widerstehen würden, die beim Eintritt von Eisstand in der Felsenstrecke statthaben. Infolge der starken Gefälle und des hierauf beruhenden hohen Wasserdruckes schiebt sich daselbst bei solcher Gelegenheit das Eis in einer erstaunlichen Mächtigkeit übereinander, sodafs es stellenweise bis auf die Flusssohle hinabreicht, und wenn diese grossen Massen bei den häufig eintretenden Eispressungen sich in Bewegung setzen, üben sie eine vernichtende Gewalt aus. Selbst die vorhandenen Bühnen und Parallelwerke vermögen,

obgleich sie über Niedrigwasser mit starker Pflasterung versehen sind und obgleich sie doch aufserhalb der eigentlichen Strombahn liegen, dieser Gewalt häufig nicht zu widerstehen, und es ist sehr leicht möglich, dafs dies bei Grundschnellen in noch viel höherem Mafse der Fall sein würde, weil sie bei ihrer Lage mitten im Stromschlauch den Angriffen des Eises viel mehr ausgesetzt sein würden und weil sie nicht durch Pflasterung geschützt, sondern nur aus Steinen lose angeschüttet werden könnten. Aufserdem aber können nach den bisher gemachten Erfahrungen in Stromstrecken mit starken Gefällen die Grundschnellen auch recht unbequem für die Schifffahrt werden. Die Rheinstrombauverwaltung hat selbst in dieser Beziehung unangenehme Erfahrungen gemacht. In der Stromstrecke unterhalb Niederspai Kil. 77,5 bis 79,0 wurden nämlich in den Jahren 1880/81 12 Grundschnellen erbaut, um einem zweiten dortselbst angelegten Fahrwasser mehr Wasser zuzuführen. Infolge dessen verschlechterten sich die Schifffahrtsverhältnisse dort ganz wesentlich. Auf den Schnellen selbst bildete sich eine stärkere Strömung während unmittelbar dahinter ruhiges Wasser lag, und stellenweise sich sogar Nehrungen einstellten. Der von den Schleppdampfern verursachte Wellenschlag wirkte hier ganz besonders nachtheilig auf die Fahrt der Anhängeschiffe; diese liefen, wie man zu sagen pflegt, aus dem Ruder, und deshalb kamen des öfteren Unfälle vor; auch rissen häufig die Schleppstränge. Erst nachdem man in den Jahren 1890/91 die Tiefen zwischen den Schnellen mit Baggergut theilweise ausgefüllt hat, sind die Schifffahrtsverhältnisse besser geworden. Eine natürliche Versandung in gröfserem Umfange ist nicht bemerkt worden. Es ist leicht möglich, dafs in der Stromstrecke am Bingerloch diese nachtheilige Wirkung der Grundschnellen in noch höherem Mafse eintreten würde, weil daselbst das Gefälle viel stärker ist, als bei Niederspai. Auch die Aussicht auf natürliche Versandung der Zwischenräume zwischen den Schnellen ist der heftigen Strömung wegen noch geringer, und es könnte sogar der Fall eintreten, dafs die Ausfüllung dieser Zwischenräume mit Kies keinen dauernden Erfolg haben würde.

Andererseits gelangte man aber auch bei näherem Eingehen auf die Sache zu der Ansicht, dafs es ungewifs sei, ob sich bei dem Ausgleich der Gefälle die Schiffswiderstände thatsächlich vermindern würden. Wie oben gezeigt worden ist, behindern die starken Gefälle von geringer Ausdehnung die Fahrt der Schleppzüge nicht in dem Mafse, als man auf den ersten Blick meinen sollte, sondern es kommt vielmehr darauf an, wie grofs das mittlere Gefälle und die mittlere Strömung in der ganzen Länge ist, die der Schleppzug gerade befährt. Die mittlere Länge der Schleppzüge kann in der Felsenstrecke ungefähr zu 300 m angenommen werden, und auf diese Länge beträgt das stärkste Gefälle im Bingerlochfahrwasser bei kleineren Wasserständen gegen 1:600. Um dieses Gefälle auf 1:900 zu vermindern, wäre ein vollkommener Ausgleich auf 1 km Länge nöthig gewesen, für die Verminderung auf 1:1200 schon ein Ausgleich auf 2 bis 3 km Länge. Dabei hätte aber das Fahrwasser in Sohle und Böschungen ganz regelmäfsig ausgebaut werden müssen, und also wären die Bedingungen vollständig verloren gegangen, auf denen die derzeitigen günstigen Strömungsverhältnisse der betrachteten Stromstrecke beruhen. In der That ergaben

sich auch bei Berechnung der Stromgeschwindigkeiten, die in einem derartigen Fahrwasser auftreten würden, nach den gebräuchlichen Geschwindigkeitsformeln wesentlich stärkere Geschwindigkeiten, als man sie heutzutage beobachtet. Für einen Wasserstand von 250 cm am Binger Pegel liegen z. B. die Verhältnisse folgendermaßen. Die Tiefe sei zu 380 cm angenommen, da die Grundswellen aus bekannten Gründen etwas tiefer liegen müssen als Normalsohle, die Sohlenbreite des regelmäßig ausgebildeten Canals betrage 120 m, die Erfahrungszahl der Geschwindigkeitsformel von Ganguillet und Kutter (vergl. Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 2. Auflage, erste Abtheilung, Seite 119) sei zu 0,025 angenommen; dann ergibt sich nach dieser Formel die mittlere Geschwindigkeit für ein Gefälle von 1:900 zu 3,1 m in der Secunde, für ein Gefälle von 1:1200 zu 2,7 m. Hieraus berechnet sich ferner nach der Wagnerschen Formel (vergl. Seite 109 des genannten Werkes) die größte Oberflächengeschwindigkeit zu 4,00 m bzw. 3,50 m. Bei den Messungen wurde dagegen bei dem gleichen Wasserstande im Bingerloch als Höchstwerth eine Geschwindigkeit von nur 3,00 m gefunden. Es mag ja nun sein, daß unsere Geschwindigkeitsformeln die im allgemeinen anderen Verhältnissen angepaßt sind, im vorliegenden Falle keine genauen Werthe ergeben; immerhin darf man aber, so lange wir nichts Zuverlässigeres haben, diese Ergebnisse nicht unbeachtet lassen. Auch ist zu bedenken, daß in einem regelmäßig ausgebauten Canal die größeren Geschwindigkeiten, ebenso wie im zweiten Fahrwasser, sich auf eine namhafte Breite ausdehnen würden, daß sie also von den Schiffen nicht in so vorteilhafter Weise umgangen werden könnten, wie zur Zeit im Bingerlochfahrwasser. Eine Erschwerung der Schifffahrt würde endlich auch dadurch noch bewirkt werden, daß in dem Fahrwasser mit ausgeglichener Sohle im allgemeinen eine geringere Tiefe wäre, als bei der gegenwärtigen Gestaltung des Flußbettes; die Schiffe würden weniger Wasser unter dem Boden haben und die Schiffswiderstände infolge dessen wachsen.

Aus allen diesen Beobachtungen und Betrachtungen ging hervor, daß es höchst ungewiß sei, ob ein Ausgleich der Gefälle, selbst wenn er auf bedeutende Entfernung durchgeführt würde, von vorteilhafter Einwirkung auf die Schifffahrtsverhältnisse wäre, ganz abgesehen davon, daß für die Durchführung einer derartigen Regulirung sehr bedeutende Geldsummen aufgewandt werden müßten. Man hat sich daher nach reiflicher Erwägung entschlossen, im offenen Strome lediglich durch Spreng- und Räumungsarbeit eine Schifffahrtsrinne von der erstrebten Tiefe herzustellen und im übrigen an den bestehenden Stromverhältnissen möglichst wenig zu ändern.

Nachdem mittlerweile die Regulirung am Bingerloch seit drei Jahren beendet ist und zu durchaus befriedigenden Ergebnissen geführt hat, sind in neuerer Zeit an der unteren Donau, und zwar an der Stromschnelle am „Eisernen Thor“ Erfahrungen gemacht worden, die geeignet sind, weiterhin zur Aufklärung der hier besprochenen Verhältnisse beizutragen, und die daher kurz erwähnt werden mögen. Man hat dortselbst, um einen Ausgleich der außerordentlich starken Gefälle herbeizuführen, zwischen Parallelwerken einen 2200 m langen Canal von gleichmäßigem Querschnitt hergestellt, dessen Sohle durchweg in Felsboden eingearbeitet ist und ein

ganz gleichmäßiges Gefälle aufweist. Näheres über diese Arbeiten hat der ungarische Sectionsrath Bela von Gonda in seinem im Jahre 1896 erschienenen Werke „Die Regulirung des Eisernen Thores und der übrigen Katarakte der unteren Donau“ veröffentlicht. Auf Seite 123 dieses Werkes wird angegeben, daß das Wasserspiegelgefälle des Eisernen Thor-Canals sich für den kleinsten bekannten Wasserstand zu 0,00249, d. i. zu 1:402 berechnet. Wie ferner aus Seite 93 hervorgeht, nimmt es bei steigendem Wasser rasch ab und beträgt bei 316 cm am Orsovaer Pegel, d. i. etwas über Mittelwasser, nur noch $\frac{3}{5}$ des Niedrigwassergefälles. Dabei ist das Wasserspiegelgefälle des Canals trotz der gleichmäßigen Sohlenneigung nicht ganz ausgeglichen, vielmehr ist es im oberen Theile stärker als weiter unten. Am Bingerloch beträgt nach erfolgter Regulirung bei 150 cm am Binger Pegel, d. i. 65 cm unter Mittelwasser, das größte Gefälle auf 300 m, also auf mittlere Schleppzuglänge, 1:680. Durch das Bingerloch schleppen bei dem genannten Wasserstande nach den Angaben der größeren rheinischen Dampfreedereien die neueren Dampfboote mit einer indicirten Pferdekraft eine Last von 1,8 bis 2,4 Tonnen, während nach Seite 164 des Gondaschen Werkes bei den Probefahrten im Eisernen Thor-Canal ein Dampfer von 800 Pferdekraften bei größter Kraftanstrengung nur eine Ladung von 260 Tonnen ganz langsam zu schleppen vermochte, also 0,3 Tonne auf eine Pferdekraft; danach würden die Leistungen im Bingerloch sechsmal bis achtmal so groß als im Eisernen Thor-Canal sein. Da sich in dem oberen Theile des letzteren ein noch stärkeres Gefälle ergeben hat, als das nach der Sohlenneigung berechnete, so ist die geringere Leistung erklärlich, sie zeigt sich, wie oben erwähnt, in ähnlicher Weise, wenn auch nur schwach, im zweiten Fahrwasser beim Bingerloch. Aber das Ergebnis der Regulirung des Fahrwassers in dem Bingerloch selbst dürfte doch dafür sprechen, daß dabei die örtlichen Verhältnisse in einer für die Schifffahrt recht günstigen Weise ausgenutzt worden sind.

Nachdem man sich entschlossen hatte, von dem Ausgleiche der Gefälle Abstand zu nehmen und lediglich durch Sprengarbeit im offenen Strome das vertiefte Fahrwasser herzustellen, war auch die Frage, welche Lage diesem Fahrwasser zu geben sei, ohne weiteres entschieden; es war nach den gemachten Beobachtungen selbstverständlich, daß unter solchen Umständen das Bingerloch den Vorzug verdiente. In der Karte ist die neue Fahrrinne eingezeichnet, sie wird dargestellt durch die beiden parallelen Linien, welche bei Kil. 27,25, der Grenze des Bereichs der Rheinstrombauverwaltung, beginnend längs des rechten Stromufers laufen. Man hat sich überall möglichst nahe an das ausbuchtende, rechtsseitige Ufer gehalten, weil so der starken Strömung am besten ausgewichen wurde; eine Grenze war aber in dieser Beziehung durch den Umstand gesetzt, daß in einiger Entfernung vom Ufer die hinderlichen Felsen rasch ansteigen. Da das Bingerlochriff sehr hoch liegt und somit einen starken Rückstau ausübt, konnte hier die planmäßige Breite von 90 m nicht hergestellt werden, weil dabei der Wasserspiegel stromaufwärts stark gesenkt worden wäre; man beschränkte sich darauf, ein Fahrwasser herzustellen, in welchem die Schleppzüge einzeln ohne Gefahr nach der einen oder anderen Richtung verkehren können, aber zwei nicht aneinander vorbeizugehen können.

fahren dürfen. Im Bingerloch selbst wurde bei der sehr geringen in Betracht kommenden Länge hierfür nach den vorliegenden Erfahrungen eine Breite von 30 m als ausreichend erachtet. Oberhalb und unterhalb, woselbst die schädlichen Felsen tiefer lagen und deshalb ihre Beseitigung von geringerem Einflusse auf das Oberwasser war, konnte die Breite ohne Bedenken auf 70 m ausgedehnt werden. Weiter stromabwärts dehnt sich die Fahrrinne allmählich aus und erreicht bei Afsmannshausen, Kil. 30,2, die Breite von 90 m.

Wie bereits bemerkt wurde, ist, so lange im Bingerloch die Schiffe sich nicht begegnen können, die Offenhaltung eines zweiten Schifffahrtsweges dringend erwünscht. Man hat sich daher entschlossen, im zweiten Fahrwasser wenigstens die höheren Felsspitzen zu beseitigen. Es ist so eine Tiefe von 30 cm unter Binger Pegel, d. i. 50 cm weniger als die normale Tiefe hergestellt worden. Die linksseitige Grenze dieses flacheren Fahrwassers läuft dicht an dem Nahegrund und der Mäusethurminsel vorbei. Für die Bergfahrt ist dieser Schifffahrtsweg ohne Bedeutung, dagegen wird er um so öfter bei der Thalfahrt benutzt. Es trifft sich dabei sehr günstig, daß die Beförderung der Massengüter, insbesondere der Kohle, fast ausschließlich zu Berg geht. Die zu Thal kommenden Frachtkähne sind meist leer oder nur schwach beladen; auch haben die Schleppdampfer, welche die Strecke befahren, größtentheils einen geringen Tiefgang, sie können also selbst zur Zeit kleiner Wasserstände das zweite Fahrwasser bei der angegebenen Tiefe befahren. Nur die tiefgehenden Schraubendampfer und ausnahmsweise schwer beladene Frachtkähne müssen bei kleineren Wasserständen warten, bis das Bingerloch frei ist; es ist das aber nicht von Belang, weil nur ein sehr geringer Theil des gesamten Schiffsverkehrs diese Verzögerung erleidet.

Die wegzusprenghenden Felsen sind in den beigegebenen Karten durch schraffierte Flächen dargestellt. Durch ihre Entfernung wurde bei der gewählten Anordnung der Bauentwürfe der wasserführende Querschnitt des Stromes nur wenig vergrößert, und es konnte daher angenommen werden, daß das Oberwasser durch die Arbeiten nur in geringem Maße beeinflusst werden würde. Eine zuverlässige Berechnung, welche Senkungen dort zu erwarten sein würden, war wegen der außerordentlich unregelmäßigen Gestaltung des Flußbettes und der darauf beruhenden ungewöhnlichen Strömungsverhältnisse nicht möglich. Wenn man annahm, daß die mittlere Stromgeschwindigkeit dieselbe bleiben würde, rechneten sich nur höchst unbedeutende Senkungen heraus, die von keinem praktischen Einflusse sein konnten. Um aber den in dieser Richtung geltend gemachten weitgehenden Bedenken für alle Fälle Rechnung zu tragen, wurden Vorbereitungen für eine theilweise Verbauung des Strombettes neben dem Bingerloch getroffen. Wie oben bereits mitgetheilt worden ist, befinden sich in dem Felsenriff am Bingerloch außer dem letzteren noch eine Anzahl anderer Lücken, durch die das Wasser mit großer Gewalt abstürzt. In diesen Lücken würde man durch tiefliegende Werke mit Leichtigkeit eine Fläche verbauen können, die viel größer wäre als die durch die Felsensprengungen freizulegenden Querschnittsflächen, und in solcher Weise mußte es zweifellos gelingen, eine durch die Felsensprengung allenfalls bewirkte schädliche Wasser-

spiegelsenkung wieder aufzuheben. Da auf dem felsigen Untergrunde und in der überaus reißenden Strömung Steinschüttungen vermuthlich keinen festen Halt gefunden hätten, sollten zunächst Betonklötze von 1 cbm Inhalt mittels Schwimmkrahns reihenweise versetzt werden, und nachdem so die Gewalt des Stromes gebrochen war, zur weiteren Befestigung Steinwürfe angebracht werden. Ein Versuch hatte gezeigt, daß das Versetzen der Cementklötze ohne Schwierigkeit bewerkstelligt werden konnte. Der Bauentwurf sah indessen vor, daß diese Verbauung erst dann vorgenommen werden sollte, wenn bei Ausführung der Felsensprengungen in den zu vertiefenden Fahrwassern schädliche Senkungen im Oberwasser sich zeigen würden. Da dies nicht der Fall war, konnte die Verbauung unterbleiben.

Stromabwärts liegen die Verhältnisse bedeutend einfacher. Neben einigen Gerölle- und Kiesbaggerungen waren hier zunächst bei Kil. 30,0/31,5 Felsensprengungen auszuführen. Weiterhin bis zur Morgenbachmündung, Kil. 32,3, hat das Flußbett eine ungünstige Gestaltung; während es an dieser Stelle stark eingengt ist, weitet es sich stromaufwärts sackartig aus. Es hat sich daher hier mitten im Strom eine große Sandbank, der Clemensgrund, gebildet, und es war zweifelhaft, ob daselbst das Fahrwasser in seiner ganzen Breite von Kiesablagerungen frei bleiben würde. Als durchgreifendes Mittel zur Verbesserung dieser Stromverhältnisse würde die Verbauung des rechts vom Clemensgrund befindlichen Seitenarmes dienen können; einstweilen aber hat man hiervon Abstand genommen, weil der genannte Seitenarm, an dem ein Leinpfad entlang läuft, von kleinen, dem Ortsverkehr dienenden Frachtkähnen befahren wird. Dagegen werden zur Zeit vor dem linken Ufer sechs Bühnen erbaut, um den Strom mehr gegen den Clemensgrund hindrängen.

Während die Strecke von Bingen bis unterhalb des Clemensgrundes durchweg ein starkes Gefälle aufweist, ist dasselbe weiter abwärts bis nach Lorch hin bedeutend geringer; von Kil. 27 bis 33 beträgt das Gefälle 1:1580, von Kil. 33 bis 38 nur 1:3470. Zwischen Kil. 32,5 und 33,2 waren hier zahlreiche Felsen zu sprengen. Bei Kil. 33,6/34,9 und 36,0/37,0 befinden sich vor dem linken Stromufer ältere Bühnenbauten, ferner zwischen den beiden Lorcher Werthen Kil. 36,3/37,0 ein Parallelwerk. Dieses hat den Zweck, die starke Querströmung, die bei höheren Wasserständen von dem linksseitigen Hauptstromarm nach dem rechtsseitigen Nebenarm hin stattfindet, zu mildern. An dieser Stelle waren bedeutende Geröllmassen zu beseitigen, welche sich vermuthlich infolge der erwähnten Querströmung abgelagert hatten. Damit derartige Ablagerungen sich später nicht wiederholen, wird das vorhandene Parallelwerk, dessen Krone zur Zeit auf Mittelwasserhöhe liegt, demnächst um 1,0 m erhöht werden.

Von Kil. 38 bis 46 nimmt das Gefälle wieder sehr zu, es beträgt im Mittel 1:1860. Fast durchweg waren hier bedeutende Felsenarbeiten auszuführen. Von Kil. 38,0 bis 41,2 hat eine namhafte Einengung des Strombettes durch ältere Bühnenbauten stattgefunden. Weiter abwärts bis nach Caub hin nimmt der Strom eine höchst eigenartige Gestaltung an. Bei Kil. 41,5 bis 42,0 wird er zunächst durch eine Insel, das Bacharacher Werth, in zwei Arme getheilt, rechts liegt der Hauptstromarm mit dem Fahrwasser, links

ein nicht schiffbarer Nebenarm mit felsiger Sohle und sehr starkem Gefälle, der sogenannte Hahnen. Kurz unterhalb des Bacharacher Werthes bei Kil. 42,5 durchsetzt, ähnlich wie beim Bingerloch, eine mächtige Felsbank den Strom fast in seiner ganzen Breite. In der Mitte befindet sich eine Durchfahrt für Schiffe, welche den bezeichnenden Namen das „wilde Gefähr“ führt, und seitwärts von diesem natürlichen Fahrwasser liegt, ebenso wie beim Bingerloch, ein künstlicher Fahrweg, das „Cauber Wasser“, welches durch das Cauber Werth, die Pfalzinsel und ein hier anschließendes Parallelwerk von dem Hauptstrom getrennt ist. Links von dem Wilden Gefähr befindet sich ein tief liegendes, aus losen Steinen angeschüttetes Parallelwerk, das den Abfluß nach dem tiefer liegenden Hahnen vermindern sollte, und unterhalb bei Kil. 43,0 hat man vor Jahrzehnten vor dem linken Stromufer einige Bühnen mit hakenförmigem Vorbau angelegt, um die Wassertiefe über den hochliegenden Felsen im Wilden Gefähr durch Stauung zu vermehren und das daselbst befindliche sehr starke Gefälle zu mildern. Nichtsdestoweniger ist das Gefälle auch heute noch bedeutend, es beträgt bei gemitteltem Niedrigwasser, mit schwimmender Nivellirlatte mitten im Fahrwasser gemessen, auf 120 m Länge 1:400 und auf 307,80 m, d. i. auf mittlere Schleppzuglänge 1:580. Bei steigendem Wasser nimmt das Gefälle ziemlich rasch ab, anderseits vermehrt es sich noch, wenn der obengenannte Wasserstand unterschritten wird. So kommt es, daß bei kleinen Wasserständen die Bergfahrt durch das Wilde Gefähr schwieriger ist, als durch das Bingerloch.

Wenn nach obigem in diesen beiden Stromschnellen die Stromverhältnisse vieles miteinander gemein haben, so unterscheiden sie sich doch in einem wichtigen Punkte sehr wesentlich voneinander. Während nämlich unterhalb des Bingerloches der Strom auf weite Entfernung hin gleichfalls starke Gefälle aufweist, schließt sich an das Wilde Gefähr eine Strecke von sehr geringem Gefälle an; von Kil. 43 abwärts beträgt hier bei gemitteltem Niedrigwasser auf 1290 m Länge das Gefälle 1:8490, und auch weiterhin sind die Gefälle nicht stark. Während man also am Bingerloch es als zweckmäßig befunden hat, von einem Ausgleich der Gefälle Abstand zu nehmen, läßt sich in der Stromstrecke am Wilden Gefähr ohne Zweifel ein solcher Ausgleich mit großem Vortheil ausführen, und in der That ist auch eine ziemlich gute Vertheilung der Gefälle in dem oben genannten Cauber Wasser bereits seit längerer Zeit bewerkstelligt worden. Das mittlere Gefälle beträgt in der ganzen Länge dieses Fahrwassers, d. h. auf 1620 m bei gemitteltem Niedrigwasser 1:2220, das stärkste Gefälle auf 317,40 m, d. h. auf mittlere Schleppzuglänge 1:1134. Die Schifffahrt hat sich natürlich diesen Verhältnissen angepaßt; während die Bergfahrt in der Regel durch das Cauber Wasser geht, dient das Wilde Gefähr für die Thalfahrt. Nur die rasch fahrenden Personendampfer benutzen im allgemeinen auch für die Bergfahrt den letzteren Fahrweg, weil sie auf diese Weise rascher durch die betrachtete Stromstrecke kommen; bei ganz kleinen Wasserständen, bei welchen, wie wir gesehen haben, das Gefälle im Wilden Gefähr sich sehr verstärkt, ziehen aber auch diese Dampfer den Weg durch das Cauber Wasser vor. Da die geschilderten Strömungsverhältnisse für die Schifffahrt befriedigend sind, lag kein Grund vor, etwas daran zu ändern,

und man hat sich daher begnügt, im Wilden Gefähr eine vertiefte Fahrinne von 70 m Breite für die Thalfahrt und im Cauber Wasser eine solche von 60 m Breite für die Bergfahrt herzustellen. Hierbei waren allerdings sehr bedeutende Fels- und Kiesmassen zu beseitigen, insbesondere im Wilden Gefähr; man mußte daher darauf gefaßt sein, daß das Oberwasser gesenkt und die Fahrwassertiefe daselbst, sowie auch im Cauber Wasser, in nachtheiliger Weise vermindert werden würde. Um dem entgegenzuwirken, ist das bereits erwähnte Parallelwerk neben dem Wilden Gefähr weiter ausgebaut worden. Dasselbe lag stellenweise bis 80 cm unter gemitteltem Niedrigwasser, und da bei kleinen Wasserständen der Wasserspiegel im Wilden Gefähr ganz bedeutend höher liegt, als in dem seitlich befindlichen Hahnen, fand hier eine starke Querströmung und ein namhafter Wasserverlust statt. Das genannte Werk ist daher etwas über Niedrigwasserhöhe gebracht und nach dem Bacharacher Werth hin verlängert worden. — Im Cauber Wasser waren die schädlichen Felsen vielfach von Kies überlagert, auch mußten hier schon früher mehrfach Kiesbaggerungen ausgeführt werden. Da das vorhandene Gefälle an sich ohne Zweifel für die Durchfuhr der Geschiebe genügt, konnte diese Erscheinung nur darin ihren Grund haben, daß auch hier bei höheren Wasserständen eine starke Querströmung über das begrenzende Parallelwerk hinweg nach dem Hauptstromarme hin stattfand. Dem konnte durch Erhöhung des Werks und durch Verlängerung desselben stromabwärts entgegengewirkt werden. Es war aber auch leicht möglich, daß durch Beseitigung der zahlreichen hochgelegenen Felsblöcke eine erheblich bessere Vorfluth geschaffen und eine weitere Versandung im Fahrwasser nicht mehr eintreten würde. Bis jetzt scheint sich diese Annahme zu bestätigen; nachdem die Vertiefungsarbeiten seit Jahresfrist beendet sind, haben sich weitere Versandungen nicht mehr gezeigt. Auch findet jetzt unmittelbar oberhalb der Pfalzinsel im Gegensatz zu früher ein Ueberströmen des Hochwassers aus dem Hauptstromarm in das Cauber Wasser statt.

Von Kil. 44,5 abwärts waren neben zahlreichen Felsen sehr schwere Gerölle zu beseitigen. Bei Kil. 46,4/47,8 hat eine Einschränkung des Flußbettes durch ältere Bühnenbauten und durch den neuerdings erbauten Oberweseler Hafen stattgefunden. Von Kil. 46 bis 52 finden wir die schwächsten Gefälle der Felsenstrecke, der mittlere Fall beträgt hier 1:5850. Diese Strecke fällt ferner auf durch ihre starken Krümmungen, starke Einengungen des Flußbettes und bedeutende Tiefen. An der Loreley bei Kil. 52,5 ist das Niedrigwasser auf 113 m eingeschränkt, und man hat hier, wie auch an der Bank Kil. 53,3 bis zu 30 m Tiefe gemessen. Ein an der Loreley aufgenommener Querschnitt ist in Text-Abb. 2 dargestellt. Es ist daraus ersichtlich, daß der Unterschied

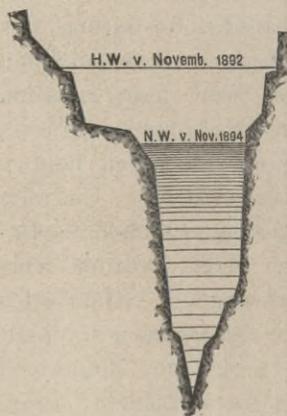


Abb. 2. Querschnitt an der Loreley.

Masstab für die Längen 1:7500.
„ für die Höhen 1:750.

in dem Flächeninhalte der Hoch- und Niedrigwasserquerschnitte ein verhältnismäßig sehr geringer ist. Es muß sich

also bei Hochwasser ein ganz außerordentlich reißender Strom bilden, der immer wieder in den tiefen Kolken Sand, Kies und Gerölle bis auf den blanken Felsen wegfeht; dagegen ist bei ganz kleinen Wasserständen infolge des allzu großen Niedrigwasserquerschnitts kaum eine Strömung zu verspüren. Diese Verhältnisse sind insofern für die Felsenstrecke von großer Bedeutung, als sie zu der von Zeit zu Zeit stattfindenden Bildung starker Eisdecken Veranlassung geben. Wenn bei kleinen Wasserständen starker Frost eintritt, so kommt es vor, daß die sehr schwache Stromkraft nicht genügt, das von oben zutreibende Eis weiter fortzuschaffen, und es bildet sich alsdann eine feste Decke, die sich je nach der Dauer des Frostes stromaufwärts mehr oder weniger weit fortsetzt. Ohne die eigenthümliche Gestaltung des Strombettes an der Loreley würde die Felsenstrecke wahrscheinlich niemals eine feste Eisdecke bekommen. Durch die in dieser Stromstrecke ausgeführten Regulierungsarbeiten wird neben der Verbesserung des Fahrwassers auch die Durchfuhr des Treibeises erleichtert. Es war hier hauptsächlich auf Abflachung der starken Krümmungen im Fahrwasser Bedacht zu nehmen, was zu umfangreichen Felsarbeiten Veranlassung gab. Am Ausgange der Felsenstrecke bei Kil. 52,2 bis 53,4 sind die in früheren Zeiten recht mißlichen Schiffsfahrverhältnisse außerdem durch linksseitige Parallelwerk- und Bühnenbauten, sowie durch den zu Anfang der neunziger Jahre ausgeführten Bau des Loreleyhafens ganz wesentlich verbessert worden.

Die Sprengarbeiten im Rhein hat die preuss. Regierung von Anfang an, d. i. seit den dreißiger Jahren, im Selbstbetriebe ausgeführt, weil es keine Unternehmer gab, die mit den für diese Arbeiten erforderlichen eigenartigen Maschinen versehen waren und über sachkundige Arbeiter verfügten. Man hat zwar einige Unternehmer zu verschiedenen Zeiten probeweise arbeiten lassen, ist aber hierbei zu keinen befriedigenden Ergebnissen gekommen. Aus diesen Gründen hat man auch bei Ausführung der neuen Regulierungsarbeiten dem Selbstbetriebe den Vorzug gegeben, zumal die Rheinstrombauverwaltung damals bereits über einige brauchbare Maschinen, sowie über sachverständige Meister, Vorarbeiter und Arbeiter verfügte. Als die Arbeiten bereits im Gange und für die Beschaffung weiterer Maschinen bedeutende Ausgaben gemacht worden waren, haben einige Unternehmer Angebote gemacht, diese waren jedoch wegen der Höhe des Preises unannehmbar. Der geringste Preis, der gefordert wurde, war 25 \mathcal{M} für 1 cbm gesprengten und an Land aufgesetzten Gesteins; dabei sollten die sämtlichen Baumaschinen der Rheinstrombauverwaltung dem Unternehmer unentgeltlich geliehen werden. Wie weiter unten gezeigt werden wird, hat sich beim Selbstbetriebe der Preis für 1 cbm gesprengten Gesteins auf nur 12,09 \mathcal{M} gestellt. In betreff der Entwicklung des rheinischen Sprengbetriebes bis in die achtziger Jahre und der dabei erfundenen eigenartigen Maschinen wird auf die früheren Veröffentlichungen, Zeitschr. f. Bauwesen Jahrg. 1896 S. 97 und Jahrg. 1897 S. 75 Bezug genommen.

Von Maschinen waren Ende der achtziger Jahre in betriebsfähigem Zustande vorhanden ein Dampfbohrapparat und drei Taucherschächte. In ihrer Betriebsart unterscheiden sich diese beiden Bohrvorrichtungen hauptsächlich insofern von einander, als bei dem Taucherschachte ein aus Eisenblechen

hergestellter Schacht auf die Flußsohle gesenkt und durch Druckluft wasserleer gemacht wird, sodafs die Arbeiter unmittelbar auf dem zu verbohrenden Felsen aufstehen, während bei dem Dampfbohrapparat die Bohrmaschinen über Wasser angebracht sind und die vom Wasser überströmten Felsen mittels langer Gestänge verbohrt werden. Um bei dieser Betriebsart dem Dampfbohrapparat die erforderliche ruhige Stellung zu geben, d. h. um ihn von den Bewegungen der Strömung und des Wellenschlages unabhängig zu machen, wird er an vier auf der Flußsohle aufstehenden Schoorbäumen um einige Decimeter angehoben, sodafs die ganze Vorrichtung nicht mehr auf dem Wasser schwimmt, sondern auf der Flußsohle fest und unbeweglich aufsteht (vgl. Jahrg. 1867 S. 117 und Jahrg. 1868 S. 395 und 547 der Zeitschr. f. Bauw.). Der Dampfbohrapparat ist auf dem Rhein 30 Jahre lang mit gutem Erfolge in Betrieb gewesen und hat sich später auch an anderen Orten eingeführt, so z. B. bei amerikanischen Flußregulirungen und in neuester Zeit bei Regulirung der unteren Donau. Immerhin besitzt er aber insofern eine große Schwäche, als man bei seiner Verwendung die Arbeit nicht unterbrechen und das Arbeitsfeld nicht verlassen darf, so lange die Bohrung nicht beendet ist und die verbohrten Felsen nicht gesprengt sind; die unfertigen und noch nicht gesprengten Bohrlöcher werden anderenfalls in der Regel nicht wieder aufgefunden, sodafs die auf sie verwandte Arbeit vergeblich war. Am Rhein machte sich dieser Uebelstand um so mehr bemerkbar, je mehr im Laufe der Jahre der Schiffsverkehr zunahm und je mehr man nach Beseitigung der schwierigsten Schiffsfahrthindernisse dazu überging, auch in der bereits befahrenen Schiffsfahrtrinne Felsensprengungen auszuführen. Bei den hier zu beschreibenden neueren Arbeiten handelte es sich hauptsächlich um die Ausführung von Felsensprengungen innerhalb der bereits nutzbaren Fahrtrinne, und man hat daher bei diesen neueren Arbeiten den vorhandenen Dampfbohrapparat nicht mehr verwandt, obgleich er sich noch in gebrauchsfähigem Zustande befand.

Der Taucherschacht besitzt die geschilderten Nachteile nicht, weil hier die Arbeiter die zu verbohrenden Felsen unmittelbar vor Augen haben und so, wenn das Arbeitsfeld auch öfter verlassen werden muß, bei der Rückkehr die angefangenen Bohrlöcher stets ohne Schwierigkeit wieder auffinden können. Der Bohrbetrieb kann also hier ohne jegliche Störung der Schiffsahrt mit verhältnißmäßig geringen Arbeitsverlusten durchgeführt werden. Bis gegen das Ende der achtziger Jahre wurden in den Taucherschächten die Felsen von Hand, ohne Anwendung von Maschinen verbohrt. Da bis dahin die Felsensprengungen nur in geringem Umfange betrieben worden sind, mochte ein derartiger Betrieb mit einfachsten Mitteln zweckmäßig gewesen sein; dagegen war es unzweifelhaft, daß für die nunmehr geplanten großartigen Sprengarbeiten vollkommenere Einrichtungen geschaffen werden mußten. Daher wurde im Jahre 1889 einer der Taucherschächte versuchsweise mit zwei leichten Stofsbohrmaschinen ausgerüstet, wie solche heutzutage beim deutschen Bergbau ziemlich allgemein in Gebrauch sind. Die Maschinen waren unmittelbar über den zu verbohrenden Felsen angebracht, zu ihrem Antrieb wurde Pressluft verwandt, weil solche ja doch erforderlich war, um den Schacht wasserfrei zu erhalten.

Diese neue Bohreinrichtung bewährte sich sehr gut, und daher wurden im Winter von 1889 auf 1890 auch die beiden anderen Taucherschächte mit der gleichen Einrichtung versehen; außerdem entschloß man sich, noch einige weitere Taucherschächte zu beschaffen. Bei Aufstellung der bezüglichen Bauentwürfe ging man von der Auffassung aus, daß die vorhandenen Schächte für die vortheilhafte Bearbeitung größerer Felsflächen zu klein seien. Der Flächeninhalt des Arbeitsraumes über den zu verbohrenden Felsen betrug bei denselben nur 7,6 bis 8,3 qm, sodafs daselbst nur je zwei Bohrmaschinen Aufstellung finden konnten; die neuen Schächte sind dagegen so vergrößert worden, daß sie eine Fläche von 25 qm überdecken und daß in jedem Schacht acht Bohrmaschinen angebracht werden konnten. Auch sind Maschinen zur Förderung des gesprengten Gesteins eingebaut worden. Der erste dieser größeren Taucherschächte wurde im Jahre 1890 mit einem Kostenaufwande von rund 250 000 \mathcal{M} erbaut und im Frühjahr 1891 in Betrieb gesetzt. Nachdem er sich während einer längeren Betriebszeit als durchaus geeignet für den vorliegenden Zweck erwiesen hatte, wurde im Jahre 1892 ein weiterer Schacht von der gleichen Größe und ähnlicher Einrichtung erbaut. Dieser letztere, der Taucherschacht Nr. V, seine Betriebsweise und die derzeitige Einrichtung des rheinischen Sprengbetriebes überhaupt sind in dem Jahrg. 1896 dieser Zeitschr. S. 97 u. f. sehr eingehend beschrieben worden, und es erübrigt daher, hier nochmals darauf einzugehen.

Gelegentlich einer Studienreise an die untere Donau, welche einige Beamte der Rheinstrombauverwaltung im Jahre 1892 unternahmen, lernten diese dort eine weitere Gattung von Maschinen kennen, die sich gleichfalls für den Baubetrieb in der Felsenstrecke des Rheins eignen; dies waren die bei Regulirung der Donau zwischen Moldova und Turn Severin verwandten Felsenbrecher. Diese zertrümmern das Gestein nicht unter Anwendung von Sprengstoffen, sondern lediglich durch den Stoß schwerer Eisenkörper. Dieses Verfahren ist nicht neu, man hat es am Rhein bereits in den fünfziger Jahren verwandt; wie aus dem Jahrgang 1868 der Zeitschr. f. Bauw. S. 547 hervorgeht, wurde hier ein 500 Pfund schwerer eiserner Stampfer nach Art einer Ramme durch Menschenkraft in Bewegung gesetzt und damit das Gestein zertrümmert. Als man zu Anfang der sechziger Jahre in dem Dampfbohrapparate und dem Taucherschachte leistungsfähigere Maschinen erfunden hatte, setzte man den Felsenstampfer außer Betrieb. Später ist das Verfahren von dem englischen Maschinenfabricanten Löbnitz bei der Erbauung des Suez-Canals wieder aufgenommen worden. Der Löbnitzsche Apparat war mit mehreren eisernen Felsenstampfern versehen und auch bereits für Dampfbetrieb eingerichtet. Immerhin aber war auch er noch nicht so durchgebildet, daß er den Anforderungen unserer Zeit hätte vollständig genügen und den Wettbewerb mit der Sprengarbeit hätte aufnehmen können. Das Verdienst einen besseren Apparat hergestellt zu haben, gebührt dem Maschinenfabricanten Luther in Braunschweig. Er hat für die von ihm in Gemeinschaft mit der Berliner Discontogesellschaft übernommenen Felsenarbeiten an der unteren Donau drei solcher Maschinen erbaut. Diese arbeiteten in der Donau mit recht gutem Erfolge, und es war unzweifelhaft, daß sie sich auch für die Felsenstrecke des

Rheins eignen würden, vorausgesetzt, daß ihnen die zum Ausweichen vor den Schiffen erforderliche Beweglichkeit gegeben würde. Im Jahre 1894 wurde daher ein solcher Apparat mit einem Kostenaufwande von 232 351 \mathcal{M} für die Rheinregulirung beschafft.

Luther hat seinen Felsenbrecher im Gegensatz zu dem Löbnitzschen Apparat mit nur einem Stampfer ausgerüstet, diesem dafür aber ganz namhafte Abmessungen und ein sehr bedeutendes Gewicht gegeben, um in solcher Weise eine möglichst hohe Leistungsfähigkeit herbeizuführen. Der Stampfer ist an seinem unteren Ende schneidenförmig zugespitzt und hat die Form eines Meißels. Mittels einer an hohem Gerüste angebrachten Rolle und darüber laufender Kette wird dieser Meißel 3 bis 6 m hoch emporgezogen, er löst sich alsdann selbstthätig aus und stürzt mit großer Gewalt auf die darunter befindlichen Felsen nieder. Es liegt auf der Hand, daß bei einem derartigen Betriebe mit zunehmendem Gewichte die Wirkung sehr gesteigert werden kann. Am Rhein wird zur Zeit ein Meißel von rund 10 000 kg verwandt; er hat die in Text-Abb. 3 dargestellte Gestalt und ist aus einem weichen und zähen Flußseisen hergestellt, weil bei diesem Stoffe die Gefahr des Zerbrechens verhältnismäßig gering ist. Die Länge beträgt 9500 mm und die

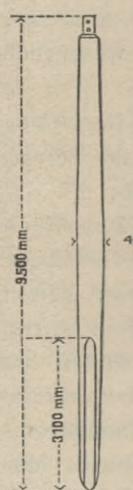


Abb. 3.
1:150.

größte Stärke 400/400 mm. Am unteren Ende ist eine 3100 mm lange und 150 mm starke Scheibe aus Tiegelstahl eingeschweißt, um der Spitze die nöthige Festigkeit zu geben und auch bei erfolgter Abnutzung die schneidenförmige Gestalt zu erhalten. Die ursprünglich von Luther gelieferten Meißel waren kürzer und leichter; die größere Länge hat sich als zweckmäßig erwiesen, weil bei der Bearbeitung der Felsen der Meißel sich rasch abnutzt und mit der Zeit so kurz wird, daß er beim Einsinken in die Flußsohle nicht mehr weit genug aus dem Wasser herausragt, um noch gefaßt und gehoben zu werden, zumal bei mittleren und höheren Wasserständen. Im rheinischen Schiefergebirge verliert der Meißel nach den seither gemachten Erfahrungen bei 20stündiger Arbeitszeit täglich 6 bis 10 mm an Länge, sodafs also die eingeschweißte Stahlschneide ungefähr ein Jahr lang ausdauert. Der Verschleiß ist dadurch etwas vermindert worden, daß man bei Beschaffung neuer Meißel diese am unteren Ende allmählich verstärkt hat; je mehr Material man hier anhäuft, desto länger dauert es natürlich, bis dasselbe abgearbeitet ist. Der zur Zeit im Gebrauch befindliche Meißel ist am Ende 340/340 mm stark, und eine weitere Verstärkung wird sich vermuthlich als vortheilhaft erweisen. Von einer näheren Beschreibung der ganzen Einrichtung des Felsenbrechers kann hier Abstand genommen werden, weil solche in anderen Veröffentlichungen schon mehrfach stattgefunden hat, so z. B. im Jahrg. 1895 der Zeitschrift deutscher Ingenieure. Es mag hier nur noch bemerkt werden, daß das eiserne Trageschiff, auf dem die ganze Einrichtung ruht, 60 m lang und 12 m breit ist, und daß das Gerüst, an dem der Meißel aufgehängt ist, sich 13,95 m über den Wasserspiegel erhebt. Die sehr bedeutenden Abmessungen des Schiffskörpers sind für erforderlich gehalten worden, um dem Apparate die bei der Arbeit nothwendige

ruhige Stellung zu geben. Hierauf wird außerdem hingewirkt durch die starke Verankerung des Schiffes; von diesem gehen nämlich aufser der stromaufwärts liegenden Hauptankerkerette nach jeder Seite zwei Seitenankerkeretten aus, sodafs also der Apparat zwischen diesen fünf Ketten fest verspannt ist. Die sämtlichen fünf Ketten werden von einer Dampfwinde aus in Bewegung gesetzt.

Am Rhein ist der Felsenbrecher bis jetzt nur zur Zertrümmerung von Schieferfelsen von mittlerer Härte verwandt worden, da in dem festen Quarzitgestein die vorhandenen Taucherschächte ohne Zweifel vortheilhafter arbeiten. In dem Schieferfelsen sind die Leistungen des Felsenbrechers recht gute, es kommt öfter vor, dafs der Meißel hier bei dem ersten Schlage um 50 cm und mehr in den Felsen einsinkt. Meistens aber mufs mehrmals zugeschlagen werden, um eine solche Tiefe zu erreichen. Während der Arbeit geht der Felsenbrecher quer über den Strom, indem er sich hierbei genau in einer Linie hält, die am Ufer durch Stangen bezeichnet ist; und zwar rückt er hierbei, wenn an einem Punkte die erstrebte Tiefe erreicht ist, in der Regel um 50 cm seitwärts; wenn das Gestein sich leicht zerschlägt, wohl auch etwas weiter.

Ist ein Gang über die zu beseitigende Felsfläche beendet, so geht der Apparat um dasselbe Mafs wie bei der Seitwärtsbewegung stromaufwärts, und es beginnt ein neuer Gang. Die Entfernungen vom Ufer werden dabei mit dünnen Drahtseilen gemessen. Nach obigem wird in jeder einzelnen Stellung eine Fläche von ungefähr 0,25 qm zerschlagen, und dabei vermag der Felsenbrecher, wenn der Betrieb ohne Störung von statten geht, stündlich 100 bis 120 Schläge auszuführen.*) Je nach der Anzahl der Schläge, die auf jeder einzelnen Stelle durchschnittlich erforderlich sind, läst sich hieraus die tägliche Leistung, in Quadratmetern ausgedrückt, berechnen. Thatsächlich treten aber vielfach Störungen im Betriebe ein, hauptsächlich durch den Schiffsverkehr, ferner bei der häufig erforderlichen Verlegung der Ankerkeretten, bei kleineren Maschinenausbesserungen und dergleichen mehr. Die durchschnittliche Tagesleistung auf dem Rhein kann bei Schiefergestein von mittlerer Härte und geringer Höhe (10 bis 30 cm über Normalsohle) zu 150 qm angenommen werden. Dabei wird, ebenso wie beim Taucherschacht, auch während der Nacht gearbeitet, und zwar in zwei Arbeitsschichten täglich 20 Stunden lang. Ferner wird der Betrieb so geregelt, dafs der Meißel mindestens bis 30 cm unter Normalsohle in den Felsen eindringt, weil sonst die Bagger den Steinschutt nicht bis zur erforderlichen Tiefe abräumen können.

Was nun die Frage angeht, in welchem Verhältnifs die Arbeitsleistungen des Felsenbrechers zu denjenigen des Taucherschachtes stehen, so ist zu bemerken, dafs der erstere den

*) Neuerdings hat die Bauunternehmung von Grün und Bilfinger in Mannheim für die im oberen Main stattfindenden Felsarbeiten einen leichteren Felsenbrecher erbaut, bei dem der Meißel nur 2500 kg wiegt, und die zum Heben desselben erforderliche Kraft durch Druckwasser übertragen wird, das man in einem Accumulator ansammelt und auf 60 Atmosphären preßt. In solcher Weise ist es gelungen, den Meißel in der Minute sechs Schläge ausführen zu lassen, also dreimal so rasch zu arbeiten, wie mit dem Lutherschen Apparat. Es wird wohl kaum angängig sein, dem schweren Meißel des letztgenannten Felsenbrechers dieselbe Geschwindigkeit zu ertheilen, aber immerhin ist es wahrscheinlich, dafs auch sein Betrieb in solcher Weise beschleunigt und verbilligt werden kann.

letzteren keineswegs zu ersetzen vermag; der Taucherschacht wird nach wie vor der vielseitigste und wichtigste Apparat für die Regulirung der Felsenstrecke bleiben. Dagegen ergänzen sich die beiden Vorrichtungen in einer sehr glücklichen Weise. Das vortheilhafte Arbeitsfeld für den Felsenbrecher bildet weiches Gestein, wenn dieses die Normalsohle in ausgedehnten Flächen und geringer Mächtigkeit überragt. Zwar ist auch hier die thatsächliche Tagesleistung des Taucherschachtes gröfser, aber trotzdem arbeitet der Felsenbrecher etwas billiger, weil seine Betriebskosten geringer sind. Der Taucherschacht bedarf einer zahlreicheren Bemannung und verursacht grofse Kosten durch den Verbrauch von Sprengstoffen, Zündern und Bohrstahl, sowie durch die Unterhaltung der Bohrmaschinen; demgegenüber ist der Verschleifs des Meißels beim Felsenbrecher als wenig kostspielig zu bezeichnen. Allerdings haben seither bei dem Felsenbrecher infolge von Beschädigungen der Maschinen bedeutend gröfsere Betriebsstörungen stattgefunden, als bei den Taucherschächten, wodurch die Gesamtleistung des Felsenbrechers wesentlich vermindert wurde; dem kann aber durch Verbesserung der Bauart ohne Zweifel abgeholfen werden, auch ist in dieser Hinsicht schon manches geschehen. Sehr gut sind die Leistungen des Felsenbrechers insofern, als er das Gestein in der Regel schon bei der ersten Bearbeitung so vollständig zertrümmert, dafs bei der Baggerung des Steinschuttes fast überall die Normalsohle erreicht wird. Beim Sprengen der Felsen mit Dynamit ist die Arbeit in der Regel nicht so sauber; weil das schieferige Gestein in der Felsenstrecke im allgemeinen fast senkrecht geschichtet ist, kommt es vor, dafs die Schufstrichter sehr steilwandig ausreißen, und es bleiben alsdann, auch wenn man die Bohrlöcher verhältnismäfsig nahe aneinander setzt, Gesteinsreste stehen, die die Normalsohle überragen, sodafs also eine nochmalige Bearbeitung der betreffenden Stellen erforderlich ist. Dieser Uebelstand hat sich sowohl bei dem Taucherschacht, bei dem die Bohrlöcher gruppenförmig nebeneinander gesetzt werden, gezeigt, wie auch bei dem früher verwandten Dampfbohrapparat, wo die Bohrungen meistens reihenförmig angeordnet wurden. Den Vorzug vor der Sprengarbeit verdient die Verwendung des Felsenbrechers auch da, wo die schädlichen Felsen mit Kies überlagert sind. Wegen der vielen Unebenheiten in der Oberfläche der Felsen gelingt es hier nur in den seltensten Fällen, durch Baggerung das Gestein frei zu legen, sodafs dies im Taucherschachte von Hand geschehen mufs, was sehr viel Zeit erfordert; auch wird die Bohrarbeit dadurch erschwert, dafs das zwischen dem unteren Rande des Schachtes und der unebenen felsigen Flufssohle durchströmende Wasser die leichteren Kiestheile in Bewegung setzt und so die Bohrlöcher zur Versandung bringt. Noch günstiger für den Felsenbrecher gestaltete sich das Verhältnifs an solchen Stellen, wo wegen der Nähe von Gebäuden der Taucherschacht mit nur ganz schwachen Sprengladungen arbeiten durfte, was in der Felsenstrecke sehr zum Nachtheile des Baubetriebes vielfach der Fall war. Endlich sind auch diejenigen Arbeitsfelder für den Felsenbrecher ganz besonders geeignet, auf denen schon früher Sprengungen ausgeführt worden sind. Während nämlich hier das in seinem Gefüge bereits gelockerte Gestein während der Bohrung öfters in sich zusammenfällt und so die

Bohrarbeit erschwert wird, arbeitet der Felsenbrecher bei der geringeren Festigkeit des Gesteins mit um so besserem Erfolge. Seine Leistungsfähigkeit vermindert sich dagegen sehr rasch, sobald die Härte des zu beseitigenden Gesteins zunimmt; auch können alsdann erfahrungsgemäß des öfteren Meißelbrüche eintreten. Abgesehen von den entstehenden Unkosten würde hierdurch, wenn der Apparat im Fahrwasser liegt, unter Umständen eine Gefährdung der Schifffahrt veranlaßt werden, weil der Fall eintreten kann, daß der zerbrochene Meißel von der Fangvorrichtung nicht mehr gefaßt werden kann und daß er dann den Felsenbrecher verhindert, seine Stelle zu verlassen und den ankommenden Schiffen auszuweichen. Bei der Sprengarbeit ist die zunehmende Härte des Gesteins viel weniger nachtheilig; wenn sich auch die Bohrleistung an sich vermindert, so ist andererseits die Sprengwirkung eine um so bessere, weil mit der Härte des Gesteins auch seine Sprödigkeit wächst. In dem festen Quarzit sind daher, wenn durch die örtlichen Verhältnisse die Anwendung starker Dynamitladungen gestattet wurde, viel weniger Nacharbeiten erforderlich gewesen, als im weicheren Schieferfelsen. Auch mit wachsender Höhe des zu beseitigenden Gesteins nimmt die Leistungsfähigkeit des Felsenbrechers rasch ab; wenn der Meißel auf ein und derselben Stelle öfter zuschlagen muß, verliert er beim Durchdringen des bereits vorhandenen Steinschuttes einen Theil seiner Kraft, bevor er auf den festen Felsen stößt, und so tritt sehr bald eine Grenze ein, bei der die Wirkung überhaupt aufhört. Unvortheilhaft arbeitet der Apparat auch an solchen Stellen, wo das zu beseitigende Gestein nicht in größeren zusammenhängenden Flächen ansteht, sondern vereinzelte Felsspitzen zu beseitigen sind, wie das im Rhein vielfach vorkommt. Während hier der Taucherschacht die betreffenden Stellen mit versenktem Schachte befährt und so jede Felsspitze in kürzester Zeit gefunden und mit dem Schachte überdeckt werden kann, arbeitet der Felsenbrecher sehr unsicher, und das Gestein muß daher auf viel umfangreicheren Flächen zerschlagen werden, als der vorliegende Zweck es eigentlich erfordert. An solchen Stellen, wo die Schifffahrt ein sehr häufiges und rasches Ausweichen erforderlich macht, wird die Arbeit dadurch erschwert und unter Umständen sogar gefährlich, daß der Apparat nicht besonders beweglich ist. Eine Verbesserung in dieser Richtung hat insofern schon stattgefunden, als der Winde, welche die Seitwärtsbewegung bewirkt, nachträglich ein rascherer Gang gegeben wurde. Bei entsprechender Aenderung der betreffenden Maschine könnte in dieser Beziehung wohl noch mehr geschehen, jedoch wird man dem Felsenbrecher keineswegs dieselbe Beweglichkeit wie dem Taucherschachte geben können. Der letztere wird nämlich von seinen sämtlichen Ankerketten nur am Vorderschiff gefaßt, er kann also, wenn er ausweichen soll, mittels des Steuerruders schräg gegen den Strom gestellt werden und giert dann unter der Einwirkung der Stromkraft rasch zur Seite, während die Ankerwinden eigentlich leer laufen und nur die Ketten aufwinden bzw. ablaufen lassen. Die Betriebsweise des Felsenbrechers dagegen bedingt es, daß sowohl das Vorderschiff als auch das Hinterschiff zwischen Seitenketten eingespannt ist und daß also der Apparat seine Richtung gegen den Strom nicht ändern kann; in Folge dessen muß er mittels der Ankerketten

seitwärts gezogen werden, und zwar häufig gerade nach der Seite hin, von der aus der Druck des Stromes auf ihm lastet. Aus diesen Gründen ist der Felsenbrecher in der Regel nur an solchen Stellen verwandt worden, wo verhältnißmäßig wenig Störungen durch die Schifffahrt vorkamen und wo er insbesondere der Thalfahrt, der rasch ausgewichen werden muß, möglichst wenig im Wege lag. An manchen Orten mußte auch deshalb von seiner Verwendung abgesehen werden, weil unmittelbar neben den zu beseitigenden Felsen die Flußsohle zu namhafter Tiefe abfiel, und weil deshalb der Verlust des Meißels befürchtet werden mußte. Der Taucherschacht besitzt ferner den Vorzug, daß er bei geringeren Felsmassen, wo es nicht der Mühe verlohnt, einen Bagger an Ort und Stelle zu verlegen, gleichzeitig auch die Förderung des gesprengten Gesteins übernimmt und daß er, wenn der Schacht in Normalsohlentiefe gesenkt wird, dieselbe Arbeit verrichten kann, wie der Peilrahmen, sodas man sich also nach Beendigung der Spreng- und Räumungsarbeit sofort überzeugen kann, ob die erstrebte Tiefe überall erreicht ist. Er leistet endlich sehr gute Dienste bei der Sprengung gesunkener Schiffe, beim Ausziehen alter Brückensäulen, bei Verankerung von Bojen und Brückenschiffen in der Flußsohle und bei anderen Arbeiten dieser Art.

Bis zum Jahre 1890 war das gesprengte Gestein vorzugsweise durch die Taucherschächte abgeräumt worden. Da es sich damals nur um die Beseitigung geringfügiger Massen handelte, war auch die Fördereinrichtung der Taucherschächte eine höchst einfache; mittels einer Handwinde wurde der Steinschutt in kleinen Eimern, welche ein Mann tragen konnte, aus dem unter Wasser liegenden Arbeitsraume des Schachtes in die Höhe gehoben und durch die Luftschleusen hindurch nach außen geschafft. Für die bedeutenden Felsmassen, die bei der neuen Regulierung zu bewältigen waren, mußten selbstverständlich vollkommenere Fördereinrichtungen geschaffen werden. So wurden zunächst bei dem im Jahre 1890 erbauten Taucherschachte IV die Fördereimer auf einen Fassungsraum von 0,14 cbm vergrößert, und zum Heben derselben zwei mit Preßluft betriebene Winden angebracht; die Beförderung der Eimer aus der oberen Abtheilung des Schachtes ins Freie erfolgt mittels einer Hängebahn. Der im Jahre 1892 erbaute Taucherschacht V wurde weiterhin verbessert und mit zwei Aufzügen von 0,60 cbm Fassungsraum versehen, die ihren Inhalt selbstthätig in besonders angeordnete Förderschleusen ausschütten. Man hatte ferner für die Baggerarbeit bereits Ende der achtziger Jahre einen Greifbagger beschafft, und da sich dieser gut bewährte, wurden später noch zwei weitere derartige Apparate erbaut. Es zeigte sich bald, daß mit diesen Baggern auch die verbesserte Fördereinrichtung der Taucherschächte nicht in Wettbewerb treten konnte. Die mittlere Tagesleistung eines Greifbaggers bei 20 stündiger Arbeitszeit betrug im Quarzitgebirge 30 bis 35 cbm und im Schiefergebirge gegen 50 cbm. Die Taucherschächte vermochten derartige Massen nicht zu bewältigen, und dabei waren ihre Betriebskosten ungefähr $2\frac{1}{2}$ mal so groß, ihre Beschaffungskosten sogar 7 mal so groß als diejenigen der Greifbagger. Nachdem einige Versuche, den Steinschutt mit Eimerbaggern zu fördern, einen günstigen Verlauf genommen hatten, und da auch anderwärts in dieser Richtung günstige Erfahrungen gemacht worden waren, ging man im Jahre

1894 zu dieser Betriebsweise über. Zu diesem Zwecke wurden zwei kräftige Eimerbagger, die sich im Besitze der Rheinstrombauverwaltung befanden, mit einem Kostenaufwande von 140938 Mark vollständig umgebaut und ganz wesentlich verstärkt. Diese beiden Apparate haben sich in der Folge vorzüglich bewährt; die tägliche Leistung eines solchen beträgt in gesprengtem Schiefergestein bei zehnstündigem Betriebe im Durchschnitt gegen 150 cbm und hat sich auf günstigen Arbeitsfeldern gelegentlich bis über 400 cbm gesteigert. Dabei ist der Betrieb auch insofern ein günstiger, als die Eimer bei der Arbeit den Steinschutt vor sich herschieben, wobei es öfters vorkommt, dafs namhafte Massen unmittelbar in die neben den abzuräumenden Felsen befindlichen gröfseren Tiefen abstürzen. Unter solchen Umständen schreitet die Arbeit im Vergleich zu früher außerordentlich rasch fort, und daher werden jetzt bei der Felsenbaggerung in der Regel nur noch die beiden verstärkten Eimerbagger benutzt, während die Greifbagger anderwärts im Bereiche der Rheinstrombauverwaltung Verwendung finden. Daneben fördern auch die Taucherschächte gesprengtes Gestein, wenn es sich um so geringe Massen handelt, dafs es nicht der Mühe lohnt, einen Bagger an Ort und Stelle zu verlegen. Da sich in denjenigen Stromstrecken, in denen zur Zeit gearbeitet wird, fast überall in der Nähe der Sprengfelder gröfsere Tiefen befinden, in denen man den Steinschutt ohne Bedenken verströmen kann, so ist man seit einigen Jahren dazu übergegangen, die Förderung nicht mehr auf dem umständlichen Wege durch die Luftschleusen vorzunehmen, sondern es wird in der unteren Abtheilung des Schachtes aus Bohlen eine Ladebühne hergerichtet, auf ihr das Gestein abgelagert und, nachdem der Schacht an die Abladestelle gefahren ist, unmittelbar in die Tiefe verströmt. In solcher Weise ist die Förderleistung der Schächte wesentlich verstärkt worden. An manchen Stellen auch, wo das Schiefergestein zu feinem Schutt zerschossen worden war, konnte es in der Weise in die benachbarten Tiefen geschoben werden, dafs man mit gesenktem Schachte einigemal über das Sprengfeld hin und her fuhr.

Die beseitigten Felsen bestanden in der oberen Strecke von Bingen bis Lorch aus einer sehr quarzreichen Grauwacke, dem sogenannten Quarzit, weiter abwärts aus Kieselschiefer. Daneben kamen hier und da auch Thonschiefer vor, besonders in der Gegend von Caub. Sämtliche Gesteine gehören der Devon-Formation an. Der Kieselschiefer war im allgemeinen von ziemlich grofser Festigkeit, der Quarzit von einer außerordentlichen Härte, der Thonschiefer dagegen weicher. Fast überall war das Gebirge mehr oder weniger von ziemlich starken Quarzadern durchzogen, deren Bearbeitung natürlich besonders schwierig war. Von solchen Gesteinen wurden in der Zeit vom 1. April 1890 bis zum 30. Juni 1898 196899,57 cbm gesprengt und abgeräumt. Auferdem sind vor dem Jahre 1890 bereits 60647 cbm beseitigt worden, sodafs sich die Gesamtleistung am 30. Juni 1898 auf 257546,57 cbm belief. Zur Zeit lagern ferner noch gegen 30000 cbm gesprengten Gesteins im Wasser und harren der Baggerung. An Kies, Gerölle und schweren Steinen wurden seit 1890 206513,14 cbm geräumt. Die angegebenen Zahlen bezeichnen die geförderten Massen in aufgelockertem Zustande.

Für diese Arbeiten sind seit dem Jahre 1890 verausgabt worden

1. an Arbeitslöhnen, für Betriebsmaterialien, Unterhaltung von Maschinen und Geräthen, kurz für alles, was zu dem eigentlichen Baubetriebe gehört	2443990,09 M.
2. für Neubeschaffung von Maschinen, Fahrzeugen und dergleichen	1198914,31 „
3. für Vermessungsarbeiten, Bauleitung und Bauaufsicht	316960,52 „
Zusammen	3959864,92 M.

Die Kosten, die für das Sprengen und Abräumen von 1 cbm Fels aufgewandt werden mußten, berechnen sich hieraus wie folgt:

Die Baggerung von Kies, Gerölle und Steinen hat gegen 300000 M gekostet, die von dem Betrage unter 1. abzusetzen sind. Da seit dem Jahre 1890 196899,57 cbm gesprengten Gesteins gebaggert worden sind und da zur Zeit noch gegen 30000 cbm Steinschutt im Strome lagern, berechnen sich für 1 cbm Stein die unter 1. angegebenen Kosten des eigentlichen Baubetriebes zu

$$\frac{2443990,09 - 300000,00}{196899,57 + 30000,00} = 9,45 \text{ M.},$$

ferner die Kosten für Neubeschaffung von Maschinen u. s. w. zu

$$\frac{1198914,31}{196899,57 + 30000,00} = 5,28 \text{ M.}$$

Diese Maschinen befinden sich heute noch durchweg im besten Zustande. Darunter sind fünf Bagger, zwei ziemlich kräftige Schraubenboote, sowie zahlreiche Baggerprähme, Kohlennachen und Fahrnachen, die die Rheinstrombauverwaltung auch künftig sehr gut verwenden kann. Auch die Taucherschächte und der Felsenbrecher werden zum Theil jedenfalls weitere Verwendung finden; war doch der Bedarf nach solchen Apparaten seither schon im ganzen Bereiche der Rheinstrombauverwaltung ein so grofser, dafs fast stets einige derselben auferhalb der Felsenstrecke im Betrieb waren. Die für Beschaffung dieser Maschinen aufgewandten Kosten sind also hier nicht ganz in Rechnung zu stellen, sondern höchstens mit der Hälfte ihres Werthes. Unter dieser Voraussetzung berechnen sich die Kosten für das Sprengen und Abräumen von 1 cbm Fels zu $9,45 + 2,64 = 12,09$ M. Bei Beurtheilung dieses Preises ist zu berücksichtigen, dafs die Arbeit durch mancherlei Umstände sehr erschwert wurde, nämlich durch die sehr lebhaftes Schiffahrt, die durch die Regulierungsarbeiten nicht behindert werden durfte, die dagegen ihrerseits sehr viele Störungen im Baubetriebe herbeiführte, — ferner durch die zahlreichen am Strome gelegenen Ortschaften und Gebäude, die vielfach die Anwendung kräftiger Sprengladungen unmöglich machten, — durch die grofse Härte der Felsen und die fast senkrecht gerichtete Schichtung derselben, — durch die reifsende Strömung, — und endlich durch die grofse Breite des Stromes, sowie das in ihm lagernde Tauerei-Drahtseil, wodurch die häufig erforderliche Verlegung der Apparate und ihrer Verankerung erschwert und verzögert wurde. Es ist ferner zu berücksichtigen, dafs nicht aller Steinschutt zu Tage gefördert worden ist, sondern

ein namhafter Theil desselben bei der Sprengung sowohl, als auch bei der Baggerung durch Absturz in die Tiefen verloren ging.

Die Regulirung der Felsenstrecke ist infolge der geschilderten Arbeiten nunmehr so weit vorgeschritten, daß die erstrebte Fahrwassertiefe überall in mindestens 90 m Breite vorhanden ist. In der an Krümmungen reichen Strecke von Oberwesel bis St. Goar wird zur Zeit die Verbreiterung des Fahrwassers auf 120 m vorgenommen. Besonders günstig ist das Ergebniss der Regulirung am Bingerloch ausgefallen, indem daselbst neben der planmäßigen Vertiefung und Verbreiterung des Fahrwassers auch eine namhafte Verminderung

der Schiffswiderstände eingetreten ist. Während nämlich früher die Schlepptüge an dieser Stelle fast ausnahmslos Pferdervorspann nahmen, ist dies heutzutage nur noch bei den schwächeren Schleppdampfern der Fall. Diese Erscheinung dürfte hauptsächlich darauf zurückzuführen sein, daß unmittelbar oberhalb des Bingerloches der Wasserspiegel sich etwas gesenkt hat, und daß dadurch das stärkste Gefälle auf 300 m Länge bei 1,50 m am Binger Pegel von 1:600 auf 1:680 ermäßigt worden ist. Damit das vertiefte Fahrwasser von der Schifffahrt möglichst gut ausgenutzt werden kann, soll dasselbe demnächst in der ganzen Ausdehnung der Felsenstrecke mit Bojen bezeichnet werden.



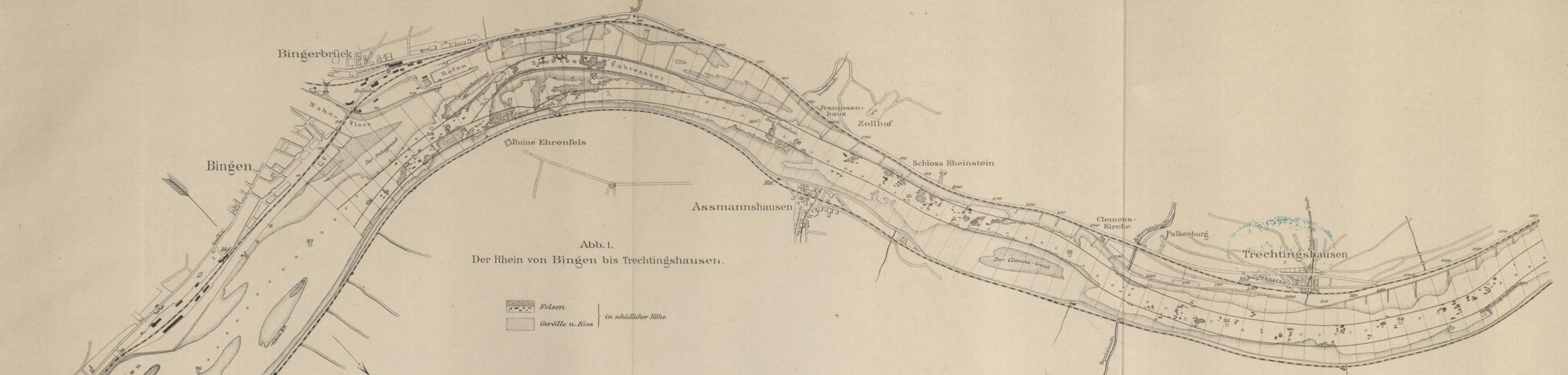


Abb. 1.
Der Rhein von Bingen bis Trechtingshausen.

Felsen
 Gerölle u. Kies

in shallüchlicher Tiefe

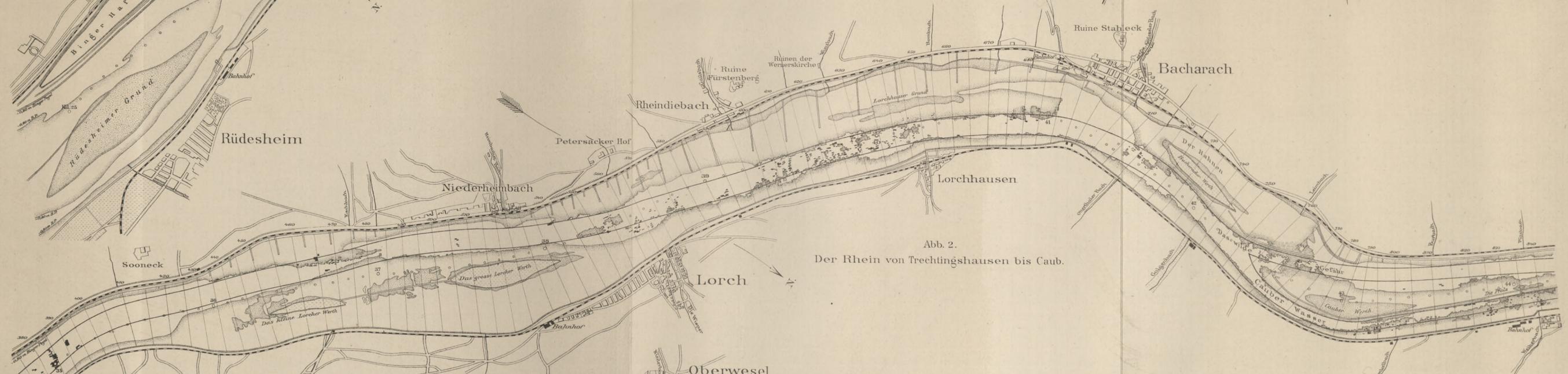


Abb. 2.
Der Rhein von Trechtingshausen bis Caub.

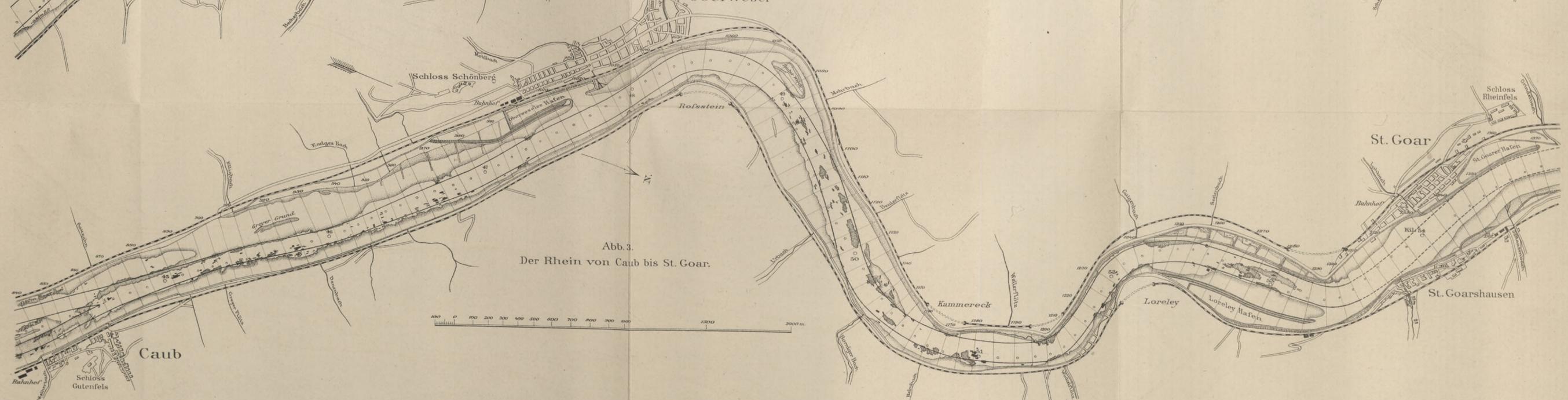


Abb. 3.
Der Rhein von Caub bis St. Goar.

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000 M.

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

IV 35176
L. inw.

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000302816