

INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND

DER

SCHIFFFAHRTS-KONGRESSE

XI. Kongress - St.-Petersburg - 1908

I. Abteilung : Binnenschifffahrt
1. Frage

ANLAGE VON WEHREN IN FLÜSSEN

mit stark wechselnden Wasserständen und gegebenenfalls mit starker Eisführung, bei Berücksichtigung der Interessen der Schifffahrt und der Industrie.

BERICHT

VON

C. CIPOLLETTI

Ingenieur

NAVIGARE



NECESSE

BRÜSSEL

BUCHDRUCKEREI DER ÖFFENTLICHEN ARBEITEN (GES. M. B. H.)

169, rue de Flandre, 169



I-354411

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000317115

Die hauptsächlichsten Bedingungen, die eine gute Schiffahrtsstrasse charakterisieren, sind die Wassertiefe und die Beschränkung der Geschwindigkeit. Wenn der Fluss regellos in mehrere Arme geteilt dahinfließt, so tritt die Erscheinung ein, dass die nötige Tiefe zu fehlen beginnt, trotz des Wasserüberflusses; oft auch kommt es vor, dass zwei ziemlich lange Flussabschnitte mit mässiger Neigung durch eine ziemlich kurze Stromschnelle und schwierig zu überwindende Stellen getrennt sind. Abgesehen von diesen Sonderfällen, tritt immer der Fall ein, dass die Verhältnisse um so ungünstiger werden, je weiter man den Flusslauf hinaufsteigt; die Wassermenge wird geringer, während das Gefälle zunimmt. Beide Ursachen zusammen bewirken es, dass die Wassertiefe abnimmt und zwingen zur Verwendung kleinerer Schiffe; gleichzeitig hat die zweite dieser Ursachen einen direkten Einfluss auf die Geschwindigkeit des Wassers; sie vermehrt die Schwierigkeiten und die Kosten der Schlepsschiffahrt.

Man sucht diese natürlichen Schwierigkeiten durch zwei wohl bekannte Systeme zu überwinden, nämlich entweder durch fortlaufende Verbesserungen des Flussbettes in der Längsrichtung oder durch nicht miteinander in Verbindung stehenden Querkorrekturen. Anders ausgedrückt, man verbessert den ganzen Flusslauf, durch Beschränkung des Flussbettes im unteren Teil, sodass die Tiefe vergrössert wird; diese Methode führt den Uebelstand mit sich, dass die Geschwindigkeit vermehrt wird; sie hat indessen den Vorzug, den Wasserweg frei zu halten; man kann auch den Fluss in gewissen Abständen durch Bauten sperren, die ihn in mehrere Haltungen mit sehr schwachem Gefälle teilen; es ergibt sich daraus ein grosser Vorteil, sowohl hinsichtlich der Tiefe wie der Geschwindigkeit des Wassers, dabei macht sich indessen der Uebelstand bemerkbar, dass die Schiffahrtsstrasse so viel Mal unterbrochen wird, als Schleusen nötig sind, um die durch diese Wehre hervorgebrachten Höhenunterschiede zu überwinden.

Wenn ein Fluss ein geringes Gefälle mit reichlicher Wasserführung hat, und wenn die Schwierigkeiten nur aus dem Zustand seines zu breiten und zu viel Biegungen aufweisenden Bettes hervorgehen, so ist das einzige sichere Mittel die fortlaufende Kanalisation seines Laufes mit doppeltem Querschnitt, einem für Niedrig- und einem für Hochwasser. Hängen die Schwierigkeiten von einer kurzen Stromschnelle ab, welche Flussabschnitte mit geringem Gefälle trennt, so können ein oder mehrere Wehre oder auch ein Seitenkanal mit Schleusen von Nutzen sein.

Wenn endlich, je weiter man den Fluss hinaufkommt, die Schifffahrt immer schwieriger wird, aus Mangel an Tiefe und infolge zu grosser Geschwindigkeit der Strömung, so ist leicht begreiflich, dass das einzige wirksame Mittel die Anwendung aufeinanderfolgender Wehre ist, die es ermöglichen, die beiden Schwierigkeiten mit einem Male zu bekämpfen.

Es giebt indessen einen speziellen Fall, der verdient, besonders behandelt zu werden, weil er zu Erörterungen führen könnte. Dieser Fall tritt ein, wenn es sich um einen Fluss mit starker gleichmässiger Wasserführung handelt, mit mässigem Gefälle, aber mit einem durch seine Anschwemmungen scharf begrenzten und eingedeichten Bette. Es ist klar, dass in diesem Falle Verbesserungen nur geduldet werden können, wenn sie sich auf einzelne Punkte beschränken, um irgend eine Erweiterung zu beseitigen, oder eine zu starke Krümmung zu verbessern; man kann sie aber nicht im Grossen in fortlaufender Weise auf langen Flussabschnitten ausführen, ohne das Verhalten des Flusses bei Hochwasser schwer zu schädigen. Durch die Herstellung seitlicher Dämme, die ein enges Niedrigwasserbett soweit einschränken können, als nötig ist, um die Wassertiefe gehörig zu vermehren, wird das Profil für den Abfluss des Hochwassers um den Querschnitt dieser Dämme selbst vermindert; ausserdem kann, bei beweglicher Sohle, der Fluss nur in dem Teil des Bettes aufgewühlt werden, das zwischen den Dämmen liegt und das weniger breit sein wird als das erste Bett; das wird um so mehr der Fall sein, je breiter die Dämme sind; schliesslich wird der vom Wasser berührte Umfang des Querschnittes mit doppeltem einspringendem rechten Winkel ein grösserer sein als bei dem ursprünglichen Querschnitt bei gleicher Fläche; der mittlere Radius des Querschnittes und die Wassergeschwindigkeit werden also bei

sonst gleichen Verhältnissen geringer sein. Man sollte meinen, dass die durch die Dämme bewirkte Einengung des Flussbettes, die dem Wasser eine grössere Geschwindigkeit verleiht, eine genügende Auswaschung des Bodens hervorrufen kann, die wenigstens einen Ausgleich für die durch die Dämme eingenommene Fläche schafft. Das ist ein Trugschluss, der nicht stichhaltig ist, wenn man sucht, sich über die Folge der Erscheinungen klar zu werden, die in einem so behandelten Flussbett eintreten, wenn die Wassermenge zunimmt.

Wenn der Fluss wenig Wasser führt oder genauer, solange er zwischen den Dämmen bleibt, wird, wie ersichtlich ist, in dem verbesserten Bett die Geschwindigkeit des Wassers grösser sein als bei dem ursprünglichen Zustand; infolgedessen nimmt, wenn der Grund locker ist, die Wassertiefe zu; sobald aber das Wasser über die Dämme steigt und sie bedeckt hat, so ergibt sich infolge der plötzlichen Verminderung des mittleren Radius bei gleicher Wassermenge eine geringere Geschwindigkeit als vorher und die allmähliche Vertiefung des Flussbettes hört auf und kann schliesslich sogar in eine Anschwemmung übergehen. Es ergibt sich hieraus, wenn man annimmt, dass die Vertiefung des Bettes beständig von der Geschwindigkeit der Strömung abhängt und wenn man die Geschwindigkeiten und die Tiefen bei einem durch Eindeichung verbesserten Flusslauf mit denen vor der Regulierung vergleicht, eine grössere Wassertiefe und bedeutendere Auswaschungen unter den neuen Verhältnissen, als unter den ursprünglichen, solange das Wasser im Niedrigwasserniveau und bei normaler Strömung verbleibt; es wird sicher das Gegenteil eintreten zur Zeit des Hochwassers, die vom Standpunkte der Hydraulik die interessanteste ist.

Man kann hieraus schliessen, dass es zur Vergrösserung der Tiefe des schiffbaren Fahrwassers eines Flusses, dessen Bett zwischen seinen Anschwemmungen festgelegt ist, unmöglich ist, nach dem System zu verfahren, das man zur Verbesserung der in Krümmungen verlaufenden Flüsse anwendet, d. h., die Schaffung eines beschränkten Bettes für die Niedrigwasserführung.

Auszunehmen ist der Fall eines Flusses, dessen Ufer höher sind, als das Niveau des grössten Hochwassers, selbst nach der Regulierung, und der Fall, wo man ohne Gefahr dauerhafte Dämme bauen kann, die über dies Niveau reichen.

Wir wollen jetzt unter Beiseitelassung alles dessen, was die Regulierung der Schifffahrtsstrassen durch zusammenhängende Bauten betrifft, — eine Frage, die über unseren Gegenstand hinausgeht, — die zweite der beiden grossen Kategorien der schon erwähnten Arbeiten prüfen, das sind die, welche bezwecken, das Längsprofil des Flussbettes zu ändern, indem die fortlaufende Kurve durch eine Linie mit Stufen ersetzt wird, die aus einer Aufeinanderfolge fast horizontaler Haltungen bestehen, die von einander durch Schleusen getrennt sind. Das Gefälle jeder Haltung wird so um die Höhe des Schleusenfalles vermindert, aber andererseits schafft man ebenso viele Unterbrechungen der Schifffahrtsstrassen, als es Schleusen gibt.

Dieser Gedanke ist im Prinzip sehr alt. Vor langer Zeit schon brauchte man Querstaue im Flusslauf, die an einer oder mehreren Stellen Oeffnungen zum Durchlassen der Schiffe aufwiesen. Die Durchfahrt war nicht ohne Gefahr bei der Talfahrt und sehr schwierig bei der Bergfahrt.

Wenn es an Wasser mangelte, so staute man es in der oberen Haltung an und verstopfte die Oeffnungen im Stauwerk mittelst zeitweiliger Verschlüsse; wurden diese im günstigen Augenblick entfernt, so entstand ein starker Wasserabfluss, der den in der oberen Wasserhaltung wartenden Schiffen die Niederfahrt ermöglichte. So gelangten die Schiffe, indem man das Verfahren mehrmals wiederholte, in die unteren Haltungen. Dieses System « mit Schleusungen » ist vervollkommen worden; man hat versucht, eine leichtere und schnellere Oeffnung der Durchlässe zu erreichen; trotzdem war es immer primitiv, langwierig und unbequem, besonders bei der Bergfahrt.

Man benutzte dies System bis 1834, in welchem Jahre eine ebenso einfache, wie geistreiche Erfindung die Flusschifffahrt wesentlich umgestaltete. Ich meine das bewegliche Wehr, das der Ingenieur Poirée damals über die Yonne, bei Basseville, baute. Der Grundgedanke ist immer derselbe, nämlich die Aufstellung eines theils festen, theils beweglichen Stauwerkes quer zum Bett; der bewegliche Teil beschränkt sich aber nicht auf den Durchlass des älteren Systems, sondern geht über die ganze Breite des Bettes fort, und die beiden Haltungen stehen durch einen Seitenkanal mit Schleuse in Verbindung. Das Gerippe dieses beweglichen Teiles besteht aus eisernen Wehrrippen oder Wehrjochen, von trapezoidartiger Form, die sich um eine untere horizontale, parallel zur Strömung stehende

Achse drehen und in eine Vertiefung des Bodens niedergelegt werden können, in der sie vollkommen versteckt liegen; das eigentliche Wehr besteht aus einer Reihe von hölzernen Nadeln mit kleinem Querschnitt, die sich berührend und etwas schräg aufgestellt und am Fusse gegen einen Vorsprung des Bodens gestützt sind. Am oberen Ende lehnen sie sich an einen Laufsteg, der von einer Wehrrippe zur andern gebaut ist. Wenn man die Nadeln herausnimmt und die Wehrrippen niederlegt, kann man einen Teil des Profils, oder auch das ganze Profil zum Abfluss öffnen.

Diese Erfindung hat in der Binnenschifffahrt geradezu eine Umwälzung hervorgebracht. Die Möglichkeit, den Ausfluss des Wassers aus der oberen Haltung ununterbrochen zu regeln, zieht die weitere Möglichkeit nach sich, den Wasserspiegel des Stauwassers bis zur höchsten, durch die topographischen Verhältnisse des Tales erlaubten Grenze zu heben; die Unveränderlichkeit des Ausflussprofils erlaubt es, die Zahl der Stauwerke ohne Furcht vor ernstern Störungen im Hochwassergebiet zu vermehren; die Möglichkeit, dem Flusse während des Hochwassers sein ursprüngliches Gefälle wiederzugeben, sichert die Weiterleitung der mitgeführten Sinkstoffe, und schliesslich können die Schiffe immer mit Hilfe der nächsten Schleuse ebenso leicht stromauf, wie talwärts fahren.

Man darf aber nicht glauben, dass diese nützliche Neuerung nicht auch Nachteile gehabt hat, und dass sie von Anfang an allerwärts ohne Widerspruch und Streit angenommen und zugelassen worden ist. Man fürchtete, dass die von der Strömung mitgeführten Stoffe, und besonders das Treibeis, wenn es zwischen die Wehrrippen getrieben oder vor ihnen aufgehäuft ist, ihre Niederlegung in den schwierigsten Fällen unmöglich machen würden; man befürchtete, dass beim Nahen einer Hochflut es an Zeit fehlen würde, die Nadeln zu entfernen und die Wehrrippen niederzulegen; man befürchtete, dass der Wasserverlust zwischen den Nadeln so gross sein würde, dass der erwünschte Wasserspiegel nicht erreicht werden könnte, und besonders fürchtete man gefährliche Folgen der Verwendung dieser Sperren für die Wasserführung des Flusses. Wir können später mit Musse alle diese Nachteile prüfen und ebenso die Mittel zu ihrer Abhilfe.

Augenblicklich werde ich mich darauf beschränken, von einer grossen Schwierigkeit anderer Art zu sprechen, die sich

auf die Einfachheit des Baues und des Betriebes des Dammes von Poirée bezieht. Man wünschte, dass die ganze Bedienung mit der Hand, ohne Hilfe von Triebwerken erfolgte, daher wurden auch alle Abmessungen und das Gewicht des Bauwerkes nach der Kraft geregelt, die ein Arbeiter entfalten kann. Man bemerkte bald, dass die Nadeln, um ohne Gefahr gehandhabt werden zu können, keinen Druck von mehr als 9 oder 10 kg aushalten können, was ihre Länge auf wenig mehr als 3 m, mit einem Querschnitt von $0,08 \text{ m} \times 0,08 \text{ m}$ herabsetzte. Wenn man davon die Handhabe, den im Unterwasser liegenden Teil und die Neigung in Abzug bringt, bleibt in der Tat wenig nutzbare Höhe für den Stau oder Fall. Ich will diesen ersten Mangel durch ein Zahlenbeispiel erläutern.

Wegen des grösseren Wasserquerschnitts der oberen Haltung ist der Wasserspiegel bei Niedrigwasser und bei gewöhnlicher Wasserführung fast horizontal, und je mehr man den Fluss aufwärts geht, um so mehr vermindert sich die Tiefe, bis sie die für die Schifffahrtsstrasse zulässige untere Grenze erreicht. Wünscht man an dieser Stelle eine Weiterführung der Fahrstrasse mit der festgesetzten Tiefe, so wird man ein neues Wehr bauen müssen. Wenn zum Beispiel die Tauchtiefe auf 2 m festgesetzt ist, muss das nächste Wehr an die Stelle gesetzt werden, wo die Flusssohle sich in dieser Tiefe unter dem regulierten Wasserspiegel befindet : ein bewegliches Wehr von 3 m Höhe wird somit 2 m eingetaucht und giebt nur einen Fall von 1 m oder nur 1 m brauchbaren Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel oberhalb und dem unterhalb des Wehres. Wenn man das System anwenden wollte, ohne es zu verbessern, so hätte es in der Tat wenig Nutzen, weil in einem Flusse dessen Gefälle $0,025 \text{ m per m}$ beträgt, alle 4 km ein Wehr nötig wäre. In der Praxis vermeidet man diesen Uebelstand, indem man entweder den Schleusenboden etwas hoch über der Flusssohle anlegt, durch Ausheben und Unterhalten einer Fahrrinne durch Baggerungen unmittelbar bei der Schleuse oder indem man während des Niedrigwasserstandes nur Schiffe mit geringerem Tiefgang zulässt. Jedes dieser Mittel bringt aber neue Uebelstände mit sich, die seine Anwendung beschränken. Es ist leicht ersichtlich, dass man, wenn man in demselben Fluss ein Wehr von 4 m Höhe anstatt von 3 m erbauen könnte, durch diese Aenderung allein die Höhe des höher gelegenen Wasserspiegels verdoppeln würde ; man

brauchte dann nur halb so viel Wehre ; diese Zahl würde um zwei Drittel verringert, wenn die Höhe 5 m sein könnte. Diese Beobachtung allein genügt, um zu zeigen, welche Vorzüge die Wehre von grosser Höhe hinsichtlich der Kosten ihrer Herstellung wie des Schiffahrtsbetriebes auf einem regulierten Flusse haben.

Wie gesagt liegt die Schwierigkeit beim System Poirée darin, dass die Länge der Nadeln ihre Aufstellung mit der Hand und zwar ohne Gefahr zulassen muss. Bei den ersten beweglichen Stauwerken hat man sehr beschränkte Höhen verwendet ; zum Beispiel massen bei dem von Epinau (1838) die Nadeln 24,5 m in der Länge mit einem quadratischen Querschnitt von 0,06 m und einem Gewicht von 5 kg bei einem Höhenunterschied von 1 m bis 1,50 m. Als aber die Bedürfnisse einer besseren Schiffahrt die Ingenieure nötigten, die Fallhöhe zu vermehren, standen sie vor zahlreichen Schwierigkeiten wie der Inspektor De Mas in seinem *Cours de navigation intérieure* sagt : « zahlreiche Ingenieure verschwendeten geistige Arbeit auf der Suche nach der idealen Nadel ». Man liess nichts unversucht, man untersuchte die Eigenschaften des Holzes, die Form des Querschnittes ; man verminderte die Neigung, man fügte eine dritte Stützfläche hinzu ; die Ergebnisse befriedigten aber immer noch nicht, und man kam wenig vorwärts solange man darauf Wert legte, alle Bewegungen nur mit der Hand ausführen zu können.

Durch Verwendung verschiedener Hilfsmittel erreichte man im Jahre 1853 auf der belgischen Meuse die grösste Höhe und zwar mittelst der Kummer'schen Auslösevorrichtung, die schwer und gefährlich zu handhaben ist. Die Nadeln hatten eine Länge von 3,75 m ; es ergab sich eine Stauhöhe von 3 m über dem Boden mit einem nutzbaren Fall von 2,50 m.

Eine durchgreifende Aenderung wurde vom Inspektor Guillemain bei Roanne an der Loire eingeführt. Er versah jede Nadel mit einem eisernen Haken, der in der Höhe der oberen Stützstange befestigt war, und um den die Nadel selbst frei schweben konnte ; sie war dem Wasserdruck unterworfen, der sie ohne Hilfe des Wehrwärters an Ort und Stelle brachte. Um sie wieder herauszuheben, verwendete man eine kleine fahrbare Winde mit Zahnstange, die auf dem Laufsteg zur Verwendung kam. Auf diese Weise gelang es, 5,10 m lange Nadeln mit 4,40 m nutzbarer Höhe zu handhaben ; ihr Querschnitt war 0,125 m \times 0,125 m, ihr Gewicht 45 kg.

In Verfolgung des gleichen Zieles versuchte man mit mehr oder weniger Erfolg andere Aenderungen; man ersetzte die durch die vertikalen, oben und unten gestützten Nadeln gebildete Wand durch Schützen anderer Formen, die aber in ihren Abmessungen beschränkt waren, sich horizontal bewegten und sich an den Enden gegen zwei benachbarte Wehrrippen stützten; wir erhielten so die beweglichen unter dem Namen Rolltafelstauwände von Caméré bekannten Wehre und die Schützen von Boulé.

Das erste System wurde zum ersten Male im Jahre 1880 in Port-Viller an der unteren Seine verwendet; man erhielt eine Stauhöhe von 4,68 m über der Sohle mit einem Niveauunterschied von 2,33 m.

Das zweite System wurde zuerst im Jahre 1884 in Port-à-l'Anglais an der oberen Seine verwendet; man erreichte eine Stauhöhe von 4,10 m und einen Niveauunterschied von 2,66 m; später erhielt man in Suresne an der unteren Seine eine Stauhöhe von 5,26 m bei einem Höhenunterschied von 3,27 m, die grösste mit dem System Poirée und ähnlichen erreichte Höhe.

Um noch grössere Fallhöhen zu erzielen, wie sie der Verkehr verlangte, dachte man daran, die Wehrrippen durch lange und starke eiserne Balken zu ersetzen, die senkrecht stehen und sich am Fusse gegen einen Bodenvorsprung stützen sollten. Dabei sollten sie sich am oberen Ende um eine richtige fortlaufende und feste Arbeitsbrücke drehen, von wo man sie mit Hilfe passender Mechanismen gegen die Strömung bis zu einer über das grösste Hochwasser reichenden Höhe heben konnte. Die Stelle zwischen den Pfeilern wurde durch Rolltafeln von Caméré ausgefüllt.

Dieses System ist in dem berühmten Wehr von Poses verwendet, das der genannte Ingenieur unlängst erbaut hat. Hier hat man eine Stauhöhe von 5,35 m mit einem Höhenunterschied von 4,18 m erhalten. Das ist der grösste Erfolg den man in dem Streben erreicht hat, mit diesen Systemen zum Nutzen der Flussschifffahrt hohe Stauhöhen zu erzielen.

Andere Wehre, die von oben gehandhabt werden mit Hilfe von Anordnungen, die von denen in Poses abweichen, sind an der Rhône bei Genf gebaut worden, zur Regulierung des Sees und an der Oise in Frankreich im Interesse der Schifffahrt; sie haben aber keine Bedeutung für unseren Gegen-

stand, weil sie nicht die Stauhöhe des Wehres von Poses erreichen.

Ich möchte mich nicht mit der Prüfung der zahlreichen Stausysteme aufhalten, bei denen bewegliche Bretter zur Verwendung kommen, die sich auf den Boden legen, indem sie sich um eine, entweder an ihrem Fuss oder in einer bestimmten Höhe befindliche Achse (schwebende Schützen) drehen und entweder mit der Hand, oder mit Hilfe besonderer Vorrichtungen bewegt werden, oder mit Pressluft. Diese Systeme sind nicht recht in Gebrauch gekommen, weil sie mehrere Mängel haben, und auch, weil die Stauhöhe, die man mit ihnen erreichen kann, kleiner ist, als die der vorhergenannten Systeme.

Wir haben noch die Wehre mit Brücke zu prüfen, deren Bogen mit Schützen geschlossen werden, die man von oben herausziehen kann. Die Schwierigkeiten dieses Systems bestehen in der Breite, die man den Durchlassöffnungen geben muss, um zu vermeiden, dass das Flussbett durch zu zahlreiche Pfeiler gesperrt wird, und um die von der Strömung mitgeführten Körper leicht durchzulassen. Die Entfernung der Schützen muss andererseits ziemlich schnell erfolgen können, um plötzlichem Hochwasser begegnen zu können. Ein bemerkenswertes Beispiel dieses Systems haben wir in der Spree bei Charlottenburg nahe Berlin. Die Oeffnungen sind je 10,50 m breit, und jede ist durch metallene Pfosten in fünf Oeffnungen geteilt, die mit Schützen von 2,10 m Breite und 2,80 m Höhe geschlossen sind. Diese Art Stau ist vorzugsweise in Egypten am Nil üblich, wo sie sich als brauchbar erwies, weil dieser Fluss keine zu grossen schwimmenden Körper mitführt, und weil das Steigen des Wassers langsam und regelmässig erfolgt. Der Grund, der die Verwendung dieses übrigens bequemen und natürlichen Systems allgemein und im Grossen verhinderte, war, wie gesagt, die Schwierigkeit, genügend grosse Schützen zu bauen und zu bedienen. Aber auch hier hat eine glückliche Erfindung die Schwierigkeit gänzlich überwunden, indem es gelang, Stauwerke ganz aus Metall zu bauen, mit Durchlassöffnungen von praktisch fast unbeschränkter Grösse.

Ich meine die durch Gegengewichte balanzirten, von Ingenieur Stoney erfundenen gleitenden Schützen, die zuerst von ihm selbst auf den Kanal von Manchester im kleinen Umfang verwendet wurden, bald aber allgemein in Gebrauch kamen.

Das erste Stoney-Schütz, welches beim Kanal von Manchester zur Verwendung kam, hatte 10 m Breite; man gebraucht zur Zeit in Indien Schützen von 27 m Breite, und auf dem Rhein, in der Schweiz, plant man die Herstellung von Schützen, mit 30 m Breite und 12 m Höhe. Andererseits haben die günstigen Ergebnisse mit diesem System zu seiner Benutzung in der ganzen Welt geführt. Man findet es mehrfach gebraucht in Nord- und Süd-Amerika, Egypten, England, Indien und näher bei uns, in der Schweiz. Die älteste dieser Anlagen verdient besondere Erwähnung, sie wurde 1895-1896 ausgeführt; es ist das Wehr von Chèvres an der Rhône, das lediglich zur Gewinnung elektrischer Kraft dienen soll. Es enthält fünf Schützen von 10 m Breite, und 8,50 m Höhe; jede derselben kann von zwei Arbeitern gehandhabt werden, die das Gewicht von 50 t mit 4,68 m Geschwindigkeit in der Stunde und mit einem Kraftaufwand von 34,6 kg heben können.

Wie gesagt, ist nach dem ersten Versuchsjahre der Erfolg dieser grossen Schützen ein ausserordentlicher gewesen, weil sie gleichzeitig leicht und direkt mehrere Aufgaben lösen, die vorher kunstvolle und unbequeme Kombinationen erforderten. Der einzige Uebelstand, der in der Praxis stört, ist die starke Zerstörung der unteren Leitrollen, wenn das Wasser trübe ist und Kiesel und Sand mit sich führt. Wie bei der ersten Ausführung bemerkt wurde, hebt sich die Rollenreihe, auf die sich das Schütz stützt, mit diesem, aber mit nur halb so grosser Geschwindigkeit. Infolgedessen bleiben die unteren Rollen unbedeckt und werden, wie gesagt, durch das Wasser angegriffen, das Sand und harte Kiesel mitführt, und mit 7 bis 8 m Geschwindigkeit fliesst. Es waren mehrere Verfahren versucht, um diesen Uebelstand zu beseitigen und die unbequeme und teure Erneuerung der Leitrollen zu vermindern; jetzt wird der Uebelstand durch eine kürzlich gemachte Erfindung der Firma Ramsons & Rapier in London beseitigt, die besonders solche Bauten ausführt. Durch diese Neuerung bleibt die Rollenreihe nicht vom Schütz getrennt, sondern folgt ihr in ihren Bewegungen, und rollt sich um dasselbe über die Rückseite auf. Hiernach kann als praktisch erprobt gelten die Herstellung hoher beweglicher Wehre, die eine beliebige Stauhöhe ermöglichen in den grössten und stärksten Strömen, sei es nun, dass das Wasser klar ist, wie bei dem Manchester-Kanal, oder dass es trübe und schlammig ist, wie bei dem

Nil und den Flüssen Indiens, oder dass es Sand und Kiesel führt, wie das der Rhône und des Rheins, um nur die bekanntesten Beispiele anzuführen.

Es ist leicht ersichtlich, dass die Verwendung dieser Wehre vorteilhaft sein kann, erstens für die Schifffahrt auf den Wasserläufen, indem sie ein oberes Gefälle ermöglicht, wobei sie sehr lange Haltungen des Flusses selbst frei lässt, zweitens zur Ableitung von Bewässerungskanälen bei einer ziemlich gleichhohen Lage des umgebenden Landes, wobei das Kanalstück, das nur zur Heranführung des Wassers dienen soll, fortfällt, drittens zur Schaffung eines eine grosse Triebkraft entwickelnden Falles, wobei man in einer Anlage die Wasserentnahme, die zwangsweise Wasserführung und das Gebäude für die Motoren vereinigt. Tatsächlich ist dies System zu diesem Zweck schon seit langer Zeit in Benutzung und hat die besten Ergebnisse, wenn ein und dieselbe Anlage gleichzeitig alle drei Funktionen erfüllen kann. Ich möchte hier von dem gewöhnlichsten Fall sprechen, dem der Verwendung eines und desselben Kanals zur Schifffahrt und zur Erzeugung von Triebkraft und werde zeigen, dass die grosse Höhe des Wehres für beide gleich vorteilhaft ist.

Es ist bekannt, dass die Kosten für die Krafteinheit bei Herstellung einer hydraulischen Anlage schnell abnehmen, wenn die brauchbare Fallhöhe wächst, und bekanntlich vermindert sich bei den Fällen, die an einem Fluss durch Wehre geschaffen sind, das Verhältnis zwischen der Fallhöhe und der Gesamthöhe des Wehres sehr schnell mit der letzteren. Es folgt daraus, dass die Höhe des Wehres einen doppelten Einfluss auf den ökonomischen Wert des Falles hat, weil sie die Herstellungskosten vermindert und ihn konstanter hält. Zu diesem letzteren Vorteil tritt noch, dass wenn ein merkbarer Höhenunterschied vorhanden ist, man ihn vergrössern kann, indem man die lebendige Kraft des überflüssigen Wassers benutzt, bei einer Senkung des Wasserspiegels des Abflusswassers der Motoren.

Saugey, der Betriebsleiter der Anlage von Chèvres, der zum ersten Mal dieses Hilfsmittel verwandte, erhielt bei einem seiner Versuche eine Senkung bis 1,70 m.

Nach alledem versteht man leicht, welche tiefe ökonomische Umwälzung der Gebrauch von Stoney-Schützen bei der Regulierung von Flüssen nach sich ziehen kann, die hohe Wehre

anzulegen gestatten. Die Zahl der Wehre wird um die Hälfte, oder noch häufiger um zwei Drittel vermindert, und ihre Kosten, die vorher ausschliesslich der Schifffahrt zur Last fielen, können zum Teil ganz, sogar mit Nutzen, wieder eingebracht werden durch Ausnutzung der Fallhöhe. Wenn man aus der Leichtigkeit, die elektrische Kraft fortzuleiten, Nutzen zieht und beide Betriebe vereinigt, indem man die dynamische Kraft des Flusses in allen Betrieben verwendet, die von der Schifffahrt abhängen, wie Bedienung der Schützen und Krahn, Beleuchtung und besonders Zug der Schiffe selbst, so kann man sich leicht denken, dass die Anwendung dieses Systems für die Binnenschifffahrt eine umfassendere und vorteilhaftere Umwälzung herbeiführen kann, als die, welche Poirée 1834 durch das Stauwerk von Basseville verursachte.

Ich habe oben hervorgehoben, dass dieses System nur für Flüsse brauchbar war, bei denen grosse Stauwerke ausführbar sind.

Wir wollen nun die Bedingungen festlegen, denen ein Fluss entsprechen muss, um zu denen gerechnet werden zu können, die grosse Stauungen erlauben. Es soll ferner festgestellt werden, bis zu welchem Punkt man die Stauhöhe vermehren kann, ohne Gefahr für andere auf dem Spiel stehende Interessen.

Die erste natürliche, bereits erwähnte Bedingung ist, dass der Fluss tief ins Tal eingeschnitten ist, oder dass er im Grunde eines engen felsigen Einschnittes ohne seitliches Gelände verläuft und dass die Gegend am Fluss nicht bevölkert ist.

Handelt es sich um Flüsse, die in ausgedehnten und bevölkerten Tälern fließen, so muss die höchste Stauhöhe immer unterhalb der Uferkante gehalten werden, wobei der Vegetation der nötige Platz gelassen werden muss.

Das genügt indessen nicht, wo das Tal von Anschwemmungen des Flusses selbst gebildet ist; in diesen Fällen sind die tiefsten Gegenden gerade die entferntesten. Da könnte es geschehen, dass das vom Fluss abzuführende Sickerwasser, wenn es seinen Spiegel bis zu dem des Staus erhöhen muss, nicht mehr das nötige Gefälle hat, um dies Niveau zu erreichen, ohne sich über das Gelände zu erheben; das wird notwendigerweise in den angegebenen Geländeteilen geschehen, die am niedrigsten und vom Sammler am weitesten entfernt gelegen sind. In diesem Falle werden wir die Stauhöhe niedriger halten müssen, als

die Ebene des Landes und nicht nur der unmittelbar am Fluss liegenden Teile ; es ist ferner zu berücksichtigen, dass die Vegetation genügend Boden und das abfliessende Wasser genügend Gefälle haben muss. Das ist die allgemeine Regel, aber in den Sonderfällen, und wenn schwerer wiegende Gründe vorliegen, kann man auch eine andere Anordnung treffen und dem Sickerwasser oder einem Teil davon eine dem Flusse parallel laufenden Abfluss geben, indem man Seitentäler verfolgt. Später kann dann das Sickerwasser den Fluss in einer tiefer gelegenen Haltung wieder erreichen. In diesem Falle kann man auch den Spiegel des Staues etwas höher legen als die Ebene des umgebenden Geländes, wobei man den Fluss zwischen genügend hohen Dämmen hält. Alsdann müssen die niedriger gelegenen Geländeteile wie zu meliorierendes und auszutrocknendes Land behandelt werden ; das heisst, man muss das obere und das untere Wasser getrennt ableiten ; das obere läuft auch ferner in der anstossenden Haltung des Flusses ab, das untere wird in die nächste niedriger gelegene Haltung geleitet. Abgesehen von den Kosten, die im Hinblick auf die Gesamtanlage betrachtet werden müssen, wird dies Verfahren ausser in den Sonderfällen, wo es in Anwendung kommen muss, immer sehr vorteilhaft sein, weil es wohl bekannt ist, dass die niedrigen und vom Flusse entfernt gelegenen Geländeteile schwer zu entwässern sind ; dies lässt sich nur durch die Anlage seitlicher Sammelgräben ändern, die in einem tiefer gelegenen Punkt in den Fluss münden.

Wenn im Gegensatz hierzu der Fluss durch ein unbewohntes Gebiet fliesst, ist seine Regulierung viel leichter, weil man einen beliebig hohen Stau ohne Gefahr herstellen kann. In diesem Fall wird es zweckmässig sein, eine auf fast ganzer Höhe feste Stauwand aufzubauen. Man lässt nur einen Teil beweglich, so dass die obere Haltung genügend Gefälle hat, um bei Hochwasser den Kies abfliessen zu lassen. Hierdurch wird vermieden, dass er sich ansammelt und auf den oberen Lauf des Flusses ungünstig wirkt.

Ist diese Schwierigkeit überwunden, so muss man Sorge tragen, dass der Fluss unter den neuen künstlich geschaffenen Verhältnissen nicht zeitweilig oder ständig Wirkungen hervorruft, die die Wasserführung besonders bei Hochwasser ungünstig beeinflussen können.

Die Verbesserungen, welche man einführt, sind : der feste

Querschnitt, der in bestimmten Abständen an den Punkten geschaffen wird, wo man eine Wehr aufstellt, und die geringere Geschwindigkeit des Wassers in der oberen Haltung. Wie beim Brückenbau macht man den Gesamtquerschnitt des Wassers am Wehr etwas kleiner, als den Gesamtquerschnitt des Flusses; die Aenderungen der Form werden Störungen und Druckhöhenverluste herbeiführen; ist die Sohle des Flusses aufwühlbar, so wird der feste Wehrboden die Auswaschung bei Hochwasser verhindern; doch bildet sich eine Schwelle über der Sohle, wodurch wiederum eine Querschnittsverminderung und eine Störung im Verhalten des Flusses bewirkt wird.

Als Folge der geringeren Geschwindigkeit in der oberen Haltung werden wir eine grössere Schlammablagerung bemerken, durch die einerseits eine Auffüllung des Flussbettes und eine Störung der Schifffahrt eintreten kann, während andererseits ständige Störungen der Hochwasserverhältnisse hervorgerufen werden, wenn das Wasser den Schlamm nicht mit fortführen kann.

Diese Beobachtungen, die man immer mit Recht gegen den Bau fester Wehre ins Feld geführt hatte, wurden auch bei beweglichen Wehren gemacht, weil man behauptete, dass diese, wenn auch in geringerem Masse, auch die Schifffahrt behindern könnten, besonders, wenn sie zahlreich bei einem Fluss vorkämen.

Die bisherigen Erfahrungen haben aber gezeigt, dass die Befürchtungen nicht begründet waren, da in mehreren Werken und Monographien über diese Frage von ernsthaften Besorgnissen in dieser Hinsicht nicht gesprochen wird; nur in einigen Fällen, und besonders bei der Einmündung eines Zuflusses mit trübem Wasser, hat man bisweilen über die Bildung einer Bank geklagt, die die Schifffahrt hätte behindern können, wenn sie nicht beseitigt worden wäre.

Die allgemeine, in dieser Hinsicht angenommene Theorie ist nun die folgende:

a) Das durch den festen Wehrteil gebildete Hindernis verhindert nicht die Vertiefung des Flusses aufwärts, trotz der Verminderung der Wassergeschwindigkeit.

b) Die durch das Hindernis hervorgerufene Erhöhung des Wasserspiegels macht sich in einiger Entfernung gemäss der Stautheorie nicht mehr bemerkbar.

c) Die Ablagerungen, die sich während der Stauperiode gebildet haben, werden plötzlich vom Hochwasser mit weggenommen, wenn bei geöffnetem Wehr der Fluss wieder seinen gewöhnlichen Lauf nimmt, ohne, dass eine dauernde Wirkung zurückbleibt. Das geschieht sogar bei den trüben Flüssen, wie Durance, Loire in Frankreich, Nil und Ganges.

Trotz alledem hat der Verfasser in einer Denkschrift, die er über die Regulierung und Schiffbarmachung des Tiber mit Hilfe hoher Schützenwehre, System Stoney, gemacht hat, diese Aufgabe in allen Einzelheiten gemäss den Sonderverhältnissen dieses Flusses zu prüfen für nötig befunden. Er fürchtete nämlich, dass Einwände erhoben werden könnten, weil der Fluss starkes Hochwasser hat, weil sein Wasser trübe ist und die Schwankungen des Wasserspiegels für die Stadt Rom, die kürzlich gegen sie mit grossen Kosten und trotz grosser Schwierigkeiten geschützt ist, sehr bedeutend sind.

Wir bringen nachstehend in abgekürzter Form eine Beschreibung des befolgten Verfahrens und der Ergebnisse.

AUSZUG

aus einer Beschreibung über die Regulierung und Schiffbarmachung des Tiber durch hohe bewegliche Schützenwehre, System Stoney, und Ergebnisse.

Die Untersuchungen wurden, von der Mündung des Tiber beginnend, bis zur Mündung seines grössten Nebenflusses, der Nera bei Orte, durchgeführt, das heisst, über eine Länge von 162 km ausgedehnt, sodass der Fluss aufwärts bis an die sehr industrielle Stadt Terni untersucht wurde, die eine Wasserkraftanlage von etwa 200 000 PS besitzt.

Der Kürze wegen, und weil es sich hier lediglich darum handelt, das befolgte Verfahren zu schildern, wird die Untersuchung eines Teiles des Projektes genügen. Ich möchte daher diesen Auszug auf eine allgemeine Darlegung der Regulierung des Abschnittes beschränken, welcher vom Meere bis jenseits Rom verläuft und zwei Wehre enthält, und ich werde nur die Rechnung für das erste Wehr und den unmittelbar darauf folgenden Flussabschnitt geben.

Die angestellte Untersuchung umfasst ausser der Schiffbar-

machung des Flusses die vollständige hydraulische Melioration des Tales, das zur Zeit grossen Ueberschwemmungen ausgesetzt ist. Sie befasst sich ferner mit der Nutzbarmachung von Wasserkraften, die man aus dem genannten Fluss ziehen kann für Landwirtschaft und Industrie, mit der Bewässerung und Melioration durch Aufschüttung der Seepolder von Ostia, Maccarese und Isola Sacra, und durch Entwässerung der oberen benachbarten Täler. Diese Untersuchung befasst sich infolgedessen mit vielen Punkten, die in keiner Beziehung mit der hier behandelten Frage stehen, und die in dieser Bearbeitung ausgelassen werden. Aus dem gleichen Grunde wird alles das fortfallen, was auf die Verbesserung des Seehafens und der inneren Häfen Bezug hat; so werden nur die neuen Wasserhältnisse des Flusses besprochen werden, und die Erscheinungen, die sich daraus ergeben.

Der Tiber hat ein Wasserbecken von 17 169 qkm und eine Längenenwicklung von 403 km vom Meere bis zur Quelle. Eine Reihe von Wassermessern sind in seinem Lauf aufgestellt. Der älteste und wichtigste ist derjenige, welcher sich im alten « Porto di Ripetta » befindet. Seine Beobachtungen gehen ohne Unterbrechungen bis 1821 zurück. Beschränkt man die Prüfung seiner Beobachtungen auf den fünfzigjährigen Zeitraum von 1821 bis 1871, in welcher Zeit sie nicht durch die städtischen Schutzbauten beeinflusst sind, die im Jahre 1871 begonnen wurden, so kann man nach den Tabellen und den zahlreichen, zu verschiedenen Zeiten angestellten Beobachtungen der Wasserführung feststellen, dass die Wassermenge des Flusses in Rom nicht unter 100 cbm in der Sekunde hinuntergeht; dass sie sich in einem Durchschnittsjahr zwischen 100 und 150 cbm während 141 Tagen hält, dass sie während 245 Tagen unter 500 cbm beträgt, während die Hochfluten im Ganzen 20 Tage jährlich dauern mit Wassermengen zwischen 500 und 2 000 cbm. Ausserordentliche Hochfluten erfolgen alle 25 Jahre mit Wassermengen, die nach verschiedenen Beobachtern von 3 000 bis 4 000 cbm schwanken, es ist aber wahrscheinlich, dass die richtige Ziffer mehr die erste, als die zweite ist. Der Tiber ist durch seine Beständigkeit ein sehr bemerkenswerter Fluss, das würde ihm den Charakter einer grossen Kraftquelle geben, wenn in seinen Lauf nicht atmosphärische Niederschläge in der Zeit der reichlichen und ständigen Regen eindringen. Das Bett des Abschnittes, den wir be-

trachten wollen, ist scharf ausgeprägt und tief in seine Anschwemmungen eingeschnitten, die vom Meere nach Rom immer höher werden, und die bei dieser Stadt eine Höhe von 6,50 m über dem höchsten Niedrigwasserspiegel erreichen. Die Breite des Flusses hingegen wächst von der Stadt nach dem Meere im Mittel von 110 bis 130 m, während das Gefälle an der Oberfläche etwa 0,25 m per km im Durchschnitt beträgt. Zur Zeit des Hochwassers nimmt es plötzlich am Meere zu bis 1,80 m. Unter diesen Verhältnissen genügt das Bett des Flusses, die Wassermenge der Hochflut solange abzuführen, als sie nicht 2 000 cbm übersteigt. Bei aussergewöhnlichem Hochwasser tritt der Fluss über seine Ufer und überschwemmt das ganze Tal.

Dieser Uebelstand hat dazu geführt, bei der Regulierung des Flusses Durchstiche herzustellen, die seinen Lauf kürzen und das Hochwasser beschränken. Wie man aus der beiliegenden Zeichnung sieht, sind für den Abschnitt zwischen Rom und dem Meere vier Durchstiche vorgesehen; der erste und wichtigste (neues Bett) ist in der Tat eine Ablenkung des Meerärmes von Ostia (verlassenes Bett) mit einer Kürzung von 4,31 km. Sein Zweck ist auch die Verhinderung von Sandablagerungen in dem Flusshafen von Fiumicino. Diese Ablagerungen werden zur Zeit von dem Arm von Ostia mit Hilfe der Küstenströmung fortgeführt.

Die anderen Durchstiche sind in dem Flusse bis Rom mit einer Gesamtkürzung von 4,55 km angelegt, sodass die Länge des Flusses um 8,86 km bei 33,20 km verringert ist.

Ich musste diese Einzelheiten darlegen, weil die neuen Wasserverhältnisse des Flusses mit Rücksicht auf diese Aenderung geprüft sind und ebenso mit Rücksicht auf diejenigen, welche von den Wehren hervorgerufen werden, die zur Verbesserung der Schifffahrt und Ausnützung der Wasserkräfte aufgestellt werden.

Zwei Wehre sind geplant, das eine am Anfang des ersten Abschnittes heisst « La Vignola », und das andere 18,75 km oberhalb des ersteren « Le due Torri ». Das erste Wehr wird von 8, je 16 m breiten Durchlässen gebildet, die mit umklappbaren und über zwei Rollenreihen gleitenden Stoney-Schützen von 7 m Höhe geschlossen sind. Jedes Schütz wiegt 60 t und kann bei voller Belastung und mit einer Geschwindigkeit von 4,20 m in der Stunde mittelst einer Kraft von 28 kg gehand-

habt werden, die auf den Hebel des Krahnens wirkt. Die Sohle dieses Wehres ist hergestellt in der Sohlenhöhe, die der zu beseitigende Arm in der gleichen Entfernung vom Meere hat, das heisst, auf 1,70 m.

Daraus folgt, dass die Stauhöhe dieses ersten Wehres sich bei einer Höhe von 7 m minus 1,70 m = 5,30 m über dem Meere befindet.

Am zweiten Wehr ist der augenblickliche Boden bei der Marke 2,75 m; die Schwelle liegt aber 0,65 m unterhalb dieses Bodens, das heisst, bei 2,10 m. Infolgedessen beträgt die Wassertiefe 5,30 m minus 2,10 m = 3,20 m.

Die Höhe der Schützen beträgt 7 m, die Stauwasserhöhe der oberen Haltung befindet sich also bei 2,10 m + 7 m = 9,10 m. Diese Höhe genügt, um immer dieselbe Wasserhöhe von 3,30 m bis oberhalb der Stadt zu erhalten. Nach Feststellung dieser Einzelheiten besteht die Aufgabe, die wir zu lösen haben, darin, die neuen Hochwasserverhältnisse festzustellen und dabei den Einfluss der Kürzungen des Flussbettes infolge der Durchstiche und denjenigen der durch die Wehre hervorgerufenen Erhöhungen des Wasserstandes zu berücksichtigen.

Verfahren zur Berechnung der Begradigungen. — Der erste Teil der Aufgabe erhält keine allgemeine theoretische Lösung, weil man nicht das Verhältnis zwischen der Auswaschbarkeit des Bodens und der Geschwindigkeit des Wassers kennt.

Die anderwärts erzielten Ergebnisse können uns keine genauen und zahlenmässig darlegbaren Regeln geben, infolge der vielen Faktoren, die von Einfluss sind, besonders, wenn der Fluss oberhalb des Durchstiches über die Ufer tritt. Man kann keine Rechnung anstellen, ausgenommen, in den beiden folgenden, äussersten Fällen: in dem Fall einer vollkommen beweglichen Sohle und in dem genau entgegengesetzten Fall.

Bei dieser Schwierigkeit hat man geglaubt, nichts besseres tun zu können, als die Wirkung der Begradigungen zu untersuchen, die gerade in diesen beiden Fällen geplant sind, und man hat sich gesagt, dass die wirklichen Ergebnisse sicher zwischen denjenigen liegen würden, die man erhält. Sie würden sich mehr oder weniger dem einen oder dem anderen nähern, je nachdem der Boden des Tiber mehr oder weniger beweglich ist.

Im ersten Falle nimmt der neue Boden eine Lage, parallel zu dem alten ein, aber tiefer als dieser um das gesamte Gefälle der Kürzung. Im zweiten Falle macht sich der Höhenunterschied infolge der Abkürzung flussaufwärts weiter bemerkbar nach dem Gesetz der negativen Strömung.

Die Bestimmung des ersten Querschnittes bietet keine Schwierigkeit. Für diejenige des zweiten habe ich die Formel von Bresse angewendet, die für die ständige Bewegung bestimmt ist.

$$(A) \dots \frac{il}{t} = \varphi \left(\frac{z}{t} \right) - \varphi \left(\frac{z'}{t} \right)$$

worin i das Gefälle des Abschnittes bei Hochwasser im gegenwärtigen Zustand des Flusses bedeutet;

l ist die Länge jedes Abschnittes;

t ist die gegenwärtige Hochfluthöhe, die, wenn sie nicht bekannt ist, mit Hilfe der Formel für die gleichmässige Bewegung bestimmt werden kann, vorausgesetzt, dass man die Wassermenge, die Breite des Bettes, das Gefälle und den Widerstands-Coëffizienten des Flusses selbst kennt;

z ist die Erniedrigung des Niveaus infolge des Durchstiches an dem flussabwärts gelegenen Ende des der Betrachtung unterworfenen Abschnitts;

z' ist die Erniedrigung des Wasserspiegels an dem flussaufwärts gelegenen Ende desselben Abschnitts.

φ ist eine Funktion von $\frac{z}{t}$ oder $\frac{z'}{t}$, deren Werte man vollständig berechnet und zusammengestellt in den Tabellen findet.

In dem Augenblick, wo wir die hydraulische Achse des Hochwassers kennen, wird es leicht sein, die aufwärts und abwärts in dem Wasserlauf hervorgerufene Erniedrigung des Wasserspiegels darzustellen, indem man die äusseren Ordinaten jedes Abschnittes zwischen zwei Durchstichen um die Grösse z flussabwärts und z' flussaufwärts vermindert und so fort.

Da der Tiber einen Boden aus feinem Sand hat, der bei jedem Hochwasser in nicht bestimmten Tiefen mitgeführt wird, so muss er am besten unter die Flüsse mit sehr beweglicher Sohle gerechnet werden. Vorsichthaber haben wir ihn aber als einen Fluss mit halb aufwühlbarem Grund angesehen, und haben für jeden Punkt das Mittel aus den Ordinaten genom-

men, die den beiden äussersten Annahmen entsprechen. Wir haben auch den Kamm der Dämme oder Schutzwehren mit einem freibleibenden Streifen parallel zur Linie des als nicht beweglich gedachten Bodens festgestellt.

Rechnungsverfahren bei der Bestimmung der durch die Wehre verursachten Wasserspiegel-Erhöhungen.

Die durch die Wehre verursachte Wasserspiegel-Erhöhung muss zweimal berechnet werden; man berechnet zuerst diejenige, welche durch die Transversaleinschnürung bewirkt wird, welche den Pfeilern und Widerlagern zuzuschreiben ist, dann berechnet man die durch die Vertikaleinschnürung verursachte, welche durch die feste Sohle verursacht wird, die für die angenommene Bodenaufwühlung flussabwärts und flussaufwärts während des Hochwassers wie eine Grundschwelle wirkt. Die von den Pfeilern hervorgerufene Erhöhung wurde berechnet mit Hilfe der Formeln für die gleichförmige Bewegung.

$$y_1 = \frac{v(v - v_1)}{2y}; \quad y = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2y} + \frac{v_1^2}{2y} \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2$$

$$y = y_1 + y_0$$

Hier ist :

$$\left. \begin{array}{l} y_1 = \text{Depressionserhöhung; } v_1 \\ y_0 = \text{scheinbare Erhöhung; } v_0 \\ y = \text{wirkliche Erhöhung; } v \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{entsprechende} \\ \text{Geschwindigkeiten} \end{array}$$

$\mu = 0.90$ Verengerungs-Coëffizient.

Bezüglich der durch die Erhöhung der Sohle über den Boden des Flusses flussaufwärts und flussabwärts hervorgerufenen Niveauerhöhung, den man während des Hochwassers als tiefer annimmt, stossen wir auf die schon für die Durchstiche erwähnte Schwierigkeit, das heisst, auf die Unmöglichkeit, in Zahlen das Verhältnis zwischen dem fraglichen Vorgang und den Abmessungen des Werkes festzustellen.

a) Man könnte den Fall als eine allmähliche Querschnittsänderung ansehen, welche die Verwendung der Formeln für die ständige Bewegung gestattet, angewendet auf die Veränderung infolge allmählicher Erhöhung des Bodens. Bei dieser An-

nahme werden die zu verwendenden Formeln die folgenden sein :

$$y_1 = i \left\{ l_1 \left[\frac{a(a+a_1)}{2a_1^2} - 1 \right] - Kl \left(\frac{a^2}{a_1^2} - 1 \right) \right\}$$

$$\text{worin } K = \frac{v^2}{2gKi}$$

$$y = \frac{v^2 - v_0^2}{2g} - i(l_0 + l_1) + \frac{i}{2} - \frac{a}{a_1}$$

$$\left(l_1 \frac{a+a}{a_1} + l_0 \frac{a_1+a_1}{a_1} + \frac{a^2}{a_1^2} \right)$$

$$\text{worin } \frac{v^2 - v_0^2}{2g} = K h i \left(1 - \frac{a^2}{a_0^2} \right)$$

b) Man könnte auch den Fall als eine plötzliche Querschnittsänderung ansehen, die einen Druckhöhenverlust infolge eines Stosses nach sich zieht, ausgedrückt durch die Formel :

$$\frac{1}{2g} \left(\frac{v_1}{\mu} - v \right)^2 \quad \text{worin } \mu = 0.80$$

und einen Druckhöhenverlust infolge Querschnittsänderung :

$$a \frac{v^2 - v_0^2}{2g} \quad \text{worin } a = \frac{10}{9}$$

$$\text{d. h. im Ganzen : } y = a \frac{v^2 - v_0^2}{2g} + \frac{\left(\frac{v_1}{\mu} - v \right)^2}{2g}$$

In der Praxis jedoch wird die Sohle des Wehres ziemlich mit dem Bett des Flusses aufwärts und abwärts in dieselbe Höhe gebracht, und infolgedessen muss man die Formel a) eher als die Formel b) anwenden, dann wird das Ergebnis durch die erste das der Wahrheit am nächsten kommende sein ; nichtsdestoweniger hat man bei einer Frage von so grossem Interesse es für zweckmässig gehalten, die Ergebnisse zu prüfen, die man erhalten hätte, wenn man den Fall als denjenigen einer Grundschwelle mit hohem Stau flussabwärts betrachtet.

c) Nach dem von Bresse angewendeten Verfahren sind die Bewegungsgleichungen die folgenden :

$$\frac{Q}{l} = e v_1 = K_0 v_0 \text{ worin } l = \text{Breite des Bettes.}$$

$$\frac{2 e v^2}{g} \left(\frac{l}{h} - 1 \right) = (1 + e)^2 - K^2$$

$$\frac{v_1^2 - v_0^2}{2g} = h_0 - e - e$$

Da Q und l gegeben sind, können wir aus diesen Gleichungen den Wert von $y = h_0 - h$ berechnen.

d) Zu demselben Zweck könnte man die neuesten Formeln für die Grundablässe von Bazin anwenden, die in den *Annales des Ponts et Chaussées* veröffentlicht sind und in dem Werk *Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir*, Paris 1898 (Neue Versuche über den Wasserausfluss bei Grundablässen) ; da aber diese Versuche bei dem Wert $\frac{y}{h} = 0,066$ stehen bleiben, der höher ist als derjenige, welcher in unserm Falle besteht, so musste ich die Formel 16 verwenden, welche sich auf den Abfluss einer Grundströmung durch einen festen Rahmen bezieht, worin aber e klein ist im Verhältnis zu h .

Die anzuwendenden Formeln sind :

$$Q = m l h \sqrt{2gh}; \text{ und } \frac{m'}{m} = 1.05 \left(1 + \frac{l}{3p} \right) 3 \sqrt{\frac{y}{h+y}}$$

Die Versuche wurden fortgesetzt bis zu den Werten :

$$\frac{y}{h} = 0.05 \text{ und } \frac{h}{p} = 1.50 \text{ (p. 105).}$$

Ich erinnere wiederum daran, dass der Vorgang als zwischen demjenigen liegend angesehen werden muss, welche die Formeln a) und b) darstellen, aus denen sich Lösungen ergeben, die den Wert der Erhöhungen enthalten, und ich bemerke, dass die beiden andern, c) und d), sich von der Wirklichkeit entfernen, wegen der geringen Höhe der Grundschwelle, verglichen mit derjenigen der ganzen Wasserschicht und wegen der grossen Höhe der Sohle, die durch geneigte Ebenen aus-

geglichen ist. Nichtsdestoweniger haben wir sicherheitshalber das Ergebnis der Formel $d)$, das das grösste war, angenommen.

Mit Hilfe der angegebenen Formeln, der sich daraus ergebenden Grundlagen und der Kenntnis der gegenwärtigen Verhältnisse des Flusses bei Hochwasser und mit Hilfe der Aenderungen, die in seinem Lauf durch die Durchstiche und die Wehre hervorgerufen worden sind, können wir das neue Hochwasserprofil mit Bezug auf das erste feststellen.

Ich werde nachstehend das Verfahren erklären, welches für den Teil zur Anwendung gekommen ist, der sich bis zum zweiten Wehr erstreckt und die Rechnungen, die sich auf diesen Teil beziehen.

Ich habe schon gesagt, dass man als Ordinate für die Sohle des ersten Wehres diejenige des jetzigen Bodens für den Ostiaarm in gleichem Abstände vom Meere genommen hat, 6 600 m. Aus gleichem Grunde hat man als Höhe für das höchste Hochwasser unterhalb des ersten Wehres diejenige angenommen, die im Ostiaarm in gleicher Entfernung vom Meere während des ausserordentlichen Hochwassers 1870 festgestellt wurde, das heisst, 4,50 m.

Die Erhöhung am Wehr wird gegeben durch Addition der von der Horizontalverkürzung durch Pfeiler und Widerlager (Verminderung der Breite des Flussbettes, von 150 auf 125 m) hervorgerufenen Erhöhung und derjenigen, welche durch die Verminderung der Höhe durch die feste Schwelle verursacht wird, unter Berücksichtigung der Senkung des Bodens flussaufwärts und flussabwärts während der Hochflut.

Man erhält die erste durch die Formel $b)$, indem man die Geschwindigkeiten v_1, v_0, v unter Annahme einer Wasserführung von 4 000 cbm bestimmt.

$$y_1 = - 0.11, y_0 = 0.13, \text{ und } y = y_1 + y_0 = 0.02.$$

Um die zweite zu erhalten, musste man zunächst die mittlere Senkung des Bettes während der Hochwasserperioden kennen. Diese Senkung wurde bestimmt durch die Formel von Ganguillet und Kutter. Man nahm eine Wasserführung von 4 000 cbm an, eine Breite des Flussbettes von 150 m, ein Gefälle von 0,00053, wie dasjenige, welches 1870 im Ostiaarm in gleicher Entfernung vom Meere beobachtet war, und man gab den Widerstandscoefficienten n den Wert von 0,03, den man aus Versuchen an Ort und Stelle abgeleitet hatte.

Es ergab sich aus den Rechnungen, dass die gesamte Höhe 8,75 m betrug und infolge dessen die Ordinate für den Boden $8,75 \text{ m} - 4,50 \text{ m} = 4,25 \text{ m}$, und die grösste Senkung unter die Sohle $4,25 \text{ m} - 1,70 \text{ m} = 2,55 \text{ m}$.

Mit diesen Angaben und denjenigen, welche uns die für die Bauten festgestellten Abmessungen liefern, ergeben sich die in die vier vorhergehenden Formeln einzusetzenden Werte wie folgt :

In den Formeln *a*) und *b*) : $Q = 4000$, $h = 8,75$, $c = 2,55$,
 $l = 20,00$, $l_1 = 50,00$.

In den Formeln *c*) und *d*) : $Q = 4000$, $h = 8,75$, $p = 2,55$.

Ist diese Operation bewirkt, so erhalten wir aus der Formel *a*) : $y = 0,038$, aus Formel *b*) : $y = 0,306$, aus Formel *c*) : $y = 0,14$ und aus Formel *d*) : $y = 0,50$.

Die Wirklichkeit liegt, wie schon gesagt, näher an den Werten, die sich aus *a* als an denen, die sich aus *b* ergeben ; nichtsdestoweniger hat man sicherheitshalber den grössten Wert aus *d*) : $y = 0,50$ angenommen ; es ergibt sich alsdann eine Gesamterhöhung von $0,12 + 0,50 \text{ m} = 0,62 \text{ m}$: der Hochwasserspiegel oberhalb des Wehres wird bei der Ordinate $4,50 \text{ m} + 0,62 \text{ m} = 5,12 \text{ m}$ liegen ; es ist anzunehmen, dass sich dieses Niveau bis auf 5,30 m erhöht, das heisst, bis zu der schon festgelegten Stauhöhe. Das Hochwasser von 1870 erreichte die Ordinate 6,45 m, so dass die erhaltene Senkung $6,45 - 5,30 \text{ m} = 1,15 \text{ m}$ beträgt.

Die Bestimmung der hydraulischen Achse des Hochwassers in dem oberen Abschnitt zwischen dem ersten und zweiten Wehr wurde bewirkt, indem man entweder eine Sohle von unbestimmter Beweglichkeit oder ein ganz bewegliche Sohle als Voraussetzung nahm ; es wurde aber angenommen, dass die Wassermenge nur 3000 statt 4000 cbm betrug. Dieser Abschnitt war gänzlich neu zu bauen und so haben wir ihm die Abmessungen geben können, welche zur Abführung von 4000 cbm nötig sind ; dagegen war der folgende Abschnitt, ausgenommen in den begradigten Teilen, wegen seiner alten Grössenverhältnisse nicht imstande, eine solche Wassermenge abzuführen. Mit Rücksicht auf die ausserordentlichen Kosten, die erforderlich gewesen wären, um den Gesamtquerschnitt zu

vergrössern, hat man es vorgezogen, die Gefahr kurzer und nicht bedeutender Ueberflutungen zu laufen, die sich alle Vierteljahr wiederholen würden.

Neuer Querschnitt bei beweglicher Sohle. — Die Berechnung dieses Querschnitts ist sehr einfach. In dem Hochwasserprofil von 1870 ist zwischen den Orten für die beiden Wehre ein Höhenunterschied von 5,55 m.

Bei diesem Abschnitt haben wir zwei Durchstiche mit einer Gesamtverkürzung von 3 426 m, die vermehrt um die die betreffenden Gefällehöhen, einer Höhe von 0,80 m entspricht. Bei der Annahme einer vollkommen beweglichen Sohle stellt diese Höhe die Senkung dar, die sich aus dem Grund und dem Spiegel des Hochwassers ergibt, und sich berechnet aus $5,30 \text{ m} + 5,55 \text{ m} - 0,80 \text{ m} = 10,05 \text{ m}$.

Die Hochflut von 1870 erreichte beim zweiten Wehr eine Höhe von 12 m, so dass bei unserer Annahme die Senkung an dieser Stelle betragen würde : $12 \text{ m} - 10,05 \text{ m} = 1,95 \text{ m}$.

Querschnitt bei nicht beweglicher Sohle. — Um diesen Querschnitt zu erhalten, muss man die Teile nach einander vornehmen und jede Kürzung ins Auge fassen, die von den verschiedenen Begradigungen hervorgerufen ist. Man braucht Formel A (S. 19) und die für die ständige Bewegung, um die Tiefe t zu bestimmen.

Zwischen dem Wehr und der ersten Begradigung liegt ein Stück von 4 640 m, auf welchem der Fluss eine mittlere Breite von 130 m hat. Das Gefälle bei dem augenblicklichen Hochwasser beträgt 0,267 %. Bei diesen Werten und einer Wassermenge von 3 000 cbm erhält man eine Wasserhöhe von $t = 9,80$ (Formel Ganguillet und Kutter, $n = 0,030$).

Erinnert man sich daran, dass am Anfang des Abschnittes die Begradigung flussabwärts schon eine Erniedrigung des Hochwassers um 1,15 m hervorruft, so erhält man $z = 1,15$ und mit der Formel a) $z = 0,72$. Der Hochwasserspiegel von 1870 erreichte an dieser Stelle 7,70 m; künftig wird sich ergeben $7,80 - 0,72 = 6,98$.

Am Ende dieses ersten Abschnittes haben wir eine Begradigung, die den Lauf des Flusses um 776 m verkürzt. Am oberen Ende erreichte das Hochwasser von 1870 7,88 m und

folglich am Anfang des folgenden Abschnittes wird man erhalten : $z = 7,88 - 6,98 = 0,90$.

Zufolge dieser Begradigung entsteht ein anderer Abschnitt von 5 725 m, in dem man $l = 120$ und $i = 0,226$ hat ; daraus folgt, $t = 10,90$. Setzt man diese Werte in die Formel A) ein, so erhält man $z = 0,60$.

Der Hochwasserspiegel von 1870 war an dieser Stelle 9,57 m und folglich wird die Höhe des Hochwassers nach diesen Arbeiten $9,57 - 0,60 = 8,97$ sein.

Diesem Abschnitt folgt eine zweite Begradigung, die den Lauf um 2 652 m kürzt. An ihrem oberen Ende erreichte das Hochwasser 1870 10,19 m. An dieser Stelle ist die anfängliche Senkung des nächsten Abschnittes $z = 10,19 - 8,97 = 1,22$.

Es folgt ein dritter Abschnitt von 4 950 m, in dem $l = 120$ ist, $i = 0,245$, $t = 10,50$. Setzt man diese Werte in die Formel a) ein, so erhält man $z = 0,79$.

Der Hochwasserspiegel von 1870 erreichte an dieser Stelle 11,41, und die neue Hochwassermarke wird $11,41 - 0,79 = 10,62$ sein.

Schliesslich ist ein vierter, gerade gelegter Abschnitt vorhanden, 2 440 m lang, in dem ein zweites Wehr liegt, 1 700 m vom Anfang entfernt.

Hier ist $l = 115$, $i = 0,374$, daraus folgt, $t = 9,50$; diesen Wert in Formel A eingesetzt, ergibt $z = 0,57$.

Das Hochwasserniveau von 1870 war am Ende der Haltung 12,30 m; das künftige Niveau wird also $12,30 - 0,57 = 11,73$ sein.

Die den 1 700 m an der Stelle, wo sich das Wehr befindet, entsprechenden Ordinaten sind :

Für das Hochwasser von 1870	12 m ;
Für das zukünftige Hochwasser	11,42 m.

Als Endresultat ergibt sich, dass am Fuss des zweiten Wehres bei einer unbestimmt beweglichen Sohle die Hochwasser-Ordinate bei 10,05 m liegt mit einer Senkung von 1,95 m; im Fall der festen Sohle ist die Ordinate 11,42 m mit einer Senkung von 0,58 m.

Die angenommene Zahl ist das Mittel aus beiden, das heisst, eine Ordinate von 10,73 m und eine Senkung von 1,27 m.

Bei Untersuchung des flussaufwärts liegenden Teiles des

zweiten Wehres berechnet man wiederum die von diesem bewirkte Erhöhung unter Benutzung derselben Formeln und desselben Verfahrens, wie vorher; man macht dieselben äussersten Annahmen für die Bodenbeschaffenheit und nimmt eine Wassermenge von 3 000 cbm an.

Man erhält dann als Grenzwerte 0,19 und 0,10 m, mit einer mittleren Senkung von 0,15 m.

Die neue Höhe für das Hochwasser oberhalb des zweiten Wehres beträgt bei Annahme einer halb beweglichen Sohle $10,73 + 0,15 = 10,88$ m, ein Wert, der viel höher ist, als der für den festen Stau, 9,10 m.

Bleibt man bei diesem Verfahren, so erhält man an der Garibaldibrücke in Rom eine Schlusssenkung von 1,37 m unter der berüchtigten Hochflut von 1900.

Vergleicht man bei Hoch- und Niedrigwasser das Profil der Ufer und des in dieser Weise korrigierten Flusses, so sieht man, dass trotz der Wehre und der durch sie bewirkten Erhöhungen und der der Begradigung zu verdankenden Senkung das Niveau des Wassers von 4,30 m ab oberhalb des ersten Wehres auch bei Niedrigwasser, das heisst, bei Stauung 1,50 bis 4 m niedriger liegt, als das des Landes bis zum zweiten Wehr und 2 bis 3 m oberhalb desselben. Hieraus sieht man, dass man in der Lage ist, einen genügenden Abfluss für die Seitentäler herzustellen, und dabei das nötige Land für die Vegetation frei zu lassen; es ergibt sich ferner, dass bei Hochwasser, wenn die Schützen geöffnet sind, eine kleinste Senkung unter das jetzige Niveau von 1,15 bis 1,60 m bleibt.

Wirkung der Ablagerungen. — Man macht gegen die Wehre, auch gegen die beweglichen, geltend, dass sich in der oberen Haltung Stoffe ablagern können, die mit der Zeit eine dauernde Aenderung in den Hochwasserverhältnissen des Flusses herbeiführen könnten.

Wir haben schon gesagt, dass die mit so trüben Flüssen wie es der Tiber ist gemachte Erfahrung oder die Beobachtung solcher, die noch mehr Stoffe mitführen, wie zum Beispiel die Durance und die Loire in Frankreich, der Nil und der Ganges, diese Befürchtungen zerstreut hatte; nichtsdestoweniger hielt ich es, da es sich um einen sehr interessanten Fall handelte, für angemessen, die Frage eingehend zu behandeln, indem ich

die Grösse der Ablagerungen, die sich bilden könnten, untersuchte und dabei die besondere Beschaffenheit des Flusses und der ihm eigentümlichen Wasserverhältnisse berücksichtigte. Die von einem Flusse mitgeführten Stoffe müssen zunächst in zwei verschiedene Sorten geteilt werden : die, welche sich im Wasser schwimmend erhalten, und mittelst einer grossen Zahl von Beobachtungen geschätzt werden können, und die, welche auf dem Grunde fortgerollt werden ; für sie fehlt es im allgemeinen an der Möglichkeit der näheren Untersuchung. Dann darf man nicht aus dem Auge verlieren, dass zur Zeit der grossen Ueberflutungen der grösste Teil der mitgeführten Stoffe dieser letzteren Sorte angehört, da die Sohle bis zu grossen Tiefen aufgerührt wird, man hat den Beweis dafür in dem so häufigen Fall, tiefer Auswaschungen, die die grossen Ueberflutungen in wenigen Tagen an der Bekleidung der Dämme bewirken, wenn man sie mit den während einer langen normalen Zeit hervorgerufenen vergleicht. Was die im Tiberwasser schwimmenden Stoffe betrifft, so liegt eine Reihe täglicher Beobachtungsergebnisse vor, die während eines Zeitraumes von sechs Jahren gemacht wurden. Aus ihnen ist folgende Uebersicht auszugsweise zusammengestellt :

Der Wassermenge entsprechende Wasserhöhen		Zahl der Tage, an denen Beobachtungen gemacht sind	Durchschnitts- gewicht enthalten in 1 cbm Wasser
von	bis		
m	m		g
5.50	—	2	140
5.50	6.00	626	542
6.00	6.50	562	1.111
6.50	7.00	368	1.090
7.00	7.50	210	1.352
7.50	8.00	128	2.050
8.00	9.00	136	4.046
9.00	10.00	62	3.615
10.00	11.00	43	6.592
11.00	12.00	10	7.962
12.00	13.00	15	5.057
13.00	14.00	5	10.704
14.00	15.00	2	4.629
15.00	16.00	1	4.315

Die Ziffern der dritten Spalte zeigen, dass für kleine Höhen, für die sehr zahlreiche Beobachtungen vorliegen, der Durchschnitt trotz der grossen Unterschiede, die man zwischen den verschiedenen Beobachtungsergebnissen bemerkt, einem festen Gesetz folgt, nach dem das Gewicht der schwimmenden Stoffe mit der Wassermenge wächst. Dies Gesetz gilt nicht für grössere Höhen, sei es, dass eine Grenze überschritten ist, sei es wegen der kleinen Anzahl von Beobachtungen, oder auch, weil tatsächlich während sehr langer Hochfluten das Wasser sich schliesslich klärt.

Mit Hilfe dieser Angaben war es möglich, eine Kurve des Gewichtes der schwimmenden Stoffe als Funktion der Wasserrhöhen und der Wassermenge des Flusses zu konstruieren. Bringt man diese Gewichte mit der Kurve der mittleren Wassermenge des Flusses in Beziehungen, die, wie gesagt, aus 50-jährigen Beobachtungen abgeleitet ist, so erhält man die Kurve für die Mitführung der schwimmenden Stoffe, die uns erlaubt, festzustellen, welches das Gesamtgewicht der mitgeführten Stoffe während der ganzen Zeit ist, in welcher die Wassermenge zwischen den beiden festgestellten Werten liegt. Es ergibt sich daraus ein mittleres Gesamtgewicht von 15 Millionen 718 000 t im Jahre, das sind 7 859 000 cbm, wenn man das spezifische Gewicht der Ablagerungen auf 2 festsetzt. In der für die Handhabung der Wehre aufgestellten Verordnung ist gesagt, dass die Schützen ganz hochgezogen werden müssen, sobald die Wassermenge des Flusses 500 cbm erreicht, das heisst, 20 Tage im Jahre. Diese 20 Tage stellen die Durchschnittsperiode dar, während welcher man den Stau aufhebt, wohingegen für die 345 übrigen Tage die Schützen, welche das Wasser stauen, ganz oder halb geschlossen bleiben würden.

Das Volumen der von dem Fluss während der 20 Tage mitgeführten Stoffe beträgt 4 572 000 cbm, und das, den übrigen 345 Tagen entsprechende Gewicht beträgt 3 287 000 cbm. Hier zeigt sich nun die ausserordentlich wichtige Erscheinung, dass während 345 Tagen, in denen die Wassermenge des Flusses unter 500 cbm beträgt und die Schützen geschlossen sind, das Volumen der mitgeführten Stoffe nur 41 % des gesammten Jahresvolumens ausmacht, während 59 % dieses Volumen in den 20 Tagen abfliessen, in denen die Wassermenge mehr als 500 cbm beträgt, und während welcher das Wehr nicht in Tätigkeit ist. Wenn man übrigens die leichten Stoffe berück-

sichtigt, die immer im Wasser schwimmend verharren, und diejenigen, die vor dem Wehr angehäuft sind, und bei der geringsten Oeffnung der verschiedenen Schützen hindurch gehen, so wird es leicht sein, daraus zu folgern, dass die jährlichen Ablagerungen nur bis 30 % des mitgeführten Volumens ausmachen, und dabei erfolgt diese Ablagerung nicht mit einem Male. Die 20 Tage, in denen die Wassermenge über 500 cbm beträgt, verteilen sich im allgemeinen auf fünf oder sechs Perioden. Berücksichtigt man nur die beiden unvermeidlichen Hochfluten, im Frühjahr und im Herbst, so muss man folgern, dass die Ablagerung, die bei jeder Oeffnung beseitigt werden muss, kaum 15 % der ganzen Jahresmenge ausmacht, das heisst, ungefähr 1 000 000 cbm, eine Menge, die vernachlässigt werden kann, wenn man berücksichtigt, dass sie sich auf die ganze Länge des Flusses verteilt, die bis Orte mehr als 150 km beträgt. Das bezieht sich auf die im Wasser schwebenden Stoffe, während für den grösseren Teil des Volumens, nämlich für denjenigen, der sich am Boden entlang wälzt, die Wehre keinen Einfluss haben können, weil solche Stoffe nur mitgeführt werden, wenn die Wehre nicht in Tätigkeit sind.

Hydraulische Triebkraft.

Der Vorteil, den man durch Anwendung hoher Wehre erzielt, beschränkt sich nicht auf die Möglichkeit, ihre Zahl zu verringern und die Ausgaben entsprechend herabzusetzen, sondern, wie schon angedeutet, besteht sie auch in der Schaffung eines industriellen Wertes : der Ausnutzung der hydraulischen Kraft, die in dem Flusse liegt, die man nur zum kleinsten Teil oder gar nicht ausnutzen kann, wenn der Höhenunterschied ein geringer ist.

Die Ergebnisse, die man in dieser Hinsicht bei der Untersuchung der Tiberregulierung erhält, werden diesen sehr interessanten Punkt noch näher aufklären. Man nutzt den beim ersten Wehre hergestellten Höhenunterschied nicht an Ort und Stelle aus, sondern man verschiebt ihn an den andern Arm, der « Kanal von Fiumicino » genannt wird, welcher die Schifffahrt bis zum Meere vermittelt. Die Stauhöhe ist, wie gesagt, 5,30 m, und da das Wasser dieses Kanals direkt ins Meer

abfließt, so unterliegt die Fallhöhe, welches auch die Wassermenge des Flusses sei, keinen Aenderungen.

Wenn man von 5,30 m etwa 0,80 m abzieht, die man infolge der Gefälle verliert, so bleibt ein brauchbarer Fall von 4,50 m.

Die geringste Wassermenge des Flusses beträgt 100 cbm in der Sekunde. Da aber der Fluss während 360 Tagen eines Durchschnittsjahres eine Wassermenge von über 120 cbm führt, so kann man diese Zahl von 120 cbm als das bequem ausnutzbare Volumen betrachten, und infolge dessen beträgt die hydraulische Kraft, die der Fall entwickelt,

$$\frac{4,50 \times 120 \times 100}{75} = 7200 \text{ HP, das heisst, } 0,75 \times 0,94 \times 7200 =$$

5076 elektrische PS; wäre die Höhe des Falles 3,50 m, so ergäbe

$$\text{sich eine Kraft von } \frac{120 \times 3,50 \times 100}{75} = 5600, \text{ das heisst, } 3098 \text{ elek-}$$

trische PS.

Nach dem Entwurf soll der erste ständige Fall zu industriellen Anlagen gebraucht werden, der zweite veränderliche und Unterbrechungen unterworfenen soll den Bedürfnissen der Schifffahrt und des Ackerbaues dienen, die während der Zeit der Hochflut und der langen Regen, die sie begleiten, stille liegen.

Die Kosten der beiden Wehre betragen 5 300 000 Frcs, und diejenigen der hydroelektrischen Anlagen einschliesslich der Leitungen und Transformationen erreichen 4 600 000 Frcs, das sind rund 10 000 000 Frcs, ohne die Kosten des Betriebes, der Unterhaltung und der Tilgung. Nun genügt es, die 5 075 elektrischen PS, die dauernd vorhanden sind, sind auf 150 Frcs und die 3 948 anderen, die mit 20 Tagen ununterbrochen verfügbar sind, auf 100 Frcs zu schätzen, um bei Kapitalisierung dieser Werte eine Summe von 11 Millionen Frcs zu erhalten, die somit die Gesamtkosten der hydroelektrischen Anlagen der Wehre deckt.

Es ist also wenigstens für den besonderen Fall des Tiber gezeigt, dass die industrielle Ausnutzung des mit einem hohen Wehr erzielten Falles auch die Kosten des Wehres selbst decken kann; dabei bleibt die kostenlose Regulierung der Schifffahrtsstrasse als Reinertrag übrig.

RESOLUTIONEN

A. — Bei Flüssen, welche in einem festen und tiefen Bett verlaufen, oder welche in felsigen, nicht besiedelten Schluchten zu Tale fliessen, ist kein anderes Mittel zur Verbesserung ihrer Schiffbarkeit möglich, als eine Reihe beweglicher Wehre, die gleichzeitig die Vertiefung des Wassers und die Regulierung der Geschwindigkeit der Strömung bewirken.

B. — Um die Bau- und Betriebskosten zu vermindern und auch die Zahl der Unterbrechungen des Wasserweges zu verringern, müssen diese Wehre so hoch wie möglich sein, wobei auf die Notwendigkeit der Abführung des Wassers aus dem benachbarten Gelände Rücksicht zu nehmen ist. Diese Beschränkung hindert nicht, dass man, wenn nötig, die Stauhöhe über dem umgebenden Gelände halten kann, indem man Dämme baut und für die Abführung des Wassers durch Seitenkanäle Sorge trägt, die in den Fluss unterhalb des nächsten Wehres münden.

C. — Bei dem gegenwärtigen Stande der Wasserbautechnik, die auf eine Reihe von Erfolgen zurückblickt, ist das beste und sicherste Verfahren zur Herstellung dieser hohen Fälle dasjenige von Wehren aus Mauerwerk, mit grossen bogenförmigen Oeffnungen, die mit Schützen, System Stoney, geschlossen werden. Dies System ist sicher zu handhaben und bewirkt auch einen vollkommen dichten Abschluss.

D. — Die grosse Breite, die man diesen Oeffnungen geben kann (bis zu 30 m) verhindert jede Störung durch Pflanzen und Treibeis, weil die Strömung an den Durchlässen jeden schwimmenden Körper nach der stromabwärts gelegenen Seite des Wehres treibt.

E. — Bei den Flüssen mit klarem Wasser ist es, selbst bei grossen Schwankungen der Wassermenge, möglich, den Stau während der grossen Hochwasser ohne Schaden für die Wasserführung aufrecht zu erhalten, dadurch bleiben die Wasserstrassen in möglichst unverändertem Zustand, und ein Teil der Fallhöhe bleibt konstant.

F. — In den Flüssen mit trübem Wasser wird es nötig, um die Wasserverhältnisse gleichmässig zu erhalten, den Stau während der Hochwasserzeit zu entfernen, um dem Fluss selbst sein früheres Gefälle wiederzugeben, sodass er die grosse Menge

mitgeführter Stoffe in diesem Augenblick abführen und die gebildeten Ablagerungen fortschwemmen kann.

G. — Wenn man den Hochwasserspiegel höher legen kann, entweder wegen der grossen Höhe der Ufer, oder weil der Fluss in engen und nicht besiedelten Gegenden fliesst, so kann man den Stau ständig lassen, selbst, wenn das Wasser viele Stoffe mitführt, und warten, bis sich das Bett einen neuen Gleichgewichts-Zustand bildet.

Mit diesen Vorsichtsmassregeln ist der erste Teil der Aufgabe vollständig erschöpft und gelöst.

H. — Nur die hohen Wehre ermöglichen die vorteilhafte industrielle Ausnutzung der in einem Flusslauf verfügbaren Wasserkraft, und dies sowohl wegen der grösseren Fallhöhe, als wegen der grossen Gleichmässigkeit, die die Wasserverhältnisse zeigen, oder die man ihnen künstlich geben kann, durch Verwertung der überflüssigen lebendigen Kraft des Wassers zu diesem Zweck.

So ist auch der zweite Teil gelöst.

Rom 1907.

CESARE CIPOLETTI.

INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND

DER

SCHIFFAHRTS-KONGRESSE

XI. Kongress - St.-Petersburg - 1908

I. Abteilung : Binnenschifffahrt

1. Frage

BERICHT

VON

C. CIPOLIETTI



