

*Verlags 20 zum basist Nr. 42 mit Lrücke
II. 5426/95 nam Jahr März 1895*

VI. INTERNATIONALER BINNENSCHIFFFAHRTS-CONGRESS

HAAG, 1894

7. FRAGE. *26*

Die Regulirung der Flüsse für
Niedrigwasser

VON

PH. W. VAN DER SLEYDEN,
Ober-Ingenieur beim Waterstaat in Maastricht,

UND

R. J. CASTENDIJK,
Ingenieur 1. Klasse beim Waterstaat in Nimwegen.

F. Nr. 19875



HAAG,

Druck von GEBR. BELINFANTE, A. D. SCHINKEL, Nachf.

PAVELJOENSGRACHT, 19.

1894.



II 354140

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316684

Sechster internationaler Binnenschiffahrts- Congress.

Im HAAG. — 1894.

DIE REGULIRUNG DER FLÜSSE FÜR NIEDRIGWASSER

VON

Ph. W. VAN DER SLEIJDEN,

Oberingenieur beim Waterstaat in Maastricht,

UND

R. J. CASTENDIJK,

Ingenieur 1. Klasse beim Waterstaat in Nimwegen.

EINLEITUNG.

In jedem niederländischen Flusse unterscheidet man ein Sommer- und ein Winterbett.

Das Sommerbett ist derjenige Theil des Flussbettes, welcher in der Regel, also auch meistens während der Sommermonate, Wasser führt und aus groberen und feineren Bestandtheilen besteht, welche unter dem Einflusse wechselnder Wasserstände Verschiebungen unterworfen sind.

Die besonderen Kennzeichen des Winterbettes sind, dass es sich zu gewisser Höhe über das Sommerbett erhebt, um während einiger darauf folgenden Monate trocken zu bleiben. Es kann sich daher auf demselben eine Vegetation entwickeln, und die Oberfläche mehr Festigkeit gewinnen, so dass, wenn das Wasser aus demselben abströmt, nur ausnahmsweise Löcher gespült oder feste Bestandtheile mitgeführt werden.

Die Böschungen, welche das Sommer- mit dem Winterbette vereinigen, sind sogar in einem und demselben Flusse bald steil, bald sanft geneigt, jedoch wohl ohne Ausnahme deutlich wahrnehmbar. Vergebens wird man bei Betrachtung eines Flusses nach anderen klar erkennbaren Unterschieden zwischen niedrigen und hohen Wasserständen suchen, als die schon genannten zwischen Sommerbett und Winterbett.

So lange der Fluss sich im natürlichen Zustande befindet, ist das Sommerbett fortdauernden Veränderungen seines Laufes, das Winterbett einerseits Auskolkungen, andererseits Ablagerungen unterworfen, weil die Strömung an gewissen Punkten die Böschung des Winterbettes angreift. Die losgerissenen festen Bestandtheile werden dann eine Strecke weit mitgeführt, um darauf wieder eine Ablagerung im Sommerbette an einer Stelle, wo die Strömung weniger kräftige Wirkung hat, zu bilden.

Unter Regulirung eines Flusses versteht man besonders die Schaffung einer bestimmten Regelmässigkeit, sowohl der Längsachse wie auch der Breiten des Sommerbettes in auf einander folgenden Flussstrecken. Zur Festsetzung der Biegungen, welche in der Längsachse zulässig sind, und der Breiten werden einige Strecken des natürlichen Flusses ausgewählt, wo das Verhältniss zwischen Breite und Tiefe des Sommerbettes ein günstiges ist und wo keine Untiefen zu Strömungsspaltungen oder anderen Unregelmässigkeiten Anleitung geben. Zur Ausführung übergehend gibt man dem Sommerbette die gewünschte Böschung, indem man dabei eine Anzahl von Strecken einengt, andere erweitert und die Ufer der übrigen Strecken, welche unverändert bleiben können, verstärkt. Die feste Lage des Sommerbettes ist dann gesichert und fernere Zerstörung des Winterbettes kann dann nicht mehr vorkommen.

Sind diese Arbeiten — so weit, wie nöthig, noch durch Baggerungen unterstützt — über die ganze Länge eines Flussabschnittes ausgeführt, so ist das Bett dieses Theiles des Flusses ganz unzweifelhaft regelmässiger geworden. Untiefen werden ganz oder theilweise verschwunden sein, während enge und übermässig tiefe Stellen an Breite zugenommen und an Tiefe abgenommen haben werden.

Fragt man nun, welcher Einfluss auf den so regulirten Fluss durch fortlaufende Leitdämme ausgeübt werden kann, welche einen Theil der Breite des Sommerbettes einschliessen und nur so geringe Höhe besitzen, dass sie auch bei Niedrigwasser noch untergetaucht bleiben, so scheint es für eine deutliche und befriedigende Antwort nöthig, den Bezirk allgemeiner Betrachtungen zu verlassen und sich bestimmte Flüsse oder Flussstrecken vor Augen zu führen.

Wir wählen dazu:

1°. die Waal.

2°. die Maas, so weit dieselbe in Limburg fliesst.

DIE WAAL.

Hinsichtlich der Waal kann als Beitrag zur Behandlung dieser Frage Folgendes mitgetheilt werden. Zunächst geben wir eine kurze Aufzählung einiger die Eigenart dieses Stromes betreffender Punkte.

Die Waal ist auf niederländischem Gebiete der Hauptarm des Rheins sowohl bezüglich des Verkehrs, wie der Wasserabfuhr.

Verkehr.

Die Schifffahrt zwischen Deutschland einerseits und Rotterdam und den belgischen Häfen andererseits geht ganz über diese Stromstrecke.

Die Anzahl der Lobith in beiden Richtungen passirenden Schiffe stieg von 25955 mit 7339000 Tonnen (Kubm.) im Jahre 1888 auf 31005 mit 9155496 Tonnen (Kubm.) im Jahre 1892. Die über Lobith ein- und ausgeführten Güter beliefen sich im Jahre 1892 auf 6312870 Tonnen, worunter von und nach Rotterdam 2661496, von und nach Nimwegen, Tiel,

Gorinchem und Dordrecht zusammen 263554 und von und nach den belgischen Häfen 1447016 die Waal passirten, während die von Amsterdam und allen anderen Häfen herkommenden und dahin gehenden Güter über den Nieder-Rhein und Leck geführt wurden.

Die Abmessungen der grossen Schiffe, welche gegenwärtig den Rhein befahren, sind:

Länge	81 m.,
Breite	10,5 "
Tiefgang	2,5 "
Ladevermögen 1500 Tonnen (Kubm.)	

Unlängs wurde in Krimpen an der IJssel für eine deutsche Firma sogar ein Schleppkahn von 88 m. Länge, 10,5 m. Breite, 2,6 m. Tiefgang und 1800 Tonnen Ladevermögen gebaut.

Wasserstände und Wasserabfuhr.

Die folgende Tabelle gibt einige die hohen und niederen Wasserstände und weitere die Verfassung der Waal betreffenden Daten.

	Lobith.	Hulhuizen.	Nimwegen.	Tiel.	St. Andries*)	Zaltbommel.
	M. + N.A.P.	M. + N.A.P.	M. + N.A.P.	M. + N.A.P.	M. + N.A.P.	M. + N.A.P.
Höchster bei offenem Wasser in diesem Jahrhundert bekannter Wasserstand, 4.—6. Januar 1883.	16.38	15.19	13.42	9.63	8.08	7.09
Mittler Sommerstand (1. Mai—1. Nov. 1871—1880). . .	11.13	10.35	8.77	5.57	4.40	3.39
Mittler Niedrigwasserstand, berechnet 1.50 M. über Null in Köln. (Protokoll der Central-Rheinschiffahrts-Commission vom 1. Oktober 1885.)	9.60	9.13	7.52	4.32	3.00	2.08
Niedrigster Wasserstand im September 1893.	9.12	8.61	7.06	3.67	2.39	1.55
Niedrigst bekannter Wasserstand bei offenem Wasser .	8.77	8.21	6.64	3.54	2.39	1.23
Entfernungen von der Landesgrenze	15 Novb. 1874. 4.2 K.M.	15 Novb. 1874. 11.9 K.M.	15/16 Nov. 1874 26 K.M.	26 u. 29 Oct. 1814 56.6 K.M.	27 Sept. 1893. 67.8 K.M.	30 Oct. 1832. 76.7 K.M.
Gefälle per K.M. bei mittlerem Sommerstande		0.1013	0.1128	0.1075	0.1045	0.1135
Gefälle per K.M. bei dem niedrigen Wasserstande im September 1893		0.0662	0.1107	0.1104	0.1143	0.0943

*) Die Beobachtungen bei St. Andries haben erst im Jahre 1854 angefangen.

Die Wasservertheilung an der Stelle, wo der ungetheilte Rhein sich in die beiden Arme: Waal und Pannerdensch Kanal spaltet, ist so geregelt, dass von der gesammten Wassermenge zwei drittel auf erstgenanntem Wege, der Rest durch den Pannerdensch Kanal abfliessen. Wenigstens ist diese Vertheilung schon im Jahre 1745 durch die „*Staten*“ von Gelderland, Holland, Utrecht und Overijssel als wünschenswerth erkannt worden und wird noch heute zu erreichen gesucht. In Wirklichkeit ist die durch die Waal abfliessende Menge Rheinwasser etwas grösser als zwei drittel, besonders bei niedrigem Wasserstande.

Nach den fast alljährlich angestellten Beobachtungen hat die Wasserabfuhr in den letzten 60 Jahren keine bedeutende Veränderung erfahren.

Die Abfuhr der Waal beträgt bei höchstem Wasserstande ungefähr 6200 cubm., bei mittlerem Sommerstande (1871—80) ungefähr 1400 cubm., bei dem niedrigsten Wasserstande (bei offenem Strome) ungefähr 500 cubm. per Sekunde.

Regulirung des Sommerbettes.

Im Jahre 1850 wurde mit der Verbesserung der niederländischen Ströme begonnen. Bis zu jener Zeit hatte man nur vereinzelte Arbeiten, meistens im Interesse der Uferbesitzer ausgeführt. Die in den Jahren 1850—1874 vorgenommene Regulirung der Waal bestand in der Verbindung von Untiefen mit den Ufern, der Beschränkung überflüssiger Breiten und der Beseitigung in das normale Strombett hineinragender Ufer oder Kunstbauten.

Die im Jahre 1866 für das normale Sommerbett vorläufig angenommene Breite betrug 360 m. zwischen Pannerden und Zaltbommel und erweiterte sich von letzterem Orte bis Loevestein auf 400 m.

Auch nach 1874 wurde mit der Bildung des normalen Sommerbettes in der genannten Breite fortgefahren, indem man die Ufer durch Buhnen und Leitdämme ausbaute, welche mit ihren Kronen bis über den mittleren Sommerstand reichten.

Im Jahre 1888 wurde dieses Werk vollendet.

Dadurch hatte man eine bedeutende Verbesserung sowohl für den Strom selbst, wie für die Schifffahrt erzielt.

Für die Schifffahrt war die Verbesserung indessen nicht hinreichend, da bei niedrigen Wasserständen auf einigen Punkten, namentlich in den geradlinigen Theilen und in den Krümmungsübergängen keine genügende Fahrwassertiefe vorhanden war.

War anfangs bei der ursprünglichen Regulirung die Abfuhr von Wasser und Eis Hauptzweck, später wurden die Schifffahrtsinteressen mehr berücksichtigt.

Man unterwarf die von der Schifffahrt gestellten Forderungen einer neuerlichen Prüfung und erkannte, dass eine durchgehende Wassertiefe

von 3 m. bei mittlerem niedrigen Wasserstande, welcher ungefähr 1,25 m. unter dem in obiger Tabelle angegebenen mittleren Sommerstande entsprechen würde, über eine angemessene Breite des Stromes für die grosse Rheinschiffahrt wünschenswerth war.

In gekrümmten Stromstrecken war die Fahrwassertiefe längs dem concaven Ufer reichlich genügend, nämlich bedeutend grösser, als die durchschnittliche; in den geradlinigen oder beinahe geradlinigen Strecken, wie auch in den Biegungspunkten entsprach die Tiefe fast über die ganze Breite des Profils der durchschnittlichen, und diese letztere war nicht genügend. Hieraus wurde entnommen, dass in den letztgenannten Strecken die gewünschte Tiefe nicht erreichbar sein würde, wenn man die im Jahre 1866 angenommenen Normalbreiten beibehielt, und dass eine Einengung dieser Strecken erfolgen musste.

Die Gleichung

$$b = \frac{A}{c \sqrt{d^3 \alpha}},$$

worin A die Abfuhr in Kubikmetern per Sekunde, b die Normalbreite, c eine constante Grösse = 50, d die durchschnittliche Tiefe und α das Gefälle bedeuten, zeigt bei Einsetzung der verschiedenen Werthe für A , d und α , dass die Normalbreite in den geradlinigen Strecken 310 m. betragen muss, wenn die Abfuhr 870 cubm. per Sekunde bei dem betreffenden niedrigen Wasserstande beträgt, und sich für eine Abfuhr von 1400 cubm. per Sekunde bei dem 1,25 m. höheren mittleren Sommerstande nur um wenige Meter davon zu unterscheiden braucht.

Die hier angegebene Einengung unter möglichster Beibehaltung der vorhandenen Breite in den Buchten ist auf der Waal durch Verlängerung der bestehenden Bühnen erreicht worden (S. den Bericht zu Frage 6).

Den Verlängerungen wurde eine mit dem mittleren Wasserstande übereinstimmende Kronenhöhe gegeben, während die schon vorhandenen Werke mehr oder minder über denselben emporragten.

Anwendung von niedrigen Dämmen.

Die Eingrenzung des Strombettes zwischen zwei fortlaufende mit der Krone unter dem niedrigsten Wasserstande liegende Leitdämme würde im vorliegenden Falle nicht zum Ziele geführt haben, es sei denn, dass der Abstand der beiden Dämme von einander bedeutend geringer als 310 m. gewesen wäre.

Zur Bestimmung des Abstandes, in welchem die Dämme von einander angelegt hätten werden müssen, wenn man die oben geforderte Tiefe erreichen wollte, muss man in die mitgetheilte Gleichung für A die Abfuhr bei dem niedrigsten Wasserstande (bei offenem Strome), auf 500 cubm. geschätzt, einsetzen, und für die durchschnittliche Tiefe 2,25 m., da dieser niedrigste Wasserstand ungefähr 0,75 m. niedriger ist,

als der obenangeführte durchschnittliche niedrige Wasserstand, was ungefähr 1,25 m. unter dem durchschnittlichen Sommerstande gleichkommt (S. obenstehende Tabelle).

Aus der Gleichung folgt dann:

$$b = \frac{500}{50 \sqrt{(2,25)^3 \times 0,00011}} = 282 \text{ m.}$$

Die Regulirung für die niedrigsten Wasserstände würde also in dem 360 m. breiten Normalbette entweder auf die Anlage eines zweiten, etwa 280 m. breiten Normalbettes hinauskommen, welches zwischen zwei mit der Krone 2 m. unter dem durchschnittlichen Sommerstande liegenden Leitdämmen eingeschlossen ist, oder auf die Anlage eines 360 m. breiten Normalbettes, wenn die Krone der Dämme bis zur Höhe jenes Sommerstandes geführt wird. In beiden Fällen würde den Berechnungen gemäss die gleiche Tiefe von 3 m. unter dem durchschnittlichen niedrigen Wasserstande, welcher oben als nöthig vorausgesetzt wurde, erzielt werden.

Die Achse dieses niedrigen Sommerbettes würde im allgemeinen nicht mit derjenigen des 360 m. breiten Normalbettes zusammenfallen, sondern dieselbe wiederholt kreuzen, da erstere Achse in den Buchten sich dem concaven Ufer nähern muss, um so weit wie nöthig aus der dort vorhandenen Tiefe Nutzen zu ziehen.

Um alles verfügbare Wasser in dem niedrigen Sommerbette zu halten, werden die Leitdämme, welche dieses Bett begrenzen, in gewissen Abständen durch Querdämme von gleicher Höhe mit den Buhnen oder Ufern, welche das breitere Normalbett einfassen, verbunden werden müssen.

Unzuträglichkeiten.

Durch die engere Eingrenzung des Niedrigwasserbettes zwischen zwei fortlaufenden Leitdämme kann wohl bezüglich der Festhaltung einer regelmässigen, tiefen Fahrrinne einiger Vorthiel erzielt werden. Jedoch ist in dem hier betrachteten Falle die Ausführung von bei dem niedrigsten Wasserstande unter Wasser bleibenden Parallelwerken nicht zu empfehlen,

- 1^o wegen der grossen Anlage- und Unterhaltungskosten,
- 2^o wegen der beschwerlichen Ausführung,
- 3^o wegen der grossen Unzuträglichkeiten, welche die untergetauchten Werke der Schifffahrt, besonders Segelschiffen und der Fischerei, bereiten.

Auch der allgemeine mit der Regulirung durch Leitdämme verbundene Nachtheil, dass nämlich der abtreibende Sand keine Gelegenheit hat, sich zu lagern, wie es zwischen Buhnen der Fall ist, muss hier erwähnt werden.

Die Einengung in der oben beschriebenen Weise, also mit bis zur Höhe des durchschnittlichen Sommerstandes reichenden, jedoch alsdann

in dem bezifferten Abstände von 310 m. von einander liegenden Leitdämmen, konnte, wenngleich sie der Schifffahrt und der Fischerei weniger nachtheilig gewesen wäre, bei der Regulirung der Waal wegen der hohen Kosten ebenso wenig in Betracht kommen. Die Ausgaben dafür würden bedeutend höher gewesen sein, als die für die jetzt bestehenden Werke, d. h. die Verlängerung der Buhnen bis an die neuen Normallinien. Der Abstand der Buhnen von einander beträgt durchschnittlich 200 m.

Die ausgeführte Einengung um 50 m. erforderte also per 200 m. Stromlänge nur die Anlage von höchstens 50 m. Buhnen, während sie bei Anwendung von Leitdämmen per 200 m. Länge mindestens 200 m. Leitdämme erheischt hätte, ausser den nöthigen Verbindungen mit den bestehenden Buhnen.

Die vorstehend aufgeführten Nachtheile wiegt der Vortheil einer vollkommenen Stromleitung durch Streckdämme nicht genugsam auf.

Ausserdem würde bei der grossen Beweglichkeit des Bodens, der hauptsächlich aus Sand mit sehr wenig Kiesel gemischt besteht, die Gefahr entstehen, dass in der schmaleren Furche zwischen den beiden Leitdämmen bei hohem Oberwasser Versandung eintrete, besonders an den Stellen, wo die Richtung der Hauptströmung im Flussbette nicht mit der im niedrigen Sommerbette zusammenfällt.

Schlussfolgerung.

Auf Grund des Vorstehenden scheint angenommen werden zu können, dass eine Regulirung für Niedrigwasser mit untergetauchten Leitdämmen, was die Waal angeht, nicht rathsam ist.

DIE MAAS.

Gefällslinien.

Im südlichen Limburg, wo die Maas auf dem grössten Theile ihres Laufes die Grenze zwischen Niederland und Belgien bildet, beträgt das Gefälle ungefähr 0,40 m. per Kilometer. Diese Strecke ist reichlich 60 Km. lang. Die Strömung ist hier sehr kräftig und das Bett besteht ausschliesslich aus Kieseln, deren grösste Abmessungen mehr als 15 cm. betragen.

Darauf folgt eine Uebergangsstrecke von ungefähr 40 Km. Länge, wo das Gefälle regelmässig abnimmt.

Im nördlichen Limburg zwischen Venlo und Mook beträgt das Gefälle auf einer Strecke von beinahe 60 Km. nur ungefähr 0,06 m. per Kilometer. Das Bett besteht hier aus feinen Kieseln und Sand.

Der Zustand des Stromes im südlichen Limburg ist daher von demjenigen im nördlichen Limburg sehr verschieden; wo solches nöthig ist, werden wir in der Folge daher ausdrücklich angeben, welchen Theil des

Stromes wir ins Auge gefasst haben, während wir die Uebergangsstrecke ausser Betracht lassen.

Breiten.

Die Breiten des Sommerbettes des noch verwilderten Stromes wechseln im südlichen Limburg zwischen 60 m. und 130 m., im nördlichen zwischen 90 und 180 m., insofern die Untiefen, welche eben bis über den mittleren Sommerstand reichen, zu dem Winterbette gerechnet werden.

Winterbett.

Ueber den bei weitem grössten Theil der Stromlänge erhebt sich das Winterbett um 3—5 m. über den mittleren Sommerstand und ist es unter einer Neigung von ungefähr 3 : 1 mit dem Rande des Sommerbettes oder mit Untiefen kürzlicher Entstehung verbunden.

Wasserabfuhr.

Die Abfuhr der Maas im südlichen Limburg beträgt bei mittlerem Sommerstande ungefähr 125 cubm. per Sekunde und bei mittlerem Winterstande ungefähr 320 cubm. per Sekunde.

Fast in jedem Winter ist an einigen Tagen ein Wasserstand zu beobachten, bei welchem die Abfuhr mehr als 1000 cubm. per Secunde beträgt; die grösste bekannte Abfuhr ist auf mindestens 2200 cubm. per Secunde zu veranschlagen.

Im Sommer vermindert sich die Abfuhr meistens während längerer oder kürzerer Perioden bis auf 50 cubm. per Secunde und bis auf noch weniger. Die kleinste Abfuhr kann auf ungefähr 25 cubm. per Secunde veranschlagt werden, wovon bei Maastricht noch 6 cubm. per Sekunde abgezapft werden.

Für das nördliche Limburg sind diese Mengen um 10—15 % zu erhöhen.

Wasserstände.

Im südlichen Limburg erhebt sich der mittlere Winterstand beinahe um 1 m., im nördlichen Limburg um 1,50—2 m. über den mittleren Sommerstand.

Die niedrigsten Wasserstände liegen im südlichen Limburg ungefähr 0,80 m., im nördlichen Limburg ungefähr 1,20 m. unter dem mittleren Sommerstande. Die höchsten Wasserstände erheben sich im südlichen Limburg um 5—5,50 m. über den niedrigsten Stand, im nördlichen Limburg um 8 bis höchstens 10 m.

Fahrwassertiefen.

In ihrem gegenwärtigen Zustande ist die Maas im südlichen Limburg in der Regel im Vor- und im Nachjahre für Schiffe von 0,80 m. Tiefgang

benutzbar. Im Sommer fällt die Fahrwassertiefe meistens auf unter 0,50 m. In dem sehr trockenen Sommer van 1893 betrug die Fahrwassertiefe nur 0,25 m. Im nördlichen Limburg beträgt die Fahrwassertiefe meistens 1,20 m. und mehr und selten weniger als 1 m., im Sommer von 1893 fiel sie jedoch bis auf 0,60 m.

Regulirung des Sommerbettes.

Seit 1850 werden in den Stromstrecken, die dessen am meisten bedürftig sind, Regulirungsarbeiten ausgeführt. Im Jahre 1866 hat man die normale Breite des Sommerbettes im südlichen Limburg auf 100 m., im nörlichen auf 120 m. festgestellt. Diese Regulirung ist jedoch noch lange nicht ausgeführt. Anfangs wurden die Kronen der Leitdämme und Bühnen nur wenig über den mittleren Sommerstand hinaus geführt, jedoch sind sie später erhöht worden, so dass sie jetzt bis beinahe an den mittleren Winterstand reichen. Demzufolge hat die günstige Einwirkung dieser Bauten zugenommen.

Die Gefällslinie zeigt indessen noch viele Unregelmässigkeiten. Hauptsächlich muss dies dem Umstande zugeschrieben werden, dass bisher fast nichts für eine Regulirung für die grossen Wasserabfuhrn geschehen ist, so dass die Geschwindigkeiten in auf einander folgenden Strecken stark abwechseln und Ursache sind, dass die unregelmässigen Verschiebungen von Kiesel und Sand fort dauern bleiben.

Anwendung niedriger Dämme.

Welche Erwartungen man hinsichtlich des Nutzens einer Regulirung für Niedrigwasser auch hegen möge, so kann doch von der Ausführung dahin zielender Bauten keine Rede sein, so lange die Regulirung des Sommerbettes und des Profiles für höhere Wasserstände nicht weiter vorgeschritten ist, als es jetzt der Fall ist. Das soll uns indessen nicht davon abhalten, eine Beurtheilung der Arbeiten vorzunehmen, welche für die Ausführung beachtet werden könnten, und der Erfolge, welche man von denselben erwarten darf.

In den gekrümmten Stromstrecken hat sich jetzt bereits eine tiefere Furche längs dem concaven Ufer im Sommerbette ausgespült.

Mittels niedriger Dämme wird es möglich sein, diese Rinnen zwischen steilere Wände zu bringen, für die Erhaltung der Rinnen sind sie aber nicht nöthig und sie würden nur einen unbedeutenden Einfluss auf dem Zustand des Stromes ausüben.

In den geraden Strecken und den Biegungspunkten des Stromes, wo in der Regel das Sommerbett über die ganze Breite eine ziemlich gleichmässige Tiefe hat und wo daher eine tiefere Rinne mangelt, ist die Frage besonders die, ob durch Anlage von niedrigen Dämmen, welche in beschränktem Abstände von einander liegen, eine Fahrrinne zu schaffen

und zu bewahren sein wird, welche sich mit den bereits vorhandenen Rinnen in den stromauf und stromab sich anschliessenden gekrümmten Strecken gehörig vereinigt.

Untersuchen wir zunächst, welcher der Zustand in dem normalen Sommerbette ohne tiefere Rinne ist, und welche Abmessungen gedachten Rinnen gegeben werden könnten.

In der Maas im südlichen Limburg ist die Breite $b = 100$ m., und das Gefälle $\alpha = 0.0004$. Wenn ferner der Werth der constanten Grösse c auf 50 angenommen wird, so ist bei der Abfuhr bei mittlerem Sommerstande $A = 125$ cubm. per Sekunde, die Tiefe

$$d = \sqrt[3]{\frac{A^2}{c^2 b^2 \alpha}} = \sqrt[3]{\frac{125^2}{50^2 \times 100^2 \times 0,0004}} = 1,16 \text{ m.}$$

und die Geschwindigkeit

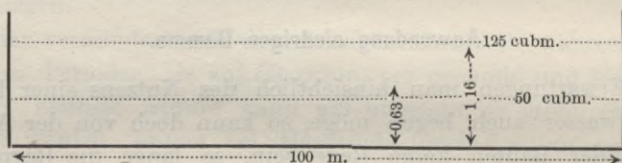
$$v = c \sqrt{d \alpha} = 50 \sqrt{1,16 \times 0,0004} = 1,08 \text{ m.}$$

Nimmt die Abfuhr A bis auf 50 cubm. per secunde ab, so wird die Tiefe

$$d = \sqrt[3]{\frac{50^2}{50^2 \times 100^2 \times 0,0004}} = 0,63 \text{ m.}$$

und die Geschwindigkeit

$$v = 50 \sqrt{0,63 \times 0,0004} = 0,795 \text{ m.}$$



Stellt man nun die Forderung, dass in einer durch niedrige Dämme eingeschlossenen Rinne bei einer Wasserabfuhr $A = 50$ cubm. per Sekunde, die Tiefe $d_1 = 1$ m. sein soll, so wird die Breite dieser Rinne

$$b_1 = \frac{A}{c \sqrt{d_1^3 \alpha}} = \frac{50}{50 \sqrt{1^3 \times 0,0004}} = 50 \text{ m.}$$

und die Geschwindigkeit

$$v_1 = c \sqrt{d_1 \alpha} = 50 \sqrt{1 \times 0,0004} = 1 \text{ m.}$$

Nimmt nun die Abfuhr A wieder bis auf 125 cubm. per Sekunde zu, so wird der Wasserspiegel um ungefähr 0.60 m. steigen, so dass $d_1 = 1.60$ m. und die Abfuhr durch die tiefere Rinne

$$A_1 = c \sqrt{b_1^2 d_1^3 \alpha} = 50 \sqrt{50^2 \times 1^3 \times 0,0004} = 101,2 \text{ cubm.}$$

mit einer Geschwindigkeit

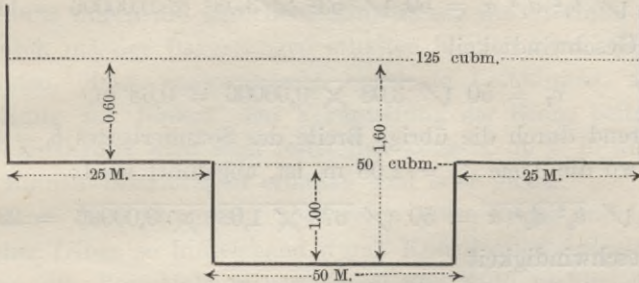
$$V_1 = 50 \sqrt{1.60 \times 0.0004} = 1.265 \text{ m.}$$

wird, während in der übrigen Breite des Sommerbettes $b - b_1 = b_2 = 50$ m., wo die Tiefe $d_2 = 0.60$ m. ist, die Abfuhr beträgt:

$$A_2 = c \sqrt{b_2^2 d_2^3 \alpha} = 50 \sqrt{50^2 \times 0,60^3 \times 0,0004} = 23,8 \text{ cubm.}$$

mit einer Geschwindigkeit

$$V_2 = 50 \sqrt{0,60 \times 0,0004} = 0,775 \text{ m.}$$



Für die Maas im nördlichen Limburg findet man die folgenden Resultate:

In dem normalen Sommerbette von einer Breite $b = 120$ m. und bei einem Gefälle von $\alpha = 0.00006$ wird für die Abfuhr bei mittlerem Sommerstande $A = 140$ cubm. die Tiefe

$$d = \sqrt[3]{\frac{A^2}{c^2 b^2 \alpha}} = \sqrt[3]{\frac{140^2}{50^2 \times 120^2 \times 0,00006}} = 2,085 \text{ m.}$$

und die Geschwindigkeit

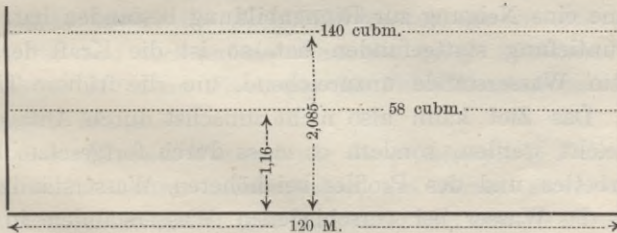
$$v = c \sqrt{d \alpha} = 50 \sqrt{2,085 \times 0,00006} = 0,56 \text{ m.}$$

sein. Vermindert sich die Abfuhr A auf 58 cubm., so wird die Tiefe

$$d = \sqrt[3]{\frac{58^2}{50^2 \times 120^2 \times 0,00006}} = 1,16 \text{ m.}$$

und die Geschwindigkeit

$$v = 50 \sqrt{1,16 \times 0,00006} = 0,42 \text{ m.}$$



Stellt man nun die Forderung, dass in einer durch niedrige Dämme eingeschlossenen Rinne bei der Abfuhr $A = 58$ cubm. per Sekunde die Tiefe $d_1 = 2$ m. sein soll, so wird die Breite dieser Rinne

$$b_1 = \frac{A}{c \sqrt{d_1^3 \alpha}} = \frac{58}{50 \sqrt{2^3 \times 0,00006}} = 53 \text{ m}$$

und die Geschwindigkeit

$$v_1 = c \sqrt{d_1 \alpha} = 50 \sqrt{2 \times 0,00006} = 0,55 \text{ m.}$$

Nimmt nun die Abfuhr A wieder auf 140 cubm. zu, so steigt der Wasserspiegel um ungefähr 1.08 m., so dass $d_1 = 3.08$ m., und die Abfuhr durch die tiefe Rinne

$$A_1 = c \sqrt{b_1^2 d_1^3 \alpha} = 50 \sqrt{53^2 \times 3,08^3 \times 0,00006} = 111 \text{ cubm.}$$

mit einer Geschwindigkeit

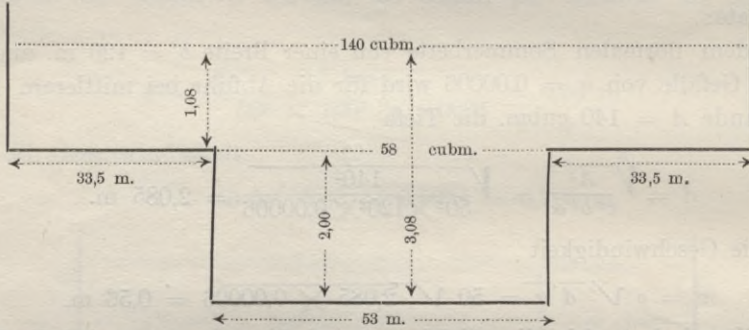
$$v_1 = 50 \sqrt{3,08 \times 0,00006} = 0,68 \text{ m.}$$

wird, während durch die übrige Breite des Sommerbettes $b - b_1 = b_2 = 67$ m., wo die Tiefe $d_2 = 1.08$ m. ist, abgeführt wird:

$$A_2 = c \sqrt{b_2^2 d_2^3 \alpha} = 50 \sqrt{67^2 \times 1,08^3 \times 0,00006} = 29 \text{ cubm.}$$

mit der Geschwindigkeit

$$v_2 = 50 \sqrt{1,08 \times 0,00006} = 0,40 \text{ m.}$$



Die so berechneten Rinnen sind sicher durch Baggerungen und durch Anlage niedriger Dämme zu schaffen und laufen keine Gefahr, während einer Niedrigwasser-Periode an Tiefe abzunehmen. Sofern indessen bei hohen Wasserständen Kiesel und Sand in Bewegung kommen, sucht man vergebens nach Ursachen, warum eine zwischen niedrigen Dämmen eingeschlossene Rinne unverändert bleiben sollte, wenn nicht schon vor Anlage dieser Dämme eine Neigung zur Rinnenbildung bestanden hat. Und wenn einmal Veruntiefung stattgefunden hat, so ist die Kraft der Strömung bei niedrigem Wasserstande unzureichend, um die frühere Tiefe wieder auszubilden. Das Ziel kann also nicht zunächst durch Anlage niedriger Dämme erreicht werden, sondern es muss durch fortgesetzte Regulierung des Sommerbettes und des Profiles bei höheren Wasserständen erstrebt werden, dass das Wasser bei verschiedenen Wasserständen in derselben Richtung abströmt und bei einem gleichen Stande so wenig Aenderung in der Geschwindigkeit wie möglich erleidet, damit die Wahrscheinlichkeit um einige Beständigkeit in durch Baggerung geschaffenen Rinnen zu erzielen, vergrößert werde.

Haben sich derartige Rinnen gebildet, so besteht innerhalb gewisser

Grenzen die Möglichkeit, durch Beschränkung der Breite eine grössere Tiefe zu unterhalten; dies bleibt jedoch jederzeit eine Arbeit, deren Erfolg zweifelhaft ist. Man kann, wie oben angegeben ist, wohl die Abmessungen berechnen, die den Rinnen gegeben werden müssen, um bei bestimmter Wasserabfuhr eine gewünscht Tiefe zu erzielen, jedoch fehlt jeder Maassstab zur Bestimmung der Abmessungen, in welchen eine derartige Rinne durch die natürliche Einwirkung des Stromes, und nöthigenfalls durch mässige Baggerungen erhalten bleiben kann. Es kann der Fall eintreten, dass unzwekmässig angelegte Leitdämme, anstatt die Tiefenerhaltung zur fördern, zur Veruntiefung der Rinne beitragen. Nur durch die Erfahrung wird man feststellen können, ob z. B. die oben berechneten Rinnen beständig zu erhalten sind oder nicht.

Allein wenn das Strombett über seine ganze Breite und in sehr beträchtlicher Länge so hinreichend durch Kunstbauten festgelegt ist, dass nicht allein die Verschiebung von Kiesel und Sand verhindert, sondern dass auch die vom Oberstrom kommende Anfuhr fester Bestandtheile auf eine sehr geringe Menge beschränkt wird, ist es möglich, jede gewünschte Rinne im Sommerbette zu unterhalten. Es braucht jedoch wohl kaum gesagt zu werden, dass zur Erreichung dieses Zieles so umfassende und kostspielige Bodenbekleidungen nöthig werden, dass wohl selten oder nie zur Ausführung derartiger Arbeiten geschritten werden wird; man kann dieselben daher ausser Betracht lassen.

SCHLUSSBETRACHTUNGEN.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass so lange durch Regulirung des Sommerbettes und des Profiles für höhere Wasserstände noch keine fortlaufende Rinne entstanden ist, die Anlage von niedrigen Leitdämmen als voreilig zu betrachten ist, während es auch nach Entstehung einer solchen Rinne vollkommen ungewiss bleibt, wie gross die Zunahme der Tiefe sein wird, die noch durch Anlage von Leitdämmen erzielt werden kann. Rechnet man dazu die hohen Kosten der Anlage und des Unterhaltes niedriger Dämme und die Gefahren, welche letztere der Schifffahrt bereiten, wie wir oben an der Waal gezeigt haben, so wird auch auf der Maas die Anlage niedriger Dämme nicht als zweckmässiges Mittel zur Förderung der Fahrrententiefe bei Niedrigwasser betrachtet werden können.

Um bei einer Minimal-Wasserabfuhr die grösstmögliche Fahrwassertiefe zu erzielen, ist es bei weitem zweckmässiger, den Strom zu kanalisiren, weil solches mit grösserer Sicherheit zum Ziele führt und auf die Dauer wohl nicht theurer zu stehen kommt. Auch kann die Anlage eines Seitenkanales, welcher aus dem Strome gespeist wird, in Betracht kommen.

