

min

Sept '51

RAPPORTEN EN MEDEDEELINGEN VAN DEN RIJKSWATERSTAAT.

N^o. 11.

INHOUD:

NOTA, BETREFFENDE BEREKENINGEN OMTRENT
RIVIERVERBETERINGEN OPGEMAAKT DOOR DEN
INGENIEUR VAN DEN RIJKSWATERSTAAT C.W. LELY.

UITGEGEVEN DOOR HET MINISTERIE
VAN WATERSTAAT.

'S-GRAVENHAGE - ALGEMEENE LANDSDRUKKERIJ - 1917.

Prijs f 0.25.

DE «RAPPORTEN EN MEDEDEELINGEN VAN DEN RIKSWATER-
STAAT» VERSCHIJNEN OP ONREGELMATIGE TIJDSTIPPEN EN
WORDEN SLECHTS, INDIEN DIT UITDRUKKELIJK IS AANGEGEVEN,
TEGEN BETALING ALGEMEEN VERKRIJGBAAR GESTELD. DE
INHOUD DER RAPPORTEN, MEDEDEELINGEN, ENZ., BLIJFT
GEHEEL VOOR REKENING VAN DE SCHRIJVERS.

RAPPORTEN EN MEDEDEELINGEN VAN DEN RIJKSWATERSTAAT.

N^o. 11.

INHOUD:

NOTA, BETREFFENDE BEREKENINGEN OMTRENT
RIVIERVERBETERINGEN OPGEMAAKT DOOR DEN
INGENIEUR VAN DEN RIJKSWATERSTAAT C.W. LELY.

UITGEGEVEN DOOR HET MINISTERIE
VAN WATERSTAAT.

NOTA, BETREFFENDE BEREKENINGEN OMTRENT RIVIERVERBETERINGEN.

Toen na 1850 met kracht de normaliseering der rivieren ter hand werd genomen, was het doel, behalve het verbeteren van de bevaarbaarheid, voornamelijk het voorkomen van overstromingen bij hoog-opperwater en ijsgang.

Kan thans dit laatste doel praktisch wellicht als bereikt worden beschouwd, zoo worden daarentegen de eischen, welke aan de bevaarbaarheid worden gesteld, steeds hooger, zoodat in de latere jaren de normaliseering niet in hoofdzaak meer bestaat in het veranderen van den onregelmatigen vorm en loop van het bed in een meer regelmatigen vorm, doch in het verkrijgen van een grooter vaardiepte door geleidelijke versmalling over de geheele lengte.

Het zal duidelijk zijn, dat met een versmalling van het rivierbed niet steeds kan worden voortgegaan, daar ten slotte een zoodanige breedte wordt verkregen, dat de door verdere versmalling te verkrijgen meerdere diepte niet meer opweegt tegen het nadeel, dat de scheepvaart van eene versmalling ondervindt.

Indien men tot dicht bij deze grens is genaderd, dan is het ter beoordeeling van de vraag, welke vaardiepte bij verdere versmalling kan worden bereikt en tot hoever men daarmede zal moeten gaan, een eerste vereischte, dat de te bereiken diepte zoo nauwkeurig mogelijk kan worden berekend.

Het is daarom niet van belang ontbloomt te achten, te onderzoeken hoe groot de fouten zijn, welke bij een dergelijke berekening kunnen worden gemaakt en op welke wijze de nauwkeurigheid der berekeningen kan worden verhoogd.

Bij de thans in de praktijk veelal gevolgde methode wordt voor de berekening uitgegaan van de formule voor gelijkmatige beweging:

$$Q = cw \sqrt{RI}$$

welke formule de betrekking aangeeft tusschen den afvoer Q , het doorstroombingsprofiel w , den gemiddelden straal $R = \frac{w}{\chi}$ en het verhang I .

Bij breede rivieren kan voor den natten omtrek χ de breedte b gesteld worden ¹⁾ zoodat de gemiddelde diepte $d = \frac{w}{b}$ kan worden berekend uit

$$Q = c b d \sqrt{d I}$$

$$\text{of } d = \frac{Q^{2/3}}{c^{2/3} b^{2/3} I^{1/3}}$$

Wij zien hieruit, dat de aanname van den zoogenaamden snelheidscoëfficiënt c , een coëfficiënt waarin feitelijk alle invloeden, welke niet langs theoretischen weg zijn te bepalen, tot uiting komen, een grooten invloed heeft op de uitkomst der berekende diepte; n.l. is

$$\frac{dd}{d} = -\frac{2}{3} \frac{dc}{c}$$

Bij een fout in c van 10 pct. wordt dus een fout in de berekende diepte gemaakt van ongeveer 7 pct. of $\frac{1}{15}$.

Voor den snelheidscoëfficiënt c worden vele empirische formules gegeven, waarvan voor praktisch gebruik de nieuwe formule van Bazin

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

vooral wegens haar eenvoudigheid, in den laatsten tijd wel het meest op den voorgrond treedt.

In deze formule is γ een coëfficiënt, afhankelijk van de geaardheid van de wanden, welke volgens de berekeningen van BAZIN varieert van 0.06 voor zeer gladde wanden tot 1.75 voor bijzonder weerstand biedende wanden.

De gewone rivieren zijn door BAZIN ingedeeld in de 4^{de} cate-

¹⁾ Bij een profiel met taluds van 4:1 is ongeveer $\chi = b + \frac{1}{4}d$ zoodat dus bij een breedte van 200 M. en diepte van 4 M. door in plaats van χ de breedte b te stellen een fout wordt gemaakt van $\pm \frac{1}{4}\%$.

gorie, natuurlijke stroomen met aarden wanden, waarvoor $\gamma = 1.30$ is te stellen.

Het is van belang in de eerste plaats te onderzoeken welke waarde aan den coëfficiënt $\gamma = 1.30$ voor rivieren is te hechten en welke afwijkingen kunnen voorkomen.

De afleiding van de formule van BAZIN is te vinden in de Annales des Ponts et Chaussées 1897, 4^{me} trimestre, in zijn »Etude d'une nouvelle formule pour calculer le débit des canaux découverts».

Op grond van vroegere onderzoekingen gaat BAZIN uit van de onderstelling, dat $\frac{1}{c}$ evenredig is te stellen met $1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}$ en neemt hiervoor aan

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{87} \left(1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}} \right)$$

waaruit dus volgt $c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$

De keuze van het getal $\frac{1}{87}$ berust niet op empirische berekening, doch wordt als aannemelijk voorgesteld.

Ter bepaling van den coëfficiënt γ heeft BAZIN een zeer groot aantal waarnemingen ingedeeld in categoriën volgens de geaardheid der wanden.

De 4^{de} categorie, gewone aarden wanden, omvat de waarnemingen op gewone kanalen en rivieren, totaal ongeveer 200 waarnemingen, waaruit is afgeleid de waarde voor $\gamma = 1.30$.

Bij eene beschouwing van deze waarnemingen zijn daarin dadelijk twee hoofdgroepen te onderscheiden, welke feitelijk weinig met elkaar hebben uit te staan, n.l.:

1°. 24 waarnemingen, verricht in zeer kleine waterleidingen met 1 à 2 M. bodembreedte, een gemiddelden straal kleiner dan 1 M. en betrekkelijk groote verhangen van ± 0.0005 ;

2°. 175 ¹⁾ waarnemingen, waarvan 58 op kanalen en 117 op rivieren verricht, met een gemiddelden straal varieerend van ongeveer

¹⁾ Opgegeven zijn 189 waarnemingen, doch 14 werden wegens vermoedelijke onbetrouwbaarheid door BAZIN buiten rekening gelaten.

$\frac{1}{2}$ tot ongeveer $5\frac{1}{2}$ M. (11 waarnemingen met $R < 1$ M.) en verhangen uiteenlopende 0.00004 tot 0.00100.

Reeds dadelijk valt op te merken, dat een coëfficiënt, afgeleid uit de 1^e groep van 24 waarnemingen, waarde moge hebben voor berekeningen van greppels en slooten met bodemsbreedten van enkele meters, doch geenszins op rivieren met breedten van 100—300 M. kan worden toegepast, zoodat deze waarnemingen verder buiten beschouwing zullen worden gelaten.

Ten einde nu te kunnen beoordeelen welke waarde aan de door BAZIN berekende waarde $\gamma = 1.30$ is te hechten, is van de 175 waarnemingen op kanalen en rivieren voor elke waarneming uit de opgegeven waarden voor R , I en v de coëfficiënt γ bepaald en werd als gemiddelde gevonden $\gamma = 1.29$, dus, zooals te verwachten was, geheel overeenkomende met de door BAZIN berekende waarde $\gamma = 1.30$.

De afwijkingen liepen echter niet onbelangrijk uiteen; de grootste negatieve afwijking bedroeg -0.72 , de grootste positieve $+0.76$ ($\pm 60\%$), terwijl voor de middelbare afwijking werd gevonden 0.22 of $\pm 17\%$.

$$\text{Nu is } \frac{dc}{c} = -\frac{(87-c)}{87} \frac{d\gamma}{\gamma}$$

of voor $R = 2.5$ à 3 M. is, volgens BAZIN berekend, ongeveer:

$$\frac{dc}{c} = -0.44 \frac{d\gamma}{\gamma}$$

zoodat dus eene fout in c van 10% , of zooals boven aangegeven,

in de berekende diepte van ongeveer $\frac{1}{15}$, wordt gemaakt bij eene

fout in γ van ongeveer 23% .

Uit deze cijfers mag worden afgeleid, dat al moge de formule van BAZIN waarde hebben als gemiddelde uit een groot aantal waarnemingen zoodat zij voor globale berekeningen gebruikt kan worden, voor meer nauwkeurige berekeningen betreffende een bepaalde rivier, de formule niet zonder nader onderzoek omtrent hare bruikbaarheid mag worden toegepast.

Bovendien zij opgemerkt, dat de aanname, dat $\frac{1}{c}$ evenredig

met $1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}$ kan worden gesteld, niet geheel juist is en vooral voor grootere waarden van R een te groote waarde van c zal worden gevonden.

Worden de berekende waarden van γ in groepen gerangschikt volgens de grootte van R , dan wordt voor de gemiddelde waarde der groepen gevonden:

R	R gem.	γ gem.	Aantal waarne- mingen.
0—1 M.	0.64	1.23	10
1—2 M.	1.59	1.19	28
2—3 M.	2.50	1.28	71
3—4 M.	3.50	1.31	37
4—5 M.	4.44	1.39	20
5—6 M.	5.24	1.52	9

Deze cijfers wijzen er op, dat γ met R toeneemt en de waarde $\gamma = 1.30$ ongeveer behoort bij $R = 3$ M. en bij $R < 3$ M. een kleiner waarde voor γ en dus grootere waarde voor c en bij $R > 3$ M. een grootere waarde voor γ en dus kleinere waarde voor c zal behooren.

Wij zullen thans in het bijzonder voor de rivieren onderzoeken waarin de oorzaken der fouten kunnen zijn gelegen en hoe daaraan ten deele kan worden tegemoet gekomen.

In de eerste plaats zij dan opgemerkt, dat het minder juist voorkomt voor de bepaling van den coëfficiënt c voor rivieren de formule voor gelijkmatige beweging te gebruiken, waardoor geen rekening wordt gehouden met de onregelmatigheid der dwarsprofielen.

Een gelijkmatige beweging toch komt alleen dan voor, wanneer de dwarsprofielen over grooten afstand gelijk zijn, hetgeen bij de rivieren zelden het geval zal zijn.

Teneinde hiervan een indruk te krijgen, zijn voor enkele riviervakken op de rivier de Waal (najaarspeilingen 1916), Neder-Rijn en Lek (peiling 1914) van een aantal dwarsprofielen de inhouden uitgerekend en in onderstaanden staat I opgegeven voor

elk vak de kleinste, grootste en gemiddelde inhoud, alsmede de middelbare afwijking, alles bij een waterstand = Gl. W. 1908 ¹⁾.

STAAT I.

Rivier.	Vak.	Lengte vak.	Aantal berek. dwarsprofielen.	Inhoud dwarsprofiel bij Gl. W.			Middelbare afwijking.	
				kleinste.	grootste.	gemiddeld heele vak.	M ² .	%
Waal	Hulhuizen—Nijmegen	K.M.	29	M ² . 820	M ² . 1110	M ² . 950	M ² . 64	% 6.7
Waal	Nijmegen—Dode- waard	18	37	900	1170	990	60	6.1
Neder- Rijn	Arnhem—Leks- kensveer	16½	34	280	410	340	30	8.8
Lek	Wijk bij Duurstede— Culenburg	12	97	260	490	380	37	9.7

Uit deze cijfers blijkt duidelijk, dat van een gelijkmatige beweging op deze rivieren thans nog geenszins sprake kan zijn.

Tevens kan uit deze cijfers worden afgeleid, dat de normalisering dezer rivieren nog niet als geheel voltooid kan worden beschouwd.

Bij de berekening der inhoud van de dwarsprofielen zijn de ruimten door de kribben ingenomen daarvan afgetrokken, zoodat dus is aangenomen, dat het profiel landwaarts van de koppen der kribben niet mederekent. Deze aanname is alleen dan juist, wanneer de kribben op zoodanigen korten afstand zijn gelegen, dat tusschen de kribben geen strooming meer plaats heeft, hetgeen thans nog wel in meer of mindere mate geschiedt. Hoe grooter de kribafstand is in verhouding tot de breedte van de rivier, des te minder zullen zij over het volle profiel op den vorm van het dwarsprofiel invloed uitoefenen.

Het wil ons voorkomen, dat vooral na de in den loop der jaren uitgevoerde versmallingen, de kribafstanden thans niet overal meer zoodanig zijn, dat het volle profiel steeds wordt benut,

¹⁾ Deze stand kwam destijds overeen met 1.50 M + 0 te Keulen.

d. w. z. dat het doorstromingsprofiel van de rivier niet meer geheel bepaald wordt door de kribben, althans niet in zeer sterke bochten, te meer waar bij de groote breedte der Nederlandsche rivieren, de breedte in de bochten hetzelfde is gehouden als in de rechte riviervakken.

Ter bevordering van een meer regelmatig dwarsprofiel is het echter thans wel gewenscht, dat bij nog verdere normaliseering ter bereiking van een grootere doorgaande vaardiepte, vooral de breede rivieren in de rechte vakken smaller worden gemaakt dan in de bochten, overeenkomstig het systeem FARGÜE.

Bij den tegenwoordigen toestand met overal gelijke breedte moeten de profielen, vooral in sterke bochten, te smal worden geacht in verhouding tot die in de rechte vakken, zoodat dan ook in sterke bochten, hetgeen bij een beschouwing der dwarsprofielen kan blijken, de inhoud der dwarsprofielen in verhouding te klein is. In de berekende profielen kwamen de kleinste dan ook alle in sterke bochten voor.

Toch zal bij eene rivier wel steeds eenige onregelmatigheid in de dwarsprofielen blijven bestaan, terwijl bovendien, al worden ook de inhouden in de rechte vakken en bochten meer in overeenstemming gebracht, de vorm der dwarsprofielen en dus de snelheidsverdeeling en de weerstand in de bochten steeds anders zullen zijn dan in de rechte vakken, zoodat van een gelijkmatige beweging, zooals in een kanaal met constant dwarsprofiel, wel nimmer sprake zal kunnen zijn.

Voor een meer nauwkeurige berekening mag dan ook niet worden uitgegaan van een zeer kort vak, doch dient een lang riviervak van 10 à 20 K.M. te worden genomen en hierbij de onregelmatigheid der dwarsprofielen in rekening te worden gebracht door uit te gaan van de formule voor de ongelijkmatige beweging,

$$I = \frac{\chi}{w} \frac{1}{c^2} U^2 + \frac{a}{2g} \frac{dU^2}{dx}$$

$$\text{of voor } \chi = b \text{ en } U = \frac{Q}{w}$$

$$I = \frac{b Q^2}{c^2 w^3} + \frac{a Q^2}{2g} \frac{d \frac{1}{w^2}}{dx}$$

Door het beschouwde vak in n kleine vakken te verdeelen

n.l. met weinig veranderlijke dwarsprofielen kan, bij gedeelten geïntegreerd, als benadering hiervoor worden geschreven:

$$y_n - y_o = \frac{Q^2}{c^2} \left[\frac{b_{o,1} l_{o,1}}{w_{o,1}^3} + \frac{b_{1,2} l_{1,2}}{w_{1,2}^3} + \dots + \frac{b_{(n-1)n} l_{(n-1)n}}{w_{(n-1)n}^3} \right] + \frac{\alpha Q^2}{2g} \left(\frac{1}{w_n^2} - \frac{1}{w_o^2} \right)$$

waarin $\alpha =$ ongeveer $\frac{10}{9}$, de coëfficiënt dienende om rekening te houden met de ongelijke verdeling der snelheden in het dwarsprofiel. (Voor de notaties zie fig. 1.)

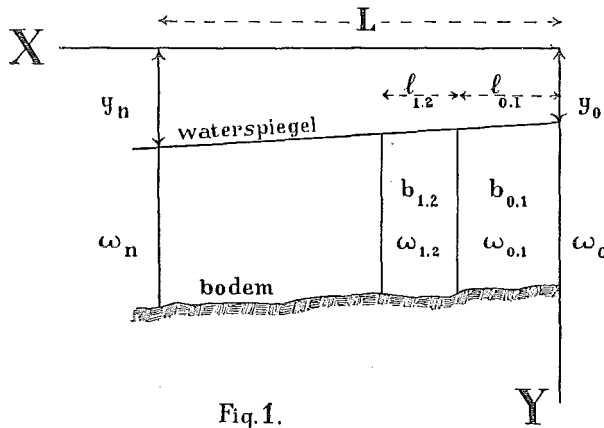


Fig. 1.

Bij lange riviervakken van meer dan 10 K.M. zal veelal de laatste term ten opzichte van den eerste kunnen worden verwaarloosd.

Bij een waterstand van Gl.W. is n.l. voor de Waal $Q = 945$ M³/sec., zoodat voor $w_o = 950$ M² (het gemiddelde van Hulhuizen—Nijmegen)

$$\frac{\alpha Q^2}{2g w_o^2} = 0.056$$

en dus bij een verschil van 10 pct. van w_o en w_n of $\frac{w_o}{w_n} = \frac{11}{10}$:

$$\frac{\alpha Q^2}{2g w_o^2} \left(\frac{w_o^2}{w_n^2} - 1 \right) = 0.056 \times 0.21 = 0.012 \text{ M.}$$

Voor een vak van 15 K.M. lengte is op de Nederlandsche

rivieren met een gemiddeld verval van ongeveer 11 c.M. per K.M., $y_n - y_o$ ongeveer = 1.65 M., zoodat dus door verwaarloozing van den term $\frac{a Q^2}{2 g} \left(\frac{1}{w_n^2} - \frac{1}{w_o^2} \right)$ bij een verschil van w_o en w_n van ongeveer 10 % een fout wordt gemaakt van ongeveer 0.7 %, een fout vermoedelijk kleiner dan die in de aflezingen der peilschalen.

Worden de vakken l_1, l_2, \dots enz. van gelijke lengte genomen, hetgeen, het kortste vak als maatstaf nemende, veelal zonder bezwaar zal kunnen geschieden, dan wordt:

$$y_n - y_o = \frac{Q^2 l}{c^2} \sum \frac{b}{w^3} = \frac{Q^2 L}{c^2} \frac{\sum \frac{b}{w^3}}{n}$$

of

$$I = \frac{y_n - y_o}{L} = \frac{Q^2}{c^2} \frac{\sum \frac{b}{w^3}}{n}$$

terwijl volgens de formule van de gelijkmatige beweging

$$I = \frac{Q^2}{c^2} \frac{b}{w^3}$$

Het verhang I wordt in beide gevallen op dezelfde wijze uit de aflezingen van 2 peilschalen op grooten afstand bepaald, daar bij de kleine vervallen, als op de Nederlandsche rivieren voorkomen van ongeveer 11 c.M. per K.M., over korten afstand het verval niet met voldoende nauwkeurigheid kan worden gemeten.

Het verschil in het gebruik van de formule voor gelijkmatige en die voor ongelijkmatige beweging bestaat dan dus daarin, dat met gebruikmaking van hetzelfde verhang I , bepaald over grooten afstand en denzelfden afvoer Q , in het eerste geval wordt gebruikt $\frac{b}{w^3}$ afgeleid uit een zeer kort vak, veelal uit niet meer dan 2 of 3 profielen

op een afstand van 50 à 100 M., en in het tweede geval $\frac{\sum \frac{b}{w^3}}{n}$ d. i. het gemiddelde van de som $\frac{b}{w^3}$ voor alle vakken waarin het vak van groote lengte is verdeeld.

Ten einde een indruk te krijgen welke verschillen hierdoor

kunnen ontstaan, zijn voor het reeds in staat I genoemde vak Wijk bij Duurstede—Culenburg, waarvoor alle dwarsprofielen om de 125 M., zooals die worden gepeild, zijn uitgerekend, de waarde

$$\frac{\sum \frac{b}{zv^3}}{n}, \text{ alsmede de grootste en kleinste waarden van } \frac{b}{zv^3} \text{ uit een}$$

vak van een K.M. lengte uit 9 opeenvolgende profielen en uit een vak van 125 M. lengte uit 2 opeenvolgende profielen berekend.

Als uitkomsten werden gevonden:

$$\text{voor } \frac{\sum \frac{b}{zv^3}}{n} \text{ uit 97 profielen over 12 K.M. lengte } 266 \times 10^{-8}$$

$$\text{voor } \frac{b}{zv^3} \text{ uit 9 opeenvolgende profielen over}$$

1 K.M. lengte

$$\text{als kleinste waarde. } 200 \times 10^{-8}$$

$$\text{als grootste waarde. } 421 \times 10^{-8}$$

$$\text{voor } \frac{b}{zv^3} \text{ uit 2 opeenvolgende profielen over}$$

125 M. lengte

$$\text{als kleinste waarde. } 135 \times 10^{-8}$$

$$\text{als grootste waarde. } 1563 \times 10^{-8}$$

Wanneer men nu bedenkt, dat door BAZIN de coëfficiënt γ is bepaald volgens de formule van de gelijkmatige beweging uit de in een kort drijfvak, of soms slechts in een enkel profiel, met het molentje van WOLTMAN gemeten snelheid, uit den gemiddelden straal van het korte vak of enkele profiel en uit het verhang, dat bij de kleine verhangen als op de Nederlandsche rivieren over een grooter afstand wordt gemeten, dan behoeft het met bovenstaande cijfers voor oog en geenszins te verwonderen dat de afwijkingen zeer groot kunnen zijn.

Het is dus de vraag, of de door BAZIN berekende gemiddelde waarde $\gamma = 1.30$ op de Nederlandsche rivieren kan worden toegepast.

Ten einde dit te kunnen beoordeelen is volgens de hier aangegeven methode de coëfficiënt γ berekend voor de in staat I opgegeven riviervakken en wel voor die op Waal bij een stand

van Gl. W. en 0.50 M. + Gl. W. en voor die op Neder-Rijn en Lek voor een stand van Gl. W. en M. R. 1901—1910 of ongeveer 0.80 + Gl. W.

Bij hooger standen komen de kribben onder water, zoodat dan niet meer van één dwarsprofiel sprake is en een andere methode, waarover later, zal moeten worden gevolgd.

De snelheidscoëfficiënt c is bepaald uit $c = Q \sqrt{\frac{\Sigma \frac{b}{w^3}}{I n}}$

waarin de afvoer Q is berekend uit de uitkomsten der in 1914, 1915 en 1916 verrichte afvoermetingen op de wijze als nader zal worden aangegeven.

De uitkomsten dezer berekeningen, alsmede ter vergelijking de waarde van c volgens BAZIN berekend, zijn in onderstaanden staat II opgegeven.

STAAT II.

Riviervak.	Waterstand.	Lengte vak.	Gemid. diepte $d = R$	Q	c	γ	c ¹⁾ volgens BAZIN met $\gamma = 1.30$.
<i>Waal.</i>		K.M.	M.	M ³ /sec.			
Hulhuizen—Nijmegen	Gl. W.	14	3.73	945	48.2	1.55	52.0
Idem	0.50 M + Gl. W.	14	4.17	1116	47.3	1.71	53.2
Nijmegen—Dode-waard	Gl. W.	18	3.89	945	45.4	1.81	52.4
Idem	0.50 M + Gl. W.	18	4.33	1116	45.7	1.88	53.5
<i>Neder-Rijn.</i>							
Arnhem—Lekskens-veer	Gl. W.	16	2.85	286	48.7	1.33	49.2
Idem	M. R.	16	3.54	420	49.6	1.42	51.5
<i>Lek.</i>							
Wijk bij Duurstede—Culenburg	Gl. W.	12	2.78	286	47.9	1.36	48.9
Idem	M. R.	12	3.36	420	46.6	1.59	50.9

¹⁾ Uit de in dezen staat opgegeven waarden van c blijkt, dat de voor de Nederlandsche rivieren dikwijls aangenomen gemiddelde waarde $c = 50$, hoewel te groot, voor de hier beschouwde rivieren een nog betere benadering geeft dan de waarde van c in de laatste kolom volgens BAZIN berekend.

Uit deze berekende waarden voor γ blijkt, dat alleen voor de vakken op Neder-Rijn en Lek bij den stand van Gl. W. de waarde weinig afwijkt van die van BAZIN, terwijl voor hooger en rivierstand het verschil reeds weder grooter wordt.

Voor de vakken op de Waal zijn de verschillen zeer belangrijk (max. ongeveer 45 pct.) waaruit mag worden afgeleid, dat op deze rivier de formule van BAZIN niet mag worden toegepast.

Voor het gemiddelde van de 4 voor de Waal berekende waarden wordt gevonden $\gamma = 1.74$ in plaats van 1.30. Voor den snelheidscoëfficiënt c wordt gevonden voor de Waal gemiddeld 46.7, terwijl berekend volgens BAZIN (laatste kolom) wordt gevonden $c = 52.8$ of een verschil van ongeveer 13 pct.

Wordt dus een door vernauwing te bereiken diepte berekend met c volgens BAZIN, dan wordt door een fout van 13 pct. in c een fout in de berekende diepte gemaakt van ongeveer 9 pct. en wel in dien zin dat de te bereiken diepte ongeveer 9 pct. te klein wordt gevonden.

Op een diepte van $4\frac{1}{2}$ M. maakt dit dus een verschil van ongeveer 0.40 M., een verschil dat zeker niet is te verwaarloozen, zoodat het alleszins van belang is te achten hierop de aandacht te vestigen.

In het bovenstaande is bijzondere aandacht geschonken aan de formule van BAZIN, terwijl er voor bepaling van den coëfficiënt c meerdere empirische formules ten dienste staan.

Naast die van BAZIN vindt in de praktijk die van GANGUILLET en KUTTER, vooral in Duitschland nog veel toepassing, zoodat ook deze formule in het kort zal worden onderzocht.

GANGUILLET en KUTTER hebben eveneens uit een groot aantal van ongeveer 210 waarnemingen op rivieren en kanalen verricht, de formule afgeleid:

$$c = \frac{23 + \frac{0,00155}{I} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

waarin I het verhang en n weer een coëfficiënt is, welke afhankelijk gesteld wordt van de geaardheid der wanden en voor gewone aarden wanden op 0.025 wordt gesteld.

Voor de Nederlandsche rivieren loopen de verhangen be-

trekkelijk weinig uiteen, zoodat ter vergelijking met de formule van BAZIN het gemiddelde verhang van ongeveer 0.00011 kan worden ingevoerd.

Met $I = 0.00011$ en $n = 0.025$ wordt de formule van GANGUILLET en KUTTER $c = \frac{77}{1 + \frac{0.925}{\sqrt{R}}}$, welke te schrijven is

$$c = \frac{87}{1.13 + \frac{1.045}{\sqrt{R}}} \text{ terwijl BAZIN geeft } c = \frac{87}{1 + \frac{1.30}{\sqrt{R}}}$$

Voor $R = 3.84$ M., d. i. ongeveer de gemiddelde diepte op de Waal bij Gl. W. (zie staat II) geven beide formules dezelfde waarde voor c .

BAZIN geeft voor $R < 3.84$ M. iets kleiner waarden en voor $R > 3.84$ M. iets grooter waarden, zooals hieronder ter vergelijking is opgegeven.

R	c Volgens BAZIN.	c Volgens GANGUILLET en KUTTER.
M		
2	45.3	46.6
3	49.7	50.2
4	52.7	52.6
5	55.0	54.5
6	56.8	55.9
9	60.7	58.9

Beide formules geven dus betrekkelijk weinig uiteenloopende waarden, hetgeen ook niet te verwonderen valt, daar het hier slechts betreft een eenigszins andere wijze van rangschikking van de uitkomsten der waarnemingen, welke uitkomsten op dezelfde wijze zijn vastgesteld, terwijl ook voor beide formules een groot aantal van dezelfde waarnemingen zijn gebruikt.

Zonder thans verder hierop in te gaan, kan op grond van het bovenstaande wel worden aangenomen, dat aan beide formules vrijwel gelijke waarde kan worden toegekend, in dien zin, dat zij

in 't algemeen voor meer globale berekeningen kunnen worden gebruikt, doch geen voldoende vertrouwen verdienen ter bepaling van den coëfficiënt c voor meer nauwkeurige berekeningen op een bepaalde rivier, vooral niet bij groote diepte.

Het wil ons voorkomen, dat voor rivieren de coëfficiënt c meer beheerscht wordt door het wezen der rivier zelve, n.l. den vorm en het verloop van het rivierbed en de onregelmatigheid der dwarsprofielen, dan wel door den gemiddelden straal en door de geaardheid der wanden, of voor breede rivieren de geaardheid van den bodem.

Voor meer nauwkeurige berekeningen verdient het zeer zeker aanbeveling, den coëfficiënt c niet uit een empirische formule, afgeleid uit waarnemingen op andere rivieren of kanalen, te bepalen, doch c uit den bestaanden toestand voor de rivier zelve af te leiden uit de waarnemingen van afvoer, verhang en dwarsprofiel in een lang riviervak.

De berekeningen voor staat II zijn alleen uitgevoerd bij waterstanden waarbij de kribben nog boven water blijven, zoodat de afstroming alleen in een profiel tusschen de kribben plaats heeft.

Voor hooge waterstanden, waarbij de kribben of uiterwaarden onder water zijn en daarover ook afvoer plaats heeft, kan van een enkelvoudig dwarsprofiel, waarop eene berekening kan worden toegepast, geen sprake meer zijn.

Men zal dan het dwarsprofiel der rivier in enkele vakken van ongelijke diepte moeten verdeelen en voor elk vak den afvoer bepalen, waartoe in de eerste plaats noodig is te weten, of onder dergelijke omstandigheden, zooals veelal gebruikelijk is, de bij een enkelvoudig profiel geldende formules ook op de afzonderlijke vakken kunnen worden toegepast, hetgeen valt te betwijfelen.

Het is daarom niet van belang ontbloot te achten, dat hieromtrent een nader onderzoek wordt ingesteld. Al moge het ook bij eene berekening van de door verdere normaliseering te bereiken diepte voor de scheepvaart alleen van belang zijn te weten welke diepte bij de lage waterstanden kan worden verkregen, zoo is het toch ter bepaling van de hoogte waarop de kribben behooren te worden aangelegd evenzeer van belang, ook bij hooge waterstanden een eenigszins betrouwbare berekening te kunnen uitvoeren, waarvoor thans geen voldoende gegevens beschikbaar zijn. Vooral ook

met het oog op het zooveel mogelijk beperken van de uitschuringen en zandneerzettingen bij verschillende waterstanden, is het noodig op grond van een voldoende aantal gegevens te kunnen beoordeelen, in hoeverre ook bij hooge waterstanden dezelfde formules kunnen worden toegepast op verschillende vakken van ongelijke diepte.

Wat nu de bepaling van den afvoer Q betreft, zij het volgende opgemerkt.

Bij permanente beweging, waarvoor de hier gegeven beschouwingen gelden, is de afvoer, wanneer geen zijdelingsche aan- of afvoer plaats heeft, overal hetzelfde. Indien dus op een plaats de afvoer wordt gemeten, kan deze zonder bezwaar op het overige gedeelte der rivier worden toegepast.

De uitkomsten der afvoermetingen, welke metingen het beste met de zoogenaamde Kraaijenhofsche drijvers kunnen geschieden, blijven echter, al worden ook de meest regelmatige riviervakken uitgekozen, steeds behept met onvermijdelijke waarnemingsfouten, terwijl ook zelden tijdens de metingen de beweging geheel permanent zal zijn, zoodat bijna altijd bij eenigen val of was wordt gemeten.

Het mag wel worden ondersteld, dat aan de nauwkeurigheid der metingen, zooals die thans geregeld geschieden, weinig meer valt te verhoogen, zoodat het slechts mogelijk is de nauwkeurigheid der uitkomsten te vergrooten door zooveel mogelijk metingen te verrichten.

Daar echter zelden meerdere metingen bij eenzelfden waterstand geschieden en de afvoer met den waterstand verandert, zoo geven de uitkomsten der metingen nog geenszins een gegeven omtrent den afvoer bij een bepaalden waterstand.

Ten einde thans den afvoer bij een bepaalden waterstand te bepalen, worden in den regel de uitkomsten der metingen graphisch uitgezet en door de punten zoo goed mogelijk een vloeiende afvoerkromme getrokken.

Een dergelijke op het oog getrokken kromme kan een zeer duidelijk beeld geven van den afvoer bij verschillende standen en voor globale berekeningen zeer zeker zonder bezwaar worden gebruikt.

Voor meer nauwkeurige berekeningen ware er wellicht de

voorkeur aan te geven, de afvoerkromme uit de waarnemingen te berekenen door de kromme als een tweedegraadskromme uit te drukken:

$$Q = a + b H + c H^2$$

waarin H den waterstand ter plaatse voorstelt en de coëfficiënten a , b en c uit de waarnemingen zijn af te leiden.

Voor al bij een betrekkelijk gering aantal waarnemingen bij tamelijk uiteenlopende waterstanden is aan een berekende kromme eenige meerdere waarde te hechten dan aan een op het oog getrokken kromme, bij welke laatste het gewicht van groepen van meerdere waarnemingen veelal niet zuiver in rekening kan worden gebracht.

Ook in het buitenland zijn reeds meerdere afvoerkrommen op deze wijze berekend en maakt de overeenstemming tusschen berekening en waarneming het alleszins aannemelijk, dat de afvoer met vrij groote nauwkeurigheid in een tweedegraadsvergelijking van den waterstand kan worden uitgedrukt.

Bij een groot aantal waarnemingen zullen de verschillen tusschen een op het oog getrokken en een berekende kromme zeker gering zijn, doch levert eene vergelijking meer gemak op en ontgaat men de aflezingsfout van een in de praktijk gebruikelijke, op kleine schaal geteekende kromme.

Bovendien levert eene vergelijking van den afvoer voor één plaats bepaald het voordeel op, dat men daaruit direct de vergelijking van den afvoer op een andere plaats kan opstellen, wanneer men het verband tusschen de overeenkomstige waterstanden bij permanente beweging vaststelt.

Ter bepaling van de waarden van Q zooals die in staat II zijn opgegeven, zijn daarom uit de in 1914, 1915 en 1916 verrichte afvoermetingen voor de Waal te Hulhuizen en voor den Neder-Rijn te Arnhem, de meest waarschijnlijke waarden der coëfficiënten a , b en c berekend, waarbij aan alle waarnemingen hetzelfde gewicht is toegekend.

Als vergelijkingen werden gevonden:

voor de *Waal*:

$Q = 4938 - 1170 H + 80 H^2$ M³/sec. als H = waterstand te Hulhuizen in M. + N.A.P.

en voor den *Neder-Rijn*:

$Q = 1105 - 341.5 H + 30 H^2$ M³/sec. als $H =$ waterstand te Arnhem in M. + N.A.P. ¹⁾)

Wordt nu uitgegaan van de onderstelling, dat bovenstaande vergelijkingen een juiste waarde voor den afvoer geven en de afwijkingen dus in hoofdzaak het gevolg zijn van waarnemingsfouten, dan is dus uit de afwijkingen van waargenomen en berekenden afvoer te berekenen welke waarde aan een enkele waarneming is te hechten, hetgeen uit een vergelijking der waarnemingen alleen niet mogelijk is, daar zooals reeds gezegd, zelden meerdere waarnemingen bij eenzelfde rivierstand zijn verricht, zoodat de uitkomsten niet onderling vergelijkbaar zijn.

De uitkomsten dezer berekening, waarbij de waarnemingen voor elke rivier in 4 groepen volgens de grootte der afvoeren zijn verdeeld, zijn in onderstaanden staat opgegeven.

Voor elke groep is opgegeven het gemiddelde van de waargenomen afvoeren Q_w , van de berekende afvoeren Q_b en de middelbare afwijking in M³ en % berekend uit de verschillen $Q_w - Q_b$ voor elke waarneming.

Rivier.	Aantal waarnemingen.	Middelbare afwijking.			
		Q_w	Q_b	M ³ .	%
Neder-Rijn,	6	M ³ .	M ³ .	M ³ .	%
"	19	282	278	7	2.5
"	7	432	443	26	6.0
"	4	637	645	27	4.2
"	4	1173	1185	53	4.5
Waal.	6	999	1000	48	4.8
"	19	1457	1469	52	3.6
"	7	2122	2106	96	4.5
"	4	3762	3774	79	2.1

Hoewel het aantal waarnemingen nog betrekkelijk klein is voor het opmaken van juiste gevolgtrekkingen, zoo kunnen toch

¹⁾ Uit de overeenkomstige waterstanden bij permanente beweging werd voor het verband tusschen den waterstand te Arnhem H en den stand te Wijk bij Duurstede h gevonden:

$$h = 0.9 H - 3.8 M + \text{N.A.P.}$$

Stelt men in de vergelijking voor den afvoer $H = \frac{h + 3.8}{0.9}$ dan word voor den afvoer te Wijk bij Duurstede gevonden:

$$Q = 198 - 98 h + 37 h^2.$$

bovenstaande cijfers er wel op wijzen, dat de fouten ongeveer evenredig zijn met den afvoer.

Wordt dit voorloopig aangenomen, dan wordt uit de 72 waarnemingen te zamen genomen als middelbare fout in de enkele waarneming ± 4.5 pct. gevonden.

Het is daarom van groot belang te achten, dat zooveel mogelijk metingen worden verricht, waardoor het mogelijk wordt den afvoer bij een bepaalden waterstand met grooter nauwkeurigheid te berekenen en tevens op juiste gronden het verband tusschen afvoer en waterstand vast te stellen.

Opgemerkt zij nog, dat de hier gegeven beschouwingen alleen gelden voor permanente beweging. Bij niet permanente beweging, zooals bij sterken was of val op de bovenrivieren of op de benedenrivieren onder invloed van eb en vloed, kunnen berekeningen als hierbedoeld niet worden toegepast.

Met het bovenstaande zij in het kort aangetoond, dat het ter voorkoming van fouten bij eventueele berekeningen voor rivierverbeteringen gewenscht is:

1°. Een berekening alleen uit te voeren voor een lang riviervak van 10 à 20 K.M.;

2°. de zoogenaamde snelheidscoëfficiënt *niet* met behulp van een der daarvoor ten dienste staande formules te bepalen, doch deze uit den bestaanden toestand van de rivier uit een lang riviervak af te leiden;

3°. zooveel mogelijk afvoermetingen te verrichten op verschillende plaatsen, zoowel bij hooge als bij lage rivierstanden en uit de uitkomsten der metingen een verband vast te stellen tusschen afvoer en waterstand;

4°. een nader onderzoek te doen instellen in hoeverre bij hooge rivierstanden, als ook water over kribben of uiterwaarden wordt afgevoerd, voor eene berekening op verschillende vakken van ongelijke diepte, dezelfde formules kunnen worden toegepast als bij lage rivierstanden.

'S-GRAVENHAGE, 1 Augustus 1917.

De Ingenieur van den Rijkswaterstaat,

C. W. LELY.

Bij de firma GEBRS, VAN CLEEF, Boekhandelaar, Spui 28 te 's-Gravenhage zijn mede verkrijgbaar gesteld van de «Rapporten en Mededeelingen van den Rijkswaterstaat» :

- N^o. 1. Verslag naar aanleiding van eene reis tot bezichtiging van eenige aan de kust gelegen havens in Frankrijk, Engeland en België, gedaan in September 1910 door G. J. VAN DEN BROEK, Ingenieur van den Rijkswaterstaat *).
- „ 2. Rapport betreffende de wateronttrekking aan, en de afzanding van de duinen langs de Nederlandsche kust, uitgebracht in 1912 door de Hoofdingenieurs-Directeuren van den Rijkswaterstaat in de 11e, 10e en 9e Directiën J. C. RAMAER, N. A. M. VAN DEN THOORN en H. WORTMAN *).
- „ 3. Nota, betreffende de bepaling der grootheden, die bekend moeten zijn voor de berekening van den gronddruk tegen grondkeerende constructies in de Visschershaven te IJmuiden, opgemaakt door den Ingenieur van den Rijkswaterstaat J. J. CANTER CREMERS *).
- „ 4. Beschrijving van de opruiming van het op 16 Maart 1913 in den mond van de haven van IJmuiden gezonken stoomschip «Eastwell», opgemaakt door den Ingenieur van den Rijkswaterstaat W. G. C. GELINCK. Prijs f 0.25.
- „ 5. Verslag eener reis naar Zweden, gedaan door den Hoofdingenieur-Directeur van den Rijkswaterstaat H. WORTMAN en den Ingenieur van den Rijkswaterstaat A. T. DE GROOT in Juli 1911, tot het bezoeken van plaatsen van herkomst van Zweedsch graniet, welke toepassing zou kunnen vinden bij zeewerken in Noordholland *).
- „ 6. Aanteekeningen omtrent de gevolgen van zware stormvloeden, tusschen 1500 en 1825 voorgekomen, voor de dijken en polders langs het Zuidwestelijk deel der Zuiderzee, samengesteld door den Ingenieur van den Rijkswaterstaat D. A. VAN HEYST. Prijs f 0.25.
- „ 7. Verslag omtrent den aanleg van stroomleidende dammen in de Zandkreek en Veergat, opgemaakt door den Ingenieur van den Rijkswaterstaat G. J. VAN DEN BROEK. Prijs f 0.25.
- „ 8. Beschrijving van den bouw van de derde schutsluis in het kanaal door Zuid-Beveland te Hansweert, door den Ingenieur van den Rijkswaterstaat J. A. RINGERS. Prijs f 0.50.
- „ 9. Over straatklinkers, welke aan hooge eischen voldoen en de wenschelijkheid om de levering van straatklinkers afzonderlijk aan te besteden, door de Ingenieurs van den Rijkswaterstaat Dr. L. R. WENTHOLT en Jhr. A. G. BEELAERTS VAN BLOKLAND. Over Friesche steen in het bijzonder in Friesland gebakken straatsteen, door den Ingenieur van den Rijkswaterstaat Dr. L. R. WENTHOLT. Prijs f 0.25.
- „ 10. Nota, betreffende de toepassing van gewapend beton voor heipalen, opgemaakt door den Ingenieur van den Rijkswaterstaat J. J. CANTER CREMERS. Prijs f 0.25.

*) Niet meer voorradig.

