

VERZAMELRAPPORT
BEREKENINGEN
BENEDENRIVIEREN
1937-1944

C645



C 467

RIJKSWATERSTAAT
Directie Benedenrivieren
Documentatie-Bibliotheek
Sir Winston Churchill-laan 362
RIJSWIJK (Z.H.)
6 FEB. 1975

Opgenomen in Bibliotheek
Onder Nr. C467

I N H O U D

GROEP A: Berekeningen bij gemiddeld getij.

- A_I : Voor de benedenrivieren
 - A_{II} : Voor de benedenrivieren (Brielsche Maas afgesloten).
 - A_{III} : Voor Hollandsch Diep, Volkerak, Krammer en Haringvliet
(Meting 1 Juli 1931)
 - A_{IV} : Voor de Lek (negen dagen)
 - A_V : Voor Brielsche Maas en Botlek.
-

GROEP B: Berekeningen betreffende den storm van 13 Januari 1916.

- B_I : Reconstructieberekening voor de benedenrivieren + Lek + Waal.
 - B_{II} : Voor de benedenrivieren, indien de Brielsche Maas is afgesloten.
 - B_{III} : Indien de afvoer van de Brielsche Maas gehalveerd is, bij profielen van 1934 - 1936.
 - B_{IV} : Bij afgesloten Brielsche Maas en profielen van 1934-1936.
-

GROEP C: Berekeningen betreffende den storm van 26 November 1928.

- C_I : Voor de Lek
 - C_{II} : Voor de Waal
 - C_{III} : Voor Hollandsch Diep, Volkerak, Krammer en Haringvliet
-

- D_I : Reconstructieberekening voor den storm van 1/2 December 1936 op Hollandsch Diep, Volkerak, Krammer en Haringvliet.
-

GROEP E: Berekeningen bij een theoretischen stormvloed.

- E_I : Voor de benedenrivieren + Lek + Waal, bestaanden toestand, gemiddelde opperwaterafvoer.
 - E_{II} : Voor de benedenrivieren + Lek + Waal, bestaanden toestand, hooge opperwaterafvoer.
 - E_{III} : Voor de benedenrivieren + Lek + Waal, viereilandenplan, gemiddelde opperwaterafvoer.
 - E_{IV} : Voor de benedenrivieren + Lek + Waal, viereilandenplan, hooge opperwaterafvoer.
 - E_V : Voor de benedenrivieren + Lek + Waal, vijf-eilandenplan, hooge opperwaterafvoer.
 - E_{VI} : Voor den Amer+Bergsche Maas, opperwaterafvoer 1500 m³/sec.
 - E_{VII} : Voor den Amer+Bergsche Maas, opperwaterafvoer 1000 m³/sec.
 - E_{VIII} : Voor Hollandsch Diep, Volkerak, Krammer en Haringvliet, gemiddelde opperwaterafvoer.
 - E_{IX} : Voor Hollandsch Diep, Volkerak, Krammer en Haringvliet, hooge opperwaterafvoer.
 - E_X : Voor genormaliseerd Hollandsch Diep.
 - E_{XI} : Voor de benedenrivieren + Lek + Waal.
Sinusoidale methode, viereilandenplan, gemiddelde opperwaterafvoer.
-

A1.

BEREKENING GEMIDDELD GETIJ VOOR DE BENEDENRIVIEREN.

RECONSTRUCTIEBEREKENING VOOR DE GEMIDDELTE GETIJ-
BEWEGING OP DE BENEDENRIVIEREN.

a. Doel en opzet van de berekening.

In verband met de voorgenomen plannen om de Brielsche Maas en de Botlek af te sluiten, was het van belang de invloed van deze waterstaatkundige wijziging op de getijbeweging van de omliggende rivieren te kennen. In het bijzonder dienden daartoe de veranderingen in de H.W. standen en maximumstromen te worden bepaald.

Teneinde nu de invloed van deze wijziging vast te stellen, werd allereerst de hieronder beschreven toetsingsberekening (A_I) gemaakt, terwijl daarnaast de vergelijkingsberekening A_{II} uitgevoerd werd voor het geval van afsluiting van de Brielsche Maas.

Gezien capaciteit en ligging van de Brielsche Maas ten opzichte van het omliggende rivierenstelsel, mocht verwacht worden, dat de afdamming alleen op de benedenrivieren merkbare veranderingen zou veroorzaken en op de benedenlopen van Lek en Waal slechts secundaire wijzigingen in de waterbeweging zou teweegbrengen.

In berekening A_I werden dan ook alleen de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas, de Noord, de Oude Maas, de Dordtsche Kil, het Spui en de Brielsche Maas betrokken. De indeeling van dit stelsel is op bijgaand schema aangegeven.

b. Keuze van de randvoorwaarden.

Bij het bepalen van de waterbeweging op een riviervak treden naast de vakconstanten vier belangrijke grootheden op, n.l. het verticaal en horizontaal getij aan beneden- en boven-einde van het vak. Daar bij de berekening twee vergelijkingen ter beschikking staan (zie theorie) dienen, naast de rivierconstanten, twee van deze grootheden bekend te zijn, teneinde de waterbeweging éénduidig te kunnen bepalen.

Wordt een onvertakte rivier beschouwd, die verdsels is in een serie aaneengeschakelde vakken, dan vallen de getijgrootheden aan het boven-einde van het eene vak samen met die van het benedeneinde van het volgende vak. Dus is het dan voldoende twee der vier grootheden aan de riviermonden te kennen.

Splitst de rivier zich in een aantal takken, dan is het eveneens voldoende, evenveel getijgrootheden te kennen als het stelsel buitenmonden bezit. Immers naast een aanvankelijk onbekende verdeling der stroomen op het splitsingspunt, levert de voorwaarde, dat in dat punt de som der in-tredende stroomen gelijk moet zijn aan de som der uitgaande, een extra vergelijking op.

Bij het berekenen van een rivierenstelsel zal nu meestal het verticaal getij als randvoorwaarde gekozen worden, daar de vele

zelfregistreerende getijmeters deze curven van dag tot dag bepalen. Ter berekening van het onderhavige rivierenstelsel is het dus voldoende van de gemeten getijlijnen te: Hoek van Holland, Bovenmond Brielsche Maas, Benedenmond Spui, Willemsdorp, Dordrecht en Krispen uit te gaan. Nu ontbreken zelfregistreerende getijmeters aan den benedenmond van Brielsche Maas en Spui. Als benedenvoorwaarde voor het Spui kan ter vervanging de registratie te Hellevoetsluis dienen. Het Spui heeft n.l. zoo'n groote weerstand, dat de stroomen voldoende nauwkeurig kunnen worden bepaald tusschen de van boven uit berekende getijlijn op het splitsingspunt met de Oude Maas en de nabij de benedenmond gelegen getijkromme van Hellevoetsluis.

Ter berekening van de Brielsche Maas moeten nu twee getijgrootheden bekend zijn, daar zij vanwege het ontbreken van een registratie aan den benedenmond buiten het gesloten rivierenstelsel valt. Hiertoe kunnen dienen de gemeten getijlijn te Vlaardingen, dicht bij het splitsingspunt Noordgeul gelegen en de stroomkromme aan den bovenmond. Deze laatste kan aldus bepaald worden (zie schets).

De stroomen op den Waterweg, dus ook aan diens bovenmond, kunnen berekend worden, uitgaande van het gemeten verticaal getij te Hoek van Holland en te Vlaardingen.

Daar met de gemeten getijlijn te Vlaardingen als randvoorwaarde, het rivierenstelsel boven het splitsingspunt Noordgeul een gesloten stelsel vormt, kunnen de stroomen aan den benedenmond van Nieuwe Maas en Oude Maas bepaald worden.

Uit de stroomingsvoorwaarde op het splitsingspunt is nu de resteerende stroom, aan den bovenmond van de Brielsche Maas, af te leiden.

Uitgaande van de bovengenoemde randvoorwaarden is het geheele rivierenstelsel te berekenen.

De benodigde getijlijnen werden op de volgende wijze vastgesteld: In de periode 1921 - 1930 werden drie dagen gezocht, waarop de H.W.- en L.W.standen bij gemiddelden stand te Keulen zoo goed mogelijk overeenkwamen met G.H.W. en G.L.W. 1921 - 1930. Teneinde bijkomende omstandigheden te elimineeren werd voor elke plaats uit deze drie gemeten krommen (9 April 1931, 8 Mei 1932 en 22 Juni 1933) grafisch een gemiddelde getijlijn bepaald.

c. De gebezigde controle-gegevens.

Hiertoe dienden :

- 1^o. de gegevens van de zelfregistreerende getijmeters te Maassluis, Rotterdam en Puttershoek.
- 2^o. de G.H.W.-standen 1921-1930 voor vele plaatsen.

3^o. de atroommetingen in de jaren 1930 - 1934 op de benedenrivieren gehouden ^{x)}.

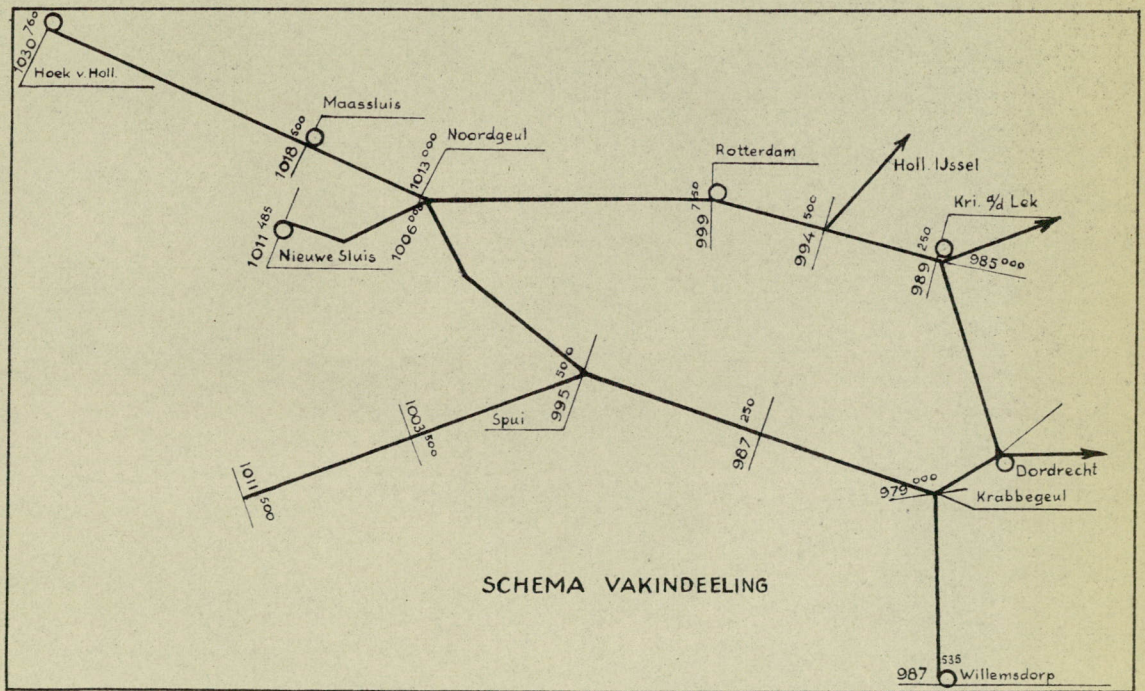
Hoewel deze afvoermetingen bij geheel verschillende standen te Keulen en bij verschillende maansouderdax gehouden zija, geven zij toch belangrijke aanwijzingen voor het berekenen van de verschillende rivieren; met name bij het bepalen van het tijdstip waarop maximum stroom optreedt, het tijdstip van kentering, gedaapt der stroomkromme enz.

In het bijzonder werden de afvoermetingen op de Lek bij Krimpen (kmar: 987⁷⁵⁰) en op de Benedon Merwede bij Dordrecht (kmar 973⁰⁰⁰) als een strenge controle gebozigd. Hiertoe werd de gemeten stroom gereduceerd tot een stroom, die optreedt bij gemiddeld getij en met behulp van de komberging van de tusschenliggende vakken, herleid tot de waarden op de splitsingspuntraaien: kmar. 989²⁵⁰ en kmar. 976²⁰⁰.

Het is n.l. zeer belangrijk om voor de - niet berekende - bovenrivieren a priori de juiste stroomen op de splitsingspunten inte voeren. Bij berekening A_{II} wordt deze kwestie nader besproken.

d. Rivierconstanten.

De rivieren werden in vakken ingedeeld, zooals in onderstaand schema en op bijgaande lijst is aangegeven.



x) gepubliceerd in: afvoermetingen in de benedenrivieren 1930-1934, Rijkswaterstaat-Benedenrivieren.

De profielen voor deze vakken werden bepaald uit peilingen van het jaar 1934, teneinde profielen te verkrijgen, die bij de stroommetingen behoren. Nadat voor elke peilraai stroombreedte en diepte vastgesteld waren, werden uit deze cijfers de gemiddelde stroombreedte en diepte voor het vak bepaald.

De kombergingsbreedte der vakken werd bepaald door het waterspiegelvlak bij den middenstand van de topografische kaarten 1 : 50.000 op te meten en genoemd oppervlak door de vaklengte te deelen.

De coëfficiënt van Lytelwein werd bepaald uit de gemeten stroomen en getijlijnen.

Dit geschiedde volgens een der hieronder aangegeven methoden.

- 1e. Stond een stroommeting ter beschikking, dan was het mogelijk, uitgaande van de stroom en de gemeten getijlijn ter plaatse en een gemeten getijlijn boven - of benedenwaarts gelegen, voor het tusschengelegen riviervak uit formule (1) (zie theorie), de coëfficiënt van Lytelwein op elk gewenscht moment te bepalen.
- 2e. Was geen stroommeting aanwezig, dan was het mogelijk de coëfficiënt te bepalen uit drie gemeten getijlijnen met behulp van de formules (1) en (2). Voor de twee opeenvolgende riviervakken moest dan dezelfde coëfficiënt ondersteld worden.

Volgens beide methoden kon op elk gewenscht moment deze coëfficiënt bepaald worden. Behalve in de nabijheid van de kentering (klein verval, groote $\frac{\partial s}{\partial t}$) werden waarden gevonden met weinig spreiding. Uit deze cijfers werd een gemiddelde waarde bepaald, die aanleiding gaf tot de waarden, in den overzichtstaaft opgegeven.

e. Theorie.

Ter bepaling van het verval en den stroom op een riviervak werden de twee hoofdformules gebezigd, die via de reeksontwikkeling en de integratie bij de exacte methode, resp. uit de bewegingsvergelijking en de continuïteitsvergelijking voortvloeien.^{x)} De vaklengten werden zoo gekozen, dat een voldoende snelle convergentie der reeksen verkregen werd en wel in die mate, dat bij de praktische berekening volstaan kon worden met het bepalen van de termen $f(s,h)$ en $f^{(1)}(s,h)$. Hierbij dient opgemerkt te worden, dat, gezien $\frac{\partial s}{\partial t}$ en $\frac{\partial h}{\partial t}$ voor gemiddelden toestand kleinere waarden hebben dan bij een stormvloed, in het eerste geval langere vaklengten gekozen kunnen worden, dan in het laatste. Door bovengenoemde keuze verkrijgen de hoofdformules danvolgenden vorm :

x)

Zie voor de afleiding hiervan: Het rapport van Dr. J. J. Dronkers: "De exacte methode voor Getijbeweging met als toepassing de berekening van de "getijvoortplanting bij enkele theoretische stormvloeden."

$$(1) \quad \bar{h} - h = \frac{|s|s_0 x}{C^2 b^2 h_0^2} + \frac{|s|h_0 x^2 B_0}{C^2 b^2 h_0^2} + \frac{sx}{b h_0} - \frac{(b+B_0)h_0 s x}{b^2 C h_0}$$

ter bepaling van het verval op een riviervak.

$$(2) \quad \bar{s} = s + B_0 h_0 x + \frac{|s|s_0 x^2 B_0}{C^2 b^2 h_0^2} \quad \text{ter bepaling van den stroom}$$

aan het einde van een riviervak.

In deze vergelijkingen stelt voor :

x = de vaklengte in m., (positief voor de richting, waarin de vloed zich voortplant.)

s = de stroom aan het begin van het vak in m³/sec; hierbij krijgt de abstroom het positieve teeken.

h = de waterhoogte ten opzichte van N.A.P. in m., aan het begin van het vak.

\bar{s} en \bar{h} = de gelijknamige waarden aan het einde van het vak.

s en h = respectievelijk de eerste afgeleiden naar den tijd van de functies: f(s) en f(h.) aan het begin van het vak.

h₀ = de momenteele gemiddelde diepte van het vak in m., ten opzichte van den bodem.

b = de stroombreedte in m.

B₀ = de kombergingsbreedte in m.

C = de coëfficiënt van Eytelwein in m^{1/2}/sec.

f. Het Verloop van de Berekening.

Hoevel het berekenen van een stelsel rivieren met behulp van de exacte methode zeer bewerkelijk schijnt, kan men zich veel moeite besparen door aanvankelijk te volstaan met berekeningen - uitgaande van gemeten of geschatte getijlijnen - voor de afzonderlijke rivieren. Hierbij zal men dan uitkomsten verkrijgen, die in het laatste geval slechts in eerste benadering juist zijn. Uit de verkregen uitkomsten kunnen dan door vergelijking conclusies getrokken worden voor den opbouw van nauwkeuriger berekeningen. Aldus werd bij deze berekening te werk gegaan. Op de vakken tusschen de gemeten getijlijnen gelegen, werd op de afzonderlijke rivieren de stroombeweging berekend. Bij het schatten van de stroomen werd gebruik gemaakt van de metingen. Daarna werd voor elke rivier de berekening uitgebreid tot het splitsingspunt, alwaar de getijlijnen der verschillende rivieren moesten samenvallen en de algebraische som der stroomen nul moest zijn. Voor Kringen en Dordrecht werden hierbij de bovengenoemde gemeten bovenwaartsche stroomen ingevoerd.

Na het uitvoeren van eenige variatieberekeningen werd op alle splitsingspunten aan de gestelde eischen voldaan. De definitief berekende getijlijnen verschilden weinig van de aangenomen getijlijnen.

E. Resultaten.

In den bijgaenden staat zijn de belangrijkste resultaten opgenomen.

Vergelijkt men de berekende hoogwaterstanden met G.H.W. 1921 - 1930, dan blijkt er in het algemeen een goede overeenstemming te bestaan. De stijging der H.W.standen op den Nieuwen Waterweg en de Nieuwe Maas tot Krimpen wordt door de berekening goed weergegeven. Het grootste verschil der hoogwaters van Krimpen en Dordrecht wordt op 1 cm nauwkeurig berekend. Dordrecht wordt 2 cm. te laag berekend. Op de Oude Maas voor Dordrecht treedt een sterke daling op van 2 cm. Door deze oorzaak worden voor de Kil hoogwaterstanden berekend, die goede waarden hebben ten opzichte van elkaar, maar echter beide 4 cm beneden het 10-jaarlijksche gemiddelde liggen.

Op de Oude Maas dalen de hoogwaterstanden tot weer dezelfde waarde voor de reeds berekende stand bij de Noordgeul optreedt.

Aan den bovenmond van het Spui bij Oud-Beierland treedt een plaatselijke afwijking van 4 cm op, die voor een groot deel veroorzaakt wordt door de situatie aan den bovenmond, die moeilijk precies is weer te geven.

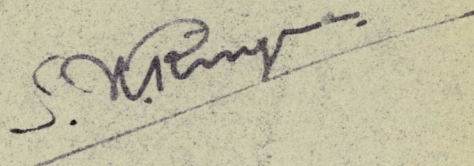
Op de lijst zijn verder de maximum vloed- en ebstroomen weergegeven. Het is moeilijk deze te vergelijken met de metingen, daar voor de benedenrivieren bij het reduceeren van de maximum stroomen tot gemiddelden toestand tevens een onbekende reductie voor den plaatselijken oppervlaktewaterafvoer moet worden toegepast.

Voor een nadere vergelijking van berekende en gemeten stroomen wordt verwezen naar de desbetreffende grafieken en het bovengenoemde afvoerrapport van den Rijkswaterstaat.

Bij afwezigheid van Dr. J. J. Dronkers

Aug. 1944.

S.H. Ringma.



Reconstructie Gemiddelde Toestand
voor Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Noord, Oude Maas, Spui, Kil en Brielse Maas
Bestaande Toestand

Rivier	Vakgrenzen	Plaatsen	L in m	B _o in m	b in m	d t.o.v. N.A.P.	C	G.H.W. 1921-1930	ber. H.W.	max.vl. str.in m ³ /sec.	max.vl. str.in m ³ /sec.	
Nieuwe Waterweg	1030 ⁷⁶⁰ - 1018 ⁵⁰⁰	Hoek v. Holl. - Maassluis	12260	535	435	- 10, +	75	0.88+	0.89+	5850	5200	
	1018 ⁵⁰⁰ - 1013 ⁰⁰⁰	Maassluis - Noordgeul	5500	520	410	- 10, -	75	0.83+	0.83+	5300	4700	
								0.90+	0.89+	4900	4400	
Nieuwe Maas	1013 ⁰⁰⁰ - 999 ⁷⁵⁰	Noordgeul - R'dam	13250	1070	425	- 10, 40	50	0.90+	0.89+	4250	3900	
	999 ⁷⁵⁰ - 994 ⁵⁰⁰	R'dam - Holl. IJssel	5250	570	345	- 9, --	50	0.98+	0.98+	2825	2600	
	994 ⁵⁰⁰ - 989 ²⁵⁰	Holl. IJssel - Krimpen	5250	475	250	- 9, --	50	-	1.03+	2350 ¹⁾	2350 ¹⁾	
								1.11+	1.10+	1580	1880	
Noord	985 ⁰⁰⁰ - 976 ⁰⁰⁰	Krimpen - Dordrecht	9000	275	200	- 4, 40	60		1.10+	550	700	
									1.28+	1.26+	120	550
Oude Maas	1007 ⁰⁰⁰ - 995 ⁵⁰⁰	Noordgeul - Spui	11500	378	220	- 7, 50	55	Goldschalxoord 993.485	0.89+	1360	1210	
	995 ⁵⁰⁰ - 987 ²⁵⁰	Spui -	8250	378	220	- 7, --	50		1.03+	1390 ²⁾	1330 ²⁾	
	987 ²⁵⁰ - 979 ⁰⁰⁰	- Krabbegoul	8250	378	220	- 7, --	50	1.08+	1.14+	965	1070	
	979 ⁰⁰⁰ - 976 ²⁰⁰	Krabbegoul - Dordrecht	2800	330	235	- 7, --	48	Puttershoek 983.515	1.20+	500 ²⁾	800 ²⁾	
								1.24+	1020 ³⁾	1265 ³⁾		
								1.26+	860	1185		
Spui	1011 ⁵⁰⁰ - 1003 ⁵⁰⁰	Beneden Mond -	8000	195	157	- 6, 50	45		1.10+	1.12+	935	880
	1003 ⁵⁰⁰ - 995 ⁵⁰⁰	- Boven Mond	8000	195	157	- 6, 50	45	Oud Beierland 996.935	1.04+	765	710	
								1.07+	1.03+	595	560	
Kil	987 ⁵³⁵ - 979 ⁰⁰⁰	Willemsdorp - Krabbegoul	8535	240	170	- 6, 70	48		1.28+	1.24+	870	770
								's Gravendeel 981.950	1.28+	1.24+	520	560
Brielse Maas	1011 ⁴⁸⁵ - 1006 ⁰⁰⁰	Nieuwe Sluis - Westgeul	5485	375	270	- 4, 90	50		0.91+	0.91+	950	860
									0.89+	710	650	

1) Beneden Mond. Holl. IJssel

2) Ben. Spl. punt

3) Boven Splitsingspunt.

A 2.

BEREKENING GEMIDDELD GETIJ VOOR DE BENEDENRIVIEREN.

BRIELSCHÉ MAAS AFGESLOTEN.

BEREKENING VOOR DE BENEDENRIVIEREN BIJ DEN GE-
MIDDELDIEN TOESTAND, N. AFSLUITING VAN DE BRIELSCHE MAAS
EN DE BOTLEK.

Daar bij deze berekening de eenige verandering, ten opzichte van de vorige, gevormd wordt door de afsluiting van de Botlek, kan hier gebruik worden gemaakt van de gegevens van A_I.

a. Randvoorwaarden.

De in berekening A_I gevonden getijlijnen aan de monden der benedenrivieren dienden bij deze berekening als randvoorwaarden. Zij immers zijn invariant voor beide toestanden.

Te Krimpen en Dordrecht, werden de stroomkrommen van Lek en Beneden-Merwede, in A_I gevonden, als randvoorwaarden gekozen. Dat deze bij benadering niet veranderen, mits ze verschoven worden, volgt uit onderstaande beschouwing.

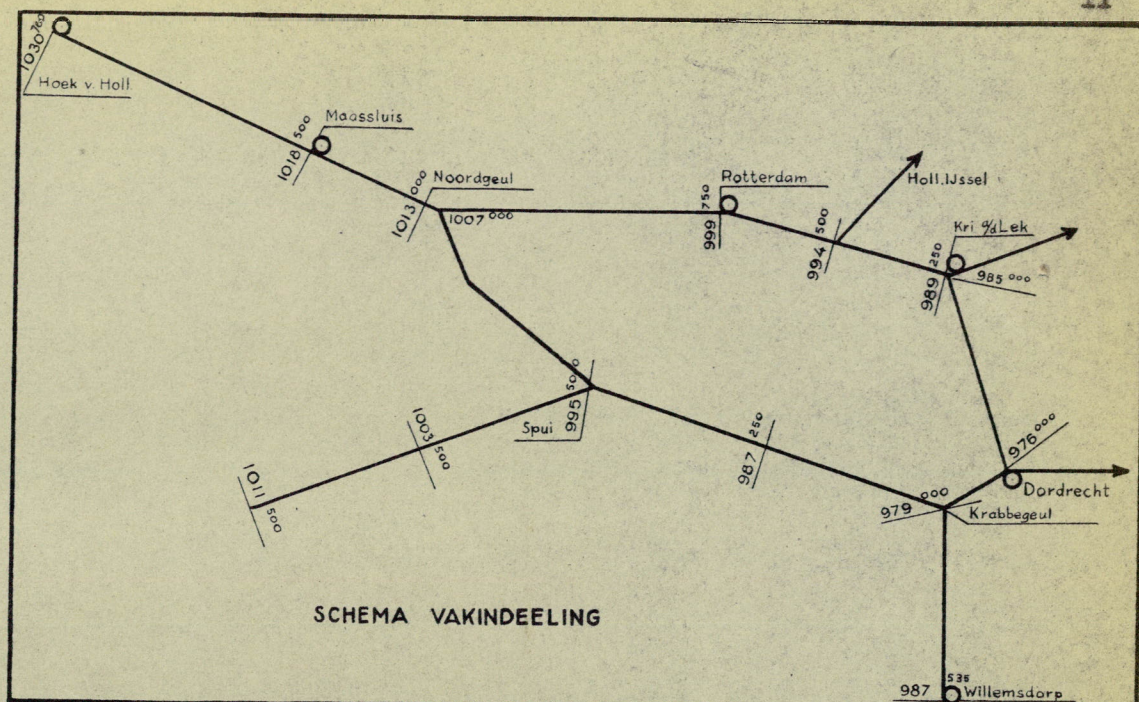
Bij de bestaanden toestand zijn de stroomen aan den bovenmond van den Nieuwen Waterweg en van de Brielsche Maas met elkander in phase. Na de afdamming van de Botlek zal er bij Noordgeul dus geen belangrijke verschuiving van de kenteringen optreden. Bovendien is de afvoer van de Botlek klein, ten opzichte van die van den Nieuwen Waterweg. Al treden er dus wijzigingen op in de maximumstroomen van den Nieuwen Waterweg, zoo zal toch het karakter der afvoerkrommen boven het splitsingspunt Noordgeul bij de kenteringen weinig veranderen. Het gevolg is, dat er geen belangrijke hoog- en laagwaterveranderingen zullen optreden. Dit geldt eveneens voor de stations

langs Nieuwe- en Oude Maas. Wel zullen de getijlijnen verschuiven als gevolg van de veranderingen in de maximumstroomen. We komen dus tot de conclusie, dat de getijlijnen te Krimpen en Dordrecht geen vormverandering, maar alleen een kleine verschuiving zullen ondergaan. De afvoerkrommen voor de Lek te Krimpen en voor de Beneden Merwede te Dordrecht zullen dus niet veranderen, maar na afdamming van de Botlek, dezelfde verschuiving te zien geven, als het verticaal getij voor beide plaatsen. Achteraf zal de juistheid van deze onderstelling blijken.

b. Verloop der Berekening A_{II}.

Bij deze berekening werden dezelfde vakconstanten aangehouden, als bij de reconstructieberekening. Op het achtersteaendeschema is de vakindeeling aangegeven. De overzichtstaaf vermeldt de vakconstanten. In de vergelijkingen werd hetzelfde aantal termen gebezigt als bij berekening A_I. (Zie deze berekening).

Teneinde een eerste benadering van de oplossing voor het nieuwe schema te bepalen, werd een stelsel quadratische vergelijkingen, waarin de stroomen als onbekenden optreden, opgesteld



SCHEMA VAKINDEELING

Bij deze methode wordt uitgegaan van de resultaten, die bij de reconstructieberekening verkregen zijn. Voor de uren rondom maximumstroom worden dan alle grootheden uit de voorgaande berekening, behalve de stroomen, als bekenden ingevoerd. Hierbij worden de volgende aannamen gedaan:

- 1^o. Voor de afvoeren van de Lek te Krimpen en van de Beneden Merwede te Dordrecht, voor den nieuwen toestand, zullen in de omgeving van maximumstroom de in A_I berekende waarden kunnen worden ingevoerd.
- 2^o. Voor die tijdstippen zullen de hellingen van alle te berekenen getijlijnen dezelfde zijn, als van de vroeger berekende.
- 3^o. Voor de waterdiepten kunnen de reeds in A_I bepaalde waarden worden ingevoerd.
- 4^o. Voor de waterberging op een riviervak: $\bar{s} - s$, kan de vroeger op die tijdstippen berekende waarde gebezigd worden. Deze waarde wordt K genoemd.

Nu worden de in A_I genoemde hoofdformules van de quadratische methode in een dusdanigen vorm geschreven, dat alleen de variabele: s en constante coëfficiënten optreden. Tevens worden ter vergelijking de oorspronkelijke formules weergegeven. Uit onderlinge vergelijking volgt dan de beteekenis van de constanten K, A, C, en D.

De stroom aan het benedeneinde van een vak wordt als volgt uit die van het benedenwaarts gelegen vak bepaald :

$$(1) \quad \bar{s}_n = s_{n-1} + K$$

ter vergelijking
$$\bar{s} = s + B_0 \cdot h \cdot x + \frac{|s| \cdot s \cdot x \cdot B_0}{C \cdot b \cdot h^3}$$

Het verval op een vak wordt voorgesteld door :

$$(2) \quad z_n = h - h = A_n s_n s_n + Z(s_n) + C_n \cdot s_n + D_n s_n$$

ter vergelijking.

$$\bar{h} - h = \frac{s \cdot s \cdot x}{C^2 \cdot b^2 \cdot h_0^3} + \frac{s \cdot x}{b \cdot C \cdot h_0} + \frac{s \cdot h \cdot x \cdot B_0}{C^2 \cdot b^2 \cdot h_0^3} - \frac{(b+B_0) \cdot s \cdot h \cdot x}{b^2 \cdot C \cdot h_0^2}$$

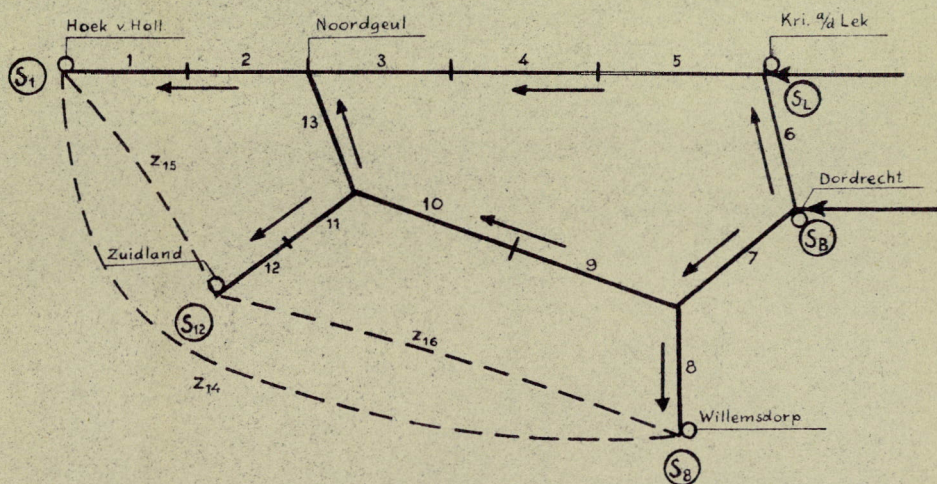
De term $Z(s_n)$ in formule (2) is direct te bepalen uit de oude berekening, terwijl A_n , C_n en D_n uit berekening A_I worden bepaald door de bijbehorende termen respectievelijk te deelen door S^2 , S en s .

Vervolgens worden alle stroomen met behulp van (3) herleid tot die aan de benedenmonden van de rivieren.

$$(3) \quad S_n = S_1 + K_1 + K_2 + \dots + K_{n-1}$$

Hierin stelt S_1 de stroom aan den benedenmond voor.

Voert men (zie schets) de onbekende stroomen S_1 , S_{12} en S_8 te Hoek van Holland, Zuidland en Willemsdorp in, dan zijn de stroomen op de overige vakken met behulp van (3) hierin uit te drukken, daar elk der splitsingspunten een extra vergelijking oplevert ($\sum s = 0$). Tevens worden te Krimpen en Dordrecht de in A_I bepaalde stroomen S_L en S_B ingevoerd. Er is nu een drietal vergelijkingen op te stellen (zie onderstaande schets):



$$(4) \quad z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5 + z_6 - z_7 - z_8 - z_{14} = 0$$

$$(5) \quad z_1 + z_2 + z_{13} - z_{11} - z_{12} - z_{15} = 0$$

$$(6) \quad z_{12} + z_{11} + z_{10} + z_9 - z_8 - z_{16} = 0$$

Hierin zijn z_{14} en z_{16} bekend. Na invoering van de waarden uit (2) en (3) in (4) en (5) en (6) ontstaan 3 quadratische vergelijkingen in s_{11} , s_{12} en s_8 . Dit stelsel vergelijkingen kan gemakkelijk grafisch opgelost worden. De stroomen aan de benedenmonden van Waterweg, Spui en Dordtsche Kil zijn dan bekend. Op elk vak kan nu met behulp van (1) direct de stroom bepaald worden.

Alleen op de uren rondom maximum eb en vloed werd deze methode toegepast, daar dan alleen de gemaakte veronderstellingen juist zijn. Door de berekende punten van de stroomkrommen werd nu een vloeiende lijn getrokken.

Uitgaande van de aldus geschetste stroomkromme werd dan het stelsel van vak tot vak doorgerkend. Hierbij werden de afvoerkrommen te Krimpen en te Dordrecht op Lek en Beneden-Merwede evenveel verplaatst als de verschuiving van de getijlijn bedroeg.

Nadat op deze wijze de verschillende takken afzonderlijk berekend waren, traden op de splitsingspunten nog verschillen op. Echter viel uit de verkregen resultaten gemakkelijk te concluderen, in welken zin de stroomen gewijzigd moesten worden, teneinde de gevonden oplossing te verbeteren. Na herhaling van de berekening werd een voldoende sluitend systeem van stroomen en getijlijnen verkregen.

c. Resultaten.

Zooals verwacht was, ondervonden alle getijlijnen een opschuiving naar een later tijdstip ten opzichte van de bij A_I berekende krommen.

Uit de bij de eigenlijke berekeningen A_I en A_{II} aanwezige grafieken volgt, dat de gemiddelde opschuiving van de getijlijn bij Noordgeul + 13 min. bedraagt, bij den bovenmond van het Spui + 10 min., ter plaatse van het splitsingspunt Oude Maas-Dordtsche Kil 10 minuten, te Dordrecht + 11 minuten en te Krimpen + 10 minuten. De getijlijnen te Krimpen en Dordrecht blijken inderdaad analoog aan die van berekening A_I te verlopen. De afvoerkrommen van Lek en Beneden Merwede zijn dan ook 10 minuten verschoven ten opzichte van de vroeger berekende.

Vergelijkt men de H.W.standen, opgegeven in de lijsten A_I en A_{II}, dan blijkt, dat op den Waterweg boven Hoek van Holland een kleine daling in het hoogwater optreedt (maximum te Maassluis n.l. 3 cm). Het getij op het punt Noordgeul heeft dan een hoogwaterstand die 2 cm lager is. Volgt men de Nieuwe Maas stroomopwaarts, dan verdwijnt de kleine daling en is zoowel voor Krimpen als voor Dordrecht 0 cm.

Ook op het Spui treedt stroomopwaarts een daling van 2 cm op. De geheele benedenloop van de Oude Maas vertoont dan ook hetzelfde verschil. Stroomopwaarts neemt het verschil op de Oude Maas weer af en is op de Oude Maas voor Dordrecht geheel verdwenen.

Ter vergelijking van toestand A_I en A_{II} volgt hier tevens een staatje met de gemiddelde veranderingen in procenten van de maximumstroomen op de rivieren.

Rivier	Verandering in %	
	Eb	Vloed
Nieuwe Waterweg	+ 9	+ 14
Nieuwe Maas	- 2	- 8
Noord	+ 3	- 30
Oude Maas v. Dordrecht	+ 8	+ 9
Dordtsche Kil	+ 14	+ 33
Oude Maas boven Spui	0	- 5
Spui	+ 1	+ 11
Oude Maas ben. Spui	- 4	- 7

De gevonden veranderingen, zoowel voor horizontaal als voor verticaal getij zijn aldus te interpreteren: Na afsluiting van de Brielsche Maas neemt de Nieuwe Waterweg voor het belangrijkste deel haar taak over. De vergroting der maximumstroomen op den Waterweg heeft een belangrijke phaseverschuiving van het verticaal getij bij Noordgeul ten gevolge. Door de grootere weerstand, die bij de grootere stroomen op den Waterweg ondervonden wordt, treedt bovendien een kleine kenteringsverlating van de stroomen op. Deze oorzaken hebben tengevolge, dat ten tijde van hoogwater het negatieve weerstandsverhang iets vergroot wordt en het positieve versnellingsverhang iets afneemt. De hoogwaterstanden dalen daardoor eenige cm. Het is duidelijk, dat de Waterweg na afdamming niet voor 100% de toevoer van de Brielsche Maas overneemt, zoodat de stroomen op de Nieuwe Maas en de Oude Maas eenigszins zullen afnemen. Het gevolg hiervan is, dat de strooming op die rivieren minder weerstand ondervindt, zoodat volgens bovenstaande redeneering de verschuiving van de getijlijnen weer eenigszins afneemt: (Noordgeul 13 min., Krimpen 10 min., Dordrecht 10 min.) en de negatieve H.W.verschillen afnemen tot nul.

Doordat de getijlijn aan den benedenmond van de Oude Maas belangrijk naar een later tijdstip verschoven is, ondergaan ook de getijlijnen aan den bovenmond van het Spui en van de Dordtsche Kil een verschuiving. Vloed- en ebvervallen op deze rivieren worden vergroot. Zoowel op het Spui als op de Dordtsche Kil nemen dan ook de stroomen na afsluiting toe.

Evenals op den Waterweg dalen de hoogwaterstanden op het Spui eenige centimeters. Dat de hoogwaterstanden op de Kil niet dalen is aldus te verklaren: Zooals uit de staten volgt is de toeneming van de maximumstroomen op de Dordtsche Kil veel belangrijker dan op het

Spui. Dat heeft tengevolge, dat hier ten tijde van hoogwater (1 uur voor het tijdstip van kentering) de versnellingssterm, dus het positieve versnellingsverhang $\frac{s \cdot x}{b \cdot g \cdot h_0}$ zoodanig toeneemt, dat de invloed

van het negatieve weerstandsverhang teniet gedaan wordt.

De procentsgewijs sterke verandering van de stroomen op de Dordtsche Kil wordt veroorzaakt, door de groote gevoeligheid van deze rivier. Bij den bestaanden toestand is n.l. het gemiddelde verval voor vloed- en ebtak + 13 cm. Op het Spui bedraagt deze gemiddelde waarde + 50 cm. De gemiddelde opschuiving der getijlijnen op de Oude Maas veroorzaakt op beide rivieren een gemiddelde vergrooting van eb- en vloedverval met + 7 cm. Volgens de quadratische weerstandswet zouden hieruit gemiddelde stroomtoenemingen van respectievelijk 24% en 7% volgen voor de Dordtsche Kil en het Spui. Deze waarden komen goed overeen met de gemiddelde procentsgewijze toename der stroomen, die voor deze rivieren berekend zijn. Daar bovendien in het algemeen op de rivieren de vloedvervallen kleiner zijn dan de ebvervallen, zal bij wijziging van den waterstaatkundigen toestand de vloedstroom procentueel sterker veranderen dan de ebstroom. Ter vergelijking dienen de percentages in het staatje vermeld.

Conclusies.

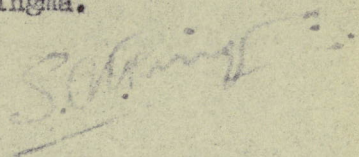
De afsluiting van de Botlek heeft tengevolge, dat op Waterweg, Spui en Kil de stroomen toenemen. De toename van deze stroomen heeft een gemiddelde verschuiving van de getijlijnen op de benedenrivieren van + 10 minuten ten gevolge.

In het benedengedeelte van het rivierstelsel, rondom de Brielsche Maas dalen de hoogwaterstanden eenige cm. Op het bovendeel der benedenrivieren veranderen de hoogwaterstanden niet. De Dordtsche Kil, die het karakter van een gevoelige verbindingsrivier heeft, ondergaat procentueel sterke stroomveranderingen. Voor een nadere vergelijking van de uitkomsten der berekeningen A_I en A_{II} wordt verwezen naar de geteekende getij- en stroomgrafieken, bij deze berekeningen behoorend.

Bij afwezigheid van Dr. J. J. Dronkers.

Aug. 1944.

S. H. Ringma.



Berekening A II

Berekening Gemiddelde Toestand
 voor Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Noord, Oude Maas, Spui en Kil.
 Brielsche Maas afgedamd.

x) beneden Mond Spui
 xx) boven Mond Spui
 xxx) boven splitsing Oude Maas-Kil

Rivier	Vakgrenzen	Plaatsen	L in m	B _o in m	b in m	d t.o.v. N.A.P.	C	zijvak			ber. H.W.	Max.Vl.str. in m ³ /sec.	Max.Ebstr. in m ³ /sec.
								b	d	C			
Nieuwe Waterweg	1030 ⁷⁶⁰ - 1018 ⁵⁰⁰	Hoek v. Holl.-Maassluis	12260	535	435	- 10,-	75				0,89+	6400	5575
	1018 ⁵⁰⁰ - 1013 ⁰⁰⁰	Maassluis-Noordgeul	5500	520	410	- 10,-	75				0,80+	6025	5050
Nieuwe Maas	1013 ⁰⁰⁰ - 999 ⁷⁵⁰	Noordgeul-Rotterdam	13250	1070	425	- 10,40	50				0,87+	4460	3680
	999 ⁷⁵⁰ - 994 ⁵⁰⁰	R'dam-Holl. IJssel	5250	570	345	- 9,-	50				0,97+	2550	2540
	994 ⁵⁰⁰ - 989 ²⁵⁰	Holl. IJssel-Krinsen	5250	475	250	- 9,-	50				1,03+	2100	2320
											1,10+	1400	1850
Noord	985 ⁰⁰⁰ - 976 ⁰⁰⁰	Krinsen-Dordrecht	9000	275	200	- 4,40	60				1,10+	410	730
											1,26+	40	570
Oude Maas	1007 ⁰⁰⁰ - 995 ⁵⁰⁰	Noordgeul-Spui	11500	378	220	- 7,50	55				0,87+	1290	1165
	995 ⁵⁰⁰ - 987 ²⁵⁰	Spui -	8250	378	220	- 7,-	50				1,01+	760 ^{x)} 1400 ^{xx)}	780 ^{x)} 1320 ^{xx)}
	987 ²⁵⁰ - 979 ⁰⁰⁰	- Krabbegcul	8250	378	220	- 7,-	50				1,14+	865	1070
	979 ⁰⁰⁰ - 976 ²⁰⁰	Krabbegcul-Dordrecht	2800	350	235	- 7,-	48				1,24+	340 1080 ^{xxx)}	780 1335 ^{xxx)}
											1,26+	945	1240
Spui	1011 ⁵⁰⁰ - 1003 ⁵⁰⁰	Benedenmond -	8000	195	157	- 6,50	45				1,12+	1040	880
	1003 ⁵⁰⁰ - 995 ⁵⁰⁰	- Bovenmond	8000	195	157	- 6,50	45				1,03+	850	700
											1,01+	660	570
Kil	987 ⁵³⁵ - 979 ⁰⁰⁰	Willensdorp-Krabbegcul	8535	240	170	- 6,70	48				1,24+	1060	890
											1,24+	740	660

A3.

BEREKENING GEMIDDELD GETIJ VOOR HOLLANDSCH DIEP, VOLKERAK, KRAMMER
EN HARINGVLIEET.

OVERZICHT VAN DE BEREKENING VOOR HET HOLLANDSCH DIEP,
HET VOLKERAK, DE KRAMMER EN HET HARINGVLIET, UITGAANDE
VAN DE STROOMMETINGEN OP 1 JULI 1931.

a. Doel van de berekening.

Bij de, in afdeling E te behandelen berekeningen voor een theoretischen stormvloed voor de benedenrivieren, was het van belang ook bovengenoemde rivieren te kunnen betrekken. Daartoe diende eerst de te kiezen schematisatie en profileering voor dit gebied getoetst te worden aan metingen. Hiertoe werd allereerst de hieronder besproken berekening voor gemiddeld getij uitgevoerd, waarna de gemeten stormen van 1928 en 1936 berekend werden.

b. Getijgegevens, die bij de berekening gebezigd zijn.

Op 1 Juli 1931 werden door de directie Benedenrivieren van den Rijkswaterstaat stroommetingen met drijvers gehouden op bovengenoemde rivieren en wel op onderstaande plaatsen :

Haringvliet: 1200 m boven den haven van den Bommel;
Vuile Gat : 1240 m beneden den Marinesteiger;
Hollandsch Diep : 1350 m beneden Willemstad;
Volkerak : 200 m boven de haven van Dintelsas.

Daarnaast werd het verticaal getij waargenomen te :
Willemsdorp, Moerdijk, Willemstad, Numansdorp, Tiengemeten, Den Bommel, Hellevoetsluis, Dintelsas, Steenbergische Sas en Bruinisse. (Zie ook bijgevoegd schetskaartje).

c. Rivierconstanten.

Op bijgaand kaartje is de gekozen vakverdeling aangegeven. In de overzichtslijst zijn de afmetingen van deze vakken opgegeven. Voor elk riviervak zijn afmetingen voor een smallere stroongeul en daarnaast constanten voor het naast de geul liggende breede bankengebied beneden G.L.W. bepaald

Wanneer er in een riviervak meerdere geulen lagen, werden deze gecombineerd tot één hoofdvak. Ook de ondiepe gebieden werden gecombineerd tot één zijvak.

Bij de berekening werd de stroom aan het begin van een vak zoo verdeeld, dat voor hoofd- en zijvak hetzelfde verval ontstond. Bij het vaststellen van de gekozen schematisatie, werd er naar gestreefd, het aantal vakken zoo sterk mogelijk te beperken. Desondanks dienden, ter bepaling van de waterbeweging tusschen Willemsdorp, Hellevoetsluis en

Bruinisse, nog 22 vakken doorgerekend te worden. De ingewikkelde situatie op het splitsingspunt van Volkerak, Haringvliet en Hollandsch Diep was echter bezwaarlijk op een eenvoudige wijze in finessees weer te geven.

De rivieren werden n.l. zoodanig geschematiseerd, dat op het punt van samenkomst een theoretisch splitsingspunt ontstond. Op dat punt moet het verticale getij voor de drie rivieren hetzelfde en de algebraïsche som der drie stroomen gelijk nul zijn. Het gevolg hiervan is, dat voor het Volkerak de afzonderlijke bevenmonden niet in rekening zijn gebracht.

Ondanks, dat aan de gekozen schematisatie verschillende, moeijelijk te vermijden, bezwaren kleefden, vermocht de berekening toch een juist beeld van de waterbeweging op de rivieren zelf te geven. (Zie verder). De profielen der riviervakken zijn bepaald uit een stelsel raaipellingen, die in het jaar 1931 door de directie Benedenrivieren om de twee km werden opgenomen. Voor elk riviervak werd hieruit een gemiddeld profiel bepaald, waaruit de stroombreedte en dieptecijfers in bijgaanden overzichtstaaf opgegeven, voortvloeden. De kombergingsbreedte voor de vakken werd bepaald uit het natte oppervlak bij N.A.P. Hiertoe werd de hydrografische kaart 1 : 30.000 gebezigd.

Reductie van de gemeten stroomen.

Teneinde de vier afzonderlijke stroommetingen te kunnen vergelijken en bij de berekeningen de beschikking te hebben over "gemeten" stroomen ter plaatse van het splitsingspunt, werden deze met behulp van de tusschenliggende kombergingsoppervlakte herleid tot waarden ter plaatse van het theoretische splitsingspunt. Uit de vele gemeten getijlijnen in het gebied van de metingen kon voor elk reductievak de waarde van de eerste afgeleide van de getijkromme midden op dat vak bepaald worden.

De formule $\frac{\partial h}{\partial t}$.B.x. bepaalt dan de bergingsstroom in het genoemde vak. In deze formule stelt B.x. voor het oppervlak van het vak in m², terwijl $\frac{\partial h}{\partial t}$ de partieele afgeleide van het verticale getij naar den tijd in m/sec. voorstelt.

Op alle uren bleken de afzonderlijk gemeten stroomen, na reductie, vrij goed met elkaar overeen te stemmen. De gemiddelde fout bedroeg 7%. Bij de berekeningen werden vanzelfsprekend deze fouten ver-effend, zoodat een gesloten stroomstelsel ontstond.

d. Het verloop van de berekening.

De waterbeweging werd weer bepaald met de in berekening A_1 weergegeven termen van de hoofdformules der exacte methode.

Allereerst werd vanuit het splitsingspunt het drietal rivieren uitgerekend, uitgaande van de bovenvermelde stroomen en een getijlijn ter plaatse, bepaald tusschen de twee gemeten getijlijnen te Numansdorp en Westpunt Tiengemeten (zie bijgaande schets).

Bij de beschouwing van de gemeten getijlijnen valt op dat het gemiddelde gemeten verval tusschen Tiengemeten en Numansdorp 1 m bedraagt, terwijl er tusschen Numansdorp en Willemstad een gemiddeld verval van 14 m optreedt. Het was dan ook volkomen duidelijk, dat de berekening nooit een dergelijk beeld zou kunnen weergeven.

Er mocht dan ook verwacht worden, dat de aldus geïnterpoleerde getijkromme voor het splitsingspunt geen juist uitgangspunt voor de berekening zou vormen. Bij deze eerste berekening werd niet op bevredigende wijze aan de gemeten getijlijnen te Willemstad, Bruinisse en Hellevoetsluis voldaan. Wel bleek reeds, dat voor de coëfficiënt van Eytelwein een waarde 60 ingevoerd diende te worden. Het verloop der stroomen op het Hollandsch Diep en ook te Willemstad was nu echter voldoende bekend.

Bij de tweede definitieve berekening werd nu uitgegaan van de gemeten getijlijn te Willemstad en een dardanige afvoerkromme dat na doorrekening van het Hollandsch Diep de "berekende" afvoerkromme aan den benedenmond gelijk was aan de "gemeten" kromme aldaar. Vanuit de berekende getijlijn voor het bovengenoemde splitsingspunt en de benedenwaartsch "gemeten" stroomen, werd nu stroom en getij op Volkerak, Kramer en Haringvliet berekend, respectievelijk tot Bruinisse en de Westpunt van de plaat van Scheelhoek in het Haringvliet.

Resultaten.

In den overzichtstaat zijn de berekende en gemeten H.W.standen met hun tijdstip van optreden weergegeven. De overeenstemming is goed. Zoo wordt de sterke H.W.stijging vanaf het splitsingspunt naar Bruinisse en de daling naar Hellevoetsluis in de berekening juist weergegeven. Dit verschijnsel staat in verband met het feit, dat bij deze meting de kentering van vloed op eb in het Volkerak, ter plaatse van het Splitsingspunt, om 15.50 uur valt, terwijl de H.W.stand aldaar om 17.00 uur optreedt. Er loopt dus ten tijde van H.W. op het Volkerak nog een sterke vloedstroom, die in de vloedrichting een negatief ver-

hang veroorzaakt. Stroomopwaarts dalen dus de H.W.standen.

Op het Haringvliet treedt de kentering ter plaatse van het splitsingspunt om 17.20 uur op. Dus klein negatief weerstandsverhang en groot positief versnellingsverhang, daar de kentering vlak na H.W. valt. Op deze rivier treedt dan ook binnenwaarts een stijging der H.W.standen op. Er kan verder nog opgemerkt worden dat tusschen 17.20 en 18.50 het Volkerak vloedstroom aanvoert, die gedeeltelijk of zelfs geheel langs het Haringvliet als ebstroom afvloeit.

Alleen te Willenstad treedt een belangrijke afwijking op. Voor de omliggende punten: Munnisdorp, Den Bommel en Dintelsas stemmen de berekende en gemeten waarden goed overeen. Het verschil te Willenstad moet het gevolg zijn van de plaatselijke situatie.

Wanneer naast de H.W.standen het resultaat van de berekening over de periode van zes uren rondom H.W. wordt nagegaan, blijkt het volgende:

Zowel te Bruinisse als te Hellevoetsluis verloopt de berekende getijlijn geheel als de gemeten curve. De gemiddelde afwijking tusschen berekening en meting bedraagt voor Bruinisse 6 cm, terwijl het gemiddelde absolute verval tusschen Bruinisse en Willamsdorp 75 cm bedraagt. Voor Hellevoetsluis zijn de overeenkomstige cijfers 2 en 65 cm. Voor Dintelsas is de overeenstemming zelfs zoo goed dat de gemiddelde absolute fout 1 cm bedraagt.

Te Steenbergsche Sas is er op de uren vóór hoogwater een groote afwijking. Hierbij dient echter opgemerkt te worden, dat voor die uren de gemeten getijkromme té Steenbergsche Sas, beneden die van Dintelsas ligt. Het is duidelijk, dat dergelijke plaatselijke storingen in de berekening niet weergegeven kunnen worden. Voor Willenstad is voor de stijgende en dalende tak de overeenstemming ook goed. Ten tijde van H.W.treden de reeds genoemde verschillen op. Zooals reeds verwacht werd, treden op het splitsingspunt groote verschillen op.

Te Den Bommel en te Dintelsas is de overeenstemming weer goed, zoodat geconcludeerd moet worden dat alleen aan het gemeten verticale getij op het splitsingspunt niet voldoende voldaan kan worden. Het is duidelijk, dat bij een meer verfijnde schematisatie evenmin op dit punt een belangrijk betere overeenstemming te verkrijgen zal zijn (zie voren).

Geconcludeerd kan worden, dat de exacte methode bij de gekozen schematisatie, de aangehouden rivierprofielen en een waarde van $60 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec.}$ voor de coëfficiënt van Eytelwein een bevredigend beeld geeft van het algemeene verloop van horizontaal en verticaal getij op deze rivieren. Voor het verticale getij op het splitsingspunt en de H.W.stand te Willenstad worden plaatselijke afwijkingen gevonden.

Variatieberekening voor het geval het Hollandsch Diep genormaliseerd is.

In verband met de destijds voorgenomen en thans onderhanden zijnde normaliseeringswerken voor het Hollandsch Diep, werd voor het traject Willemsdorp-Willemstad een variatieberekening voor dezen toestand gemaakt. Bij deze normalisatie wordt door het leggen van kribben en strakdammen en het wegbaggeren van ondiepe gedeeltes voor de twee riviervakken een profiel verkregen, waarvan de afmetingen in den overzichtstaats zijn weergegeven. Vergelijkt men deze cijfers met die voor de profielen bij A_{III}, dan blijkt dat voor het bovenste en benedenste vak resp. een profielsvermindering van 20 en 17% optreedt.

Tot het moment, waarop de Brabantsche Biesbosch wordt ingepolderd zullen de stroomsnelheden op het Hollandsch Diep toenemen. Daarna zullen deze door afname van het vermogen van het Hollandsch Diep weer afnemen.

Deze berekening werd opgesteld voor het geval dat de Biesbosch nog open is.

Uitgangspunt vormen dan ook de stroomkromme en de getijlijn voor Willemsdorp, die in A_{III} berekend is.

Voor de kombergingsbreedte is, in verband met opslibbing in de kribvelden, een waarde van 1250 m aangehouden. Het vermogen van het Hollandsch Diep beneden Willemsdorp zal dus ook nu reeds afnemen, als gevolg van de verminderde berging op de rivier zelf.

De uitvoering van de berekening geeft geen aanleiding tot opmerkingen. De berekende H.W. standen zijn in de overzichtslijst opgegeven.

Bij beschouwing van deze waarden blijkt dat de H.W. stand te Willemstad met 1 cm is toegenomen. Uit de berekening volgt, dat de getijlijn van Willemstad + 10 min. naar een vroeger tijdstip verschuift.

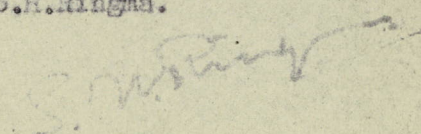
Het verval op de rivier neemt dus toe. Dat deze terugschuiving van de getijkromme bij de gegeven profielsvermindering niet meer draagt, wordt veroorzaakt door de genoemde afname van de stroomen beneden Willemsdorp.

De berekening wijst dus uit dat, als gevolg van de normalisatie - uitgaande van het punt Willemstad - het getij te Willemsdorp 1 cm hoger oploopt en 10 minuten verlaat.

Bij afwezigheid van Dr. J. J. Dronkers.

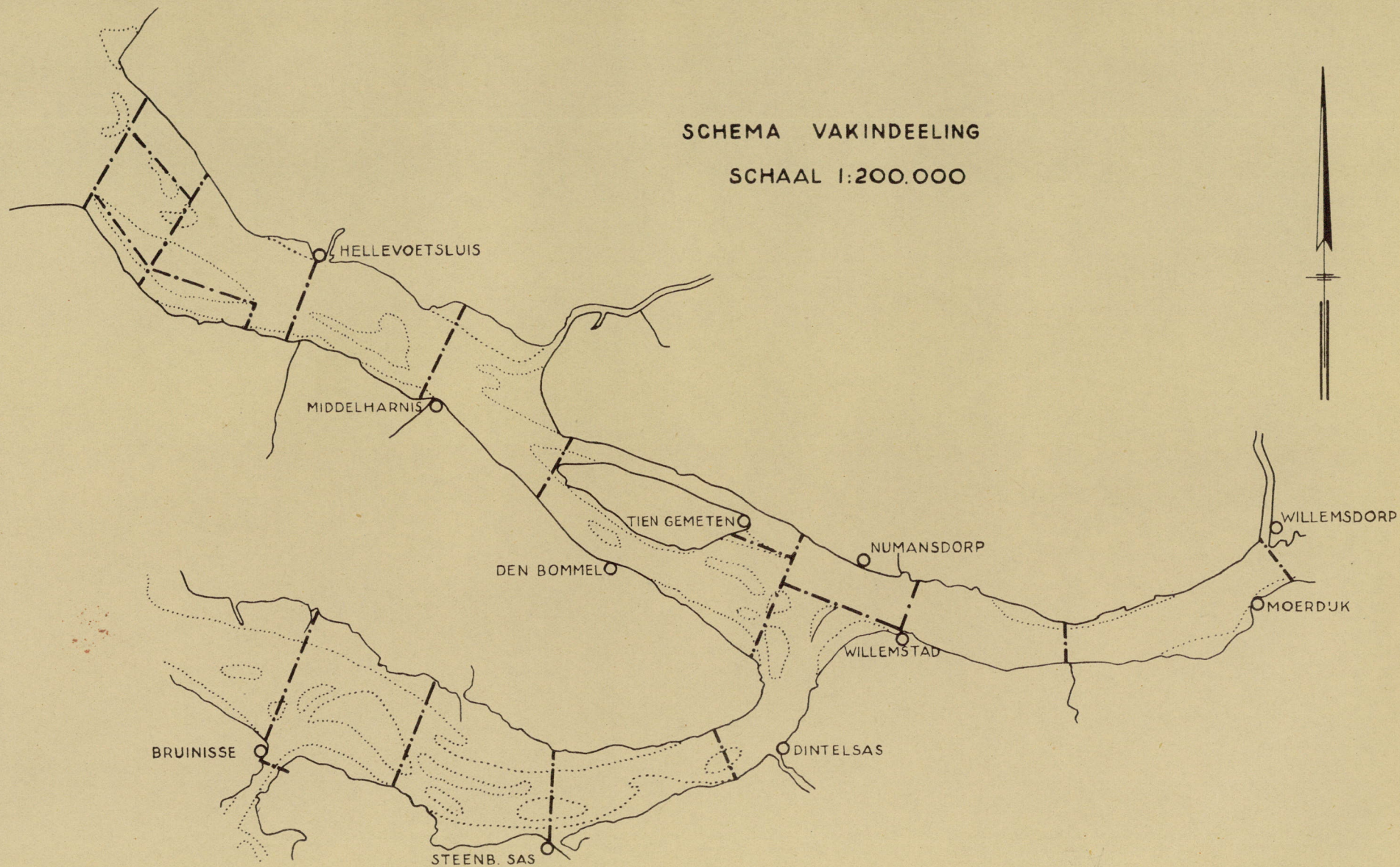
Aug. 1944

S. H. Ringma.



SCHEMA VAKINDEELING

SCHAAL 1:200.000



Rivier	Vakgrenzen	Plaatsen	L in m	B _o in m	b in m	d	t.o.v. N.A.P.	C	zijvak			ber. H.W.	gem. H.W.	tijd gem.	tijd ber.
									b	d	c				
Holl.Diep		Willemsdorp-Noordschans	8000	2140	1280	-	8,50	60	280	-2.35	60	1.22+	1.22+	17.40	17.40
		Noordschans-Willemsstad	5700	2340	1530	-	8,50	60	650	-1.80	60	1.17+			
		Willemsstad-Splitsings- punt	4500	1980	1650	-	8,--	60	340	-1.65	60	1.14+ 1.11+	1.20+ 1.13+ 1.11+	17.10 16.50 16.45	17.15 17.00
Volkerak		Splitsingspunt-Dintelsas	6750	2170	985	-	8,--	60	375	-2.30	60	1.11+	1.11+	16.45	17.00
		Dintelsas-Steenb.sas	6450	2370	965	-	7,50	60	305	-2.05	60	1.29+	1.28+	16.35	16.30
Krammer		Steenb.sas-Oude Tonge	5400	4280	1350	-	7,30	60	350	-3.10	60	1.40+	1.38+	16.35	16.15
		Oude Tonge-Bruinisse	5050	4690	1840	-	8,15	60	550	-2.65	60	1.43+ 1.42+	1.40+	15.50	15.55
Haringvliet		Vuile Gat	9000	770	650	-	10,40	60	120	-2.65	60	1.11+ 1.03+	1.11+	16.45	17.00
Zuiderdiep		Zuidkant-Tiengemeten	9250	2300	1140	-	5,60	60	505	-2.00	60	1.11+ 1.03+	1.11+ 1.08+	16.45 16.40	17.00 16.50
		Tiengemeten-Middelharnis	5700	2730	1740	-	9,50	60	330	-2.65	60	0.98+			
		Middelharnis-Hellevoet- sluis	5700	3140	2320	-	10,--	60	380	-1.95	60	0.95+	0.93+	15.55	15.55
		Hellevoetsluis-Zuidpunt Zeehondeplaat	5300	3050	2025	-	9,--	60				0.94+			
		Hellevoetsluis-Stellen- dam	3700	375	250	-	3,25	55				0.93+ 0.94+			
Haringvliet		Geul ten N.van Zeehonde- plaat	3000	1270	950	-	9,70	60				0.94+ 0.96+			
Zuiderdiep		Geul ten Z.van Zeehonde- plaat	3000	2870	2100	-	7,00	60				0.94+ 0.96+			
		Stellendam-Kwade Hoek	3500	390	270	-	3,65	55				0.94+ 0.96+			
Holl.Diep		Idem voor genormaliseerd Holl. Diep (1 Juli 1931)													
		Willemsdorp-Noordschans	8000	1250	1025	-	8,50	60				1.22+			
		Noordschans-Willemsstad	5700	1250	1045	-	10,40	60				1.16+ 1.13+			

A4

BEREKENINGEN GEMIDDELDEN TOESTAND OP DE LEK.

Reconstructieberekening der getijbeweging op de Lek.

Algemeen.

Teneinde inzicht te krijgen in het verband tusschen den opperwaterafvoer op de Lek en het verticale en horizontale getij te Krimpen a/d Lek, was het noodzakelijk over een aantal gegevens te beschikken. De opperwaterafvoer is dagelijks af te leiden uit den stand aan den peilschaal te Arnhem. Het verticale getij wordt eveneens dagelijks door de zelfregistreerende peilschalen opgeteekend. Maar het horizontale getij wordt niet geregistreerd. Wel zijn er in de loop der jaren op de Lek enkele afvoermetingen gehouden, maar het aantal is klein. Er was trouwens bij deze metingen weinig variatie in den opperwaterafvoer. Daarom werd besloten om over te gaan tot het berekenen van de getijstroomen volgens de exacte methode bij varieerende schijngestalten van de maan (dood-normaal-springtij) en bij verschillende standen te Arnhem (varieerende opperwaterafvoer).

Daartoe werden uit de jaren 1934-1936 drie groepen getijden gekozen. Deze konden worden verdeeld in :

- A: Een groep doodtijden;
- B: Een groep normaal-tijden;
- C: Een groep springtijden.

Elke groep omvat drie getijden :

- a) bij lage stand te Arnhem (+ 7.00 m + N.A.P.)
- b) bij normale stand te Arnhem (+ 8.50 m + N.A.P.)
- c) bij hooge stand te Arnhem (+ 11.25 m + N.A.P.)

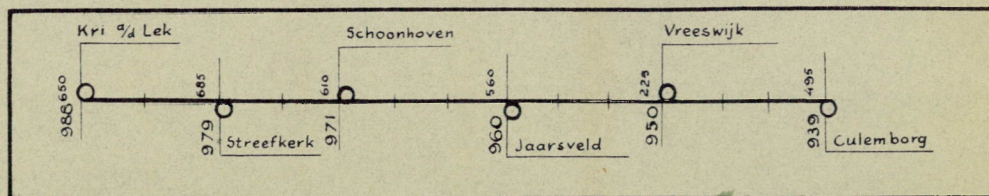
Er werden dus totaal 9 getijden berekend. Voor opgave van de data, waarop die getijden optraden en van de stand te Arnhem (één dag tevoren) zie bijgevoegd staatje.

Rivierconstanten.

De stroombreedte en de gemiddelde vakdiepte werden bepaald uit de peilingen, verricht in de zomer van 1937.

Zoals reeds bij vorige berekeningen werd opgemerkt, is de komberging door het rijzen en dalen der waterspiegel voortdurend aan verandering onderhevig. Bij verschillende waterstanden werd dan ook de totale kombergingsoppervlakte bepaald door planimetratie van de desbetreffende rivierkaarten.

De vakindeeling der rivier werd vastgesteld naar de plaats der registreerende peilschalen te Culemborg, Vreeswijk, Schoonhoven, Streefkerk en Krimpen a/d Lek. (zie onderstaand schema).



Teneinde echter nauwkeurige uitkomsten te verkrijgen, moest de maximum lengte der vakken op ± 5000 m worden gesteld. Boven genoemde vakken werden dan ook weer onderverdeeld in een of meer tusschenvakken. Op deze wijze kon telkens een berekende getijlijn, aan het begin en eind van ieder hoofdvak, worden vergeleken met een gemeten.

Coëfficiënt van Eytelwein.

Door gebruik te maken van de uitkomsten van de afvoermetingen, welke op 13 Mei en 6 Juni 1932 op de Lek werden gehouden, kon deze coëfficiënt uit de volgende formule afkomstig uit de theorie der exacte methode, worden bepaald :

$$\frac{\partial s}{\partial t} = b.g.h. \frac{sh}{sx} + \frac{gs^2}{C^2.h^2.b.}$$

(Voor de beteekenis der letters zie berekening A_I of het artikel van Dr. J. J. Dronkers in den Ingenieur jaargang 1935 No. 34).

In bovenstaande formule werden voor s waarden gesubstitueerd, die volgens de grafiek van den gemeten afvoer, dicht bij de maximum vloed- of ebstroom lagen. Er ontstonden op deze wijze eenige vergelijkingen in C. Uit ieder van deze vergelijkingen werd C opgelost. Het resultaat was, dat voor C een gemiddelde waarde van 52 werd gevonden. Deze waarde werd dan ook aanvankelijk bij de berekeningen gebruikt. Er ontstonden echter groote afwijkingen tusschen gemeten en berekende getijlijnen. Dit behoeft geheel niet te verwonderen. De waarde 52 werd immers gevonden bij normale omstandigheden. Daarom werd voor elke berekende dag en voor ieder hoofdvak afzonderlijk, een berekening gemaakt met bovenstaande formule ter bepaling van C. Dit was mogelijk, daar de stroom (dus de waarde van s) bij benadering reeds bepaald was, met behulp der eerste berekening (C = 52). Bij dezen

stroom en het gemeten verval werd de nieuwe coëfficiënt vastgesteld. Onderstaande staat geeft een overzicht van de uitkomsten.

Data	Krimpen a/d Lek Streef- kerk	Streef- kerk Schoon- hoven	Schoon- hoven Jaars- veld	Jaarsveld Vreeswijk	Vreeswijk Culemborg
1 Dec. 1934	48	48	46	46	42,5
25 Maart 1934	50	46	50	50	50
19 Jan. 1936	64	53	52	52	47
11-12 Jan. 1934	42	39	41	40	36,5
22 Dec. 1935	50	46	50	50	50
8-9 Febr. 1935	60	51	52	52	47
25 Maart 1936	50	40	48	48	48
22-23 Maart 1936	65	45	54	54	51
23-24 April 1935	61	51	52	52	47
Gemiddeld	54,4	46,6	49,5	49,5	46,6

Daarna werden de berekeningen met bovenstaande waarden van C uitgevoerd.

Verloop der berekeningen.

Er werd gerekend vanaf Culemborg in de richting van Krimpen a/d Lek (dus stroomafwaarts). Een uitzondering hierop vormden de dagen met hoge standen te Arnhem, waarbij het eerste vak (Culemborg-Vreeswijk) in omgekeerde richting is berekend. Voor het verloop van deze berekeningen kan worden verwezen naar berekening A_I. Zoowel voor het bepalen van den stroom als voor het verval, werd een term ingevoerd, die rekening hield met de bodemhelling. De reeks ziet er dan als volgt uit :

$$\bar{s} = s + B_0 \dot{h}x + \frac{|s| s \cdot X \cdot B_0}{C \cdot b \cdot h^3} + \frac{5 \alpha \cdot X \cdot s^2}{2 C \cdot b \cdot h^4}$$

$$\bar{h} = h + \frac{|s| s \cdot x}{C \cdot b \cdot h^3} + \frac{|s| h \cdot x^2 \cdot B_0}{C \cdot b \cdot h^3} + \frac{s \cdot x}{b g h_0} - \frac{(b+B_0) h \cdot s x}{b \cdot g \cdot h^2} - \frac{3 s \cdot x^2}{2 C \cdot b \cdot h^4}$$

$$- \frac{\alpha \cdot x^2}{2 h}$$

Hierin is α de bodenhelling per meter, voor de beteekenis der overige letters, zie bovenstaande opmerking.

De tweede afgeleide van de getijlijn en de afvoerkromme waren van zoo weinig beteekenis, dat de termen in de reeksontwikkeling, waarin deze voorkwamen, konden worden verwaarloosd.

Resultaten.

Ter vergelijking van de resultaten, wordt verwezen naar de bijgevoegde bijlagen. Zooals men daaruit kan zien komen de waargenomen en berekende H.W.'s vrijwel met elkaar overeen. Op de plaats, waar zich een registreerende peilschaal bevond, kon de berekende getijlijn met de gemeten worden vergeleken. Er bleken kleine afwijkingen voor te komen doch deze komen uitsluitend bij de opgaande tak van de getijlijn (vloedgedeelte) voor. Het verschil bedraagt slechts enkele cm.

Het is duidelijk, dat iedere afvoerkromme, die bij eenzelfde berekening behoort, de volgende eigenschap moet bezitten. Wanneer de totale ebaivoer verminderd wordt met de totale vloedtoevoer, dan moet de resteerende stroom gelijk zijn aan den opperwaterafvoer. Deze afvoer kan worden bepaald uit de afvoerkromme te Arnhem, wanneer de stand daar ter plaats bekend is. Dit is eveneens een controle op de verrichte berekening. De beide hoeveelheden zijn op bijgaande bijlage aangegeven. Deze resultaten zijn vrijwel met elkaar in overeenstemming. Er treden echter kleine verschillen op. Zooals ook reeds in voorgaande berekeningen met de exacte methode is opgemerkt, is het niet mogelijk, om door middel van een berekening een geheel zuiver beeld te verkrijgen van de vrij gecompliceerde werkelijkheid. Er moet immers bij een berekening altijd gewerkt worden met geschematiseerde gemiddelde vakprofielen.

Wordt bij de berekening aan de getijlijnen voldaan, dan vindt men afwijkingen bij de stroomen. Ook het omgekeerde kan voorkomen. Toch geven deze berekeningen een beeld van de maximale vloed- en ebstroomen, die voorkomen bij verschillende toestanden. Er werd bovendien een inzicht verkregen in het uitsterven van het getij op een bovenrivier.

Overzicht van de negen berekende getijden op de Lek met vermelding van de datum en de stand te Arnhem (sén dag te voren).

Datum	Getij	St.Arnhem	Afvoer volgens Arnhem		Berekende afvoer	
			per getij in mill. m ³	in m ³ /sec.	per getij in mill. m ³	in m ³ /sec
1 Dec. 1934	doodtij	6.90	7.15	160	9.62	215
25 Maart 1934	doodtij	8.60	18.33	409	16,97	379
19 Jan. 1936	doodtij	11.50	51.63	1150	39,36	879
11-12 Jan. 1934	normaaltij	6.62	5.59	125	5,84	130
22 Dec. 1935	normaaltij	8.40	16.54	370	14,72	329
8-9 Febr. 1935	normaaltij	11.30	44.25	990	34,38	768
25 Maart 1936	springtij	7.83	12.3	275	11,9	266
22-23 Mei 1936	springtij	8.52	17.43	390	15,51	346
23-24 April 1936	springtij	11.20	47.--	1050	43,23	969

A₄a

Rivier	Vakgrenzen	Plaats	L in m	B ₀ in m	b in m	d t.o.v. N.A.P.	C	waargen. H.W.	ber. H.W.	waargen. L.W.	ber. L.W.	vl.str. in m ³ p.sec.	ebstr. in m ³ p. sec.
Lek	939 ⁴⁹⁵ -943 ⁰⁷²	Gulemborg	3577	195	120	- 2.10	42.5	98	98	63	63	105	180
	943 ⁰⁷² -946 ⁶⁴⁹		3577	195	120	- 2.40	42.5		90		41	75	195
	946 ⁶⁴⁹ -950 ²²⁵	Vreeswijk	3577	195	120	- 2.70	42.5	78	78	6	5	0	230
	950 ²²⁵ -953 ⁶⁷⁰		3445	216	165	- 3.15	46		75		- 3	- 50	250
	953 ⁶⁷⁰ -957 ¹¹⁵		3445	216	165	- 3.40	46		72		- 11	- 100	275
	957 ¹¹⁵ -960 ⁵⁶⁰	Jaarsveld	3445	216	165	- 3.70	46	68	68	- 20	- 20	- 150	310
	960 ⁵⁶⁰ -964 ²⁴³		3683	285	195	- 3.45	46		65		- 32	- 210	360
	964 ²⁴³ -967 ⁹²⁶		3683	266 ^x	195	- 4.00	46		63		- 40	- 270	390
	967 ⁹²⁶ -971 ⁶¹⁰	Schoonhoven	3683	349 ^x	195	- 4.30	46	60	60	47	- 47	- 340	450
	971 ⁶¹⁰ -975 ⁶⁴⁷		4037	313 ^x	200	- 4.50	48		59		- 58	- 420	520
	975 ⁶⁴⁷ -979 ⁶⁸⁵	Streefkerk	4037	296	200	- 5.30	48		58		- 65	- 500	590
	979 ⁶⁸⁵ -984 ¹⁶⁷		4482	395	267	- 5.30	48		59		- 72	- 655	715
984 ¹⁶⁷ -988 ⁶⁵⁰	Krimpen	4482	290	267	- 5.70	48	62	62	71	- 77	- 775	820	

^x Gemiddelde waarde.

Voor specificatie: zie formulier.

Rivier	Vakgrenzen	Plaats	L in m	B ₀ in m	b in m	d	t.o.v. N.A.P.	C	waargen. H.W.	ber. H.W.	waargen. L.W.	ber. L.W.	max.vl.str. in m ³ p.sec.	max.ebstr. in m ³ p.sec.
Lek	939 ⁴⁹⁵ -943 ⁰⁷²	Culenburg	3577	195	125	-	210	50	181	181 158	174	174 142	390 390	420 420
	943 ⁰⁷² -946 ⁶⁴⁹		3577	195	125	-	240	50		134		110	375	425
	946 ⁶⁴⁹ -950 ²²⁵	Vreeswijk	3577	195	125	-	270	50	112	113	78	78	365	440
	950 ²²⁵ -953 ⁶⁷⁰		3445	216	160	-	310	50		102		58	340	455
	953 ⁶⁷⁰ -957 ¹¹⁵		3445	216	160	-	340	50		93		40	300	470
	957 ¹¹⁵ -960 ⁵⁶⁰	Jaarsveld	3445	216	160	-	370	50	86	86	23	23	260	490
	960 ⁵⁶⁰ -964 ²⁴³		3683	275	190	-	345	50		81		6	195	525
	964 ²⁴³ -967 ⁹²⁶		3683	270	190	-	400	50		76		- 8	130	550
	967 ⁹²⁶ -971 ⁶¹⁰	Schoonhoven	3683	339 ^x	190	-	430	50	73	73	- 20	- 20	45	580
	971 ⁶¹⁰ -975 ⁶⁴⁷		4037	311 ^x	225	-	450	46		71		- 37	- 50	640
	975 ⁶⁴⁷ -979 ⁶⁸⁵	Streefkerk	4037	332 ^x	225	-	530	46		69		- 35	- 170	705
	979 ⁶⁸⁵ -984 ¹⁶⁷		4482	404 ^x	267	-	530	50		67		- 40	- 290	795
	984 ¹⁶⁷ -988 ⁶⁵⁰	Krimpen	4482	290 ^x	267	-	570	50	65	65	- 46	- 46	- 370	880

x

Gemiddelde waarde.

Voor specificatie: zie formulier.