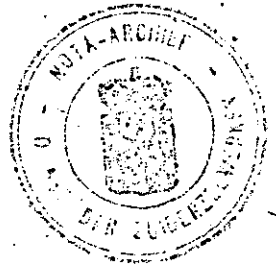


7061

Rijkswaterstaat  
directie IJsselmeergebied  
bibliotheek  
postbus 600  
8200 AP Lelystad



RECTIE  
DER  
WATERWERKEN  
1934/1934

afbeeldingheid 2. water-houtheit  
Rijkswaterstaats  
directie IJsselmeergebied  
Noordzeekanaal  
postbus 600  
8200 AP Lelystad

CHLORGEHALTEN IN HET NOORDZEEKANAL

De nauwe betrekkingen, welke tusschen IJsselmeer en Noordzeekanaal bestaan, maken het gewenscht, althans globaal de chloortoestand van het Noordzeekanaal te bestudeeren.

Uitgangspunt zal allereerst wezen de water- en chloorbalans van het kanaal. Deze bestaan in hoofdzaak uit vier posten, welke hieronder worden besproken.

a. Het waterbezwaar tengevolge van de op het kanaal afwaterende boezems en polders. Het totale afwateringsgebied is daarbij als volgt te schatten.

|  |                    |                 |
|--|--------------------|-----------------|
| 60 % van het waterbezwaar van Rijnland       | = 0,6 x 117.000 ha | = 70.000 ha     |
| 30 % van het waterbezwaar van Schermerboezem | = 0,3 x 77.000 ha  | = 23.000 ha     |
| Amsterdam e.a.                               |                    | 4.000 ha        |
| 80 % van het waterbezwaar van Amsteland      | = 0,8 x 33.000 ha  | = 27.000 ha     |
| IJpolders                                    |                    | 17.000 ha       |
| 30 % van het waterbezwaar van Waterland      |                    | <u>3.000 ha</u> |
|  | Totaal             | 144.000 ha      |

of 1,24 x het stroomgebied van Rijnland. Het waterbezwaar kan worden afgeleid uit het vrij goed bekende bezwaar van Rijnland. In de periode 1905 - 1930, welke als maatgevend zal worden aangenomen, bedroeg dit gemiddeld  $418 \times 10^6 \text{ m}^3$  per jaar, zoodat als gemiddeld waterbezwaar van het Noordzeekanaal kan worden gesteld:

$$1,24 \times 418 \times 10^6 = 520 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ per jaar.}$$

Het met dit waterbezwaar gepaard gaande chloorbezwaar wordt bepaald door het gemiddeld gehalte van het geloosde water. Dit kan vrij hoog zijn. De Commissie van het botanisch onderzoek van de Zee en omgeving verzamelde hieromtrent vele gegevens, die gedeeltelijk in haar "Mededeelingen" no.13 en no.17 zijn afgedrukt. In

Tabel

6  
79846 7061

| GEBIED              | P L A A T S       | NUM-<br>MER | C H L O O R - G E H A L T E N |               |                |                 |               |              |               |              |               | GEMID-<br>DELD |
|---------------------|-------------------|-------------|-------------------------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|----------------|
|                     |                   |             | 20-1V<br>1930                 | 1-V11<br>1930 | 20-KA-<br>1930 | 15-11V-<br>1931 | 28-V1<br>1931 | 27-X<br>1931 | 28-1V<br>1932 | 12-X<br>1932 | 27-1V<br>1933 |                |
| RIJNLAND            | SPAARNDAM         | 217         | 4,3                           | 4,45          | 0,26           | 0,72            | 0,5           | 2,3          | 1,28          | 0,91         | 1,85          | 2,1            |
|                     | HALFWEG           | 210         | 3,7                           | 4,4           | 0,34           | 0,85            | 0,5           | 1,6          | 1,02          | 1,96         | 1,00          | 1,9            |
|                     | HAARL. TREKVAART  | 208         | 2,6                           | 3,3           | 0,44           | 1,25            | 0,73          | 2,0          | 0,60          | 0,48         | 1,85          | 1,5            |
|                     | HEEMSTEDÉ         | 222         | 1,83                          | 2,05          | 0,26           | 0,36            | 0,41          | 1,5          | 0,97          | 0,37         | 0,52          | 0,9            |
|                     | AALSMEER          | 235         | 1,02                          | 0,29          | -              | 0,26            | 0,15          | 1,0          | 0,47          | 0,16         | 0,35          | 0,5            |
|                     | LEIMUIDEN         | 228         | 0,17                          | 0,17          | 0,11           | 0,10            | 0,16          | 0,16         | 0,21          | 0,12         | 0,14          | 0,15           |
|                     | LISSE             | 225         | 0,20                          | 0,35          | 0,23           | 0,15            | -             | 0,50         | 0,32          | 0,30         | -             | 0,27           |
| IJPOLDERS           | HOUTRAKPOLDER     | 95          | 2,15                          | 3,6           | 1,9            | 1,5             | 3,75          | 3,1          | 2,8           | 1,05         | 2,5           | 2,4            |
|                     | AMSTERDAMMER P.   | 94          | 3,4                           | 3,6           | 2,05           | 2,0             | 2,7           | 2,9          | 2,1           | 1,85         | 2,0           | 2,5            |
|                     | GROOTE IJPOLDER   | 93          | 2,5                           | 2,25          | 1,3            | 1,8             | 4,55          | 2,1          | 1,8           | 2,3          | 2,0           | 2,3            |
|                     | GROOTE IJPOLDER   | 212         | 1,18                          | -             | 0,73           | -               | 0,81          | 1,0          | 1,0           | 2,24         | 0,95          | 1,1            |
|                     | SPAARNDAMMER P.   | 205         | 2,8                           | 2,35          | 1,3            | 1,7             | 1,0           | 1,8          | 1,48          | 0,58         | 1,4           | 1,6            |
| AMSTELLAND          | OMVAL             | 242         | 1,5                           | -             | -              | -               | 0,85          | 0,85         | 0,76          | 0,80         | 1,48          | 1,1            |
|                     | OUDERKERK         | 241         | 1,8                           | 2,4           | -              | 0,71            | 0,65          | 1,15         | 0,12          | 0,79         | 0,95          | 1,05           |
|                     | HOLENDRECHT       | 240         | 1,1                           | 2,1           | -              | 0,89            | 1,06          | 1,15         | 0,68          | 0,78         | 1,02          | 1,05           |
|                     | BIJ OUDE WEVER    | 238         | 1,1                           | 1,45          | -              | 1,14            | 0,74          | 1,20         | 0,48          | 0,48         | 1,21          | 0,9            |
| WATERLAND           | KADOELENBREEK     | 112         | 4,7                           | 6,75          | 3,25           | 2,15            | 2,8           | 2,9          | 2,7           | 4,7          | 2,7           | 3,6            |
|                     | ILPENDAM          | 106         | 4,9                           | 6,2           | -              | 2,0             | 2,05          | 3,4          | 2,4           | -            | 1,9           | 3,4            |
|                     | MONNIKENMEER      | 172         | 4,4                           | 5,1           | 2,35           | 2,0             | 2,05          | 2,8          | 2,9           | -            | 2,1           | 3,1            |
| SCHERMERBOEZEM      | NAUERNA           | 72          | 6,55                          | 8,55          | 1,6            | 4,4             | 5,7           | 5,6          | 3,3           | 3,45         | 4,8           | 4,9            |
|                     | KOOG A/D ZAAN     | 92          | -                             | 7,95          | 2,4            | 4,4             | 4,0           | -            | 3,8           | 3,6          | 4,05          | 4,6            |
|                     | KROMMENIE         | 74          | 5,9                           | 7,2           | 1,0            | 2,9             | 3,8           | 5,0          | 3,35          | 3,35         | 4,3           | 4,1            |
|                     | ALKMAARDER MEER   | 78          | 4,15                          | 6,75          | 2,05           | 1,6             | 2,16          | 3,6          | 2,4           | 4,1          | 1,3           | 3,1            |
|                     | PURMEREND         | 121         | 3,45                          | 7,5           | 0,75           | 3,1             | 3,6           | 2,75         | 1,3           | 2,25         | 1,2           | 2,9            |
|                     | DE RIJP           | 86          | 3,5                           | 7,2           | 0,3            | 1,0             | 3,1           | -            | 0,68          | 1,5          | 1,6           | 2,45           |
|                     | ALKMAAR           | 51          | 4,4                           | 6,7           | 1,35           | 1,6             | 2,3           | 3,25         | 2,1           | 1,65         | 1,3           | 2,75           |
|                     | MONNIKENDAM       | 103         | 2,95                          | 4,4           | 1,2            | 1,6             | 1,35          | 2,2          | 1,75          | -            | 2,0           | 2,1            |
|                     | EDAM              | 126         | 3,2                           | 6,05          | 1,6            | 1,6             | 1,4           | 2,0          | 2,26          | 1,06         | 1,75          | 2,3            |
| SCHARDAM            | 135               | 2,0         | 5,4                           | 1,05          | 1,25           | 1,15            | 2,45          | 1,14         | 1,36          | 1,10         | 1,9           |                |
| NOORDZEE-<br>KANAAL | IJ VOOR AMSTERDAM | 68          | 6,5                           | 7,1           | 3,15           | 4,35            | 3,7           | 4,7          | 3,65          | 5,32         | 4,6           | 4,8            |
|                     | HEMBRUG           | 69          | 7,0                           | 7,7           | 3,5            | 5,0             | 4,08          | 5,2          | 3,96          | 2,95         | 4,8           | 4,9            |
|                     | BIJ ZIJKANAAL C   | 71          | 7,45                          | 8,55          | 1,8            | 5,6             | 4,85          | 5,7          | 4,45          | 2,02         | 3,8           | 4,9            |

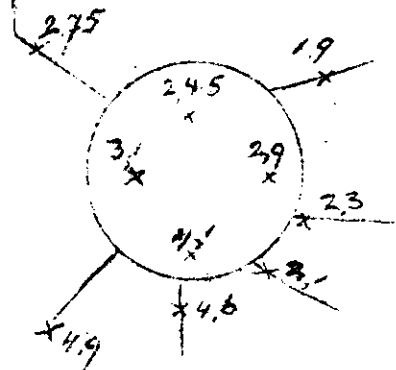
Tabel no.1 zijn een aantal van de waargenomen chloorgehalten verzameld. Daarbij zijn in elk gebied de plaatsen zooveel mogelijk gerangschikt naar opklimmende afstanden tot de loozingspunten.

Deze gehalten mogen echter niet zonder nader onderzoek voor de chloorbalans worden gebruikt. Ze ontstaan n.l. voor een deel tengevolge van uit het Noordzeekanaal binnengedrongen chloor (schut- en lekwater; waterinlaten), hetwelk, wanneer het weer op het kanaal wordt gebracht niet als nieuw chloorbezwaar mag worden gerekend. Het is niet gemakkelijk uit te maken, hoe groot dit deel is, terwijl in dit opzicht in de verschillende gebieden ook verschillende toestanden heerschen. De snelle afneming van de chloorgehalten in Rijnland wijst erop, dat hier binnendringend kanaalwater de belangrijkste zoutbron vormt en dat voor het gemiddeld gehalte van het overige waterbezwaar niet meer dan ongeveer 0,2g Cl per l kan worden gesteld. In Amstelland daarentegen is van de invloed van het Noordzeekanaal veel minder te merken en zal voor het waterbezwaar een gehalte van ongeveer 1,0g Cl per l moeten worden aangenomen. De oorzaak van dit hoge gehalte moet worden gezocht in zout kwelwater, dat in enkele droogmakerijen en vooral in Groot-Mijdrecht zal optreden.

Weer anders staat de zaak voor Schermerboezem, waar inlaten van water zoowel uit het Noordzeekanaal als uit de Zuiderzee een rol kan spelen. Belangrijke hoeveelheden zout kwelwater zijn in dit gebied niet te verwachten. Als chloorbezwaar voor het Noordzeekanaal kan dus slechts optreden uit de Zuiderzee op Schermerboezem ingelaten chloor, dat in de volgende natte periode op het Noordzeekanaal wordt geloosd.

fig.1

- 3 -



De waargenomen zoutgehalten maken dit verschijnsel echter niet waarschijnlijk. In fig.1 zijn de tien in Tabel 1 opgenomen punten globaal geografisch uitgezet en de gemiddelden der negen waarnemingen bijgeschreven. Sterk krijgt men daaruit de indruk, dat het Noordzeekanaal voor het zuidelijk gedeelte van Schermerboezem de uitsluitende verzoutingsbron is. Het resulterende zouttransport zal van Naarden en Zaandam naar het centrum en westen van de boezem zijn gericht en niet omgekeerd. Dit beteekent dat de chloorinhoud van het boezemwater geen chloorbezwaar voor het kanaal kan beteekenen. Ook voor Waterland wijzen de cijfers erop, dat het chloor in dit gebied hoofdzakelijk uit het Noordzeekanaal (eventueel via Schermerboezem) afkomstig is, terwijl voor de IJpolders noemenswaard chloorbezwaar uit andere bron vrijwel ondenkbaar is.

Het gemiddelde gehalte van het resulterende waterbezwaar uit polders en boezems kan daarom als volgt worden berekend:

Rijnland, Schermerboezem en Waterland (96.000 ha) à 0,2g per l.

Amstelland 27.000 ha à 1 g per l.

Amsterdam en IJpolders 21.000 ha à 0,1g per l.

totaal 144.000 ha met een gemiddeld gehalte van 0,35g per l., zodat het chloorbezwaar per jaar kan worden gesteld op

$$520 \times 10^6 \times 0,35 = 180 \times 10^6 \text{ kg Cl.}$$

b. Het te Zeeburg voor de verversing van de Amsterdamsche grachten ingelaten water. Volgens een inlichting van ir. Schilthuis is deze hoeveelheid berekend op:

$$\text{voor het jaar 1903 : } 189 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{voor het jaar 1905 : } 213 \times 10^6 \text{ m}^3$$

zodat

zoodat aan te nemen is een gemiddelde hoeveelheid van  $200 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/jaar. Het gehalte van dit water kan worden gelijk gesteld aan dat van het water in de zuidwestelijke hoek van de Zuiderzee, hetwelk voor de afsluiting, volgens waarnemingen van het Instituut voor Hydrografisch Visscherijonderzoek te Marken, gemiddeld 6,0 g Cl per l bedroeg. Te verwachten is dat in de toekomst dit gehalte zal dalen tot ongeveer 0,2 g Cl per l.

c. De schuttingen te IJmuiden. In Tabel 2 zijn een aantal gegevens daaromtrent verzameld. Als maatgevend is daarbij aangehouden het aantal schuttingen dat in 1931 plaats vond, welke cijfers door den hoofdingenieur van de Rijkswaterstaat in het Arrondissement Noordzeekanaal zijn verstrekt. Het water- en chloorbezwaar wordt bepaald door het aantal kolkvullingen, dat bij regelmatige afwisseling van binnen- en buitenwaartsche schuttingen gelijk is aan de helft van het aantal schuttingen. Gezien de mogelijkheid dat af en toe twee schuttingen in dezelfde richting op elkaar zullen volgen (waarbij het dan noodzakelijke leeg omzetten van de kolk niet als "schutting" zal zijn meegeteld) zijn de aldus gevonden cijfers met 10 % vermeerderd.

Het schutwaterbezwaar wordt bepaald door de kolkoppervlakte en het gemiddelde verval, dat op 35 cm is gesteld; het schutchloorbezwaar echter door de kolkinhoud vermenigvuldigd met het verschil in chloorgehalte van de kolk vóór en na een schutting. Uit waarnemingen aan de Noordersluis te IJmuiden op 31 Augustus 1933 (zie "De invloed van schuttingen op de verzouting van het binnenwater" in De Ingenieur 1934 blz. <sup>1)</sup>) is gebleken, dat op die datum voor dit verschil globaal 5 g Cl per l kan worden gesteld. Daar schuttingen vaak vlugger op elkaar zullen volgen dan bij de waarnemingen het

geval

1) Dit artikel zal binnen enkele maanden verschijnen.

geval was, is echter een iets kleinere waarde voor dit verschil aangenomen, n.l. 4,6 g per l.

SCHUTTINGEN TE IJMUIDEN

TABEL 2

|              | AANTAL<br>SCHUT-<br>TINGEN<br>(1931) | GESCHAT<br>AANTAL<br>KOLK-<br>VULLINGEN | AFMETINGEN KOLK |              |                  | KOLKIN-<br>HOUD <sup>3</sup><br>1000 M | GEMIDD.<br>SCHUTWATER<br>HOEVEEL-<br>HEID<br>M <sup>3</sup> | SCHUT-<br>WATER<br>PER JAAR<br>6 3<br>10 M | SCHUT-<br>CHLOOR<br>PER JAAR<br>6<br>10 KG |
|--------------|--------------------------------------|---|-----------------|--------------|------------------|--|---|--|--|
|              |                                      |   | LENGTE<br>M     | BREEDTE<br>M | GEM. DIEPTE<br>M |  |   |  |  |
| NOORDERSLUIJ | 4163                                 | 2300                                    | 400             | 50           | 15,00            | 300                                    | 7000  | 16,1                                       | 3170                                       |
| MIDDENSLUIJ  | 8446                                 | 4700                                    | 226             | 25           | 10,15            | 57                                     | 2000  | 9,4  | 1220                                       |
| ZUIDERSLUIJ  | 1957                                 | 1100                                    | 119             | 18           | 8,00             | 17                                     | 750   | 0,8  | 90   |
| KLEINE SLUIJ | 10411                                | 5700                                    | 69              | 12           | 5,25             | 4,8                                    | 290   | 1,6  | 110  |
|              |                                      |   |                 |              |                  |  |   | 27,9                                       | 4590                                       |

Bij de uitwerking blijkt, dat het schutwaterbezwaar op globaal  $28 \times 10^6 \text{ m}^3$  en het schutchloorbezwaar op rond  $4600 \times 10^6 \text{ kg}$  per jaar kunnen worden gesteld.

d. De schuttingen aan de Oranjesluizen, volgens opgave in 1931 gemiddeld per sluis 7300 in aantal. Gerekend zal worden op 4900 kolkvullingen per sluis en per jaar. Bij een totale kolkoppervlakte van  $96 \times 18 + 2 \times 72,80 \times 14 = 3770 \text{ m}^2$  en een gemiddeld verval van 0,40 m beteekent dit een schutwaterbezwaar van  $6 \times 10^6 \text{ m}^3$  per jaar.

Daar het gemiddelde chloorgehalte van het kanaalwater bij de Oranjesluizen bij de vroegere toestand slechts weinig lag onder het gehalte van de Zuiderzee, zal het uitwisselen van kolk- en kanaalwater van geen groot belang zijn en geen noemenswaard resultaat chloorbezwaar voor het kanaal beteekenen. Dit chloorbezwaar kan dus worden berekend als de eenigszins naar boven afgeronde chloorinhoud van het schutwater, dus op:

$$\text{ruim } 6 \times 6 \times 10^6 = 40 \times 10^6 \text{ kg Cl per jaar}$$

De water- en chloorbalans voor een gemiddeld jaar vóór de afsluiting der Zuiderzee zag er dus als volgt uit:

jaar



|                        | j a a r                         |                            |
|------------------------|---------------------------------|----------------------------|
|                        | water<br>$10^6 \text{ m}^3$     | chlor<br>$10^6 \text{ kg}$ |
| Polders en boezems     | 520                             | 180                        |
| inlaten Zeeburg        | 200                             | 1200                       |
| schutten IJmuiden      | 28                              | 4600                       |
| schutten Oranjesluizen | 6                               | 40                         |
| Totaal                 | 754                             | 6020                       |
| gem. gehalte           | 8,0 $\frac{\text{g}}{\text{l}}$ |                            |

2. De loozing van het overtollige water geschiedt te IJmuiden en te Schellingwoude. Uit gegevens, vermeld in de Verslagen Openbare Werken is af te leiden, dat in 1921- '30 te Schellingwoude per jaar gemiddeld voorkwamen 276 spui-uren en 360 maal-uren. Wordt het gemiddelde verval bij het spuien op 10 cm gesteld, en een gemiddelde opbrengst per etmaal door het stoomgemaal van  $3 \times 10^6 \text{ m}^3$  aangenomen, dan kan de te Schellingwoude geloosde hoeveelheid zeer globaal worden berekend op:

$$\begin{aligned} & \text{gespuide} + \text{uitgemalen hoeveelheid} = \\ & = 276 \times 3600 \times 39 \times 0,9 \times \sqrt{2g \times 0,10} + \frac{360}{24} \times 3 \times 10^6 = \\ & \text{rond } 100 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{jaar of } 1/8 \text{ van het totale waterbezwaar.} \end{aligned}$$

Het resterende waterbezwaar wordt dus te IJmuiden afgespuid.

Opmerking verdient, dat niet is te constateeren dat de loozingen te Schellingwoude zich in hoofdzaak tot de natte perioden beperken. Relatief komen zij 's zomers ongeveer even vaak voor als 's winters

3. Het onder punt 1 bepaalde gemiddelde gehalte van het aangevoerde en dus ook van het geloosde water zal met de tijd sterk kunnen varieeren,

varieeren, gelijk trouwens de cijfers in Tabel 1 reeds aantonen. Hoofdoorzaak hiervan is de ongelijkmatige verdeling van het geloosde polder- en boezemwater. In droge tijden is deze hoeveelheid praktisch nihil en de voortgaande chlooraanvoer door de schuttingen zal het gehalte van het kanaalwater regelmatig doen stijgen. Daarentegen zal in natte perioden een sterke verzoeting van het kanaal kunnen optreden. Hoe groot deze schommelingen zullen zijn, is niet eenvoudig te berekenen (mede omdat het chloorbezwaar tengevolge van de schuttingen weer een functie is van het chloorgehalte van het kanaalwater en met het stijgen daarvan afneemt). Daar deze schommelingen voor het onderhavige doel niet van veel belang zijn, zal hierop niet nader worden ingegaan.

4. Van meer belang is de variatie van het chloorgehalte over de lengte van het kanaal. Waar het overgrootste deel van het chloorbezwaar te IJmuiden binnenkomt en ook het overgrootste deel van de waterloozing te IJmuiden plaatsvindt, is te verwachten dat een deel van het binnengedrongen chloor direct te IJmuiden zal worden weggespuid en dus niet tot het overige kanaal zal doordringen. Inderdaad zou, indien een chloorgehalte geen hooger soortelijk gewicht van het water meebracht, het gehalte van het kanaal op eenige afstand van IJmuiden niet veel verschillen van dat van het geloosde polder- en boezemwater en zou slechts aan het westelijk uiteinde een sterke en (bij open Zuiderzee) aan het oostelijk uiteinde een minder sterke verzoeting optreden.

De invloed van de soortelijk gewichtsverschillen tusschen zout en zoet water (welke ook reeds het groote schutchloorbezwaar veroorzaken) wijzigen de toestand echter grondig. Er ontstaat een streven naar een evenwichtstoestand, waarbij het zoute water de onderlagen, het zoete water de bovenlagen inneemt. In het kanaal zal een oost-

waarts

waarts gerichte zoute onderstroom en een westwaarts loopende zoete bovenstroom optreden, waardoor de chloorverdeling over de lengte van het kanaal in sterke mate wordt vereffend. Deze zoute onderstroom is meermalen (o.a. door de dienst Amsterdam- Rijn II, door de Zuiderzeewerken en door de Amsterdamsche Gezondheidsdienst) waargenomen en met meer of minder groote nauwkeurigheid gemeten. Betrouwbare berekening van de chloorverdeling in het kanaal is slechts mogelijk op grond van een exacte behandeling van de bovengeschetste beweging. De moeilijkheden van dit probleem zijn echter zoo groot dat oplossing ervan onmogelijk lijkt. Daarbij toch zouden de volgende factoren in rekening moeten worden gebracht:

a. de invloed der soortelijk gewichtsverschillen op het piezometrische drukverschil tusschen punten op gelijke hoogte in verschillende verticalen, waardoor het piezometrisch verhang met de diepte wisselt en op een bepaalde diepte van teeken kan omkeeren.

b. de snelheidsverdeling in een verticaal onder invloed van deze wisselende piezometrische verhangen en van de turbulente (schijn) wrijving.

c. de invloed op deze schijnwrijving van de vermindering der turbulentie, als door een verschil in soortelijk gewicht wateruitwisseling tusschen boven elkaar gelegen lagen wordt beperkt.

d. de menging van het water in een verticaal door turbulente dwarsstroomingen, waarvan de intensiteit weer wordt beheerscht door het dichtheidsverval langs de verticaal.

De fysieke zijde zou wellicht nog tot oplossing kunnen worden gebracht. Voor a is dit eenvoudig; voor b heeft Lorentz een weliswaar niet exacte maar voor praktische doeleinden ~~zeer~~ bruikbare methode aangegeven (Verslag Staatscommissie Lorentz §§ 35, 149, 150) en ten aanzien van c hebben waarnemingen tijdens spuingen te IJmuiden

den

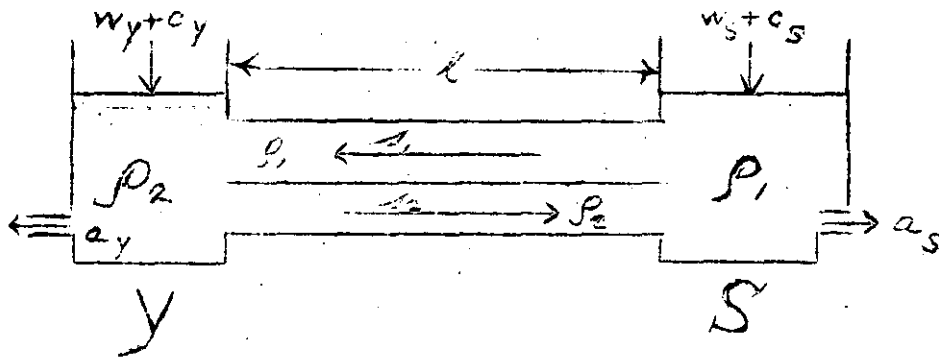
den eenig inzicht verschaft. Voor punt d is nog geen oplossing bekend, al zou wellicht met behulp van de turbulente "vrije weglengte" van Prandtl iets kunnen worden bereikt. Doch zelfs al zouden in dit opzicht bevredigende resultaten kunnen worden verkregen, dan nog zou het de verschijnselen beheerschende stelsel van differentiaalvergelijkingen (bewegingsvergelijkingen, continuïteitsvergelijkingen voor water en chloor afzonderlijk en toestandsvergelijkingen voor de de turbulente karakteriserende grootheden) dermate ingewikkeld zijn dat zelfs voor eenvoudige randvoorwaarden de aan de oplossing verbonden mathematische moeilijkheden onoverkomelijk zouden blijken.

Toch is van groot belang om althans eenig inzicht te verkrijgen in b.v. de verandering, welke de chloorverdeling zal ondergaan als een bepaalde bron van water of chloorbezwaar wordt weggenomen of toegevoegd. Vooral voor het IJsselmeer komt het daarbij op de verdeling aan daar alleen het gehalte te Schellingwoude maatgevend is voor het chloorbezwaar van het meer. Er zijn daarom enkele berekeningen uitgevoerd voor een schema, waarbij ook tengevolge van soortelijk gewichtsverschillen een onder- en bovenstroom optreedt, doch waarbij de bemoeilijkende factoren b, c en d geheel buiten rekening zijn gelaten. Deze berekening heeft geen andere pretentie dan dat, wanneer het schema zoo is gekozen dat de bestaande toestand vrij behoorlijk wordt weergegeven, de met dit schema berekende wijziging tengevolge van een veranderde randvoorwaarde ten minste eenig idee geeft van de in werkelijkheid daardoor te verwachten wijziging.

Het gebruikte schema (zie fig.2) is als volgt. Tusschen twee mengvaten U en S ligt een kanaal met de afmetingen van het Noordzeekanaal dat ter halver hoogte door een schot in tweeën is gedeeld.

Onderzoekt

fig.2

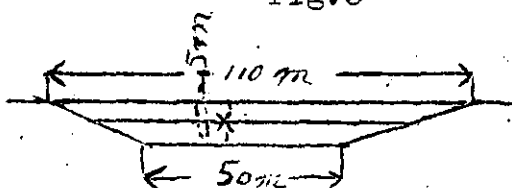


Onderzocht wordt alleen de gemiddelde toestand. De aanvoer van polder- en boezemwater wordt voor de helft te IJmuiden, voor de helft te Schellingwoude geconcentreerd gedacht.

Men krijgt nu de volgende toestand. In bak S wordt per jaar aangevoerd  $466 \times 10^6 \text{ m}^3$  water en  $1330 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ Cl}$ , dus per sec. resp.  $14,8 \text{ m}^3$  water ( $w_s$ ) en  $41 \text{ kg Cl}$  ( $c_s$ ), en bovendien door de onderstroom een hoeveelheid  $s_2 \text{ m}^3$  water en  $s_2 \rho_2 \text{ kg Cl}$  per sec. Van het gemengde water met chloorgehalte  $\rho_1$  wordt bijna  $100 \times 10^6 \text{ m}^3$  per jaar of  $3 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $a_s$ ) ter plaatse geloosd en de rest door de bovenstroom  $s_1$  naar bak Y gevoerd. Hier wordt het gemengd met  $287 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$  of  $9,1 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $a_y$ ) aan water en met  $4690 \times 10^6 \text{ kg/jaar}$  of  $149 \text{ kg/sec}$  ( $c_y$ ) aan Cl. Van het gemengde water wordt  $20,9 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $a_y$ ) geloosd, terwijl de rest de stroom  $s_2$  vormt.

Het profiel van het Noordzeekanaal wordt aangenomen volgens onderstaande fig.3.

fig.3



Voor het profiel van onder- en bovenstroom geldt, bij een C van  $55 \text{ m/sec}^{\frac{1}{2}}$ , dat  $C^2 F^2 R$  resp. bedraagt:  
 $3000 \times 475^2 \times 3,40 = 2,3 \times 10^9$  en  
 $3000 \times 325^2 \times 2,00 = 0,63 \times 10^9$ .

Aangenomen

Aangenomen wordt dat in elke stroomlaag de stroom wordt beheerscht door het piezometrisch verhang ter halver hoogte. Als dit voor de bovenstroom  $i$  bedraagt, zal dit voor de onderstroom bij een s.g.  $\gamma_2$  te IJmuiden en  $\gamma_1$  te Schellingwoude bedragen:

$$\left[ \frac{5}{24.000} (\gamma_2 - \gamma_1) - i \right] \text{ in tegengestelde richting.}$$

Op grond van de onderzoeken van Knudsen zal voor het verband tusschen dichtheid en chloorgehalte globaal kunnen worden aangenomen:

$$\gamma = 1 + 0,00145 \rho$$

Men kan nu de volgende vergelijkingen opstellen:

Voor de beweging in de bovenlagen:

$$v_1^2 = c^2 F^2 R i = 2,3 \times 10^9 i \quad (1)$$

id in de benedenlagen:

$$v_2^2 = c^2 F^2 R \left[ \frac{5}{24.000} (\gamma_2 - \gamma_1) - i \right] = 0,63 \times 10^9 \times \left[ \frac{5 \times 0,00145 (\rho_2 - \rho_1) - i}{24.000} \right] \quad (2)$$

De continuïteit voor het water eischt dat:

$$v_1 - v_2 = w_s - a_s = a_y - w_y \quad (3)$$

De continuïteit van het chloor in bak S :

$$(v_1 + a_s) \rho_1 = v_2 \rho_2 + c_s \quad (4)$$

id voor het geheele kanaal :

$$a_s \rho_1 + a_y \rho_2 = c_s + c_y \quad (5)$$

Eliminatie van  $i$  uit (1) en (2) geeft:

$$\frac{v_1^2}{2,3} + \frac{v_2^2}{0,63} = 502 (\rho_2 - \rho_1) \quad (6)$$

Uit

Uit (4) en (5) is af te leiden:

$$\rho_2 = \frac{1_1^c + 1_1^c + a_s^c}{1_1^a + a_y^a + 1_2^a} \rho_1 = \frac{1_2^c + 1_2^c + a_y^c}{1_1^a + a_y^a + 1_2^a} \quad (7)$$

$$\rho_2 - \rho_1 = \frac{w_s^c - w_y^c}{1_1^a + a_y^a + 1_2^a} \quad (8)$$

zoodat overblijft:

$$\frac{1_1^2}{2,3} + \frac{1_2^2}{0,63} = 302 \frac{w_s^c - w_y^c}{1_1^a + a_y^a + 1_2^a} \quad (9)$$

$$\text{en: } 1_1 - 1_2 = w_s - a_s \quad (3)$$



Uit deze beide vergelijkingen kunnen  $1_1$  en  $1_2$  het best door probeeren worden opgelost, waarna  $\rho_2$  en  $\rho_1$  volgens (7) kunnen worden berekend.

Berekend zal allereerst worden de bestaande toestand, waarvoor:

$$\begin{aligned} w_s &= 14,8 & a_s &= 3,0 & c_s &= 41 \\ w_y &= 9,1 & a_y &= 20,9 & c_y &= 149 \end{aligned} \quad \rho_{\text{gem}} = \frac{190}{23,9} = 8,0$$

Daarnaast zal worden berekend de toestand waarbij, tengevolge van de verzoeting van het IJsselmeer,  $c_s = 0$  wordt, zoodat  $\rho_{\text{gem}}$  daalt tot 6,25. Alle overige grootheden zijn daarbij gedacht als behoudende hun oorspronkelijke waarde.

De vergelijkingen worden:

$$\frac{s_1^2}{2,3} + \frac{s_2^2}{0,63} = 302 \cdot \frac{1825}{63 + 20,9 s_1 + 3,0 s_2}$$

$$\text{RESP. } \frac{s_1^2}{2,3} + \frac{s_2^2}{0,63} = 302 \cdot \frac{2210}{63 + 20,9 s_1 + 3,0 s_2}$$

$$s_1 - s_2 = 11,8$$

$$s_1 - s_2 = 11,8$$

en de oplossingen ervan:

$$\text{oude toestand: } s_1 = 28,3 \quad s_2 = 16,5 \quad \rho_1 = 5,65 \quad \rho_2 = 8,25$$

$$\text{nieuwe toestand } s_1 = 29,8 \quad s_2 = 18,0 \quad \rho_1 = 3,6 \quad \rho_2 = 6,6$$

Verder is berekend een toestand, waarbij het waterbezwaar door inlaten te Zeeburg vervalt, terwijl daarentegen aldaar  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$  per jaar wordt geloosd. Aangenomen is dat dientengevolge de loozing te Schellingwoude zal dalen tot ongeveer  $70 \times 10^6 \text{ m}^3$  per jaar. Dan wordt dus:

$$w_s = 8,5 \quad a_s = 8,5 \quad c_s = 0 \quad \rho_{\text{gem}} = \frac{149}{17,6} \cdot 8,5$$

$$w_y = 9,1 \quad a_y = 9,1 \quad c_y = 149$$

De oplossing der vergelijkingen wordt dan:

$$s_1 = s_2 = 20,6 \quad \rho_1 = 7,0 \quad \rho_2 = 9,9$$

Tenslotte is nagegaan de invloed van een doorspoelen van het kanaal met  $1000 \times 10^6 \text{ m}^3$  water per jaar. De toestand is dan:

$$w_s = 46,5 \quad a_s = 3,0 \quad c_s = 0 \quad \rho_{\text{gem}} = \frac{149}{55,6} = 2,7$$

$$w_y = 9,1 \quad a_y = 52,6 \quad c_y = 149$$

$$\text{Oplossing: } s_1 = 79 \quad s_2 = 35,5 \quad \rho_1 = 1,2 \quad \rho_2 = 2,75$$

Ter beoordeeling van de waarde, welke men aan de gevonden cijfers kan hechten, dient de oude toestand vergeleken te worden met de daarvoor beschikbare waarnemingen. Verschillende moeilijkheden doen zich daarbij voor. In de eerste plaats valt hier te denken aan de variaties

met



met de tijd, doch daarnaast aan het feit dat ook te IJmuiden en Schellingwoude het water in werkelijkheid niet homogeen is, doch gelaagd. De meeste waarnemingen, welke het oppervlaktewater betreffen, kunnen dus niet zonder correctie, met  $\rho_1$  en  $\rho_2$  worden vergeleken. Gegevens over het gehalte van het diepere water zijn er weinig. Op 4 October 1933 werd te IJmuiden het gemiddelde gehalte vastgesteld op 9,3 g/l bij een gehalte van het oppervlaktewater van 6,8 g/l. Op dezelfde datum waren deze cijfers te Amsterdam resp. 6,3 en 5,4 g/l. Het oppervlaktewater bleef dus in chloorgehalte resp. 2,5 en 0,9 g/l bij het gemiddelde gehalte achter. Echter valt te bedenken dat de spuiscapelen minder diep zijn dan het kanaal, zoodat het geloosde water tusschen het oppervlakte- en het gemiddelde water zal in liggen.

Verder volgen in Tabel 3 enkele cijfers voor het gehalte van het oppervlaktewater te Schellingwoude, te IJmuiden en, met oog op de waarnemingen, die niet tot IJmuiden zijn uitgestrekt ook in het Noordzoekkanaal nabij zijkanaal C.

Waargenomen oppervlakte-gehalten

Tabel 3

|                 | IJmuiden | bij zijkanaal C | Amsterdam |
|-----------------|----------|-----------------|-----------|
| 29 April 1930   |          | 7,8             | 6,5       |
| 1 Juli 1930     |          | 8,65            | 7,1       |
| 20 October 1930 |          | 3,2             | 3,15      |
| 15 April 1931   |          | 5,7             | 4,35      |
| 28 Juni 1931    |          | 4,35            | 3,7       |
| 27 October 1931 |          | 6,1             | 4,7       |
| 28 April 1932   |          | 4,77            | 3,65      |
| 31 Mei 1932     | 4,9      | 4,6             | 3,4       |
| 12 October 1932 |          | 1,35            | 5,32      |
| 27 April 1933   |          | 2,5             | 4,6       |
| 1- 30 Juni 1933 | 6,55     | 6,0             | 4,95      |
| (gem.)          |          |                 |           |
| Augustus 1933   | 6,8      | 6,05            | 4,6       |
| 4 October 1933  | 6,8      | 6,4             | 5,4       |

Rekening houdende met het verschil tusschen oppervlakte

en

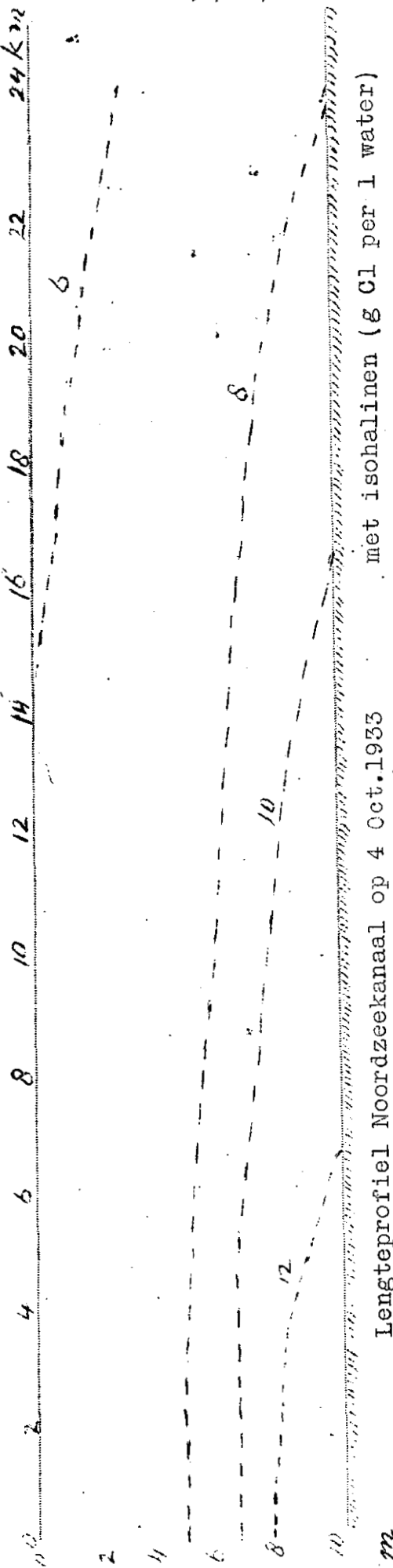
en gemiddeld water kan worden gezegd dat de berekende gemiddelde gehalten voor IJmuiden en Schellingwoude (resp. 8,25 en 5,65) zich behoorlijk bij de waarnemingen aansluiten, al lijken zij eenigszins aan de groote kant.

Op grond daarvan mag worden verwacht, dat ook de overige berekende cijfers een vrij betrouwbare en wellicht iets aan de veilige kant zijnde schatting van de bij de betreffende toestand te verwachten gehalten zullen geven. Daarbij moet echter met nog één omstandigheid rekening worden gehouden. Bij de becijferingen is steeds het schutchlorbezwaar als een bepaald constant bedrag aangenomen, terwijl dit in werkelijkheid eenigszins zal afhangen van het chloorgehalte van het binnenwater. Bij een toestand, waarbij dit gehalte lager is dan het oorspronkelijke, zal het chloorbezwaar onderschat zijn en omgekeerd. Dit beteekent dat de veranderingen ten aanzien van de oorspronkelijke toestand wat te groot zullen zijn weergegeven. Waar het toch slechts om de orde van grootte gaat, is hier niet nader op ingegaan, terwijl in het résumé (punt 6) met deze omstandigheid globaal is rekening gehouden.

5. Bij de behandeling van bovenstaand punt is ook al ingegaan op de verdeeling van het chloorgehalte over de hoogte. In het berekeningsschema treden  $\rho_1$  en  $\rho_2$ , behalve als de gemiddelde gehalten aan de beide uiteinden, ook op als de gemiddelde gehalten van de bovenlagen resp. van de onderlagen. Deze verdeeling is van belang, omdat de meeste op het kanaal uitkomende sluizen slechts ondiep zijn (drempels op 3 à 4 m - N.A.P.), zoodat bij inlaten slechts het gehalte van de bovenlagen van invloed is.

Een indruk van het karakter van de optredende gehalteverdeling in het kanaal geeft het in fig. 4 weergegeven, op 4 October 1933 opgenomen lengteprofiel van het kanaal. Gezien het feit, dat op

genoemde



Lengteprofiel Noordzeekanaal op 4 Oct. 1933 met isohalinen (8 Cl per l water)

genoemde datum het kanaal zouter dan normaal was (vergelijk Tabel 3) komen de gemiddelde gehalten in de onder- en bovenlagen behoorlijk met de berekende overeen.

6. De voornaamste, bij dit onderzoek gebleken punten kunnen als volgt worden geresumeerd.
  - a. In de tegenwoordige toestand wordt te Schellingwoude ongeveer 1/8 van het totale waterbezwaaar van het Noordzeekanaal geloosd, overeenkomende met rond  $100 \times 10^6 \text{ m}^3$  per jaar.
  - b. De hooge op het Noordzeekanaal optredende chloorgehalten zijn voor het overgrootste deel te wijten aan te IJmuiden tengevolge van de schuttingen indringend zeewater, en daarnaast, doch in veel geringer mate, aan het inlaten van Zuiderzeewater te Zeeburg.
  - c. Waarschijnlijk heeft het in bedrijf stellen van de Noordersluis te IJmuiden de chloorgehalten van het kanaal met 40 à 80 % doen stijgen.
  - d. Door een zoute onderstroom in het kanaal, welke waarschijnlijk alleen tijdens sterke spuiingen niet aanwezig is, wordt het te IJmuiden binnengedrongen chloor over het geheele kanaal verspreid. De lijnen van gelijk chloorgehalte vertoonen daarbij een van IJmuiden naar Amsterdam gerichte helling en divergeeren oostwaarts eenigszins, zoodat het verschil tussen

oppervlakte-

oppervlakte- en bodemwater te IJmuiden grooter is dan te Amsterdam. Het gemiddelde gehalte te Amsterdam voor de afsluiting der Zuiderzee bedroeg daarbij ruim 5 g/l of globaal  $\frac{2}{3}$  van dat te IJmuiden (ongeveer 8 g/l).

- e. Exacte berekening van de te verwachten chloorgehalten bij in de toekomst te verwachten toestanden stuit op onoverkomelijke fysieke, doch vooral mathematische moeilijkheden.
- f. Enkele, met een zeer sterk vereenvoudigd schema uitgevoerde berekeningen doen verwachten dat na verzoeting van het IJsselmeer het chloorgehalte van het kanaal nabij Amsterdam met ongeveer 30 % en te IJmuiden met bijna 20 % zal dalen (dus tot resp. bijna 4 en ongeveer  $6\frac{1}{2}$  g/l).
- g. Door zeer sterk inlaten van zoet IJsselmeerwater zou het chloorgehalte te Amsterdam tot b.v. 1,5 g/l kunnen dalen en te IJmuiden tot 3 à 4 g/l.
- h. Vervangen van het inlaten te Zeeburg door uitmalen zou, indien dit niet gepaard ging met inlaten te Schellingwoude, het in de toekomst te verwachten chloorgehalte te Amsterdam bijna verdubbelen en te IJmuiden met bijna 50 % doen stijgen (tot 6 à 7 resp. 9 à 10 g/l).

's- Gravenhage, December 1933.

SAMENGESTELD OP DE WATERLOOPKUNDIGE DIENST DER

ZUIDERZEEWERKEN.

