

bx
79947



Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
busnummer
postbus 600
8200 AP Lekstad



27 Nov 1940

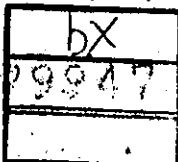
1547 1940
VERLAGING VAN DEN GRONDWATERSPIEGEL ONDER AMSTERDAM.
door prof. ir. J.Th. Thijsse. 142

1. De aard van de grondwaterstromen maakt, dat de gevolgen van verschillende oorzaken van verlaging bij elkander kunnen worden opgeteld: zij hebben geen invloed op elkander. De verlaging ten gevolge van het droogmaken van de Haarlemmermeer is dus onafhankelijk van die van de Watergraafsmeer en oefende op deze ook geen invloed meer uit. Zoo zal ook de invloed van het droogmaken van de zuidelijke IJsselmeerpolders kunnen worden berekend, alsof er nog geen polders waren gemaakt en geen grondwateronttrekkingen door industrie plaats vonden, m.a.w. alsof het oppervlaktewater overal in en om Amsterdam even hoog zou staan.
2. Het grondmassief, waarin de verschijnselen zich afspelen, wordt als volgt geschematiseerd.

Het plioceen, waarvan het oppervlak ligt op ongeveer 185 m onder N.A.P., wordt als ondoorlatend beschouwd.

Het pleistoceen (laag 1) bestaat uit zanden, waarvan de doorlatendheid k_1 gemiddeld enkele tientallen meters per etmaal bedraagt. De dikte D_1 kan op 170 m worden gesteld; het product $D_1 k_1$ is dus van de orde van grootte van 5000 m²/etmaal. Een dergelijke grootte (tusschen 2000 en 7000) wordt zeer veel in het westen van Nederland aangetroffen.

Het holoceen (laag 2) bestaat voornamelijk uit klei en veen. De doorlatendheid k_2 hiervan is gering, doch wordt vergroot door onderbrekingen, scheuren, gaten en dergelijke.



TECHNICAL
DEPARTMENT
LONDON
POSTAL
8200 AR LONDON

7-11-61

X
1961

De dikte D_2 is van de orde van grootte van tien meter. Voor een stroom is van belang de verhouding $D_2 : k_2$. De waarde hiervan loopt veel meer uiteen en wel van minder dan honderd tot verscheidene duizenden etmalen (Horstermeer 50, duinen van de Gemeentewaterleidingen 5000). Ter oriëntering zal worden aangenomen 2000 etmalen.

3. Grondlagen. Aangenomen wordt, dat oorspronkelijk in (of boven) laag 2 het wateroppervlak overal even hoog staat. De potentiaal van het water in laag 1 heeft dan ook overal dezelfde hoogte.

Het eenvoudigste stroombeeld ontstaat, wanneer een rechte waterkeering wordt gemaakt en aan één zijde daarvan het niveau van het oppervlaktewater wordt verlaagd met een bedrag h . De grondwaterbeweging staat dan overal loodrecht op de richting van de waterkeering (figuur 1).

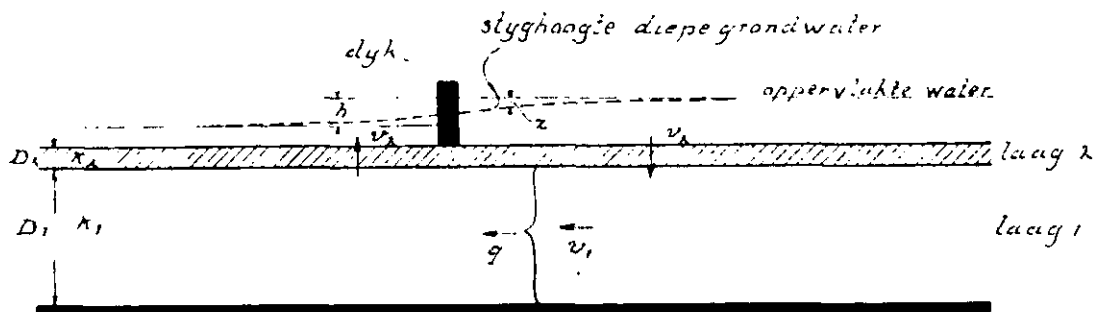


fig. 1

In laag 2 stroomt het water bijna verticaal en wel aan de eene zijde naar beneden, aan de andere naar boven. In laag 1 is de beweging in hoofdzaak horizontaal. Bij de

berekening worden volkomen verticale, resp. horizontale stroomen aangenomen. De hierdoor ontstane fouten zijn zonder de minste betekenis (theoretische en experimenteel aangetoond). De filtersnelheid in laag 2 is:

$$v_2 = k_2 z : D_2,$$

die in laag 1:

$$v_1 = - k_1 \frac{dz}{dx}$$

en de in die laag stroomende waterhoeveelheid (per eenheid van lengte langs de waterkeering gemeten):

$$q = - D_1 k_1 \frac{dz}{dx}.$$

Tusschen v_2 en q bestaat het verband

$$dq = - v_2 dx,$$

waaruit volgt

$$\frac{dq}{dx} = - D_1 k_1 \frac{d^2 z}{dx^2} = k_2 \frac{z}{D_2},$$

of

$$\frac{d^2 z}{dx^2} = \frac{k_2 : D_2}{D_1 k_1} z.$$

De oplossing hiervan is, voor de gegeven randvoorwaarden

$$z = \frac{\sqrt{\frac{k_2 : D_2}{D_1 k_1}}}{2} x = \frac{\sqrt{\frac{k_2 : D_2}{D_1 k_1}}}{2} (-x : L)$$

als de lengte L wordt voorgesteld door L .

$$\sqrt{\frac{D_1 k_1}{k_2 : D_2}} = \sqrt{k_1 D_1 x D_2 : k_2}$$



Aan de andere zijde van de waterkeering geldt eenzelfde betrekking. De lijn van de potentiaal in laag 1 is dus symmetrisch, snijdt de waterkeering ter halve hoogte van den oorspronkelijken en verlaagden waterspiegel en nadert deze waterspiegels op grooten afstand van de waterkeering.

Ofschoon voor de vraag, waarom het gaat, niet van be-

lang, kan nog worden vermeld, dat de stroom in laag 1 groot is

$$q = \frac{D_1 k_1}{L} h e^{-x : L} = \frac{\sqrt{D_1 k_1}}{D_2 : K_2} h e^{-x : L}$$

4. Wanneer de waterkeering een oirkelvormigen polder met straal r insluit, is het stroombeeld hetzelfde, doch de lijn, die het verband tusschen de potentiaal z in laag 1 en de afstand x uit het middelpunt van den polder aangeeft, verkrijgt een weinig anderen vorm. De analytische uitdrukking van deze lijn is minder eenvoudig: zij bevat de Besselsche functies I_0 , I_1 , K_0 en K_1 (o.a. Rapporten en Mededeelingen betreffende de Zuiderzeewerken no. 5, blz. 118).

De potentiaal onder de waterkeering is nu hooger dan in het vorige geval en wel des te meer, naarmate de verhouding $r : L$ kleiner is. De verlaging z_0 ten opzichte van den waterspiegel om den polder is namelijk

$$z_0 = \frac{\frac{K_0(r : L)}{K_1(r : L)} x h}{\frac{I_0(r : L)}{I_1(r : L)} + \frac{K_0(r : L)}{K_1(r : L)}}$$

Verder van den polder verwijderd, dus voor $x > r$, is

$$z = z_0 \frac{K_0(x : L)}{K_0(r : L)}$$

De waarden van deze functies [Jahnke - Ende, 3e druk blz 226 en blz 236, resp. $J(ix)$ en $\frac{i\sqrt{x}}{2} H^{(1)}(ix)$] voor de waarden van de argumenten, die in aanmerking komen, zijn verzameld in de volgende tabel.

x	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	10,0	groot
$I_0(x)$	1,266	1,647	3,290	11,30	67,2	2816	} $\frac{e^{-x}}{2\sqrt{x}}$
$I_1(x)$	0,565	0,982	2,517	9,76	61,3	2671	
$I_0(x) : I_1(x)$	2,24	1,68	1,308	1,159	1,097	1,053	1
$K_0(x)$	0,421	0,213	0,062	0,011	0,001	0,000	} $e^{-x} \frac{\sqrt{x}}{2x} = \frac{1}{2\sqrt{x}}$
$K_1(x)$	0,602	0,277	0,073	0,012	0,001	0,000	
$K_0(x) : K_1(x)$	0,70	0,77	0,845	0,894	0,925	0,953	1
$\frac{I_0(x) K_0(x)}{I_1(x) K_1(x)}$	2,94	2,45	2,153	2,053	2,022	2,006	2

5. Invloed IJsselmeerpolders. Deze polders kunnen worden geschematiseerd als een cirkelvormige polder met een straal van $r = 22500$ meter. De voor de kwel maatgevende lengte L wordt

$$L = \sqrt{D_1 k_1 \times D_2 : k_2} = \sqrt{5000 \times 2000} \approx 3200 \text{ meter.}$$

De verhouding $r : L$ is dus ongeveer 7 en hieruit volgt

$$z_0 = \frac{0,93}{1,09 + 0,93} h = 0,46 h$$

Voor een verlaging $h = 5$ meter is dit 230 cm.

Op groter afstanden wordt de potentiaalverlaging als volgt:

x:L	z:2h	verla- ging z cm	afst. K-R m	Plaats
7½	0,270	135	1600	
8	0,163	81½	3200	
8½	0,093	46½	4800	
9	0,055	27½	6400	
9½	0,0325	16½	8000	
10	0,0191	9,55	9600	Oranjesluizen
10½	0,0113	5,65	11200	Zeeburg
11	0,0067	3,35	12800	Station MP - kop Javakade
11½	0,0040	2,00	14400	Amstel - westelijke doorvaart
12	0,0024	1,18	16000	Zorgvliet - v. Baerlestr. - Bilderdijk- str. - centr. markt
12½	0,0014	0,70	17600	Marathonweg - Hoofdweg
13	0,0008	0,42	19200	Viaduct Sloterweg

6. Invloed Haarlemmermeer. Het naar Amsterdam gekeerde deel van den Haarlemmermeerpolder wordt benaderd door een cirkel met een straal van 6400 m (= 2L), waarvan het middelpunt ligt aan de Hoofdvaart, ongeveer 2 km ten noordoosten van Hoofddorp. De zuidwestelijke punt van den polder valt hier buiten. Deze zou kunnen worden voorgesteld door een cirkel met een straal van 4300 m en het middelpunt 7 km ten zuidwesten van Hoofddorp, eveneens aan de Hoofdvaart. De invloed van de niveauverlaging in deze cirkel wordt dus verwaarloosd; in Amsterdam is deze invloed zeer gering.

Voor het overige deel is de potentiaalverlaging in het

sand onder de ringvaart

$$s_0 = \frac{0,81}{1,44 + 0,81} \times h = 0,36 h$$

Met h wederom gelijk aan 5 meter is dit 180 centimeter.

Buiten de droogmakerij is de uitkomst:

x:L	z:2h	verl. z cm	afst. x-r m	Plaats
2½	0,196	98	1600	
3	0,1083	54	3200	Aalsmeerplein
3½	0,0615	31,8	4800	Olympiaplein - Mercatorplein
4	0,0350	17,5	6400	Scheldestr. - Rijksmuseum - Jordaan - Centr. markt
4½	0,0200	10,0	8000	Amstelstation - Plantage - Station CS
5	0,0116	5,8	9600	Watergraafsmeer O - Ozaar Peterstr. - Meeuwenplein
5½	0,0067	3,4	11200	Nieuwendam

7. Invloed Watergraafsmeer. De straal van de overeenkomstige cirkel is bijna gelijk aan ¼L, waaruit volgt

$$s_0 = \frac{0,56}{4,13 + 0,56} \times h = 0,120 \times h$$

dus voor h = 500 cm een afzuiging aan den rand van 60 cm.

Dit geeft in de stad:

x:L	s:2h	z cm	x-r m	Plaats
1	0,056	28	1600	Scheldestr. - Rapenburg - Handelskade
1½	0,028	14	3200	Minervalaan - Wilh. gasthuis - station CS
2	0,015	7½	4800	Aalsmeerplein - Mercatorplein - Wester- gasfabriek
2½	0,008	4	6400	

Haarlemmermeer en Watergraafsmeer hebben met deze aanname dus ongeveer denzelfden invloed, namelijk een verlaging van 5 tot 50 cm. Dat is tien maal zooveel, als de invloed, die van

de IJsselmeerpolders wordt verwacht en die $\frac{1}{5}$ tot $\frac{1}{5}$ om zou bedragen.

8. Invloed van de minder diepe polders om Amsterdam.

Het schema is hier omgekeerd: het stadswater ligt als een eiland in het omringende polderland, met een hoogteverschil h van b.v. 180 cm. De straal van het eiland is niet met eenige zekerheid te bepalen, gemakshalve wordt $r = L$ (dus 3200 m) aangenomen. Nu moet de verlagende invloed in het eiland worden berekend; deze is

$$y = \frac{I_0(x:L)}{I_0(r:L)} \times y_0$$

en y_0 , de verlaging aan den rand,

$$y_0 = \frac{I_0(r:L) : I_1(r:L)}{I_0(r:L) : I_1(r:L) + K_0(r:L) : K_1(r:L)} h$$

Dit leidt tot

x:r	y:2h	y cm	x	Plaats
0	0,603	108	0	Nieuwmarkt
0,25	0,612	110	800	Heerengracht
0,5	0,640	115	1600	Singel
0,75	0,690	124	2400	Centrale markt - N. Amstelkanaal
1	0,763	137	3200	Rand van de bebouwing

9. Combinatie van ondiepe polders, Watergraafsmeer en Haarlemmermeer. Ten opzichte van de ondiepe polders vormen de Haarlemmermeer en Watergraafsmeer een verdieping van ruim 3 meter. De voor deze polders berekende verlagingen moeten dus met ongeveer $\frac{2}{3}$ worden vermenigvuldigd. Daarna kunnen voor elke plaats de verlagingen bij elkander worden geteld.



Stelt men den ongestoorden waterstand op N.A.P. - 40 cm, dan is op iedere plaats de potentiaal in het zand (laag 1):

N.A.P. - 40 cm - verlaging Haarl.m. - verl. Watergraafsm
- verl. oud polderland.

Men komt zodoende in de oude stad tot 168 - 185 cm onder N.A.P. In de buitenwijken wordt - 185 tot ruim - 200 cm gevonden; dicht bij de Watergraafsmeer nog lager en in die meer tot N.A.P. - 250 cm.

10. Wateronttrekking voor industrie geeft nog extra verlaging; deze strekt zich in den regel niet ver van de bronnen uit. Zij moet worden berekend, uitgaande van het debiet. Daarvoor kan worden gebruikt de formule voor een kleine put

$$z = \frac{Q}{2\sqrt{D_1 k_1}} K_0(x : L),$$

waarin Q de per tijdseenheid onttrokken waterhoeveelheid is. Dicht bij den put ($x < 0,1 L$) kan worden toegepast de benadering

$$K_0(x : L) \rightarrow 0,116 + \ln L : x;$$

zeer dicht bij den put (enkele meters) is de formule ongeldig.

Over het algemeen strekt de invloed van bronnen zich niet ver uit, b.v. wanneer Q = 2500 m³ per etmaal, steeds met L = 3200 m,

x =	5	20	40	80	160	320	480	800	1600	3200	6400	m
z =	53	42	36	31	26	20	17	12	7	3	1	cm

11. Vergelijking met waarnemingen van de potentiaal in laag 1 is mogelijk op vier punten, die in 1939 door ir. Biemond zijn medegedeeld, namelijk:

no.	Plaats	Diepte filter m-NAP	Potentiaal	
			gemeten 4-11-38 cm-NAP	berekend volgens 9 cm -NAP
1	Emplac. spoorw. achter Werkspoor	16,75	134	190
2	voorplein station M.P.	19	247	210
3	voorplein Amstelstation	19	354	225
4	bij spoorbrug Omval	30	338	225

Alleen bij boring 2 is er een vrij goede overeenstemming tusschen waarneming en berekening. Het verschil bij boring 1 kan gereedelijk worden verklaard uit de ruwe schematisatie. Daarin komt niet de groote invloed tot uiting, die het IJ op de grondwaterstanden in het noordelijk deel van de stad moet uitoefenen. Het is daarom zeker, dat de berekening daar te lage potentialen geeft.

Groeter nog is het verschil in de boringen 3 en 4. Daar zijn de gemeten potentialen belangrijk lager dan die, welke volgens de berekening zelfs in het midden van de Watergraafsmeer werden verwacht. Dit wijst er op, dat L veel kleiner is, dan bij de berekening is aangenomen. De polder wordt ten opzichte van deze lengte dan veel grooter en dientengevolge zal de depressie in de diepe lagen toenemen.

Om overeenstemming te verkrijgen zou L belangrijk kleiner moeten zijn dan een kilometer. Dit zou beteekenen, dat de bovenlaag veel sterker doorlatend zou zijn, dan ondersteld was. De verhouding $D_2 : k_2$ zou niet 2000, maar b.v. 100 moeten zijn. Wanneer dit werkelijk het geval zou zijn, moeten de onder 4 - 9 vermelde resultaten aanmerkelijk worden gewijzigd.

De invloed van de IJsselmeerpolders zou geheel onbeteekend worden en ook die van den Haarlemmermeerpolder zou sterk afnemen. De daling door de Watergraafsmeer zou in een groot deel van Amsterdam Oost veel sterker worden, maar overigens

eveneens minder zijn. De invloed van de ondiepe polders om de stad zou zich vooral in het midden van de stad minder doen gevoelen.

12. Middelen om tot een betere schatting van L te komen, bestaan in het waarnemen van de potentiaal in laag 1 op een aantal punten van de stad. De vier beschikbare waarnemingsplaatsen zijn hiertoe volstrekt onvoldoende; een tiental over de geheele stad verspreide boringen zal moeten worden gemaakt.
13. De waterstand in of boven laag 2 (het phreatisch oppervlak) is in het voorgaande constant ondersteld (in de stad N.A.P. - 40 cm). Dit zou alleen exact het geval zijn, wanneer de laag geheel met water bedekt is en bij groote benadering, wanneer het oppervlak is doorsneden door een dicht net van waterhoudende slooten, van waaruit het phreatisch oppervlak gemakkelijk op peil wordt gehouden. Is dit laatste niet het geval, doordat de waterleidingen op te grooten afstand van elkaar liggen of doordat het water uit de leidingen moeilijk in den grond dringt, dan kunnen afwijkende verschijnselen optreden. Indien de grondwaterstroom door de holocene lagen een neerwaartsche richting heeft en het grondwater in onvoldoende mate door den neerslag wordt gevoed, zal het phreatisch oppervlak dalen. Dit zal vooral optreden in droge tijden en ook, waar bebouwing of bestrating het regenwater belet in den grond te dringen.

De gebruikte formules blijven dan bij benadering geldig, mits voor den waterspiegel een gemiddelde waarde wordt ingevoerd.

De vraag, of de op zichzelf niet hinderlijke verlaging

van de stijghoogte in het pleistoceen tot een gevaarlijke daling van het phreatisch oppervlak kan leiden, hangt dus geheel af van den plaatselijken toestand t.a.v.

de aanwezigheid van slooten, grachten e.d.,

de aanwezige weerstanden tegen voeding van het grondwater uit deze grachten enz.,

de mogelijkheid van voeding van het grondwater door den neerslag,

Om hierin een inzicht te verkrijgen, ware bij elk van de onder 12 vermelde boringen ook het phreatisch oppervlak te meten. Daartoe is het goed deze boringen niet te dicht bij open water uit te voeren en sommige te plaatsen in open terreinen en andere in dicht bebouwde stads gedeelten met veel geasphalteerde straten.

In hoeverre paalkoppen boven het phreatisch oppervlak aan de lucht zijn blootgesteld, hangt af van de mate, waarop de capillaire opstijging in de deklaag tot haar recht komt.

14. Rioleering. Vermoedelijk hebben diep gelegen, onlichte bemalen riolen een grooteren invloed op de ligging van het phreatisch oppervlak, dan de depressie in laag 1. Deze invloed kan alleen door waarnemingen in een raai loodrecht op de richting van het riool worden vastgesteld.
15. Boschplan. De diepe afmaling van het Boschplan zal eveneens de potentiaal in laag 1 verlagen. Wanneer het gebied van afmaling een langgerekten vorm heeft, is het niet gewenscht het te schematiseeren tot een cirkel. Men kan dan beter uit-

gaan van de onder 3 genoemde formules voor het tweedimensionale geval, waarbij echter niet één waterscheiding aanwezig is, doch twee evenwijdige bestaan op een onderlingen afstand 2β . De verlaging z van de potentiaal buiten het gebied van afmaling is dan

$$z = h \sin h\beta : L x e^{-x : L}$$

Hierin is x de afstand tot het hart van het bemalen gebied ($x > \beta$). Dicht bij de uiteinden zal de werkelijke verlaging minder zijn dan de formule aangeeft, doch meer dan volgens de formule voor een cirkelvormigen polder met een straal $r = \beta$.

16. Uitkomsten voor de halve waarde van $L = 1600$ m.

IJsselmeerpolders.

afstand tot den IJmeerdijk	9600	11200	12800	14400	16000	17600	19200 m
z	0,5	0,2	0,06	0,02	0,01	0,004	0,001 cm

Haarlemmermeer

afstand tot de ringkade	3200	4800	6400	8000	9600	11200 m
z	25	7	2	0,7	0,2	0,1 cm

Watergraafsmeer

afstand tot de ringkade	0	1600	3200	4800	6400 m
z	120	34	10	3	1 cm

Kring van minder diepe polders.

afstand van Nieuwmarkt	0	800	1600	2400	3200 m
y	51	54	64	85	117 cm

De potentiaal in de vier waarnemingspunten is dan:

Punt	1	2	3 en 4	
Potentiaal	145	245	280	cm onder N.A.P.

